NOU Norges offentlige utredninger 2001: 9

Lillestrøm-ulykken 5. april 2000

Rapport fra undersøkelseskommisjon oppnevnt av regjeringen ved kongelig resolusjon 7. januar 2000 i forbindelse med Åsta-ulykken, som 7. april 2000 fikk utvidet mandat til også å undersøke togulykken på Lillestrøm stasjon. Avgitt til Justis- og politidepartementet 30. januar 2001.

Statens forvaltningstjeneste
Informasjonsforvaltning

Oslo 2001

ISSN 0333-2306
ISBN 82-583-0568-9

PDC Tangen

Til Justis- og politidepartementet

Ved kongelig resolusjon av 7. januar 2000 ble det oppnevnt en undersøkelseskommisjon for å foreta de nødvendige undersøkelser for å bringe på det rene de faktiske omstendigheter omkring togulykken på Rørosbanen 4. januar 2000 og årsaken til den. Kommisjonen fikk fem medlemmer. Ytterligere ett medlem ble oppnevnt av Justis- og politidepartementet 26. juli 2000. Rapporten om Åsta-ulykken ble avgitt 6. november 2000 (NOU 2000: 30).

Den 5. april 2000 mens Kommisjonen fortsatt undersøkte omstendighetene rundt Åsta-ulykken, inntraff en togkollisjon på Lillestrøm stasjon. Kommisjonen ble 7. april bedt om også å undersøke de faktiske omstendighetene rundt og årsaken til denne ulykken. Mandatet ble formelt utvidet ved kongelig resolusjon 14. april 2000.

Kommisjonen legger med dette frem sin innstilling om Lillestrøm-ulykken. Innstillingen er enstemmig på alle punkter. Når det gjelder Kommisjonens vurderinger av Direktoratet for brann- og eksplosjonsverns (DBE) rolle i forbindelse med redningsarbeidet, er dette ikke vurdert av kommisjonsmedlem Finn Mørch Andersen som er ansatt ved DBE. Kommisjonen har derfor innhentet uttalelse fra professor Göran Holmstedt ved Lunds Tekniska Högskola for å få en ekstern vurdering av DBEs innsats. Holmstedts rapport er vedlegg 2 til Kommisjonens rapport.

30. januar 2001

Vibecke Groth
Leder

Ingemar Pålsson Finn Mørch Andersen Øystein Skogstad

Marika Kolbenstvedt Joakim Böcher

Jacob Ferdinand Bull
Jens-Henrik Lien

Innhold

1 Ulykken 11

2 Undersøkelseskommisjonen og dens arbeid 12
2.1 Opprettelsen og oppnevnelsen av kommisjonen 12
2.2 Nærmere om undersøkelseskommisjonens medlemmer 12
2.3 Kommisjonens mandat mv. 13
2.4 Arbeidet i Kommisjonen 13
2.5 Kommisjonens arbeidsmåte 13
2.6 Oppnevnelse av sakkyndige mv. . 14
2.7 Bevisinnsamling mv. 15
2.8 Kontradiksjon 15
2.9 Brukerveiledning og leserguide . 15

3 Hendelsesforløpet 18
3.1 Tog 5713 (det påkjørte tog) 18
3.2 Tog 5781 (det påkjørende tog) . . 18
3.2.1 Spesielt om brannfarlig last 21
3.2.2 Lokomotivfører 21
3.2.3 Lokomotivet tas ut 22
3.2.4 Bremseprøve 23
3.2.5 ATC-innstilling 24
3.2.6 Kjøringen frem til Strømmen 24
3.2.7 Hendelser etter passering Strømmen 25
3.3 Togledersentralen på Oslo S 27
3.3.1 Togleder da kollisjonen inntraff . . 27
3.3.2 Oppringning fra tog 5781 27
3.4 Værforhold 29
3.5 Kollisjonen 29
3.5.1 Kollisjonsstedet 29
3.5.2 Kollisjonstidspunktet 29
3.5.3 Skader på tog 5713 29
3.5.4 Skader på tog 5781 30
3.6 Antennelse og brann 31
3.6.1 Antennelse 31
3.6.2 Propan – egenskaper 33
3.6.3 Faren for katastrofe ved brann i propantanker – BLEVE 33
3.7 Redningsaksjonen og brannens utvikling 33
3.7.1 Brannens lokalisering og utvikling i første fase 33
3.7.2 Varsling 34
3.7.3 Redningsaksjonens første fase . . 35
3.7.4 Evakuering av Lillestrøm 37
3.7.5 Temperaturmålinger 38
3.7.6 Problemer med vind mv. 39
3.7.7 Situasjonen kritisk igjen 39
3.7.8 Avbrenning av gassen (fakling) . . 41
3.7.9 Avslutning av redningsaksjonen . 42
3.8 Bevissikring 42

4 Infrastruktur 43
4.1 Strekningen Alnabru godsterminal – Lillestrøm stasjon 43
4.2 Fjernstyring og sikringsanlegg . . 43
4.3 ATC 44
4.4 Togradio 45
4.5 Oppsummering 45

5 Bremser 47
5.1 Bremsesystemet 47
5.1.1 Togets ulike bremsesystemer . . . 47
5.1.2 Beregning av bremseevne – bremseprosent 49
5.1.3 Bremsegrupper og ulik tilsettingstid 49
5.1.4 Nærmere om førerbremseventilen 50
5.1.5 Enkeltfeil og bremsing av godstog 52
5.2 Regler og rutiner vedrørende sammensetning, uttak, bremseprøve mv. 53
5.2.1 Uttak av lokomotiv 53
5.2.2 Sammenskifting av tog, tetthetsprøve, bremseprøve mv. . 53
5.2.3 Godsvognopptak 53
5.2.4 Aktivering av ATC-utrustningen . 54
5.2.5 Innstilling av bremsegruppe 54
5.2.6 Prøvebremsing 54
5.3 Opplæring 55
5.3.1 Lokomotivførernes kompetanse på bremsesystem 55
5.3.2 Skiftekonduktørenes kompetanse på bremsesystemer 56
5.4 Undersøkelser knyttet til NSB Gods vedlikeholdsrutiner 56
5.5 Gjennomførte bremsetekniske undersøkelser av materiellet 58
5.5.1 Åstedsbefaring 58
5.5.2 Bremsetekniske data 59
5.5.2.1 Lokomotiv 59
5.5.2.2 Vogner 59
5.5.2.3 Tog 5781 60
5.5.3 Registrerte hastighetsdata 60
5.5.4 Statiske måleforsøk og prøvekjøringer 61
5.5.4.1 Statiske måleforsøk med rekonstruert ulykkestog, Alnabru 21. mai 2000 61

Ordforklaringer

Kommisjonen har nedenfor gitt en oversikt over betydningen av enkelte ord og uttrykk som er brukt i rapporten. Enkelte av disse er definerte ord som er skrevet med stor forbokstav i rapporten.

Kommisjon	Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjonen etter togulykkene på Rørosbanen 4. januar 2000 og Lillestrøm stasjon 5. april 2000
Åsta-rapporten	Rapport avgitt av Kommisjonen 6. november 2000 i forbindelse med togulykken på Rørosbanen 4. januar 2000 (NOU 2000: 30)
NSB	Det tidligere NSB som i 1996 ble delt i NSB BA, Jernbaneverket og Jernbanetilsynet
NSB BA	Togoperatør
NSB Gods	Godstrafikkenheten i NSB BA
Jernbaneverket	Infrastrukturforvalter
Jernbanetilsynet eller Tilsynet	Statens jernbanetilsyn
DBE	Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern
VTG	Vereinigte Tanklager und Transportmittel GmbH, Hamburg, Tyskland
Borealis	Svensk selskap delvis eiet av Statoil
Politiet	Romerike politidistrikt
LRS	Lokal redningsledersentral som opprettes ved større ulykker under ledelse av politimesteren
SKL-KO	Kommandoplass for skadestedsleder
Gasakuten	Beredskapsgruppe sammensatt av aktører i den svenske LPG-bransjen (Liquefied Petroleum Gas)
DnV	Det norske Veritas
SJ	Statens Järnvägar, Sverige
Tog 5713	Godstoget som ble påkjørt
Tog 5781	Påkjørende godstog
Vogn nr. 1	Første vogn i godstog 5781
Vogn nr. 2	Andre vogn i godstog 5781
Godsvognopptak	Skjema som bl.a. angir togets lengde og vekt
Mannlokk	Lokket på inspeksjonsåpningen (mannhullet) på en lukket tank
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion eller ildkule

Kapittel 1
Ulykken

Natt til onsdag 5. april 2000 kl. 00.38 forlot godstog 5781 Alnabru på vei til Mosjøen. Det var ca. to timer forsinket på grunn av stort snøfall. Lokomotivet var av typen El 16. Godsvognopptaket som lå i lokomotivet anga bl.a. togets vekt, lengde, bremseprosent og at det fraktet komprimert brannfarlig gass.

Etter passering Strømmen stasjon innledet lokomotivfører bremsing. Han registrerte ingen bremsevirkning. Han oppfattet like etterpå at forsignalet til innkjørsignalet til Lillestrøm var branngult. Det betydde at innkjørsignalet var rødt. Ferdskriveren angir at togets hastighet da det passerte forsignalet var ca. 102 km/t. Høyeste tillatte hastighet for toget var i henhold til godsvognopptaket 90 km/t. ATC-enheten var innstilt på 100 km/t.

Ved Sagdalen blokkpost iverksatte lokomotivfører nødbrems da bremseeffekten han oppnådde var liten. Tog 5713 stod inne på Lillestrøm stasjon og ventet i spor 7. Lokomotivfører i tog 5781 forstod at han ikke ville klare å stoppe i tide, og begynte derfor å signalisere med tyfonen for å varsle om faren.

Hastigheten var ca. 62 km/t i kollisjonsøyeblikket. Ingen av lokomotivførerne eller andre personer ble skadet i kollisjonen.

Kollisjonen førte til en del skader på materiellet, men det vesentlige var at de to gasstankene i tog 5781 ble skadet og propan lekket ut. Etter kort tid ble propangassen antent. Faren for en katastrofe som følge av gassbrannen var overhengende. Situasjonen var kritisk og man var svært nær en BLEVE som ville medført et stort antall omkomne og lagt Lillestrøm i ruiner. Ca. 2000 mennesker ble evakuert innenfor den beregnede faresonen på 1000 meter.

Faren for eksplosjon ble avverget og de evakuerte kunne returnere 9. april 2000.

Kapittel 2
Undersøkelseskommisjonen og dens arbeid

2.1 Opprettelsen og oppnevnelsen av kommisjonen

7. januar 2000 oppnevnte regjeringen en undersøkelseskommisjon etter Åsta-ulykken 4. januar som var uavhengig av Jernbaneverket og NSB BA.

Kommisjonen fikk denne sammensetningen:

1. Lagdommer Vibecke Groth, Borgarting lagmannsrett, leder
2. Sivilingeniør Øystein Skogstad, SINTEF
3. Sivilingeniør Finn Mørch Andersen, Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern
4. Sivilingeniør Ingemar Pålsson, Det norske Veritas, Gøteborg
5. Sosiolog Marika Kolbenstvedt, Transportøkonomisk institutt

Ulykken på Lillestrøm fant sted natt til 5. april 2000. 7. april ble denne Kommisjonen bedt om også å granske Lillestrøm-ulykken. Ved kongelig resolusjon av 14. april 2000 ble Kommisjonens mandat formelt utvidet til også å omfatte togulykken på Lillestrøm stasjon 5. april 2000.

På Kommisjonens anmodning ble Kommisjonen 26. juli 2000 utvidet med ingeniør, Bachelor of Science, Joakim Böcher, Det norske Veritas, Danmark som nytt kommisjonsmedlem.

Kommisjonens sekretær har vært advokatfullmektig Jacob Ferdinand Bull, advokatfirmaet Arntzen, Underland & Co. Fra 15. oktober 2000 har også Jens-Henrik Lien, vitenskapelig assistent ved Nordisk Institutt for Sjørett ved Universitetet i Oslo, vært sekretær.

2.2 Nærmere om undersøkelseskommisjonens medlemmer

Ovenfor, under kap. 2.1, er medlemmene av undersøkelseskommisjonen nevnt. Kommisjonen antar imidlertid at det er hensiktsmessig med en noe nærmere angivelse av det enkelte medlems bakgrunn.

Vibecke Groth
Født 1947
Cand. jur. 1979
Advokatfullmektig, Advokatfirmaet Holst, Simonsen & Musæus 1980–85
Dommerfullmektig 1985–86
Partner i Advokatfirmaet Groth, Gade & Heffermehl 1987–89
Partner i Advokatfirmaet Arntzen, Underland & Co. 1990–97
Lagdommer i Borgarting lagmannsrett siden 1997

Øystein Skogstad
Født 1943
Sivilingeniør Telematikk 1968
Dr. ing. Telematikk 1978
Amanuensis Norges Tekniske Høgskole 1969–72
Forsker/gruppeleder SINTEF ELAB 1972–75
Avdelingsingeniør Televerket 1976–81
Forsker/gruppeleder SINTEF Tele og data 1981–97
Seniorforsker SINTEF Tele og data siden 1997

Finn Mørch Andersen
Født 1950
Sivilingeniør Maskin/skip 1973
Instruktør ved Sjøforsvarets Havari- og ABC-vernskole 1974–75
Sivilingeniør i Det norske Veritas 1975–77
Varabrannsjef i Drammen kommune 1977–78
Brannsjef i Larvik og Omegns Brannvesen 1978–86
Seksjonssjef i Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern (DBE) siden 1986

Ingemar Pålsson
Født 1948
Sivilingeniør Maskin/skip 1975
Surveyor, Bureau Veritas 1975–1979
Pålitelighetsanalytiker ved Analytical Institute for Maritime services 1979–84
Pålitelighetsanalytiker ved Gøtaverken Arendal 1984–86
Teknisk/økonomisk analyse sikkerhetssystem ved Volvo Personvogner 1986–88

Risikoanalytiker ved PRIM konsult/Flygfeltsbyrån 1988–94
Risikoanalytiker ved SSPA Maritime Consulting 1994–99
Risikoanalytiker ved Det norske Veritas, Management Consulting siden 1999

Marika Kolbenstvedt
Født 1942
Ingeniør 1965
Magister sosiologi 1975
Ingeniør Åkerblads arkitektkontor 1966–67
Forsker, gruppeleder og forskningssjef ved Norsk Institutt for by- og regionforskning 1971–81
Kontorsjef Barneombudet 1981–85
Forsker fra 1985 og avdelingsleder ved Transportøkonomisk Institutt siden 1988

Joakim Böcher
Født 1957
Bachelor of Science 1981
Avdelingsleder Danske Statsbaner 1982–97
Leder for Signalavdelingen og Standardiseringsavdelingen, Banestyrelsen 1997–2000
Senioringeniør Det norske Veritas, Danmark siden 2000

Jacob Ferdinand Bull
Født 1972
Cand. jur. 1998
Advokatfullmektig, Advokatfirmaet Arntzen, Underland & Co siden 1999

Jens-Henrik Lien
Født 1976
Stud.jur.
Vitenskapelig assistent ved Nordisk Institutt for Sjørett

2.3 Kommisjonens mandat mv.

Kommisjonens mandat er angitt på følgende måte i foredraget til den kongelige resolusjon av 14. april 2000:

> «Undersøkelseskommisjonen bes foreta de undersøkelser som den finner nødvendig for å bringe på det rene de faktiske omstendigheter omkring ulykken på Lillestrøm stasjon og årsakene til den.»

Mandatet er lite spesifisert og favner således vidt, men det er uttrykkelig nevnt i foredraget at det særlig synes nærliggende å vurdere forutsetningene som er lagt til grunn for transport av farlig gods. Selv om det ikke er spesifikt nevnt i mandatet har Kommisjonen forstått det slik at den også skal fremme forslag til tiltak som kan bidra til å hindre at vi igjen får en situasjon som den på Lillestrøm stasjon. Forslagene er tatt inn underveis i de ulike kapitlene, og inntatt i sin helhet i kap. 10.

Kommisjonen har ikke sett det som sin oppgave å kartlegge faktiske omstendigheter som kan begrunne straffansvar eller annet ansvar i forbindelse med ulykken. I den grad Kommisjonen karakteriserer handlinger eller unnlatelser foretatt av enkeltpersoner eller institusjoner ligger det ikke i dette noen stillingtagen til om strafferettslige eller andre sanksjonsbelagte regler er overtrådt.

2.4 Arbeidet i Kommisjonen

Kommisjonens leder Vibecke Groth, medlemmet Ingemar Pålsson og sekretæren Jacob F. Bull reiste til Lillestrøm 8. april, og deltok i bevisinnhenting og planlegging sammen med politiet, NSB BA og Jernbaneverket.

Kommisjonen har hatt 12 møter med i alt 20 møtedager. Mange møter har imidlertid funnet sted i tilknytning til kommisjonsmøter som også omhandlet Åsta-ulykken. Utover dette har det vært en rekke møter hvor to eller flere av Kommisjonens medlemmer har hatt møte alene, eller har deltatt i møter med andre i forbindelse med bestemte emner som Kommisjonen har ønsket belyst eller i møter med sakkyndige som har arbeidet med ulykken.

Kommisjonen har som nevnt hatt advokatfullmektig Jacob F. Bull som sekretær, mens vitenskapelig assistent Jens-Henrik Lien også har fungert som sekretær siden 15. oktober 2000. Begrensede utredningsopppgaver har vært utført av ham og vitenskapelig assistent Karl Even Rygh ved Nordisk Institutt for Sjørett, Universitet i Oslo.

2.5 Kommisjonens arbeidsmåte

I de fleste tilfeller stopper en ulykkesanalyse ved den direkte årsaken. Ulykker er imidlertid som regel et resultat av flere samvirkende årsaker, herunder direkte og bakenforliggende årsaker.

Dersom man begrenser seg til å forsøke og finne den direkte årsaken til ulykken og baserer tiltak for å hindre gjentakelse på dette, vil man etter Kommisjonens oppfatning bare påvirke symptomene på dypereliggende feil. Om hensikten er å hindre tilsvarende ulykker i fremtiden må man gå lenger ved også å avdekke de bakenforliggende

årsakene. Det krever en systematisk angrepsvinkel.

Kommisjonen har hatt som mål å avdekke de forhold som kan ha vært av betydning for at kollisjonen kunne finne sted og at gasslekkasjene som skapte den dramatiske situasjonen oppstod. Under undersøkelsene har Kommisjonen arbeidet i fem trinn for å avdekke både direkte og bakenforliggende årsaker.

Trinn 1 var grunnleggende og tok utgangspunkt i en tredelt kartlegging av hendelsesforløpet fra bremsesvikten i tog 5781 forelå til kollisjonen, gasslekkasjene og brannen oppstod.

Undersøkelsene startet med en kartlegging av kjøringen og stoppet til det påkjørte tog 5713 som stod med de bakerste vognene ut i hovedsporet. Når det gjelder tog 5781 ble fremføringen først frem til fallet ned mot Lillestrøm stasjon kartlagt. Deretter ble situasjonen fra toget ikke greide å stanse vurdert. Denne ledet til feilaktig passering av innkjørsignalet og at kollisjon med tog 5713 inntraff. Siste del omfattet opplysninger om selve kollisjonen, gasslekkasjene som oppstod fra de to gasstankvognene og den etterfølgende brannen.

Trinn 2 gikk ut på å finne den eller de direkte årsakene til at bremsesvikten oppstod. I denne forbindelse måtte alle muligheter for feil gjennomgås. Dette omfattet mulige feil ved materiell, infrastruktur og personell som kunne ha vært direkte årsaker til at tog 5781 ikke var i stand til å bremse i tide.

I *trinn 3* ble det søkt svar på hvordan eller hvorfor bremsesvikten fikk føre til kollisjonen uten at den ble avhjulpet, hvorfor gasslekkasjene oppstod og hvor nær man var en BLEVE.

Trinn 4 omfattet en gjennomgang av regler og forutsetninger, herunder sikkerhetsstyringen vedrørende transport av farlig gods på jernbanen, i den hensikt å avdekke forhold som kan ha vært av betydning for at ulykken inntraff. Videre ble regler og rutiner for transport av farlig gods på jernbanen gjennomgått for å undersøke om disse var tilstrekkelige til å forebygge denne typen hendelser.

Trinn 5 gikk ut på å komme med anbefalinger til tiltak som kunne redusere risikoen for lignende ulykker i fremtiden, basert på de undersøkelser og funn som var gjort i trinn 2, 3 og 4.

Ovennevnte arbeidsmåte ble benyttet som utgangspunkt for hvilket materiale som ble innhentet, hvilke undersøkelser Kommisjonen fikk foretatt, hvilke vitner som ble avhørt og hvilke prioriteringer som ble gjort under arbeidet.

2.6 Oppnevnelse av sakkyndige mv.

I henhold til mandatet skulle Kommisjonen foreta de undersøkelser den fant nødvendig for å bringe på det rene de faktiske omstendigheter omkring ulykken og årsakene til den. Kommisjonen har samarbeidet nært med Romerike politidistrikt om hvilke undersøkelser som burde foretas, slik at dobbeltarbeid kunne unngås.

Både politiet og Kommisjonen var av den oppfatning at det burde foretas en materialteknisk undersøkelse av propantankene for å se på deres tekniske tilstand og om de oppfylte gjeldende krav til teknisk standard og regelverk for transport av propangass. DnV ble oppnevnt som sakkyndig for å foreta denne undersøkelsen. De sakkyndige avga sin rapport 24. juli 2000. Rapporten er inntatt som vedlegg 6.

Videre ønsket Kommisjonen en undersøkelse av vedlikeholdet av bremsesystemene på godstog generelt, utfra krav, rutiner, praksis mv. og i tillegg en undersøkelse av tilstanden i tog 5781 før avgang Alnabru ulykkesdagen. DnV fikk også oppdraget med å foreta denne undersøkelsen. Den sakkyndige avga sin rapport 9. januar 2001. Rapporten er inntatt som vedlegg 3.

I tillegg til DnVs bremseundersøkelse har NSB BAs bremsekontor gjennomført undersøkelser for å finne årsaken til bremsesvikten i tog 5781. Disse undersøkelsene har skjedd i forståelse med og under oppsyn av Kommisjonen og politiet. I tillegg har Kommisjonen engasjert sivilingeniør og tidligere bremsesjef i SJ Sven A. Eriksson, nå ansatt i Green Cargo AB (tidligere SJ Gods) til å verifisere NSB BAs undersøkelser. Han har også foretatt egne beregninger. Erikssons rapport er inntatt som vedlegg 5.

Videre er det foretatt lekkasjeevaluering av de skadede gasstankene, lekkasjetester for å bestemme lekkasjene og konsekvensanalyser. Disse undersøkelsene har Kommisjonen vært med på å beslutte omfanget av og rapportene er stilt til Kommisjonens rådighet. Rapporten fra ComputIT er inntatt som vedlegg 7.

Fordi kommisjonsmedlem Finn Mørch Andersen er ansatt ved DBE, har Kommisjonen innhentet uttalelse fra professor Göran Holmstedt ved Lunds Tekniska Högskola, Sverige som har vurdert DBEs rolle i forbindelse med redningsarbeidet. Holmstedts rapport er inntatt som vedlegg 2.

2.7 Bevisinnsamling mv.

Undersøkelseskommisjonen ble oppnevnt ved kongelig resolusjon fordi det for jernbaneulykker ikke foreligger lovregulerte kommisjonsordninger. I Kommisjonens opprinnelige oppnevnelse er det vist til Justis- og politidepartementets rundskriv G-4875 Regler for granskningskommisjoner. I rundskrivets kap. 1 er det angitt at dette er å anse som en veiledning om de saksbehandlingsregler som må eller bør følges av Kommisjonen. Kommisjonen har betraktet seg som et forvaltningsorgan og har fulgt reglene for slike så langt de har passet.

Fordi Kommisjonen fikk et så godt samarbeid med politiet var det ikke nødvendig for Kommisjonen selv å gjennomføre avhør av vitner bortsett fra personer som stod helt sentralt i forhold til ulykken. Dette sparte Kommisjonen for mye arbeid og det gjorde at de fleste vitnene slapp å bli innkalt til avhør flere ganger. Kommisjonen avhørte fire vitner i Oslo 18. desember 2000. Vitneliste er inntatt som vedlegg 1.

Kommisjonens forhandlinger er ikke offentlige med mindre Kommisjonen selv finner grunn til det. Kommisjonen fant etter nøye overveielser at avhørene av vitner i størst mulig grad burde være åpne for offentligheten, slik dette også ble gjort i forbindelse med undersøkelsesarbeidet etter Åsta-ulykken. Årsaken til dette var at ulykken på Lillestrøm også må antas å ha stor offentlig interesse. Kommisjonen valgte imidlertid å lukke dørene for ett av avhørene, fordi vitnet ellers nektet å møte. For å unngå en alvorlig forsinkelse i Kommisjonens arbeid, valgte Kommisjonen å imøtekomme vitnets ønske. Kommisjonen besluttet fotografiforbud inne i salen etter at vitnene hadde kommet inn og til de var ute igjen.

Avhørene ble i sin helhet tatt opp på lydbånd som ble skrevet ut. Det ble laget referat av avhøret som ble sendt vitnet til vedtagelse. Referatene ble i sin helhet besluttet underlagt offentlighet.

Kommisjonen har mottatt viktig bevismateriale og annet vesentlig materiale fra politiet, NSB BA, Jernbaneverket, Jernbanetilsynet, DBE, VTG og Statoil. Kommisjonen møtte stor samarbeidsvilje hos alle disse.

2.8 Kontradiksjon

NSB BA, Jernbaneverket, Jernbanetilsynet, Statoil og VTG ble før Kommisjonens vitneavhør oversendt liste over de vitner som ville bli innkalt med angivelse av tid og sted. Det ble gjort oppmerksom på at de berørte parter kunne stille spørsmål til vitnene. De fire vitnene ble på forhånd gjort oppmerksomme på at de kunne la seg bistå av advokat under høringene. Alle høringer har vært åpne for de berørte parter med samtykke fra det vitnet som ble avhørt for lukkede dører.

NSB BA er tilsendt et utkast av rapportens kapittel 5. Lokomotivfører Ragnar Jensen ble under avhør med Kommisjonen 18. desember 2000 konfrontert med resultatene av de undersøkelser Kommisjonen har lagt til grunn vedrørende bremsesvikten til tog 5781. Han ble i tillegg meddelt Kommisjonens hovedkonklusjon noe før offentliggjøring av rapporten.

2.9 Brukerveiledning og leserguide

Rapporten er delt i 10 kapitler. I tillegg kommer et sammendrag med engelsk oversettelse. Kommisjonen har lagt vekt på en framstilling uten altfor mange tekniske detaljer. Kommisjonen har valgt å innta som vedlegg rapporter fra de tekniske undersøkelser Kommisjonen alene eller i samarbeid med andre har fått utført av sakkyndige som vedlegg. I tillegg er sammendraget til NSB BAs bremserapport inntatt.

I *kapittel 1* gis en kort beskrivelse av ulykken som inntraff på Lillestrøm stasjon natt til 5. april 2000.

I *kapittel 2* gjøres det rede for Kommisjonen og dens arbeid.

I *kapittel 3* gis den faktiske beskrivelse av hendelsesforløpet frem til 9. april 2000. Her beskrives ulykken og redningsarbeidet. Dette hendelsesforløpet har Kommisjonen lagt til grunn i den videre fremstilling.

I *kapittel 4* beskrives kort infrastrukturen på strekningen Alnabru – Lillestrøm, herunder strekningens standard, tillatt hastighet, stigning og fall samt sikringsanlegg. Videre beskrives togradiosystemet som skal sikre kommunikasjon mellom togene og togledersentralen.

I *kapittel 5* gis først en innføring i bremsesystemet til det toget som forårsaket ulykken og hvordan et togs bremseevne beregnes. Deretter beskrives undersøkelser av togets bremseevne, kjøremønster og bruk av bremsene før ulykken inntraff. Videre behandler kapitlet opplæring av lokomotivførere for så vidt gjelder bremser, samt regler og rutiner for forhold av betydning for et togs bremseevne, herunder vedlikeholdsrutiner og bremseprøver.

Det gjøres også rede for de bremsetekniske undersøkelser og prøvekjøringer som er gjennomført av sakkyndige. DnVs rapport «Bremser i gods-

Figur 2.1 Rapportens oppbygning

tog – spesifikasjoner, bruk og vedlikehold», et sammendrag av resultater fra NSB BAs bremseundersøkelser og Sven A. Erikssons verifikasjon av disse, er inntatt som henholdsvis vedlegg 3, 4 og 5 til Kommisjonens rapport.

I *kapittel 6* beskrives konstruksjon og vedlikehold av de to gasstankene som var involvert i ulykken. Det gjøres rede for de materialtekniske undersøkelser DnV har gjennomført på oppdrag for Kommisjonen. Materiellets kollisjons- og brannsikkerhet, samt risikoen for brudd på tankmaterialet under brannen vurderes. DnV s rapport er inntatt som vedlegg 6 til Kommisjonens rapport.

I *kapittel 7* gjøres det rede for regelverket for transport av farlig gods på jernbanen i Norge. Det fokuseres på krav til gasstankers utforming og plassering i togsettet, samt krav som eventuelt bør stilles til transport av farlig gods gjennom tettbygde strøk. Det gis også en kort beskrivelse av sikkerhetsstyring og internkontroll i NSB BAs godsenhet, NSB Gods.

Kapittel 8 inneholder Kommisjonens analyse. Kommisjonen har delt fremstillingen i to; kollisjonen og de påfølgende gasslekkasjene. Først analyseres de mulige direkte årsaker til at kollisjonen inntraff. Kommisjonen gjør dernest rede for de bakenforliggende årsaker som var medvirkende til at kollisjonen skjedde. Deretter analyseres årsakene til gasslekkasjene i tankene.

I *kapittel 9* analyseres brannsituasjonen og redningsaksjonen. Det gjøres rede for skadepotensialet ved en BLEVE, hvilken fare en stod overfor ved ulykken på Lillestrøm og hvordan dette ble håndtert av redningstjenesten. ComputITs brannanalyse med modellberegninger og simuleringer er inntatt som vedlegg 7 til Kommisjonens rapport.

I *kapittel 10* er de forslag til tiltak som Kommisjonen mener kan forhindre en lignende ulykke i fremtiden samlet. Enkelte av disse anbefalingene er også presentert underveis i rapporten.

Kapittel 11 er et sammendrag av Kommisjonens rapport og i *kapittel 12* er sammendraget oversatt til engelsk.

Det gjøres oppmerksom på at det i rapporten er en del gjentakelser. Dette er gjort for at det skal være mulig å lese deler av rapporten enkeltvis. Det er videre underveis i rapporten bevisst gitt vurderinger av enkelte forhold i tilknytning til de kapitler hvor de naturlig hører hjemme. Kommisjonen har valgt å gjøre det slik for at den oppsummerende analysen av årsaksforholdene som er foretatt i kapittel 8 skal bli mest mulig poengtert.

Kapittel 3
Hendelsesforløpet

3.1 Tog 5713 (det påkjørte tog)

Tog 5713 var et godstog som skulle fra Alnabru til Trondheim. Toget skulle etter ruteplanen ha forlatt Alnabru 4. april 2000 kl. 22.05, men var forsinket på grunn av snøfall og gikk derfor nordover kl. 00.30, nesten to og en halv time forsinket.

Toget bestod av 22 godsvogner og et lokomotiv av type El 14 som trafikkerer elektrifiserte banestrekninger. Toget hadde i følge godsvognopptaket en samlet vekt på 800 tonn, hvorav lokomotivet veide 105 tonn, og en samlet lengde på ca. 417 meter. Dette er å anse som et relativt langt godstog. Godsvognopptaket inneholder data om togets lengde, antall aksler, bruttovekt samt bremseprosent, bremsegruppe og høyeste tillatte hastighet.

Togets 22 vogner ankom Alnabru i forskjellige tog og til ulike tidspunkter, og ble her sammenskiftet til tog 5713. De to forreste vognene i toget, vogn 1 og 2, samt de tre bakerste vognene, vogn 20, 21 og 22, transporterte biler. De øvrige vognene transporterte ulike typer gods eller var tomme.

Lokomotivfører på tog 5713 ulykkesnatten var Ansgar Hernes. Hernes kom 4. april på arbeid kl. 19.10 på Loenga i Oslo. Han løste av tog 4912 som skulle til Alnabru. Fra Alnabru skulle han kjøre tog 5713. Toget hadde Trondheim som bestemmelsessted, men Hernes skulle etter planen avløses på Dombås stasjon.

Fra Alnabru kjørte Hernes i normal hastighet mot Lillestrøm. På grunn av arbeid i sporet på Lørenskog stasjon, passerte han stasjonen i avvikssporet. Han har forklart at han foretok en prøvebremsing her og kjente at bremsene tok. Han forklarte videre at han holdt en hastighet på 50–60 km/t fra Lørenskog til Lillestrøm. Denne hastigheten pleier han alltid å holde, fordi vognene ellers vil presse på bakfra i fallet ned mot Lillestrøm. Toget ankom Lillestrøm stasjon 25 minutter etter avgang fra Alnabru. Togvei var lagt for tog 5713 til spor 7. Han fikk således grønt innkjørsignal til spor 7, men rødt i utkjørsignalet på grunn av kryssing med tog fra nord. Hernes kjørte toget frem til stoppsignalet i nordenden av spor 7, og stanset ved dette.

På grunn av togets lengde ble de bakerste vognene i tog 5713 stående ut i sporveksel 40 og 19, se fig. 3.2. Dette innebar at sporene 8 til 11 ble blokkert, og gjorde det umulig å stille togvei til disse.

3.2 Tog 5781 (det påkjørende tog)

Tog 5781 var et godstog som skulle gå fra Alnabru til Mosjøen. Toget skulle etter ruteplanen hatt avgang fra Alnabru 4. april 2000 kl. 22.34, men også dette toget var forsinket på grunn av snøfallet. Det forlot Alnabru først kl. 00.38, to timer forsinket.

Tog 5781 bestod av ni godsvogner og et lokomotiv av typen El 16 som trafikkerer elektrifiserte banestrekninger. Toget hadde i følge godsvognopptaket en samlet vekt på 612 tonn, hvorav lokomotivet veide 80 tonn, og en samlet lengde på 177 meter. Toget var forholdsvis tungt sett i forhold til denne lengden. Togets høyeste tillatte hastighet var ifølge godsvognopptaket 90 km/t.

Lokomotivet med nr. 2215 hadde nettopp gjennomgått den nest mest omfattende terminkontrollen (T-4) NSB BA har for sine lokomotiver. Ved alle revisjonene gjøres en fullstendig bremserevisjon som blant annet omfatter gjennomgang og kontroll av bremseutstyr.

Vognene i toget ankom Alnabru i forskjellige tog og til ulike tidspunkt, og de ni vognene ble sammenskiftet på Alnabru 3. og 4. april. Vogn 1 og 2 som gikk nærmest lokomotivet var tankvogner fra det tyske selskapet VTG. De var hver lastet med ca. 46 tonn kondensert propan 95, klassifisert som farlig gods med farenummer 23. Disse var under transport for Statoil Sverige fra Stenungsund i Sverige til Mosjøen.

Vogn 3 var en dekket godsvogn lastet med mørtel. Vogn 4 fraktet to 20 fots containere lastet med plastpellets. Vogn 5 og 6 var tomme åpne flakvogner. De tre bakerste vognene, vogn 7, 8 og 9, var åpne vogner med faste sideplater lastet med skrapjern.

Når tog sammenskiftes er det togets sammenskiftingsplan som avgjør plasseringen av vognene. Vognene i togsettet skal normalt transporteres til

Figur 3.1 Oversikt over strekningen Oslo - Lillestrøm med stasjoner og holdeplasser

Kilde: Kartgrunnlag fra Jernbaneverket

Figur 3.2 Belegg av sporfelt på Lillestrøm stasjon 5. april 2000. Rødt belegg i sporfelt 7 indikerer at tog 5713 står med de bakerste vognene ut i veksel 40 og 19. Veksel 13 er fri og rødt belegg til venstre for veksel 13 viser at tog 5781 er på vei inn på stasjonen

Kilde: Jernbaneverket

```
906  04.04.00 - 23.05                                        STILLVERK NORD
                                NSB-TSA
                          GODSVOGNOPPTAK TOGFØRER

ogenr.: 5781        Dato: 04/04/00        Fra stasjon: ALNABR        Spor:  R:17

                Nummer          Best.            Trekk-
                                st.              kraft
ogslok.      162215             TRONDH           100
orsp.lok                                           0
jelpelok                                           0

ø.                      Send.  Best.   Bru  Bre  Aks
r. Vognnummer     S     stasj. stasj.  tto  ms   ler P/G/A Sth. Merknad

1  338079124941  L      KOGR   MOS.HØE  77   54   4    P    90
2  338079120550  L      KOGR   MOS.HØE  77   54   4    P    90
3  217623761251  L      BORGES FAUSKE   40   32   2    P    90
4  317639212545  L      OSLO S MO I R   78   64   4    P    90
5  217637012105  T      ALNABR MO I R   13   13   2    P   100  "K"
6  217637013380  T      ALNABR MO I R   13   13   2    P   100  "K"
7  827659270082  L      GREFSE MO I R   78   64   4    P    90
8  827659270264  L      GREFSE MO I R   78   64   4    P    90
9  827659270157  L      BRUMUN MO I R   78   64   4    P    90


ø.                Stoff- Fare-
r. Vognnummer     nummer klas.Sifter Fareklassebeskrivelse

1  338079124941 1965 2              GASSER,KOMPRIMERT,FLYTENDE EV.OPPLØST UNDER
2  338079120550 1965 2              GASSER,KOMPRIMERT,FLYTENDE EV.OPPLØST UNDER


astighet for vogn med løpenr.  1 er satt ned pga. aksellast
astighet for vogn med løpenr.  2 er satt ned pga. aksellast
astighet for vogn med løpenr.  3 er satt ned pga. aksellast
astighet for vogn med løpenr.  4 er satt ned pga. aksellast
astighet for vogn med løpenr.  7 er satt ned pga. aksellast
astighet for vogn med løpenr.  8 er satt ned pga. aksellast
astighet for vogn med løpenr.  9 er satt ned pga. aksellast


OTALT FOR TOGET                 KVITTERINGSDEL
-------------------------------  ----------------------------------------
engde (m)          :  184        Sluttsignal påsatt (kryss av)    :  X
ntall aksler       :   30
rutto vekt (T)     :  532        Kontroll av sammenskifting (sign):DELDEKK
remset vekt (T)    :  422
remseprosent       :   77        Dremseprøve (sign) : K. Damstuen
remsegruppe        :    P
                                 Konferanse TXP/LOKFØRER (sign): _____
ørste hastighet:    90


ØLGENDE TELEGRAM SKAL SKRIVES UT:  2
```

Figur 3.3 Godsvognopptak for tog 5781

Kilde: Romerike politidistrikt

Figur 3.4 Merking på vogn 2 i tog 5781

Kilde: Romerike politidistrikt

ulike bestemmelsessteder. Vognene plasseres slik i togsettet at skiftingen av vogner på de ulike bestemmelsesstedene blir enklest mulig. Blant annet legges det vekt på om det er togets lokomotiv eller egne skiftelokomotiv som skal stå for skiftingen på de enkelte bestemmelsesstedene. Sammenskiftingsplanen tar ikke hensyn til eventuelt farlig gods ved plasseringen av vognene. Det er således tilfeldig hvor i togsettet vogner med farlig gods plasseres.

3.2.1 Spesielt om brannfarlig last

I følge lasteseddelen, utstedt i forbindelse med fyllingen av tankene i Stenungsund, inneholdt vogn 1 og 2 henholdsvis 46360 og 46560 kg propan. Propanen var tilsatt 12 ppm. (parts per million) eller 1,115 kg merkaptan. Dette er et luktstoff som tilsettes propan som i seg selv er uten lukt, for at en eventuell gasslekkasje lett skal kunne oppdages.

Kvaliteten på den propan som leveres fra Borealis' anlegg i Stenungsund er Propan 95. I dette tilfellet var propaninnholdet i følge Statoil 98,5 %. Resten var i hovedsak butan og etan. Borealis er et selskap delvis eiet av Statoil som disponerer Skandinavias største fjellagringshall for propan.

Tankvognene var merket med oransje skilt på hver side med sifrene 23 øverst og 1965 nederst, se fig. 3.4. Denne type merking er påbudt i RID, et internasjonalt regelverk for frakt av farlig gods på jernbane, se kap. 7.1. Det øverste sifferet angir farenummeret. 23 betyr at det er en komprimert brannfarlig gass. Det nederste tallet angir stoffnummeret, og 1965 angir at det er en blanding av propan og butan.

3.2.2 Lokomotivfører

Lokomotivfører på tog 5781 ulykkesnatten var Ragnar Jensen. Han var på ulykkestidspunktet 51 år gammel. Han har arbeidet i NSB siden 1977 og som lokomotivfører siden 1981. Jensen har trafikkert strekningen Alnabru – Lillestrøm i 24 år, og har følgelig kjørt denne et stort antall ganger. Han tilhører lokførerenheten på Hamar. Som lokomotivfører kjører man persontog og godstog om hverandre.

Som alle lokomotivførere har Jensen avlagt skriftlig prøve i sikkerhetstjeneste hvert tredje år. Jensen har ingen anmerkninger i sin personalmappe i NSB BA.

Tirsdag 4. april kom Jensen på jobb kl. 14.55 på Hamar. Han hadde da hatt fri siden onsdag 29. mars. Jensen forklarte at han følte seg i god form da han kom på jobb. På Hamar overtok han et godstog som skulle til Oslo. Jensen kjørte godstoget til Alnabru hvor vognene ble frakoblet, og tok deretter lokomotivet til Grorud. Han var ferdig ca. kl. 18.00.

Figur 3.5 GPR-kran på lokomotiv El 16 nr. 2215 i G-stilling ved Kommisjonens og politiets inspeksjon etter ulykken

Kilde: Romerike politidistrikt

3.2.3 Lokomotivet tas ut

Da Jensen kom tilbake til Grorud etter en tur til Oslo S, ble han tildelt lokomotiv nr. 2215 av typen El 16 som stod i servicehallen på Grorud. I førerrommet viste et oppslag at den elektriske motstandsbremsen var utkoblet. Togfremføring med denne bremsen utkoblet er ikke forbudt og har ingen betydning for togets bremseevne. Motstandsbremsen er ingen stoppbrems, jf. pkt. 5.1.1.

Da han ved uttak av lokomotivet foretok kontroll av dette fulgte han ikke den sjekklisten som er utarbeidet for formålet. Jensen mente han likevel hadde kontrollert de forhold som er oppført på listen.

Jensen har forklart at den såkalte GPR-kranen stod i G-stilling, jf. fig. 3.5, og at han lot denne bli stående i denne stillingen, hvilket er i samsvar med Jernbaneverkets trafikksikkerhetsbestemmelser. GPR-kranen eller bremsegruppestilleren har tre ulike stillinger som regulerer bremsenes tilsettingstid. Med tilsettingstid menes tiden fra bremsene aktiveres til bremseklossene gir effekt. Stilling G for godstog innebærer en noe lengre tilsettingstid for lokomotivets bremser sammenlignet med P-stilling. Dette begrunnes med at en lengre tilsettingstid gir jevnere bremsing i hele toget, særlig for lange godstog. Stilling R står for rapid, og benyttes for tog med tillatt hastighet over 100 km/t. Jensen har forklart at han nærmest alltid fremfører også lange godstog i P-stilling, og at han denne dagen fremførte toget i G-stilling fordi GPR-kranen stod i G da han tok ut lokomotivet. Se nærmere om bremsegrupper og tilsettingstid i pkt. 5.1.3.

I maskinrommet skrudde Jensen på ATC-systemet for å kontrollere at dette virket. ATC er et automatisk togstoppsystem som aktiverer togets bremser ved passering av rødt eller slukket signal. I tillegg vil togets bremser aktiveres ved overskridelse av den hastighet som lokomotivfører stiller inn på ATC-panelet, se fig. 3.7. Panelet på førerplassen viste at ATCen fungerte. Han kontrollerte også SIFAen (førerovervákningssystemet) med den såkalte dødmannsknappen.

Statisk bremseprøve på lokomotivet ble deretter foretatt. Denne prøven omfatter lokomotivets direktebrems og den automatisk virkende førerbremseventilen som virker på hele toget. Jensen har forklart at han fant systemet litt tregt, men at det likevel fungerte tilfredsstillende.

Etter ferdig utsjekking av lokomotivet kjørte Jensen fra Grorud til Alnabru hvor togstammen stod i spor 17. På Alnabru ble lokomotivet koblet sammen med de ni vognene.

Figur 3.6 Førerrommet i lokomotiv El 16 nr. 2215

Kilde: Romerike politidistrikt

3.2.4 Bremseprøve

Før tog 5781 forlot Alnabru ble fullstendig bremseprøve for hele toget gjennomført av lokomotivfører Jensen og skiftekonduktør Knut Damstuen. Tetthetsprøve inngår i henhold til NSB BAs interne regelverk for godstog, G-60, i den fullstendige bremseprøven. Denne ble ikke foretatt på forskriftsmessig måte fordi Jensen målte lekkasjeomfanget i 20 sekunder, i stedet for i ett minutt.

Damstuen har forklart at han via skifteradioen ba personellet på stillverket om å ringe til lokomotivføreren på tog 5781 og be ham tilsette bremsene når hovedledningen hadde fullt trykk, det vil si 5 bar. Skiftekonduktøren så og hørte at bremsene ble tilsatt. Han kontrollerte at bremsene var tilsatt på alle hjulganger, og kontrollerte fjærklaring, lasteveksler, omstillingshåndtak og bremseklosser. Kontrollen ble utført ved at Damstuen ved hjelp av en visitørhammer slo på alle bremseklossene i toget. Kontrollen viste at bremsene var tilsatt for hele toget. Det at bremsene var tilsatt også på bakerste vogn betyr at det på dette tidspunkt var luft i hovedledningen gjennom hele togsettet. Bremseprøven sier imidlertid ingen ting om togets faktiske bremseevne.

Etter at alle bremseklossene var kontrollert kom skiftekonduktøren frem til lokomotivet og ba lokomotivfører om å løse bremsene. Skiftekonduktøren kvitterte på godsvognopptaket og ga det til lokomotivføreren. Deretter kontrollerte han at bremsene var løst ved å slå på bremseklossene med visitørhammeren. Da Damstuen hadde kontrollert dette meldte han til togekspeditør at bremsene på tog 5781 var kontrollert og funnet i orden. Togekspeditør meldte da til togleder at toget var klart.

Figur 3.7 ATC-panelet i førerrommet på lokomotivet i tog 5781. Innstillingen betyr fra venstre: 10 angir maksimal hastighet til 100 km/t, 2 betyr at en toglengde på 200 m, 06 betyr 6 sekunders bremsetilsettingstid og 060 betyr 0,60 m/s2 maksimal retardasjon

Kilde: Romerike politidistrikt

3.2.5 ATC-innstilling

Da bremseprøven var gjennomført skrudde Jensen på ATC-systemet, og la inn de data som fremgikk av godsvognopptaket. Dataene må til dels oversettes i henhold til tabeller som finnes oppslått i lokomotivet. I følge godsvognopptaket var togets bremseprosent 77, maksimal hastighet 90 km/t, lengde 177 meter og bremsegruppe P for alle vognene skulle benyttes. På bakgrunn av denne informasjonen ble lokomotivets ATC-panel innstilt med 100 km/t som maksimal hastighet, en toglengde på 200 meter, 6 sekunders bremsetilsettingstid og 0,60 m/s^2 som maksimal retardasjon, se fig. 3.7.

Til tross for at godsvognopptaket for tog 5781 oppga en maksimal hastighet på 90 km/t, stilte Jensen inn 100 km/t i ATC-panelet, noe som er i strid med gjeldende instruks. Jensen har forklart at dette ble gjort for å gi større fleksibilitet i kjøringen og for å kompensere for avvik i hastighetsmåleren i ATC-systemet. Dessuten har han overfor Kommisjonen forklart at beregningene for tillatt maksimalhastighet ofte er gjort på et lite relevant grunnlag, slik at høyere hastighet kan anvendes.

3.2.6 Kjøringen frem til Strømmen

Tog 5781 måtte før avgang fra Alnabru vente på tog 5713 som togekspeditør ville ha av gårde først. Jensen har forklart at det tok ca. 18 minutter fra fullført bremseprøve til tog 5713 forlot Alnabru. Han har forklart at det gikk ytterligere fire-fem minutter før tog 5781 fikk klarsignal. Mens han ventet hørte han på radio og leste idrettsblader. Etter å ha fått klarsignal kjørte Jensen frem til utkjørsignalet for strekningen Oslo – Lillestrøm. Han passerte forsignalet til utkjørsignalet som indikerte stopp, saknet farten uten å aktivere bremsene og fikk klarsignal i utkjørsignal slik at han kunne kjøre rett ut i hovedsporet.

For å få føling med togets bremser, skulle Jensen i henhold til instruks ha foretatt prøvebremsing etter avgang fra Alnabru. Slik prøvebremsing skal også gjennomføres før kjøring utover lengre fall. Fallet ned mot Lillestrøm stasjon er på 17 ‰, noe som i jernbanesammenheng anses som betydelig. Jensen foretok ingen prøvebremsing etter avgang fra Alnabru, hverken som følge av at toget hadde en helt ny sammensetning eller før fallet

mot Lillestrøm. Jensen hevdet overfor Kommisjonen at den beskjedne hastigheten han hadde, fordi tog 5713 lå like foran, forhindret en reell prøvebremsing. Dessuten kunne han risikert å få stopp på toget og dermed problemer med å få toget i gang igjen. I tillegg var det på Lørenskog stasjon, hvor han normalt foretar prøvebremsing, vedlikeholdsarbeid og redusert hastighet. Han forklarte at dette var årsakene til at han lot være å foreta prøvebremsing. Lokomotivfører Hernes i tog 5713 har forklart at han prøvebremset ved Lørenskog selvom hastigheten var lav, for å forsikre seg om at bremsene tok. Etter Kommisjonens mening kunne Jensen i tillegg ha prøvebremset mellom Lørenskog og Strømmen, jf. pkt. 5.6.1.

På grunn av vedlikeholdsarbeidet på Lørenskog stasjon ble togtrafikken ledet forbi stasjonen i det sydgående sporet. Tog 5781 måtte derfor kjøre over i motgående spor. Dette ble signalisert til Jensen i forsignal innkjør til stasjonen. Jensen har forklart at han holdt lav hastighet og at det var en motbakke like før Lørenskog stasjon. Han trengte derfor ikke å bruke bremsene for å få toget ned i hastighet, men hevdet i avhør med Kommisjonen at han nok hadde hatt hånden på førerbremseventilen. Nærmere om betydningen av dette er redegjort for i kap. 8. Da toget kjørte ut fra Lørenskog kjørte det tilbake til det opprinnelige sporet.

På strekningen etter Lørenskog økte lokomotivfører i følge hastighetsrullen hastigheten fra ca. 30 km/t til ca. 95 km/t som han nådde ved innkjøring til Strømmen stasjon, se fig. 5.4. Toget passerte Strømmen i 95 km/t, hvilket er i samsvar med maksimal hastighet på strekningen. Dette var imidlertid 5 km/t over togets tillatte hastighet. Hastighetsmåleren som lokomotivfører forholder seg til viste imidlertid 91 km/t. Undersøkelser foretatt etter ulykken har vist at faktisk hastighet var 2 km/t høyere på grunn av for lav grunninnstilling av hastighetsmåleren, og at hastigheten i tillegg måtte justeres opp 3 % for avvik i hjuldiameteren.

3.2.7 Hendelser etter passering Strømmen

Jensen har forklart at han begynte å bremse ved Strømmen stasjon. Da toget kom inn i fallet etter Strømmen, omtrent ved broen over jernbanelinjen, merket lokomotivfører at vognene trykket på, og at han fikk en fartsøkning i toget.

Han registrerte ingen bremsevirkning, men trodde dette skyldtes at han kjørte med lokomotivet i G-stilling. På grunn av lang tilsettingstid ved kjøring i denne stillingen kjørte han mellom 100 og 150 meter før han tenkte at det kunne være problemer med bremsene. Jensen har overfor Kommisjonen forklart at han ikke kan huske hvilket hovedledningstrykk manometeret på førerplassen indikerte da han innledet bremsingen.

Han har videre forklart at han registrerte forsignalet ved Sagdalen blokkpost og at dette indikerte stopp i innkjørsignalet til Lillestrøm stasjon. Jensen økte bremsetrykket til fullbrems som er det nest nederste trinnet på førerbremseventilen. Dette ble trolig gjort i forkant av forsignalet. Lokomotivfører følte fortsatt ingen bremsevirkning, og økte derfor trykket til nødbrems som er det nederste hakket på førerbremseventilen. Han følte fortsatt ingen bremsevirkning, og tok derfor hendelen til ladestilling og tilbake til nødbrems et par ganger. Figur 5.3 viser detaljbilder av førerbremseventilen.

Nødbremseventilen ble ikke brukt. Åpning av nødbremseventilen gir en raskere tilsetting av bremsene sammenlignet med førerbremseventilen i nødbremsestilling. I tillegg gir en åpning av nødbremseventilen en direkte påvirkning av systemet uavhengig av førerbremseventilen. Lokomotivets direktebrems ble heller ikke brukt. Denne ville nær fordoblet bremseeffekten på lokomotivet i hastighetsområdet over 55 km/t, se pkt. 5.1.1.

Ved Sagdalen holdeplass begynte Jensen å bruke tyfonen for å varsle om faren. Han varierte støtene for å få eventuelle banearbeidere eller andre vekk fra linjen og stasjonsområdet. Ved passering Sagdalen holdeplass hadde farten avtatt noe, og lokomotivfører forstod at toget hadde noe bremseeffekt. Han forsøkte å få kontakt med togledersentralen på Oslo S ved å trykke på nødanropsknappen på togradioen. Togradioen skal gi mulighet for rask kontakt mellom lokomotivfører og togleder. Han oppnådde kontakt med togleder omtrent ved innkjørsignalet til Lillestrøm stasjon, jf. pkt. 3.3.2. Hastigheten var ifølge ferdskriveren da drøyt 80 km/t. Samtidig oppdaget han tog 5713 foran seg.

Jensen løp bak til maskinrommet og kastet seg ned i gangen med armene over hodet. Han er ikke sikker på om han lå på gulvet da det smalt. I følge lokomotivfører hørtes det ut som om toget kjørte gjennom et stakittgjerde da det traff tog 5713. Det ble deretter helt stille.

Tog 5781 var utstyrt med en ferdsskriver av type Hasler RT 12 hastighetsrull, se fig. 3.8, og Hasler R 12 restveiskive, se fig. 3.9. Hastighetsrullen fra ferdskriveren viser som nevnt at togets hastighet gjennom Strømmen stasjon var ca. 95 km/t. Fra toppen av bakken ned mot Lillestrøm, økte hastigheten i løpet av en periode på 15 til 20 sekunder til 102 km/t omtrent ved Sagdalen blokkpost. Etter Sagdalen blokkpost viser hastighetsrullen at farten

Figur 3.8 Hastighetsrull fra ferdskriveren til tog 5781

Kilde: NSB BA

Figur 3.9 Restveiskive fra tog 5781

Kilde: Romerike politidistrikt

sank langsomt, noe som indikerer en svak retardasjon. I følge ferdskriveren, etter justering av avvik ved hjuldiameter og hastighetsmålerens grunnhastighet, var kollisjonshastigheten til tog 5781 ca. 62 km/t.

Utvidet blodprøve som ble tatt av lokomotivfører Jensen rett etter ulykken viser ingen spor av alkohol eller andre stoffer som kan ha påvirket kjøringen.

3.3 Togledersentralen på Oslo S

Trafikken på strekningen Alnabru – Lillestrøm styres fra togledersentralen på Oslo S. Strekningen er fjernstyrt, og togleder legger togveier utfra den informasjon skjermene på togleders operatørplass viser. Den aktuelle strekningen er utrustet med DATC og togradio. DATC står for Delvis ATC og innebærer at et tog bremses automatisk ved passering av signal i stopp. Togradio skal sikre rask kontakt mellom tog og togleder i nødsituasjoner. Kommunikasjonen knyttet til togfremføringen skjer normalt gjennom de togveier togleder setter. Infrastrukturen er nærmere omtalt i kap. 4.

3.3.1 Togleder da kollisjonen inntraff

Togleder da kollisjonen inntraff var den da 42 år gamle Ivar Brenden. Han har vært ansatt i NSB og senere Jernbaneverket i vel 25 år. De siste 10 årene har han arbeidet som togleder ved togledersentralen på Oslo S. Brenden arbeidet skift med både dag- og nattarbeid. Han begynte 4. april på arbeid kl. 13.40, og hadde denne dagen dobbelvakt på grunn av intern bytting av vakter. Han skulle dermed etter planen gått av vakt først 5. april kl. 06.50. Brenden har forklart at dobbeltvakter ikke er uvanlig. Han skulle som følge av vaktbyttet ha et sammenhengende skift på om lag 17 timer.

På det aktuelle skiftet var det seks togledere og en vaktsjef på vakt. Fra ca. kl. 21.50 var Brenden ansvarlig for all trafikk mellom Bryn og Lillestrøm. Ansvaret omfattet også Lillestrøm stasjon, men ikke Oslo S. Trafikken avtar normalt betydelig utover kvelden, og rundt midnatt er det erfaringsmessig lite trafikk. Tog 5713 og tog 5781 forlot Alnabru like etter hverandre mellom kl. 00.30 og 00.40. Trafikksituasjonen tilsa at begge tog skulle stoppes ved Lillestrøm stasjon på grunn av kryssende tog nordfra.

3.3.2 Oppringning fra tog 5781

Kl. 00.56.40 fikk togleder et nødanrop på togradioen fra lokomotivfører på tog 5781. Togleder har forklart at han på dataskjermen så at toget hadde passert innkjørsignalet til Lillestrøm. Et nødanrop fremkommer på togleders skjerm i form av et lys- og lydsignal. Dette signalet blir stående til anropet er besvart. Et slikt nødanrop kompletteres med en rød markering av toget, informasjon om hvilket hovedsignal toget først vil komme til og tognummeret. I tillegg angis tidspunktet for anropet samt den tid som går før anropet blir besvart. Togleders arbeidsplass med skjermer er vist i fig. 4.1.

Togleder Brenden har forklart at han fikk inn to nødanrop på sin skjerm fra tog 5781. Dette skyldtes at Jensen som nevnt ringte opp to ganger og fordi toget ved innkjørsignalet til Lillestrøm kom inn i et nytt togradioområde. Det tok noe tid før Brenden besvarte anropet, både fordi han satt i telefon med banemannskapene på Lørenskog og fordi det tok tid å klikke seg inn på nødanropslinjen på dataskjermen. I tillegg er responstiden på togradioen lang på grunn av togradioens omstendelige posisjonskontroll.

Kommisjonen har opptak av nødanropet fra lokomotivfører Jensen. Da togleder Brenden ble varslet snakket han som nevnt over med banemannskapet på Lørenskog stasjon. Samtalen forløp som følger:

> Brenden: Kan … jeg må snakke med et tog her jeg som sender nødmelding. Han har kjørt forbi stopp …
> Brenden bryter samtalen og sier «nå smeller det» mens han venter på svar fra tog 5781. Togleder får kontakt med tog 5781:
> Brenden: Togleder ja.
> Jensen: Du, jeg har … jeg får ikke stoppet, det går rett i et tog her.
> Jensen slipper telefonrøret.
> Brenden: Jeg skjønner det …
> Brenden henvendte seg så til de andre på togledersentralen og sa at «nå smeller det oppå Lillestrøm.»

Det tok 14 sekunder fra nødanropet kom til Brenden fikk avsluttet samtalen med mannskapene på Lørenskog stasjon. Videre tok det 12 sekunder å koble opp samtalen. Selve samtalen med Jensen varte i 6 sekunder.

Brenden har overfor Kommisjonen forklart at han ikke ville kutte kjørestrømmen, fordi han var redd for å frata lokomotivfører muligheten til å bruke den elektriske motstandsbremsen. Togleder visste ikke at denne var koblet ut i lokomotiv nr. 2215. Han har også forklart at det med den

Figur 3.10 Kollisjonsstedet

Kilde: Romerike politidistrikt

Figur 3.11 Skader på vogner bakerst i tog 5713

Kilde: Romerike politidistrikt

tiden han hadde til rådighet, ikke var mulig å vurdere konsekvensene av å stille sporveksel 13 slik at tog 5781 kunne ledes inn i spor 6 på Lillestrøm stasjon.

Togleder har til Kommisjonen forklart at han umiddelbart etter nødanropet registrerte at begge godstogene var markert sammenhengende på skjermen, og skjønte da at togene hadde kollidert.

3.4 Værforhold

Værforholdene kan ha betydning for bremsenes funksjon. Meteorologisk institutt registrerer værforholdene på Gardermoen og på Blindern. Temperaturen ble på dagtid 4. april målt til mellom -0,7 og -2,3 °C på Blindern. Mot kvelden ble det noe kjøligere, og temperaturen ved midnatt var -3,1 °C. I timen før kollisjonen, altså mens tog 5781 ventet på Alnabru og under turen mot Lillestrøm, sank temperaturen på Blindern til -3,5 °C. På Gardermoen var det nærmeste registreringstidspunktet til ulykken kl. 02.00, og temperaturen var da -6,4 °C. Også på Gardermoen ble det gradvis ble kjøligere utover kvelden. Vi kan derfor med ganske stor sikkerhet slå fast at temperaturen på ulykkestidspunktet må ha vært et sted mellom -3,5 og -6,4 °C. Se nærmere om betydningen av dette i kap. 8.

På Gardermoen var det en time etter ulykkestidspunktet nordvestlig lett bris 5 m/s, lettskyet pent vær og som nevnt en temperatur på -6,4 °C. Den relative luftfuktigheten var 79 %. Blindern hadde på samme tidspunkt nordlig laber bris 6 m/s, lettskyet pent vær og en temperatur på -3,5 °C. Den relative luftfuktigheten var 67 %.

Det hadde falt betydelige mengder snø de to siste dagene før ulykken. Fra kl. 08.00 3. april til kl. 08.00 4. april ble det målt 28,7 mm nedbør på Gardermoen og 21,8 mm på Blindern. Mellom kl. 08.00 og 20.00 den 4. april falt det 10,2 mm nedbør på Gardermoen og 6,5 mm på Blindern. Deretter falt det ingen nedbør før ulykken. Snødybden økte på grunn av snøfallet med ca. 30 cm på både Gardermoen og Blindern. Ulykkesnatten var det oppholdsvær.

3.5 Kollisjonen

Ved kollisjonen kjørte tog 5781 inn i den bakerste vognen på tog 5713. Denne ble presset fremover langs høyre side av den foranstående biltransportvognen. Lokomotivet og gasstankvognene i tog 5781 sporet av og ble stående i spor 8.

3.5.1 Kollisjonsstedet

Kollisjonen skjedde i sydenden av spor 7 på Lillestrøm stasjon mellom sporvekslene 13 og 19. Veksel 13 ligger ved innkjøringen til spor 6, og veksel 19 ved innkjøringen til spor 7 der det påkjørte tog 5713 stod. Kollisjonsstedet er et typisk stasjonsområde med flere jernbanespor. Området er åpent og oversiktlig, og man hadde adkomstmulighet fra flere sider, se fig. 3.10.

Tankvognene stod omtrent midt mellom Lillestrøm stasjon og Rælingsbroen, ca. 150 meter fra stasjonsbygningen. På vestsiden av kollisjonsstedet ligger Lillestrøm sentrum. Avstanden fra tankene til den nærmeste sentrumsbebyggelsen var omtrent 200 meter, se fig. 3.17.

3.5.2 Kollisjonstidspunktet

Lydloggen på togledersentralen er utstyrt med en klokke som registrerer tidspunktet for alle samtaler. Denne klokken var kollisjonsdagen fortsatt innstilt på vintertid. I tillegg var klokken ikke synkronisert med det betjeningssystemet man har på togledersentralen, hvor klokken kontinuerlig oppdateres mot eksakt tid gjennom en kalibrert klokke i Tyskland.

Etter de undersøkelser Kommisjonen har foretatt gikk lydloggens klokke på kollisjonstidspunktet en time og 14 sekunder for sakte. Oppringningen fra lokomotivfører fant i følge lydloggen sted kl. 23.56.40, og varte i seks sekunder før lokomotivfører slapp røret og løp bakover i lokomotivet. Riktig tid var da 00.57.00. Kollisjonen hadde ennå ikke funnet sted.

Kl. 00.57.11 ble det i følge logg ved Elkraftsentralen til NSB BA registrert at strømmen til Lillestrøm 3 falt ut. Lillestrøm 3 dekker strømforsyningen til sporene 5 til 11 ved Lillestrøm stasjon. Grunnen til strømbruddet var at kjøreledningen ble revet av i forbindelse med kollisjonen i spor 7.

Med bakgrunn i ovennevnte er Kommisjonen av den oppfatning at kollisjonen fant sted noen få sekunder etter kl. 00.57 onsdag 5. april 2000.

3.5.3 Skader på tog 5713

Tog 5781 var forholdsvis tungt, mens de tre bakerste vognene i tog 5713 var lette biltransportvogner. Ved kollisjonen kjørte tog 5781 inn i den bakerste vognen på tog 5713 som ble presset fremover langs høyre side av den foranstående biltransportvognen. Den bakerste vognen fikk store skader på understell og last.

Figur 3.12 Brannområdet mellom vogn 1 og 2 i tog 5781 etter slokking

Kilde: Romerike politidistrikt

Den nest bakerste vognen tok opp den største delen av kollisjonsenergien, og den bakerste halvdelen ble helt knust ved kollisjonen. Deler av vogn og last lå spredt utover kollisjonsstedet, mens den tredje bakerste vognen fikk karosseriskader i enden. For øvrig var det en del mindre skader på materiellet.

3.5.4 Skader på tog 5781

Både lokomotiv og forreste gasstankvogn i tog 5781 ble stående i spor 8 ved siden av den nest bakerste biltransportvognen. Bevegelsesenergien i toget ble som nevnt for en stor del opptatt ved at den bakerste vognen i tog 5713 ble skjøvet forbi og til høyre for nest bakerste vogn. I tog 5781 ble forreste gasstankvogn presset mot lokomotivet og de øvrige vognene presset sammen. Lokomotivet fikk store skader på karosseriet, hjul, understell og buffere. Boggier og lokomotivkasse var det ikke mulig å reparere.

Vogn 1, den forreste gasstankvognen etter lokomotivet, tok opp en stor del av kollisjonsenergien, og tappe- og fyllerørene under tanken ble ødelagt. Etter kollisjonen lå tanken med en helling på fem grader i lengderetningen med den laveste enden mot lokomotivet, se fig. 9.2.

Vogn 2, den andre gasstankvognen, fikk også store skader på understellet, men den bakre boggien var fortsatt på plass og rørføringene under tanken intakt.

Gasstankenes mannlokk og de utstående boltene som festet disse støtte sammen i forbindelse med kollisjonen, se fig. 3.13 og 3.14. Skinnegangen ble ødelagt under kollisjonen, og gasstankvognene sporet av. Det oppstod derfor relative bevegelser både vertikalt og horisontalt i berøringspunktene mellom de to gasstankene. Alle gjennomførte undersøkelser tyder på at mannlokkene og festeboltene for disse var de eneste berøringspunktene mellom tankene. En bolt på hvert lokk ble revet av jevnt med mannlokket. I tillegg ble en bolt på hvert lokk deformert og mutteren på hver av disse revet av, se fig. 6.3. I tillegg ble den forreste tanken trykket noe inn like i overkant av mannhullet.

Figur 3.13 Berøringspunktet mellom vogn 1 og 2 i tog 5781. Mannlokkene og boltene ses midt på bildet

Kilde: Romerike politidistrikt

Figur 3.14 Berøringspunktet

Kilde: Scandpower A/S

I forbindelse med kollisjonen oppstod det lekkasje ved mannhullet på begge tankene. Propan i væskeform strømmet ut og fordampet til gass. Gassen ble ikke umiddelbart antent. Den ble liggende langs bakken i området der lekkasjene fant sted, fordi propangass er tyngre enn luft og fordi det var mer eller mindre vindstille. Foruten lekkasjene ved mannhullene var tankene tette.

Vogn 3 fikk flerret opp karosseriet i endepartiet mot vogn 2. For øvrig var det en del mindre skader på vognene 4, 5 og 6, mens vognene 7, 8 og 9 var uten skader.

3.6 Antennelse og brann

3.6.1 Antennelse

De undersøkelser Kommisjonen har foretatt peker i retning av to mulige tennkilder, begge som følge av gnistdannelse eller lysbue forårsaket av det elektriske anlegget.

Alternativene er:

1. I følge loggen fra Elkraftsentral til NSB BA ble Lillestrøm 3 forsøkt koblet inn kl. 01.07.29. Dette kan ha medført gnistdannelse eller lysbue i området hvor kjøreledningen falt ned.
2. I følge et vitne politiet har avhørt fikk lokaltoget fra Eidsvoll til Gulskogen kortsluttet kjørestrømmen omtrent ved passering av Åråsen. Dette kan ha forårsaket gnistdannelse eller lysbue ved den nedfalte og avrevne kjøreledningen i nærheten av gasstankvognene. I følge Jernbaneverket skjedde kortslutningen i tidsrommet 01.06–01.07.

Uansett tennkilde trekker Kommisjonen den konklusjon at gassen ble antent omtrent ti minutter etter at kollisjonen fant sted og gasslekkasjene antas å ha oppstått.

I forbindelse med antennelsen ble det ikke observert noen eksplosjon eller spesielt intens brann. Dette tyder på at det ikke hadde samlet seg særlige mengder av en brennbar blanding av propangass og luft i nærheten av lekkasjepunktene. Kommisjonen antar at mye av gassen som strømmet ut før antennelsen fant sted ble blandet med luft og fortynnet til en ikke-brennbar blanding.

Figur 3.15 Sammenheng mellom temperatur og trykk for propan

Kilde: Statoil

3.6.2 Propan - egenskaper

Propan er en meget brann- og eksplosjonsfarlig gass som i transportsammenheng er klassifisert som farlig gods. Propangass er omtrent en og en halv gang tyngre enn luft og legger seg derfor, dersom vind eller trekk ikke forhindrer det, langs bakken og søker ned i åpninger, fordypninger og lignende. Med en innblanding av mellom 2 og 9 % propangass i luft vil man få en eksplosiv blanding.

Ved lekkasje av propan vil det normalt være en fordel at gassen brenner dersom brannen kan holdes under kontroll. Får gassen lekke ut i større mengder vil den, dersom ikke vind eller trekk fører til tilstrekkelig fortynning, i blanding med luft kunne eksplodere dersom den antennes, jf. kap. 9.1. Konsekvensene av slike eksplosjoner kan bli meget store.

Propan er ved normalt trykk og temperatur i gassform. For å kunne oppbevares og transporteres på beholdere av akseptabel størrelse, komprimeres propangass på trykkbeholdere slik at den omdannes til væske. Volumet reduseres da omtrent 270 ganger. På en trykkbeholder er en del av volumet fylt av propan i væskeform, mens resten av volumet over væsken er gass, se fig. 9.3. De aktuelle tankene kunne ikke ha mer enn 85 % av volumet fylt med propanvæske.

I blanding med luft brenner propangass med høy temperatur. I selve flammen kan det være temperaturer opp mot 1700–1900 °C.

Trykket på en propantank, hvor en del av propanen er i væskeform, er avhengig av temperaturen og øker med stigende temperatur, jf. fig. 3.15. Det kreves mer styrke i tankkonstruksjonen desto høyere temperaturen blir. Den faktiske virkningen er imidlertid den motsatte. Med stigende temperatur reduseres tankkonstruksjonens styrke.

3.6.3 Faren for katastrofe ved brann i propantanker - BLEVE

Tanker med propan eller annen brennbar komprimert gass som utsettes for kraftig oppvarming i forbindelse med brann, vil revne når temperaturen og dermed trykket overstiger tankens tålegrense. Dette vil føre til at innholdet ved utstrømning blander seg med luft og forbrenner på en eksplosjonslignende måte. Det finnes flere eksempler på slike hendelser, ikke minst fra USA, se fig. 9.1 Dette omtales nærmere under kap. 9.1.

I de fleste tilfeller oppstår en BLEVE som følge av at en tank med brennbar gass under trykk blir utsatt for brann, og derav påfølgende lokal oppvarming av tankmaterialet. Oppvarmingen fører til at materialet over væskenivået i tanken svekkes samtidig som trykket på tanken stiger. I det materialets tålegrense overskrides revner tanken. Hvor lang tid det går før en slik situasjon oppstår er avhengig av mange faktorer, men brannens størrelse er den viktigste. Blir ikke oppvarmingen stoppet vil tankens tålegrense på et eller annet tidspunkt overskrides og man får en BLEVE.

Det som rent faktisk skjer når en tank med komprimert propan revner i løpet av svært kort tid, er at innholdet umiddelbart fordamper og dermed ekspanderer, samtidig som gassen blander seg med luft og antennes. Man får da en stor kuleformet sky av gass og luft som forbrenner med stor hastighet. En slik ildkule vil kunne medføre meget omfattende skader flere hundre meter fra der den oppstår på mennesker, dyr og eiendom. Det må forventes et stort antall branner. Skader på mennesker vil oppstå både som følge av ekstrem varmestråling og som følge av at gjenstander, deler av tanken mv. på grunn av trykkbølgen som dannes, blir slynget av sted med stor hastighet. I tettbygde områder vil man kunne få et høyt antall omkomne.

Ved kollisjonen på Lillestrøm, med gasslekkasje og påfølgende antennelse av gassen, fikk man en situasjon som kunne ha ført til en BLEVE uten at man visste hvor lang tid det i tilfelle ville ta. Den eneste muligheten for å forhindre en katastrofe var å kjøle tankene med vann innen temperaturen ble for høy.

3.7 Redningsaksjonen og brannens utvikling

3.7.1 Brannens lokalisering og utvikling i første fase

Etter antennelsen fortsatte brannen rundt lekkasjepunktene ved de to mannlokkene. Lekkasjepunktene var under væskeoverflaten i tankene, slik at det lekket ut propan i væskeform. Væsken gikk umiddelbart over i gassform og brant straks den ble blandet med luft. Brannen kan beskrives som en relativt kraftig gassbrann lokalisert til området mellom de to propanvognene, se fig. 3.16. Det var ikke mulig å fastslå om det var lekkasje fra bare en eller begge tanker. I ettertid er det klarlagt at det lekket fra mannhullene i begge tankene.

Brannen mellom tankene medførte at varme ble overført til tankmaterialet, dels ved stråling og dels ved varmeoverføring mellom varm branngass og tankmaterialet. Ved så høye flammetemperaturer som det her må antas å ha vært, var strålingen dominerende for varmeoverføringen. Inne i tankene var det som nevnt propan i væskeform i den

nederste delen og i gassform i den øverste. Da tankene ble varmet opp ble varmen overført videre til propanen, slik at trykket på tankene steg.

Varmeoverføring skjer mer effektivt mellom stål og væske enn mellom stål og gass. Med andre ord ble stålet i tankene mer avkjølt i det området der propanen var i væskeform enn der den var i gassform. Av denne grunn ble ståltemperaturen høyest og stålets styrke mest svekket i det området av tanken som var fylt med gass. Oppvarmingen virket således negativt på to måter; både i form av økt belastning på tankmaterialet ved at trykket økte, og samtidig ved at det svekket materialenes evne til å tåle belastning.

Oppvarmingen av tankmaterialet og innholdet på tankene fortsatte helt til brannvesenet startet kjøling av tankene omtrent to timer etter at brannen startet. Undersøkelser gjennomført både av Kommisjonen og av NSB BA tyder på at man på dette tidspunktet var svært nær en ekstremt stor ulykke. Dette omtales nærmere i kap. 9.3.

3.7.2 Varsling

Som nevnt under pkt. 3.5.2 har Kommisjonen kommet frem til at kollisjonen må ha funnet sted noen få sekunder etter kl. 00.57.

Ulykken ble registrert av mange personer. Noen var i nærheten da kollisjonen skjedde og så hendelsen, mens andre kom til etter å ha hørt togets tuting eller smellet i forbindelse med hendelsen. Det kom derfor inn en rekke meldinger til nødetatene. Første melding kom til politiet kl. 01.02 fra Espen Ingholm. Han har i ettertid forklart politiet at han ca. kl. 01.00 kom kjørende og så et gnistregn fra jernbanestasjonen. Han så et lokomotiv som lå oppå en vogn, og det virket som om flere vogner var sammenfiltret. Han kjørte straks ned til stasjonen og fikk kontakt med noen personer fra NSB før han så ringte politiet.

Togledersentralen ringte på samme tidspunkt, altså omtrent fem minutter etter at kollisjonen fant sted, til helsevesenets AMK-sentral, men man visste da ikke hva som hadde skjedd. Det ble imidlertid bedt om at det ble sendt en ambulanse. I følge logg på AMK-sentralen ble sentralen kl. 01.03 oppringt av to personer som stod på Rælingsbroen og så ned på ulykkesstedet. I løpet av samtalen hvor innringer fortalte at to tog hadde kollidert, ble det også opplyst at det begynte å brenne.

110-sentralen fikk i følge egen logg melding fra AMK-sentralen kl. 01.04. Meldingen gikk ut på at det var togkollisjon og mulig brann. Samme melding ble mottatt fra politiet ett minutt senere. Poli-

Figur 3.16 Brannen mellom de to gasstankvognene

Kilde: Scanpix

tiet opplyste i tillegg at det ikke var noen skadede. Kl. 01.07 meldte AMK-sentralen til politiet at det var brann og at det var en tankvogn der det brant.

Politiet varslet Hovedredningssentralen for Sør-Norge kl. 01.15 og Statens forurensningstilsyn kl. 01.42. Kl. 02.02 ble politimester Jørgen L. Høidahl ved Romerike politidistrikt varslet og orientert om situasjonen.

3.7.3 Redningsaksjonens første fase

Umiddelbart etter at meldingen fra togledersentralen kom inn til AMK-sentralen ble det sendt to ambulanser. Disse var fremme på ulykkesstedet ca. kl. 01.08 og kunne raskt konstatere at det ikke var noen skadede.

Brannvesenet rykket ut både fra brannstasjonen på Lillestrøm og Lørenskog med en førsteutrykning bestående av fem biler og tolv mann. Første brannbil ankom ulykkesstedet kl. 01.12. Det ble da meldt tilbake til alarmsentralen at det var åpen ild mellom to tankvogner. Flammene ble av brannvesenet karakterisert som rolige og slikkende. Det var således ikke snakk om noen blåselampeeffekt. Brannvesenet ba umiddelbart om at kjørestrømmen skulle tas.

En politipatrulje ankom Lillestrøm stasjon kl. 01.18. Den observerte at det var kommet flere ambulanser til stedet, og at brannvesenet var inne på området hvor kollisjonen hadde skjedd. Videre var det to personer på stedet som hadde arbeidet med snørydding på stasjonsområdet, og som hadde vært vitne til selve kollisjonen. Politiet sørget for at Rælingsbroen ble sperret av.

Kl. 01.33 ble politiførstebetjent Arild Ruud utpekt til skadestedsleder (SKL). Han ankom og overtok ansvaret fra Alf Rune Bjerke kl. 02.28. Det ble opprettet kommandoplass for skadestedsleder (SKL-KO) i stasjonsbygningen på Lillestrøm stasjon kl. 03.09. Her møtte Ruud, brannsjef Arne Wold fra Nedre Romerike brann- og redningsvesen, ambulansesjåfør Olav Kristoffersen som fungerte som operativ leder sanitet og representanter for NSB BA og Jernbaneverket.

Brannvesenets innsats ble ledet av brannsjef Wold. På grunnlag av opplysninger om merkingen på tankvognene meldte 110-sentralen kl. 01.24 til brannsjefen at tankene inneholdt en blanding av propan og butan. Brannsjefen har til Kommisjonen forklart at han allerede på dette tidspunkt anså situasjonen som meget alvorlig.

Brannvesenet meldte kl. 01.26 til politiet at stasjonsområdet måtte sperres av. Skadestedsledelsen hadde på det tidspunktet ikke tilgang til nødvendig kompetanse for å gjennomføre en beregning av tilstrekkelig sikkerhetsavstand. Omtrent kl. 02.00 ble det meddelt til politiet at sikkerhetsavstanden fra tankene burde være 200 meter.

Kl. 01.35 ga brannsjefen ordre om å klargjøre for kjøling av tankene og fem minutter senere ordre om at kjøling skulle iverksettes, men slik at brannen ikke ble slokket. Begrunnelsen for ikke å slokke brannen var at det kunne oppstå en ukontrollert gassvandring dersom brannvesenet etter slokking ikke var i stand til å tette lekkasjen. Det ble besluttet å ta vann fra Lillestrømsiden. Det tok relativt lang tid å etablere vannforsyning og å påbegynne kjøling av tankene. Slik kjøling startet først kl. 03.05.

Kl. 02.12 meldte brannsjefen til 110-sentralen at han ønsket en gasskyndig person til stedet. Fra kl. 02.28 hadde 110-sentralen telefonkontakt med Stein Erik Larsen fra Norske Shell. Kl. 03.24 ga brannsjefen melding til 110-sentralen om at Larsen måtte møte i SKL-KO på Lillestrøm stasjon. Larsen ankom kl. 03.50.

Kjøling med to vannkanoner startet som nevnt kl. 03.05, altså to timer etter at brannen oppstod. Hver av vannkanonene hadde en kapasitet på ca. 1600 liter/minutt. Kanonene var plassert 10–15 meter fra tankvognene, se fig. 3.18. Strålene var ikke rettet mot selve brannen i frykt for å slokke denne. Kl. 03.32 meldte brannsjefen at brannen var under kontroll.

Mye av vannet antas å ha truffet soltakene som tankene var utstyrt med, se fig. 6.2. Disse er montert for å redusere muligheten for soloppvarming av innholdet i tankene i de deler av verden som har sterk sol. På Lillestrøm antas skjermene å ha redusert effekten av kjølingen sett i forhold til om tankmaterialet hadde blitt truffet direkte.

Kl. 03.45 ba brannsjefen om at Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern (DBE) skulle varsles, og etter gjentatte forsøk ble det kl. 04.20 oppnådd kontakt. Sjefingeniør Nils Henrik Agerup ble utpekt som DBEs ekspert og kontaktperson. Agerup ble orientert om situasjonen og ga over telefon ca. kl. 05.20 skadestedsledelsen råd om utvidelse av faresonen til 750–1000 meter og evakuering av alle innenfor denne sonen. Agerup, som etter at han kom til Lillestrøm gikk inn som rådgiver for SKL-KO og senere også for LRS, påpekte at det var konstant fare for en BLEVE, og at det viktigste tiltaket for å forhindre dette var å sørge for god kjøling med flest mulig vannkanoner.

Etter at Larsen fra Norske Shell ca. kl. 04.00 hadde foretatt en befaring nær tankene sammen med brannsjefen kontaktet han teknisk sjef for Shellgas i Sverige. Vedkommende foretok en rask risikoanalyse for å kunne angi nødvendig evakue-

Figur 3.17 Området som ble evakuert. Området mellom stiplet og heltrukken linje angir utvidelsen som ble foretatt natt til fredag 7. april. Kollisjonsstedet markert med pil

Kilde: Romerike politidistrikt

ringssone. Omtrent kl. 05.30 fikk Larsen tilbakemelding om at evakueringssonen burde være ca. 750 meter fra tankene. Larsen hadde senere også kontakt med Shell LPG Globals sikkerhetsansvarlige i London. Vedkommende samlet et «kriseteam» som Larsen var i kontakt med flere ganger under aksjonen.

Kl. 05.38 iverksatte skadestedsledelsen utvidelse av sperringene til 300 meters avstand fra tankvognene. Kl. 06.16 ble det iverksatt ytterligere utvidelse til en radius på 700 meter. Kl. 06.47 ble det på nytt besluttet å utvide den avsperrede sonen, nå til 1000 meter fra tankene. Ingen var da foreløpig evakuert fra den beregnede faresonen.

Kl. 02.01 anmodet skadestedsleder om at LRS-stab skulle bli etablert. Kl. 05.06 ble det gitt melding om at brannsjef Wold, gassekspert Larsen fra Norske Shell og en person fra NSB BA ville slutte seg til staben. I og med at brannsjefen gikk inn i LRS overtok branninspektør Sven Knappskog oppgaven som fagleder brann i SKL-KO.

110-sentralen fikk kl. 05.39 melding fra brannsjefen om å opprette kontakt med Statoil. Beredskapsvakten til Statoil ringte umiddelbart, etter å ha blitt kontaktet, Statoils driftssjef for LPG (Liquefied Petroleum Gas) Knut Tellsgård. Tellsgård ankom SKL-KO kl. 06.55.

Da brannvesenet justerte vannkanonene kl. 06.04 ble det oppdaget at det også brant på toppen av den ene tanken. Brannvesenet trakk ca. kl. 06.50 sine mannskaper i dekning bak rådhuset. Fra denne posisjonen kunne de overvåke vannkanonenes kjøling av tankene. Like før klokken syv ble det besluttet å kontakte OSL-Gardermoen for bistand, og to store bilmonterte vannkanoner (Panter) ankom ca. kl. 07.40.

Kl. 08.30 ble det rekvirert vannkanoner med støttebein fra Oslo brannvesen, og to vannkanoner ankom skadestedet noe før kl. 10.00.

3.7.4 Evakuering av Lillestrøm

Tidlig onsdag morgen ble det fattet beslutning om å evakuere befolkningen innenfor den beregnede faresonen på ca. 1000 meter. Evakueringen omfattet ca. 2000 mennesker og alle aktiviteter innenfor sikkerhetssonen ble stanset.

Kl. 07.31 ble varselet «Lytt på radio» sendt ut over sivilforsvarets luftvernsirener. Like etter ble det gitt følgende melding over radio:

> «På grunn av meget stor eksplosjonsfare på Lillestrøm jernbanestasjon, har politimesteren i Romerike besluttet at følgende områder omgående skal evakueres:
>
> I Rælingen: Området mellom Øvre og Nedre Rælingsvei fra Strømsdalen til Hagastubakken.
>
> I Lillestrøm: Alt på innsiden av et område avgrenset til krysset Jonas Liesgaten/Nittedalsgaten – begge sider av Nittedalsgaten til Solheimsgaten – begge sider av Solheimsgaten til Voldgaten inkludert Volla skole – området i forlengelsen av Torggaten mot jernbanen og hus mellom Kongsvingerbanen og Nitelva og Fabrikkgaten/Ekelundsgaten.
>
> Alle som er i stand til det må snarest begi seg vekk fra området. Andre vil bli hentet. De som ønsker transport til samlingsplass møter bak OBS og bak Volla skole, samt i krysset Fabrikkgaten/Ekelundsgaten.»

Meldingen ble gjentatt flere ganger i løpet av morgenen.

Et kartutsnitt som angir evakueringsområdet er vist i fig. 3.17. Dette omfattet store deler av Lillestrøm sentrum og deler av Rælingen. Avstanden fra tankene til yttergrensene for evakueringssonen varierte fra 600 til 1200 meter.

De evakuerte ble etter kort tid bedt om å begi seg til Olavsgaard Hotell eller til slektninger og kjente. De som hadde behov for hjelp til forflytning fikk oppgitt et telefonnummer hvor de kunne henvende seg.

Kl. 08.33 ble SKL-KO av sikkerhetsmessige hensyn flyttet fra jernbanestasjonen til Lillestrøm brannstasjon. Politi og sivilforsvar foretok om morgenen, etter evakueringsordren, en dør til dør-aksjon for å påse at alle hadde etterkommet ordren.

Hjemmeværende og pleietrengende ble etter hjemmesykepleiens lister hentet av kommunens fellestjeneste, og transportert til sykehjem og bo- og behandlingssentre utenfor evakueringssonen. Pasienter og personell ved Lillestrøm sykehus ble flyttet til Sentralsykehuset i Akershus (SiA). I løpet av formiddagen ankom 100 evakuerte Olavsgaard Hotell. Psykiatritjeneste ankom hotellet kl. 10.00, og hjemmesykepleien etablerte kontakt kl. 14.00. I løpet av kvelden ble 70 personer installert på Lahaugmoen militærleir, 12 innlagt på bo- og behandlingssentre og tre på Olavsgaard Hotell. Resten av de evakuerte hadde ordnet opphold på egenhånd hos familie og venner.

Gatene i den avsperrede delen av Lillestrøm ble patruljert av uniformert personell fra politi og sivilforsvar.

3.7.5 Temperaturmålinger

En av vannkanonene fra Oslo brannvesen ble straks etter ankomst onsdag morgen ca. kl. 10.00 satt opp på Rælingensiden av vognene og rettet mot tanken man antok at ikke lekket. Kl. 12.23 ble det registrert at vannet fra denne kanonen ikke nådde frem til tanken, og justering ble foretatt. På dette tidspunktet var det tre vannkanoner i aksjon.

På onsdag formiddag ankom Teknologisk Institutt (TI) med varmekamera som gjorde det mulig å måle temperaturen på tankene på avstand. Første måling ble gjennomført i tidsrommet 11.30–13.00. Målingen viste at det var stor forskjell på temperaturen i gass- og væskedelen av tanken lengst fra lokomotivet. Med en viss usikkerhet ble temperaturen i gassdelen av tanken målt til 55 °C. Den andre tanken var det på dette tidspunktet ikke mulig å foreta målinger av.

Kl. 14.53 ankom Ulrik Blomquist fra Stockholms brannforsvar til SKL-KO. Han var ikke tilkalt, men ble etter at han meldte sin ankomst tatt inn som rådgiver for skadestedsledelsen. Denne rollen hadde han under resten av aksjonen.

Like før kl. 16.00 ble ytterligere en vannkanon tatt i bruk. Man hadde da fire vannkanoner i drift, hver med kapasitet på 1600 liter/minutt. Strålene var rettet nær endeflaten på hver av tankene, men ikke direkte på endeflaten, se fig. 3.18. I løpet av kvelden ble det også satt inn en Panter fra OSL-Gardermoen. Denne hadde en kapasitet på 6000 liter/minutt.

Ny temperaturmåling ble foretatt av TI i tidsrommet 20.00–21.00. Temperaturen i gassdelen av bakerste tank ble målt til 53 °C og til 37 °C i den forreste tanken. Målingene ble foretatt på stor avstand (80–200 meter), og det ble av den grunn understreket at resultatene var usikre.

TI målte i tidsrommet 02.00–03.00 natt til torsdag 6. april igjen temperaturen på tankene. Temperaturen hadde da sunket til 40 °C på bakerste tank og 30 °C på forreste tank. Ved måling som ble foretatt ca. fire timer senere hadde temperaturen gått ytterligere ned, til henholdsvis 34 °C og 26 °C. Dette var en bekreftelse på at kjølingen hadde hatt effekt og at faren for en BLEVE var redusert.

Figur 3.18 Gasakuten i arbeid

Kilde: Scanpix

3.7.6 Problemer med vind mv.

I løpet av torsdag formiddag økte vinden, noe som medførte at vannet ikke lenger traff tankene. Videre så det ut som om brannens omfang økte, og enkelte pumper stoppet. Vannmengden mot tankene ble anslagsvis redusert fra 12–15000 liter/minutt til 4–5000 liter/minutt. Dette medførte at situasjonen ble oppfattet som kritisk av brannmannskapene, og de trakk seg tilbake. Etter hektisk møtevirksomhet gikk brannmannskapene igjen frem og sørget for justering av kanoner og etterfylling av drivstoff. Den reduserte kjølingen varte i omtrent en og en halv time.

Kl. 16.15 ble det meldt at kjølingen var bedre enn noen gang. Det var da fem vannkanoner og en bilmontert pumpe i aksjon. Vannmengden var omkring 15000 liter/minutt.

I LRS var man tidlig klar over at det ville gå lang tid før tankene ble tømt og eksplosjonsfaren var over, dersom det ikke ble gjort tiltak for å påvirke tømmehastigheten. Man snakket om en periode på opp til 14 dager. Det ble derfor tidlig igangsatt arbeid med å komme frem til løsninger som kunne forkorte tømmetiden. Gjennom Statoil fikk man kunnskap om «Gasakuten», en beredskapsgruppe sammensatt av aktører i den svenske LPG-bransjen (Liquefied Petroleum Gas). Gasakuten består av fem faste medlemmer med lang erfaring fra LPG-virksomhet. Disse har kompetanse og spesialutstyr til å kunne tømme store gasstanker. Torsdag formiddag besluttet LRS at Gasakuten skulle anmodes om å komme til Lillestrøm med personell og utstyr så snart som mulig.

Første representant for Gasakuten ankom SKL-KO kl. 14.30 og ble umiddelbart orientert om situasjonen. De øvrige ankom med utstyr kl. 16.55. Skadestedsledelsen ble presentert et opplegg for tømming av tankene som gikk ut på å lede propanen fra tankene i slanger til store fakler hvor gassen ble brent. Etter presentasjonen ble det foretatt befaring på stedet. Fra Gasakuten ble det satt som vilkår at brannen skulle slokkes før arbeidet med å koble til fakler ble påbegynt. LRS besluttet etter dette at det skulle gjennomføres et forsøk på å slokke brannen.

Brannvesenet utarbeidet en detaljplan for slokkeforsøket, og kl. 23.10 gikk mannskaper i aksjon og forsøkte å slokke brannen med en kombinasjon av vann og pulver. Forsøket lyktes imidlertid ikke. Kommisjonen er av den oppfatning at det kan synes som om slokkeforsøket ikke var godt nok planlagt. I forbindelse med slokkeforsøket ble for eksempel vannforsyningen til vannkanonene stengt.

3.7.7 Situasjonen kritisk igjen

Ved at vannforsyningen til vannkanonene ble stengt, frøs vannet som ble stående i slanger og ventiler. Lufttemperaturen var ca. -10 °C. I og med at slokkeforsøket mislyktes, hadde man fortsatt behov for kjøling av tankene. Vannforsyningen var imidlertid sterkt redusert og pumper hadde stoppet.

Kl. 22.13 kom det nye opplysninger fra personellet fra Gasakuten. De hadde observert endringer i brannbildet ved at det nå også brant på toppen av den ene tanken. Det ble sett på som en mulighet at dette kunne skyldes sprekkdannelser i en sveiseskjøt i tanken, og at tanken derfor var nær ved å revne. Det ble fra Gasakutens side anmodet om at alle mannskaper ble trukket ut. Brannmannskapene arbeidet da på spreng for å etablere tilstrekkelig kjøling av tankene. Kl. 22.33 ble det meldt at alt innsatspersonell var trukket ut av området ved tankene. Som følge av situasjonen ble det innkalt til ekstraordinært møte i LRS.

I loggen til SKL-KO ble det kl. 00.28 notert: «Situasjonen er meget kritisk». Etter de opplysninger Kommisjonen har, var man fra dette tidspunktet helt uten kjøling av tankene. Like etter flyttet SKL-KO ned fra 2. til 1. etasje i brannstasjonen for å være mindre utsatt ved en eventuell BLEVE. Kl. 00.51 meldte personell fra Gasakuten at det var dårlig vannforsyning, og at det var store muligheter for at tankene ville revne som følge av materialtretthet. Samtidig arbeidet man med å etablere tre nye vannkanoner.

LRS satt fra midnatt til kl. 03.00 fredag 7. april samlet og diskuterte situasjonen. Etter de opplysninger Kommisjonen har ble situasjonen oppfattet som svært kritisk og det var uenighet om man skulle gi opp redningsarbeidet, gjennomføre en fullstendig evakuering og vente på en eventuell BLEVE på betryggende avstand. I så fall ville en fullstendig ødeleggelse av deler av Lillestrøm by og omegn vært et faktum. På grunn av de kolossale konsekvenser en slik beslutning ville innebære, ble det besluttet å gjøre et nytt forsøk på å få situasjonen under kontroll. Det ble også besluttet å utvide evakueringssonen, se fig. 3.17.

Kl. 01.14 ble det meldt at man igjen hadde fått i gang kjølingen av tankene og hadde i drift tre vannkanoner. Kl. 01.37 ble det meldt at ytterligere en kanon var i drift og kl. 02.00 en til, slik at man totalt hadde fem virksomme vannkanoner. Kjølingen ble da ansett som tilfredsstillende. Senere på natten ble kjølingen ytterligere forbedret, og man anså at situasjonen på nytt var under kontroll.

Figur 3.19 Fakling

Kilde: Scanpix

LRS fikk under sitt møte fortløpende kunnskap om at kjølingen av tankene ble gjenopprettet og at den ble gradvis bedre. SKL-KO var så langt Kommisjonen kjenner til, ikke kjent med at man i LRS vurderte fullstendig evakuering.

3.7.8 Avbrenning av gassen (fakling)

I løpet av natten hadde Statoil utarbeidet forslag om hvordan man kunne brenne av gassen i fakler, såkalt fakling, uten først å slokke brannen. De mente å kunne skaffe personell som kunne gjennomføre en slik operasjon, dersom ikke representantene fra Gasakuten var villige. Statoils forslag ble presentert for LRS fredag morgen, og forslaget ble besluttet gjennomført. Beslutningen ble ikke gjort kjent for SKL-KO. Gasakuten påtok seg oppgaven med å gjennomføre faklingen.

Som nevnt var ventiler og rørføringer på tanken lengst fra lokomotivet intakt, slik at disse kunne brukes direkte for tilkobling av slanger. Det ble derfor klargjort for tapping og fakling av gass fra denne tanken. Kl. 10.45 ble faklene tent, se fig. 3.19. Det vesentligste av innholdet var brent av kl. 22.00, og faklene slokket.

Fredag 7. april ble det i SKL-KO arbeidet med å finne en løsning for tømming av den andre tanken. På denne var utvendige ventiler og rørføringer revet av, og man måtte derfor finne en alternativ måte å tappe propan fra tanken på. Det ble planlagt å sveise på to flenser med ventiler til tanken, og så bore hull i denne slik at tapping herfra kunne skje. Man hadde kjennskap til at det fantes utstyr som gjorde en slik operasjon mulig også på tanker med overtrykk. Planen ble godkjent av LRS i løpet av ettermiddagen, og man besluttet å starte arbeidet neste morgen. På kvelden ankom personell og utstyr til gjennomføring av boreoperasjonen fra Perstorp Industrier i Sverige. Det tok noe tid å finne fram til en sveiser som var kompetent og villig til å gjennomføre påsveising av flensene. Lørdag morgen var det klart at to sveisere fra Drammen kunne påta seg oppdraget.

På formiddagen lørdag 8. april ble det gjennomført omfattende sikringsarbeider med henblikk på sveise- og boreoperasjonen som skulle gjennomføres. Påsveising av flenser ble gjennomført, og kl. 18.00 startet boring av hullene, se fig. 3.20. Det ble så klargjort for tapping. Like før kl. 21.00 ble de tre faklene som skulle brenne av gassen fra tanken

Figur 3.20 Ventil som ble sveiset på for å tappe propan fra tanken på vogn 1

Kilde: Romerike politidistrikt

tent. Faklene slokket kl. 03.15 natt til søndag, men ble tent igjen en halv time senere. På grunn av at tømmehullene ikke var helt i bunnen av tanken kom væskenivået etter hvert lavere enn hullene. Dette medførte at propanvæsken som var igjen på tanken måtte fordampe før gass kunne tappes ut. Slik fordampning krever varme. For å få fart på fordampningen ble det rekvirert byggtørker til oppvarming av tanken fra utsiden. Først om ettermiddagen mandag 10. april, mer enn fem døgn etter kollisjonen, kunne tanken erklæres tom for gass.

3.7.9 Avslutning av redningsaksjonen

I følge logg fra SKL-KO anså man at eksplosjonsfaren var over søndag 9. april kl. 12.28. LRS startet forberedelser slik at de evakuerte kunne vende tilbake til sine hjem. Pressemelding ble sendt ut fra politimesteren kl. 13.53 med følgende tekst:

> «Situasjonen er nå fullstendig under kontroll og skadestedet er klarert ufarlig av politiet, etter konferanse med DBE. Sperringene oppheves kl. 15.00. Evakuerte kan vende tilbake til sine bopeler, og næringsvirksomhet kan gjenopptas.»

Kl. 21.30 mandag 10. april ble arbeidet på skadestedet avsluttet av personellet fra Gasakuten. Begge tankene var da tomme for propan.

3.8 Bevissikring

Romerike politidistrikt har hatt ansvaret for etterforskningen av togulykken med sikte på å avdekke eventuelle straffbare forhold i tilknytning til denne. Etterforskningsarbeidet kom ikke for alvor i gang før fredag 7. april på grunn av gassbrannen. I den første fasen av arbeidet fikk det lokale politiet bistand fra Kripos, og da medarbeidere som var eller hadde vært involvert i etterforskningen etter Åsta-ulykken. NSB BA og Jernbaneverket oppnevner interne ulykkeskommisjoner i forbindelse med ulykker. Disse bisto politiet.

Kommisjonen fikk som nevnt i kap. 2.1 den 7. april utvidet sitt mandat til også å omfatte hendelsen på Lillestrøm. Kommisjonens leder Vibecke Groth og kommisjonsmedlem Ingemar Pålsson, samt Kommisjonens sekretær Jacob F. Bull, foretok den første befaring på ulykkesstedet 8. april 2000. Kommisjonen hadde da allerede vært i kontakt med politiets etterforskningsledelse og et godt samarbeid var innledet.

De tre representantene fra Kommisjonen var 8. april tilstede på et møte i LRS. Under møtet fremkom at representantene fra Gasakuten ønsket å få fjernet de bakerste vognene i tog 5781 for å lette tilgjengeligheten til tanken man skulle sveise og bore i. Jernbaneverkets representant i redningsledelsen opplyste at en skinnegående arbeidsmaskin var rekvirert for å fjerne de bakerste vognene i toget.

Etter møtet tok Kommisjonen kontakt med politiets ledelse. Man ba om at vognene ikke ble fjernet før kommisjonsmedlem Pålsson, som har jernbanefaglig kompetanse, og lederen for NSB BAs ulykkeskommisjon, Svein Ivar Johannessen, hadde fått sikret bevis knyttet til bremsesystemet i tog 5781. Dersom de bakerste vognene hadde blitt fjernet ville eventuelt vann og trykk i bremseledningene forsvunnet, og det ville vært vanskeligere å gjenskape tilstanden i togets bremsesystemer. Eventuelle vannansamlinger i bremseledningene som kunne indikert ispropp ville rent ut. Politiet avventet derfor fjerning av de bakerste vognene til Kommisjonen hadde fått sikret de nødvendige bevis. Jernbaneverkets representant i redningsledelsen synes ikke å ha vurdert, og gjorde uansett ikke redningsledelsen oppmerksom på de bevismessige konsekvensene ved å flytte de bakerste vognene.

På togledersentralen styrer togleder trafikken ved hjelp av et grafisk ruteblad som han har foran seg. På rutebladet er trafikken på den aktuelle strekningen tegnet inn, og ved forsinkelser markeres dette. Politiet etterspurte lørdag 8. april det ruteblad som togleder Brenden hadde å forholde seg til natt til 5. april fra Jernbaneverket. Politiet fikk da opplyst at rutebladet var kastet. Hverken Jernbaneverket eller dens uhellskommisjon hadde innført rutiner som sikret at denne type opplysninger ble tatt vare på til tross for at ledelsen ved togledersentralen, fra Åsta-ulykken tre måneder tidligere, var kjent med at dette kunne være svært sentralt og viktig bevismateriale.

Telefonen som vaktlederen på togledersentralen i Oslo blant annet benyttet til å alarmere AMK-sentralen ble ikke logget. Kommisjonen kunne hatt interesse av å spille av de samtaler vaktlederen på togledersentralen hadde over denne telefonen etter ulykken.

Kapittel 4
Infrastruktur

Jernbanetrafikk er et samspill mellom infrastruktur, rullende materiell og personell. En sikker togfremføring er like avhengig av at personellet handler korrekt i forhold til prosedyrer og regler som at signalsystem og materiell fungerer som forutsatt.

Det er ingen indikasjoner på at feil ved signal- og sikringsanlegget kan ha hatt betydning for ulykken 5. april 2000. Lokomotivfører i tog 5781 har forklart at innkjørsignalet til Lillestrøm stasjon viste rødt og togleder har forklart at togvei for tog 5781 ikke var lagt inn til Lillestrøm stasjon. Disse forklaringer er i samsvar med de funn som ble gjort i forbindelse med undersøkelser av infrastrukturen 10. april 2000. Kommisjonen finner det likevel hensiktsmessig å gi en kort fremstilling av infrastrukturen på strekningen mellom Alnabru Godsterminal og Lillestrøm stasjon.

4.1 Strekningen Alnabru godsterminal - Lillestrøm stasjon

Trafikk fra Alnabru kommer inn på Hovedbanen mellom Oslo og Eidsvoll ved Grorud stasjon. Fra Grorud til Lillestrøm stasjon er det ca. 10,5 km. Skiltet maksimalhastighet på strekningen er 130 km/t, men for tog 5781 var den høyeste tillatte hastigheten 90 km/t. Strekningen er dobbeltsporet og elektrifisert. Figur 5.4 viser hastighet og stigning/fall på strekningen.

Fra Alnabru til Lørenskog stasjon er det stort sett stigning hele veien. Strekningen fra Lørenskog til Strømmen stasjon varierer med stigning først og deretter noe fall. Fra noe etter Strømmen, som er ca. tre kilometer før Lillestrøm, er det et kraftig fall på mellom 14 og 17,5 ‰ ned til Nitelvbroen som går over sporet like forut for stasjonsområdet på Lillestrøm.

Ved innkjøring til alle stasjoner er det plassert et innkjørsignal som viser lokomotivfører om han har klart for innkjør inn på stasjonsområdet. Det er montert forsignal som indikerer hva det etterfølgende innkjørsignalet vil vise, slik at lokomotivfører skal kunne stoppe toget i tide dersom innkjørsignalet viser stopp. Forsignal innkjør til Lillestrøm stasjon er plassert ved Sagdalen blokkpost, 797 meter før innkjørsignalet som igjen er montert 759 meter forut for sporveksel 13 på Lillestrøm stasjon. Innstillingen av sporveksel 13 bestemmer om et nordgående tog skal fortsette rett frem i spor 6 eller ledes til høyre inn i sporene 7–11, se fig. 3.2.

4.2 Fjernstyring og sikringsanlegg

Strekningen er fjernstyrt fra Oslo togledersentral. Ved togledersentralen benyttes overvåkningssystemet VICOS. Dette overvåkningssystemet er relativt nytt og har erstattet tidligere systemer hvor togleder tastet inn ordre på et tastatur og la togveier på den måten. Med VICOS-systemet overvåkes trafikken på en eller flere dataskjermer, og ved å bruke musepekeren gis ordre og togveier legges. Jernbaneverket har planer om gradvis å erstatte de tastebaserte overvåkningssystemene med det mer moderne VICOS-systemet også på andre togledersentraler. Systemet er foruten ved Oslo togledersentral installert på enkelte av de banestrekninger som overvåkes ved Hamar togledersentral. I forbindelse med høringene etter Åsta-ulykken kom det frem at toglederne på Hamar foretrakk det gamle systemet med taster fremfor det nye systemet med mus. Dette skyldes bl.a. at de fant det nye VICOS-systemet mer arbeidskrevende enn det gamle systemet som de fortsatt hadde på Rørosbanen.

Under Kommisjonens avhør av togleder Brenden, som hadde ansvaret for strekningen Bryn – Lillestrøm og Lillestrøm stasjon natt til 5. april 2000, uttalte også han at det gamle tastebaserte systemet var vel så bra som det nye VICOS-systemet. Han forklarte at punktene man må treffe med musepekeren for å legge inn ordre i systemet er svært små, og at det ofte skjer at man trykker feil, særlig når det er mye å gjøre. I en nødsituasjon kan dette være kritisk.

Det er installert sikringsanlegg på den enkelte stasjon som skal forhindre at to tog kommer i konflikt med hverandre. Strekningen Oslo – Lillestrøm er i hovedsak utstyrt med sikringsanlegget NSI-63, men fra innkjørsignalet inn mot Lillestrøm stasjon er sikringsanlegget SIMIS-C installert. Grunnen til

Figur 4.1 Togleders arbeidsplass på togledersentralen Oslo S

Kilde: Jernbaneverket

dette er at Hovedbanen kommer sammen med Gardermobanen ved Lillestrøm stasjon. NSI-63 er et relébasert sikringsanlegg og utgjør hovedtyngden av sikringsanleggene i Norge. SIMIS-C er et datastyrt anlegg konstruert for større stasjoner.

4.3 ATC

Strekningen Oslo – Lillestrøm er utstyrt med ATC (Automatisk Togstopp). Strekningen frem til innkjørsignalet til Lillestrøm stasjon er utbygget med DATC, dvs. Delvis ATC. Delvis ATC innebærer at et tog stoppes automatisk ved eventuell passering

av et rødt eller slukket signal ved at togets bremser aktiveres. Gardermobanen er utstyrt med Full ATC (FATC) som innebærer at ATC-utstyret om bord også overvåker hastigheten i forhold til en hastighetskurve, slik at avstanden frem til neste hastighetsendring eller stopp beregnes.

ATC må være utbygget i infrastrukturen og installert om bord i materiellet som trafikkerer strekningen for å fungere. ATC-utstyret om bord mottar informasjon fra såkalte baliser plassert i skinnegangen. En balise er en informasjonsenhet som aktiveres ved togpassasje, og som gir informasjon til toget om signalstatus på det stedet hvor toget befinner seg. I tillegg vil ATC-utrustningen om bord påse at togets hastighet ikke overskrider den maksimalhastighet som fremgår av godsvognopptaket, så sant lokomotivfører har stilt inn ATC-panelet i samsvar med denne hastigheten. Uten fungerende bremser hjelper det dog ikke at ATC-utrustningen om bord og i infrastrukturen er virksom.

4.4 Togradio

Kommunikasjonen mellom lokomotivfører og togleder skjer på den aktuelle strekningen ved hjelp av togradio. Togradiosystemet gir sikker identifikasjon av anropende tog ved at togleder får opp tognummeret og dets posisjon. Dette skjer ved at såkalte baliser i skinnegangen sender signaler til lokomotivets datamaskin som igjen har forbindelse med togradioen. Togradioen sender ut signaler som fanges opp av telenettet og kan således fungere som en telefon. Lokomotivfører kan bruke nødknappen på togradioen, og togleder vil da bli varslet om at en nødtelefon er på vei inn gjennom et lydsignal og ved at anropet kommer opp på overvåkningsskjermen.

Under Kommisjonens høringer forklarte togleder Brenden at det tar lang tid før kontakt oppnås via togradiosystemet. Dette skyldes bl.a. at det er responstid i systemet for å sikre sikker identifikasjon og posisjon for anropende tog. I tillegg må togleder ofte avslutte en samtale for så å koble opp en ny, og det kan derfor ta opptil et halvt minutt før kontakt oppnås. Også ulykkesnatten tok det uforholdsmessig lang tid å få kontakt med toget.

Ulykkesnatten fikk togleder inn to nødanrop fra tog 5781. Dette skyldtes at lokomotivfører hadde trykket på nødanropsknappen to ganger og fordi toget ved innkjørsignalet til Lillestrøm kom inn i et nytt togområde. Strekningen Bryn – Lillestrøm er togradioområde 111, mens Lillestrøm stasjon er togradioområde 113. Da tog 5781 passerte innkjørsignalet til Lillestrøm stasjon var lokomotivfører nødt til å trykke på nødknappen for å komme i kontakt med togleder. Hos togleder kom begge de to nødanropene opp. Han valgte å hente inn det sist ankomne og oppnådde etter noe tid kontakt med lokomotivfører. Hadde han i stedet innhentet det først innkomne ville kontakt med lokomotivfører ikke vært oppnådd.

Togleder bruker et eget betjeningssystem for valg av telekommunikasjonssamband. Dette systemet kalles TLT, Togleders Telefonsystem. Systemet betjenes ved hjelp av en PC med skjerm, mus og høyttaler, se fig. 4.2. Togleder kan ved hjelp av dette velge sambandsform, både for kommunikasjon med blokktelefonsystemet, det offentlige telenettet, det interne telenett i Jernbaneverket, publikumsinformasjonssystemet og med togradiosystemet. Utstyret er utviklet for å unngå at togleder skal måtte forholde seg til mange forskjellige grensesnitt for de ulike sambandssystemene. Bruksmåten er slik at togleder ved hjelp av mus og menysøk skal kunne velge sambandssystem og sette opp eller besvare anrop.

Et uheldig forhold ved dette kommunikasjonssystemet er at togleder, dersom han sitter i en annen telefon slik tilfellet var i den aktuelle situasjonen, er nødt til å avslutte samtalen før nødanropet kan kobles opp. Slik oppkobling skjer ved at togleder ved hjelp av musen må peke på det aktuelle nødanropet på sin dataskjerm, for så å gå ned på et menyfelt som kalles «hent» og trykke med musepekeren. Deretter må han vente på at kontakt oppnås. Det er bare dersom togleder har en annen samtale over togradiosystemet at et nødanrop vil bryte igjennom.

Det er installert telefonlogg på togledersentralen som har gjort det mulig å spille av nødanropet i ettertid, jf. pkt. 3.3.2. Brenden har forklart at han ville hatt 25–30 sekunder lengre tid til å vurdere alternative muligheter til å håndtere nødsituasjonen, dersom han tidligere hadde oppnådd kontakt med lokomotivfører.

4.5 Oppsummering

Som nevnt er det ingen indikasjoner på at feil i signal- og sikringsanlegget har hatt betydning for ulykken. Det er heller ikke rimelig å anta at kollisjonen kunne vært avverget dersom lokomotivfører på tog 5781 hadde fått kontakt med togleder med det samme han forsøkte å oppnå kontakt via togradioen. Hadde togleder hatt bedre tid, kunne man tenke seg muligheten av at han ledet tog 5781 inn i spor 6 ved å stille sporveksel 13, se fig. 3.2.

Figur 4.2 TLT-terminal på togledersentralen Oslo S

Kilde: Jernbaneverket

Togleder Brenden har forklart at det tar svært kort tid å stille en veksel fra et spor til et annet. Dette kan gjøres enten ved å stille togvei eller ved å manøvrere vekselen separat. På dette tidspunkt var imidlertid et sydgående Alladin-tog (tomt flybensintog) på en togvei som kunne kommet i konflikt med tog 5781 dersom dette var blitt ledet til spor 6.

I tilknytning til signal- og sikringsanlegget er det installert logg som gjør det mulig å avlese data om signalenes status i ettertid. De data som fremgikk av loggen var konsistente med innhentede vitneforklaringer, hva som fremgikk av togleders skjerm og de funn som ble gjort i sikringsanlegget. Det skal dog bemerkes at loggen bare kan leses av eksperter. Kommisjonen savner en logg som kunne gitt en visualisering av tilstanden i signalanlegget i forbindelse med nødsituasjonen, og som har en replay-funksjon som gjør det mulig å gjenskape situasjonen slik den fremstod for togleder. Toglederne ved Oslo togledersentral hadde ikke fått opplyst at replay-funksjonen som ligger inne i systemet ikke var ferdig installert og følgelig ikke fungerte forut for ulykken 5. april 2000.

Kapittel 5
Bremser

Det var umiddelbart etter kollisjonen klart at denne skyldtes bremsesvikt i tog 5781. Det forelå imidlertid flere mulige årsaker til bremsesvikten, og det ble igangsatt en rekke undersøkelser av bremsene i tog 5781.

I tillegg til rent bremsetekniske undersøkelser fant Kommisjonen det nødvendig å undersøke opplæringen av lokomotivførere og annet personell i bremsesystemene og de rutiner som skal følges ved uttak av et godstog før avgang og under fremføringen. Foruten den dokumentasjon Kommisjonen selv har innhentet i forbindelse med granskningsarbeidet har DnV på oppdrag for Kommisjonen foretatt undersøkelser av bremsesystem på godstog, rutiner for vedlikehold av disse, samt opplæring, jf. kap. 5.3 og 5.4.

Det antas hensiktsmessig med en innføring i togets bremsesystem for å forstå innholdet av de undersøkelsene som er foretatt og analysen av årsakene til kollisjonen som presenteres i kap. 8. Kommisjonen gir derfor innledningsvis en kort redegjørelse for de ulike bremsesystemene og de funksjoner ved disse som er nødvendige for å forstå den videre fremstilling.

Figur 5.1 Lokomotiv El 16 nr. 2215 i tog 5781

Kilde: Foto NJK Solør Odal v/Ronny Maarud

5.1 Bremsesystemet

5.1.1 Togets ulike bremsesystemer

Lokomotiv El 16 nr. 2215 var utstyrt med tre ulike bremsesystemer. Togets hovedbrems, som er et automatisk virkende bremsesystem for hele toget er basert på trykkluft. I tillegg var lokomotivet utstyrt med direktebrems og en elektrisk motstandsbrems. Disse bremser kun selve lokomotivet.

Virksom *hovedbrems* forutsetter at bremsesystemet er ladet med trykkluft. Trykket i bremsesystemet lades ved hjelp av en kompressor i lokomotivet. Denne ettermater luft etter nedbremsing og under togfremføring, slik at trykket holdes konstant selv om det skulle være mindre lekkasjer i bremsesystemet. Hovedledningstrykket skal ved togfremføring være 5 bar. Ved å senke trykket i hovedledningen vil luften ved hjelp av hjelpeluftbeholdere og styreventiler i hver vogn tilsette bremseklossene. Lokomotivfører regulerer trykksenkingen ved å sette førerbremseventilen i ulike stillinger. Førerbremseventilens stillinger og funksjoner behandles nærmere under pkt. 5.1.4. Togets hovedbrems kalles automatisk fordi et raskt trykkfall eller brudd i hovedledningen automatisk vil føre til at toget bremses.

Lokomotivets direktebrems virker direkte på lokomotivets ordinære bremser, og tilsettes ved hjelp av en separat bremsespak i førerrommet, den såkalte direktebremsventilen. Direktebremsen virker uavhengig av togets hovedbrems. Ved redusert bremseeffekt eller bremsesvikt i deler av toget kan lokomotivets selvstendige bremseevne være vesentlig. Bruk av direktebremsen vil således kunne gi økt bremseeffekt for toget i en nødssituasjon, selv om den hovedsakelig brukes ved fremføring av lokomotivet alene. I lokomotiv med såkalt lavutbremsing i høye hastigheter, se nedenfor, vil bruk av direktebremsen fordoble lokomotivets selvstendige bremseevne. Ulempen med bruk av direktebrems er at den ikke har funksjonelt glidevern, noe som kan føre til at hjulene låser seg.

Beregninger foretatt etter kollisjonen viser at bruk av direktebremsen ikke ville avverget denne,

Jernbaneverket	Trafikksikkerhetsbestemmelser	Utgitt: 19.03.97
Direktoratet		Rev: 0
	Togframføring	Side: 27 av 28

9. Bremsetabell II (Br.gr G)

Bestem-mende fall i ‰	Kjørehastighet i km/h													
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
	Bremseprosent													
0[1])	5	5	5	5	5	7	10	13	18	23	29	36	45	55
1	5	5	5	5	6	8	11	14	18	24	30	37	47	57
2	5	5	5	5	7	9	12	16	20	26	32	39	48	58
3	5	5	5	6	8	10	13	17	21	26	33	40	49	60
4	5	5	5	7	9	11	14	18	23	28	34	42	51	62
5	5	6	6	8	10	12	15	19	24	29	36	44	53	64
6	5	6	7	9	11	13	17	20	25	31	37	45	55	66
7	5	7	8	10	11	14	18	21	26	32	39	47	56	68
8	5	8	9	11	12	15	18	23	28	33	40	48	58	70
9	5	9	10	11	14	17	20	24	29	35	42	50	60	72
10	6	10	11	12	15	18	21	26	31	36	43	52	62	74
11	7	10	11	13	16	18	22	26	32	38	45	54	63	76
12	8	11	12	14	17	20	24	28	33	40	47	55	65	77
13	9	12	14	16	18	21	25	29	34	40	48	56	67	80
14	9	13	15	17	19	22	26	31	36	42	49	58	69	82
15	10	14	16	18	20	24	27	32	38	44	51	60	70	84
16	11	15	17	18	21	25	28	33	39	46	53	62	72	85
17	11	16	18	19	22	26	30	34	40	47	55	63	74	87
18	12	17	18	20	24	27	31	36	41	48	56	65	76	90
19	13	18	19	22	25	28	33	38	43	50	58	67	77	
20	14	18	20	23	26	29	33	39	45	51	59	69	79	
21	15	19	21	24	27	31	35	40	46	53	61	70		
22	16	20	22	25	28	32	36	41	48	55	62	72		
23	17	21	23	26	29	33	38	43	49	56	64	74		
24	18	22	24	26	31	34	39	44	50	57	66	75		
25	19	23	26	28	32	36	40	46	52	59	67	77		
30	26	28	31	33	38	42	47	53	59	67	76			
35	31	34	39	43	48	55	63	72	83					
40	38	40	45	50	57	67	77							
45	46	48	54	59	67	76								
50	55	59	63	70	78									
55	67	71	77	84										

[1]) Bremseprosenten for 0 ‰ gjelder også for kjøring i stigning

Dok.nr.:JD 345	Utgitt av : JDMS	Godkjent av: JDM

Figur 5.2 Bremsetabell for godstog i bremsegruppe G fra JD 345

Kilde: Jernbaneverket

men ville gitt en hastighet kollisjonsøyeblikket på mellom 40 og 45 km/t, avhengig av om direktebremsen hadde vært tilsatt ved Sagdalen blokkpost eller 10 sekunder etter passering Sagdalen blokkpost. Hvorvidt dette hadde betydning for gasslekkasjene som oppstod, kommer vi tilbake til i kap. 8.

Lokomotivets elektriske motstandsbrems virker på lokomotivets drivmotorer. Slik brems fungerer gjennom lokomotivets elektriske anlegg og brukes for å redusere slitasje på bremseklossene. Den elektriske bremsen virker bare på lokomotivet og er ingen stoppbrems. På lokomotivet i tog 5781 var den elektriske motstandsbremsen ute av funksjon. Det var likevel tillatt å fremføre toget, da dette ikke anses som sikkerhetskritisk. Motstandsbremsen kobler uansett ut når togets hovedbrems aktiveres. Den er ingen stoppbrems, men nyttes for å regulere hastigheten.

En egen nødbremseventil vil kunne tilsette togets hovedbrems ved å tømme hovedledningen for luft. Bruk av nødbremseventilen gir raskere tilsetting enn nødbremsestillingen på førerbremseventilen, jf. pkt. 5.1.4. I tillegg vil nødbremseventilen kunne brukes selv om førerbremseventilen er ute av funksjon.

Lokomotiv av typen El 16 har såkalt lavutbremsing i hastigheter over 55 km/t. For å få en jevn nedbremsing av hele toget er det nødvendig at vognene bremser kraftigere enn lokomotivet. Ved hastigheter over 55 km/t vil lokomotivets bremseeffekt derfor utgjøre rundt halvparten av det normale. Dersom bremsene i toget for øvrig fungerer normalt, vil dette likevel ikke ha særlig betydning for togets samlede bremseevne. Skulle deler av togets øvrige bremser være ute av funksjon kan det at lokomotivet er lavutbremset være uheldig. Lokomotivets bremser vil da utgjøre en langt større andel av togets totale bremseevne. Full bremseevne på et lavutbremset lokomotiv vil først oppnås når hastigheten blir lavere enn 55 km/t. Hastigheten på tog 5781 var i kollisjonsøyeblikket 62 km/t, og lokomotivet ga derfor i hele bremseforløpet ned mot Lillestrøm bare rundt halv bremseeffekt.

5.1.2 Beregning av bremseevne - bremseprosent

Krav til materiellets bremseevne og tillatt hastighet på en strekning er avstemt med signal- og baliseavstander. Et tog skal ved framføring i tillatt hastighet kunne stanse ved signal i stopp. Tog i alminnelighet, og lange godstog i særdeleshet, har lang bremsevei. Som nevnt i kap. 4.1 er det derfor plassert forsignaler som indikerer det signalbildet som lokomotivfører kan forvente inn og ut fra stasjonen. Togets bremsevei vil være et resultat av togets fart og bremseevne, og det enkelte togs bremsevei må ikke overstige avstanden mellom forsignal og hovedsignal. Signalavstanden er normalt 800 meter mellom forsignal og hovedsignal. Siden avstanden mellom signalene er konstant er det nødvendig å kjenne togets bremseevne for å kunne bremse i tide. Gjennom å beregne bremseevnen vil tillatt hastighet for toget kunne fastsettes, slik at det stanser innenfor de fastlagte sikkerhetsmarginer.

I jernbanen opererer man med bremseprosent som mål på togets bremseevne. Bremseprosent kan noe forenklet forklares som bremset vekt (bremsekraft) dividert med bruttovekt multiplisert med 100. Bremseprosenten angir altså togets bremseevne i forhold til togets vekt. Ved uttak av et tog vil lokomotivfører få oppgitt togets bremseprosent. Bremseprosenten som sådan er en «kunstig» størrelse, da et tog kan ha en bremseprosent som overstiger 100. Bremseprosenten er likevel den beregningsstørrelse jernbanen opererer med, og er en viktig forutsetning for en sikker togfremføring. Et togs tillatte hastighet vil være avhengig av bremseprosenten. Jo høyere bremseprosent, desto høyere vil togets maksimalt tillatte hastighet være. Selv om lokomotivfører skal foreta prøvebremsing for å få føling med togets bremser, bør bremseprosenten følgelig reflektere den reelle bremseevnen.

Hastigheten i fall beregnes ut fra bremsetabeller som finnes i lokomotivet. Tabellene er en matrise over bremseprosent og fallinformasjon, og lokomotivfører kan ved hjelp av denne finne den hastighet toget skal holde i fallet. Et eksempel på en bremsetabell er inntatt i fig. 5.2. Bremsetabellene er lite praktiske til bruk under togfremføring, og det tar lang tid å finne frem riktig data for toget. Det er Kommisjonens inntrykk at lokomotivførerne anser bremsetabellene som et lite egnet verktøy ved fremføringen, fordi det tar tid å finne frem de riktige data. Mange beregner derfor i stedet farten etter erfaring og følelse med togets bremseevne.

5.1.3 Bremsegrupper og ulik tilsettingstid

Et tog kan fremføres i tre ulike bremsegrupper, R, P eller G. Hovedforskjellen mellom de ulike gruppene er tilsettingstiden for bremsene, altså fra bremsene aktiveres til bremseklossene virker med full kraft. Som tabell 5.1 viser gir bremsegruppe G relativt lang tilsettingstid sammenlignet med bremsegruppe P. Bremsegruppe R brukes bare i persontog.

Bremsegruppe velges separat for lokomotivet og vognene. Et lokomotiv kan således fremføres i en annen bremsegruppe enn resten av togsettet, og i lange godstog anses det hensiktsmessig at lokomotivet har lenger tilsettingstid enn resten av toget, slik at lokomotivet ikke bremser før togsettet for øvrig. Nettopp av denne grunn skal lokomotiv i godstog i henhold til Jernbaneverkets trafikksikkerhetsbestemmelser, JD 345, fremføres i bremsegruppe G, uavhengig av vognenes bremseinnstilling.

Lokomotivet i tog 5781 ble fremført i bremsegruppe G, i overensstemmelse med Jernbaneverkets krav. Kravene til de ulike bremsegrupper er i hovedsak spesifisert av UIC og i Jernbaneverkets trafikksikkerhetsbestemmelser. I tabell 5.1 nedenfor gjengis kravene til tilsettings- og løsetider ved fullbremsing. Med løsetid forstås den tid som går fra lokomotivfører avslutter bremsingen til bremseklossene ikke lenger virker mot hjulene.

Lokomotiv av typen El 16 har en tilsettingstid på ca. 45 sekunder ved fullbrems i bremsegruppe G. Dette innebærer at lokomotivet i tog 5781 de første 45 sekundene etter at lokomotivfører aktiverte bremsene hadde svært lite brems. Ser man dette i sammenheng med at lokomotivet var lavutbremset i hastigheter over 55 km/t, innebærer det at lokomotivet først oppnådde halvert bremsekraft etter 40–45 sekunder. Hadde lokomotivet vært fremført i bremsegruppe P ville lokomotivets faktiske bremseevne fått effekt langt tidligere.

5.1.4 Nærmere om førerbremseventilen

Førerbremseventilen og dens ulike funksjoner har stått sentralt i undersøkelsesarbeidet. Nedenfor gis derfor en beskrivelse av førerbremseventilens mest sentrale funksjoner.

Førerbremseventilen er en bremsespak som benyttes av lokomotivfører ved togfremføring, blant annet til å tilsette og løse bremser. Denne har en rekke ulike trinn og stillinger. De fem hovedstillingene er:

Tabell 5.1 Krav i JD 345 til tilsettings- og løsetider ved fullbrems i ulike bremsegrupper

Bremsetype:	Tilsettingstid (sek)	Løsetid (sek)
R-brems:	3–10	10–20
P-brems:	3–10	15–20
G-brems:	18–30	40–60

- Midtstilling (nøytralstilling), se fig. 5.3a
- Løse og ladestilling
- Fartsstilling, se fig. 5.3b
- Driftsbrems (ni trinn), se fig. 5.3c
- Nødbrems, se fig. 5.3d

Midtstillingen brukes ved tetthetsprøve, se nedenfor, og når togets bremser betjenes fra annen førerbremseventil, det vil si når lokomotivet kjøres fra det andre førerhuset.

Tetthetsprøve foretas for å kontrollere lekkasjer i hovedledningen, jf. pkt. 5.2.2. Det gjøres ved at førerbremseventilen settes i midtstilling, noe som innebærer at ettermating av luft til bremsesystemet blokkeres. Lokomotivfører skal etter ett minutt lese av trykket i hovedledningen på et manometer, og vil da se om lekkasjeraten i hovedledningen er akseptabel. Noe lekkasje vil det normalt være. Det er derfor knyttet følsomhetskrav til bremsenes styreventiler før trykksenking gir bremsetilsetting. Bremsene skal ikke tilsettes ved svært beskjeden trykksenking som typisk vil skyldes mindre lekkasjer i bremsesystemet. I motsatt fall ville bremsene bli tilsatt ved en hver lekkasje. På den annen side er det selvsagt viktig at bremsene tilsettes når lokomotivfører bevisst aktiverer bremsene, eller når det skjer et brudd i hovedledningen.

På grunn av følsomhetskravene i bremsesystemet vil et tog ved fremføring med førerbremseventilen i midtstilling og noe lekkasje i hovedledningen gradvis tømmes for luft, se pkt. 5.5.4.1. Med blokkert ettermating vil systemet til slutt være helt uten lufttrykk. En slik reduksjon av trykket i hovedledningen vil imidlertid fremgå av manometeret på førerpanelet, se fig. 3.6. Det er ikke knyttet lys- eller lydindikasjon til en slik situasjon under fremføring.

Tidligere var førerbremseventilen konstruert slik at midtstilling var plassert mellom løse-/ladestilling og fartsstilling. NSB BA har imidlertid bygget om sine førerbremseventiler, slik at det nå er den øverste stillingen på bremsespaken som er midtstilling. I tillegg må lokomotivfører løfte en mekanisk sperre for å kunne føre spaken til denne stillingen. Ombyggingen ble gjennomført for å redusere risikoen for at lokomotivfører uforskyldt skulle sette spaken i midtstilling, og således blokkere ettermatingen av luft til bremsesystemet. El 16 er likevel konstruert slik at det er fullt mulig å fremføre toget med førerbremseventilen i midtstilling.

Førerbremseventilen har som nevnt en *løse-/ladestilling*. Denne stillingen brukes til å mate eller lade opp bremsesystemet med luft. Ved nedbrem-

sing hvor den forventede bremseeffekt ikke oppnås på grunn av for lavt trykk, vil det å føre spaken til ladestilling, ta løsestøt, øke lufttrykket i bremsesystemet. Luftfyllingen pågår så lenge håndtaket holdes i løse-/ladestilling. Lokomotivfører vil ved å føre spaken tilbake til driftsbrems kunne forvente økt brems.

For at bremsene skal fungere som forutsatt er det nødvendig med luft i hele bremsesystemet. Manometeret på førerpanelet viser trykket i hovedledningen, men sier ikke noe om trykket i bremsesystemet for øvrig. Dersom ettermating blokkeres reduseres trykket i hovedledningen, og det samme skjer i de såkalte A-kamrene i styreventilene på hver vogn. Hvis lokomotivfører i en kort periode lader et bremsesystem uten luft ved å føre førerbremseventilen til løse-/ladestilling, vil dette gi utslag på manometeret. Trykket i A-kamrene økes imidlertid ikke i særlig grad. Ved å ta løsestøt i 8–13 sekunder vil trykket i hovedledningen øke til over 1,5 bar, som er tilstrekkelig til å få full bremsekraft. Det tar imidlertid 41–42 sekunder å fylle A-kamrene med nok luft til å være sikker på å få bremsevirkning. Dette innebærer at et tog som er tømt for luft ikke vil være sikret bremseeffekt før etter 41–42 sekunders lading, selv om manometeret indikerer over 1,5 bars trykk i hovedledningen.

Figur 5.3 Førerbremseventil i a) midtstilling, b) fartsstilling, c) driftsbrems på trinn 4 og d) nødbremsestilling

Kilde: NSB BA

Under togfremføringen skal spaken stå i *fartsstilling*. Bremsesystemet vil da, så fremt kompressoren fungerer, ettermates med luft. Lufttrykket vil økes etter bremsing og lufttrykket holdes konstant under fremføring til tross for eventuelle lekkasjer i systemet.

Ved nedbremsing eller hastighetsregulering benyttes *driftsbremsen*. Denne har ni ulike stillinger på førerbremseventilen, noe som gjør at lokomotivfører kan foreta en gradvis nedbremsing ved hjelp av togets hovedbremsesystem. Fullbrems er betegnelsen på maksimalt klosstrykk mot hjulene, og iverksettes ved å senke trykket i hovedledningen med 1,5 bar.

Det nederste trinnet på førerbremseventilen gir *nødbrems* som innebærer en fullstendig tømming av lufttrykket i hovedledningen. Nødbrems gir ikke kraftigere brems enn fullbrems, men raskere tilsetting. Ved bruk av nødbrems vil ikke ettermating skje. Bremsevirkningen vil ved lekkasje i bremsesylindrene derfor avta. Foruten nødbremsen på førerbremseventilen finnes en egen nødbremseventil som også tømmer hovedledningen for luft. Den gir en noe raskere bremsetilsetting enn nødbremsen på førerbremseventilen. Lokomotivfører i tog 5781 benyttet ikke nødbremseventilen.

5.1.5 Enkeltfeil og bremsing av godstog

Kravsforskriften, (forskrift av 22. juli 1994 nr. 746 om krav til anlegg og drift av jernbane, herunder sporvei, tunnelbane og forstadsbane mm.), stiller tekniske krav til bremser i rullende materiell. § 4, pkt. 2, bokstav g, annet ledd, krevet at «bremsene skal være slik konstruert at ingen enkeltfeil i bremsesystemet gjør det umulig å stanse materiellet». Videre stilles i sikkerhetsforskriften, (forskrift av 23. desember 1999 nr. 1402 om krav til styring og oppfølging av forhold relevant for sikker trafikkavvikling på jernbane, herunder sporvei, tunnelbane og forstadsbane mm.), § 6 krav om at «jernbanevirksomhet skal planlegges, utformes og gjennomføres med henblikk på at enkeltfeil ikke skal føre til tap av menneskeliv eller alvorlig personskade».

Begrepet enkeltfeil skal forstås slik at én feil ved sikkerhetskritiske funksjoner ikke må forårsake tap av menneskeliv eller alvorlig skade på mennesker. Bremsing av godstog er en sikkerhetskritisk funksjon. En enkeltfeil ved bremsing av godstog kan for eksempel være en teknisk feil som resulterer i at toget ikke har forventet bremseevne.

Tilsetting og løsing av bremser styres som nevnt av førerbremseventilen. Det nederste trinnet på ventilen gir nødbrems. I tillegg kan lokomotivfører hvis førerbremseventilen ikke fungerer iverksette nødbrems ved å åpne nødbremseventilen. Dette gir en barriere mot tap av brems dersom det er feil ved førerbremseventilen.

En av forutsetningene for å kunne bremse et godstog er at systemet er fylt opp med trykkluft. Lokomotiv av typen El 16 er utrustet med en kompressor som etterfyller luft etter hver bremsing og ved eventuelle lekkasjer i systemet, noe som er svært vanlig. Hvis kompressoren har stoppet eller er koblet ut, vil ettermating av luft til togets bremsesystem stanse. I en slik situasjon vil imidlertid strømmen i lokomotivet slåes av etter kort tid. Det vil da fortsatt være tilstrekkelig trykk til å oppnå full bremsevirkning. Strømutkoblingen virker altså som en barriere mot bremsesvikt ved utkoblet kompressor. Hvis førerbremseventilen glemmes eller settes i midtstilling gir også dette blokkert ettermating. Trykket vil ved mindre lekkasjer sakte sive ut og toget har til slutt ingen brems. El 16 har ingen alarmfunksjon eller funksjon som gjør at toget stopper (traksjonssperre) i denne situasjonen.

Dersom trykket synker raskt i hovedledningen eller det blir brudd i denne, vil bremsene umiddelbart tilsettes. Dette vil gi samme virkning som en bevisst senkning av trykket i hovedledningen.

For å sikre at bremsene virker foreligger regler og prosedyrer for bremseprøve før kjøring og prøvebremsing under kjøring, se kap. 5.2. Før kjøring med ny togstamme eller forandringer i toget skal full bremseprøve utføres. Når denne er gjennomført, kontrollert og signert av en «bremseprøver» skal det være luft i hovedledningen og togets bremser skal tilsette og løse. I henhold til reglene skal prøvebremsing under fremføring deretter foretas, slik at lokomotivfører får et inntrykk av togets reelle bremseevne. I tillegg skal prøvebremsing foretas før fremføring i lengre fall. Etter Kommisjonens syn gir disse prosedyrer tre barrierer; lokomotivfører er den første barrieren, bremseprøven og «bremseprøveren» den andre og prøvebremsing den tredje. Det er imidlertid kjent at menneskelige barrierer er langt mer usikre enn tekniske. Her snakker vi om tre menneskelige barrierer.

Ved å sette førerbremseventilen i midtstilling vil en situasjon hvor toget er uten brems på grunn av lavt bremselufttrykk kunne oppstå. Det er ingen operativ grunn til å gjøre dette bortsett fra ved tetthetsprøve. Et motiv for å sette førerbremseventilen i midtstilling er at lokomotivfører slipper en enerverende lyd fra kompressoren når han venter. Målinger foretatt på tog 5781 i etterkant av ulykken viser at det med førerbremseventilen i midtstilling, og dermed blokkert ettermating, tar ca. 30 minut-

ter før trykket i bremsesystemet siver ut, se pkt. 5.5.4.1. Hvis lokomotivfører gjennomfører prøvebremsing vil han imidlertid oppdage at håndtaket er i feil posisjon. Det tar ca. 45 sekunder å lade opp fullt trykk igjen.

Etter Kommisjonens syn burde bremsesystemets trykk være koblet til en alarm med lyd og/eller lys som advarsel til lokomotivfører, alternativt traksjonssperre som hindrer fremføring, ved kritisk lavt trykk i hovedbremseledningen.

5.2 Regler og rutiner vedrørende sammensetning, uttak, bremseprøve mv.

5.2.1 Uttak av lokomotiv

Uttak av lokomotiv skjer på Grorud for tog med Alnabru som utgangsstasjon. Lokomotivfører skal ved uttak av lokomotiv type El 16 blant annet teste SIFA-utrustningen eller den såkalt dødmannsknappen og ATCen ombord. I tillegg foretas kontroll av førerbremseventilen og direktebremsen i begge ender av lokomotivet. Det foreligger en sjekkliste for lokomotivførerne over de forhold som skal prøves ved uttak. Lokomotivfører Jensen har forklart at han er kjent med denne listen, men at han ikke bruker den direkte fordi han med sin erfaring har en oppfatning om når et lokomotiv er i orden.

Jensen har forklart at han kontrollerte de sentrale funksjonene i lokomotivet ulykkesnatten, men fordi han ikke fulgte sjekklisten kunne han ikke med sikkerhet si at han ikke hadde glemt noe. En slik holdning til sentrale regler og rutiner ved uttak av lokomotiv er egnet til å skape unødig fare ved togfremføringen. Kommisjonen mener derfor at det må innskjerpes og kontrolleres at regler og rutiner følges av den enkelte lokomotivfører.

5.2.2 Sammenskifting av tog, tetthetsprøve, bremseprøve mv.

Ved Alnabru skiftestasjon skiftes vogner og lokomotiv sammen. «Bremsprøver» har blant annet ansvaret for at sammenkobling mellom vognene blir utført, herunder sammenkobling av bremseslanger. Lokomotivfører er ansvarlig for at sammenkobling mellom lokomotiv og første vogn er i orden i god tid før togavgang. Skifteleder skal påse at dekningsvogn er satt inn der dette er påkrevet, mens vognenes plassering ellers avgjøres ut fra den sammenskiftingsplan som gjelder for togsettet.

Når bremseslangene er sammenkoblet gjennom hele toget skal lokomotivfører foreta tetthetsprøve, jf. NSB Gods' interne styringsdokument G-60–6 pkt. 8 b. Førerbremseventilen skal settes i midtstilling slik at ettermating av luft til hovedledningen blokkeres. Prøven skal vare i ett minutt, og en eventuell trykkreduksjon i hovedledningen vil vises på manometeret som igjen indikerer lekkasje i bremsesystemet. Lokomotivfører på tog 5781 har forklart at han foretok en form for tetthetsprøve før avgang 5. april 2000, men denne ble ikke utført i samsvar med G-60. Han holdt førerbremseventilen i midtstilling i bare 20 sekunder, og så at trykket i hovedledningen ikke falt.

Tetthetsprøven som nevnt foran, inngår i den fullstendige bremseprøven av et godstog. I tillegg skal det foretas en funksjonstesting av bremsene for å kontrollere at hovedledningen er åpen gjennom hele toget, og at bremsene tilsetter og løser før avgang, jf. G-60 6 pkt. 8 c-k. Bremseprøven utføres av lokomotivfører med assistanse fra en «bremseprøver». «Bremseprøveren» kontroller at bremseklossene blir tilsatt og løst ved å slå mot bremseklossene på begge sider av toget med en visitørhammer.

Bremseprøven viser gjennom tilsetting og løsing av bremsene at det er lufttrykk i bremsesystemet. Bremseprøven sier imidlertid ingenting om togets reelle bremseevne, og vil således ikke avsløre eventuelle svakheter ved denne. Slike svakheter vil imidlertid kunne oppdages ved prøvebremsing, se pkt. 5.2.6.

5.2.3 Godsvognopptak

Etter at bremseprøven er gjennomført skal «bremseprøver» gi lokomotivfører et signert godsvognopptak som bekrefter at slik prøve er gjennomført og godkjent. Av godsvognopptaket fremgår alle sentrale opplysninger om toget, herunder togets lengde, bremseprosent, tillatt hastighet, hvilke vogner som inngår i togsettet og opplysninger om eventuelt farlig gods i lasten, jf. fig. 3.3. Godsvognopptaket utarbeides av NSB Gods' transportavdeling ved den enkelte godsterminal. Ulykkesdagen ble godsvognopptaket signert og levert til lokomotivfører før skiftekonduktør Damstuen hadde kontrollert at bremsene løste. Han skulle imidlertid ta kontakt med lokomotivfører dersom han oppdaget at enkelte bremseklosser ikke hadde løst da han gikk bakover langs toget.

Jensen har overfor Kommisjonen forklart at han ikke kjente til hvilken last han hadde med seg ulykkesnatten. Han mener dette ikke er opplysninger som gis til lokomotivførere. Han hadde observert at det var tankvogner med i toget, men visste ikke hva slags stoffer disse inneholdt. Etter ulyk-

ken kunne Jensen ikke gjøre rede for hvilken last han hadde, og redningspersonellet måtte derfor bruke tid på å innhente informasjon om hva tankene inneholdt. Det tok også tid å få denne informasjonen fra togekspeditør på Alnabru. Av godsvognopptaket lokomotivfører hadde med seg fremgikk imidlertid de nødvendige detaljer om det farlige godset.

5.2.4 Aktivering av ATC-utrustningen

Før avgang skal lokomotivfører mate inn informasjon som toglengde, bremseprosent og høyeste tillatte hastighet i ATC-systemet. Slik informasjon fremgår som nevnt av godsvognopptaket. Jensen tastet inn denne informasjonen, men la inn 100 km/t som maksimal hastighet, selv om denne i følge godsvognopptaket var 90 km/t, jf. fig. 3.7. Kommisjonens inntrykk er at enkelte lokomotivførere legger inn en hastighet i ATCen noe høyere enn godsvognopptaket tilsier. Dette gjøres blant annet for å få større fleksibilitet i kjøringen, fordi det kan forekomme avvik mellom den reelle hastigheten og hva hastighetsmåleren i lokomotivet viser. ATC-systemet vil da gripe inn selv om toget holder tillatt hastighet.

Kommisjonens inntrykk er at NSB BA er kjent med dette. DnV har i sin bremserapport gitt uttrykk for at denne praksisen kan være godt begrunnet. Det er imidlertid meget uheldig at det ikke er samsvar mellom de regler som gjelder og den praksis som følges. NSB BA må derfor enten gi regler som gjenspeiler praksis eller slå ned på regelbrudd. For ordens skyld påpekes at hastighetsinnstillingen som Jensen la inn ikke hadde noen betydning for ulykken.

5.2.5 Innstilling av bremsegruppe

Lokomotivfører skal påse at bremsegruppestilleren er innstilt i den bremsegruppe godsvognopptaket foreskriver. Som nevnt i pkt. 3.2.3 og 5.1.3 var lokomotivet i tog 5781 fremført i bremsegruppe G, mens resten av vognene var stilt inn i bremsegruppe P. Jernbaneverkets trafikksikkerhetsbestemmelser påbyr bruk av bremsegruppe G for lokomotiv i godstog, og toget ble således fremført i samsvar med reglene.

Begrunnelsen for Jernbaneverkets krav om at lokomotiv i godstog skal fremføres i bremsegruppe G, er at lokomotivet ikke skal bremse før resten av toget. Dersom lokomotivet bremser før eller samtidig med vognene, vil disse presse på bakfra og faren for avsporing øke. DnV har i sin bremserapport påpekt at regelen synes dårlig begrunnet for korte og lette godstog, men fornuftig for lange godstog med lav bremseprosent eller ujevn fordeling av bremsene. Lokomotivførere DnV har intervjuet har forklart at fremføring av lokomotiv i godstog relativt sjelden skjer i bremsegruppe G, og at de ikke forstår poenget med Jernbaneverkets krav. Selv om riktig bremsegruppe ble brukt i tog 5781, er det uheldig at det ikke er samsvar mellom regler og praksis. Jensen forklarte at han vanligvis fremfører godstog med bremsegruppestilleren på lokomotivet i P-stilling. Hensiktsmessigheten av å fremføre lokomotiv i korte og lette godstog i bremsegruppe G bør etter Kommisjonens syn vurderes. Det bør videre påses at praksis er i henhold til de til enhver tid gjeldende regler.

5.2.6 Prøvebremsing

Som nevnt under pkt. 5.2.2 foretas fullstendig bremseprøve før avgang uten at denne sier noe om togets reelle bremseevne. Denne påvirkes blant annet av slitasjen på togets bremseklosser. Etter avgang fra utgangsstasjon og før lengre fall skal derfor lokomotivfører gjennomføre prøvebremsing for å få føling med togets reelle bremseevne, jf. G-60–6 pkt. 12.

I forbindelse med utarbeidelsen av DnVs bremserapport ble fire lokomotivførere intervjuet. Disse opplyste at prøvebremsing anses viktig for å få følelse med togets bremser. Det synes å være alminnelig kjent blant lokomotivførerne at bremseprosenten ikke er noe pålitelig mål på togets reelle bremseevne. Dette var også lokomotivfører Jensen godt kjent med. Jensen foretok likevel ingen prøvebremsing etter utkjøringen fra Alnabru, eller før det kraftige fallet ned mot Lillestrøm stasjon. Han har overfor Kommisjonen forklart at dette skyldtes den lave hastighet han var nødt til å holde som følge av at tog 5713 gikk like foran. Det ville derfor ifølge hans forklaring ikke vært mulig å foreta prøvebremsing uten å stanse toget, og han ville da risikert å sperre trafikken på Hovedbanen.

På Lørenskog stasjon, hvor Jensen vanligvis foretar prøvebremsing, var det denne natten anleggsarbeider. Han måtte derfor passere i avvikssporet i lav hastighet, og hadde således ikke mulighet til å få prøvet bremsene. Prøvebremsing i så lav hastighet ville etter Jensens oppfatning ikke gitt noen reell føling med togets bremseevne. Lokomotivfører Hernes i tog 5713 har forklart at han til tross for lav hastighet prøvde bremsene her for å kjenne at de tok. Kommisjonen mener at prøvebremsing også kunne vært gjennomført mellom Lørenskog og Strømmen, se pkt. 5.6.1.

DnV har i bremserapporten påpekt at det etter avgang fra skiftestasjoner eller andre avgangsstasjoner og før lengre fall, ikke er skiltet hvor prøvebremsing bør foretas. Det fremkom videre i intervjuene med lokomotivførerne at de ikke har noen hjelpemidler for å bedømme resultatet av prøvebremsingen. Lokomotivførernes holdning var at bremsene må prøves og hastigheten avpasses skjønnsmessig i forhold til generelle erfaringer og den følelse man får for togets bremser. Videre viser utsagn fra de samme lokomotivførerne at funksjonen i ATC-systemet som gjør det mulig å etterprøve togets bremseprosent er lite kjent, se nærmere i pkt. 5.3.1.

5.3 Opplæring

I NSB BA må alt personell i sikkerhetstjeneste gjennomføre kurs i trafikksikkerhet. Å utføre sikkerhetstjeneste betyr at vedkommende utfører sikkerhetskritiske funksjoner ved togfremføring, skifting av tog, vedlikehold mv. Opplæringen skjer først gjennom grunnutdanningen, og deretter gjennom videreutdanning med kunnskapskontroll og gjennomgang av nye bestemmelser hvert tredje år. Disse kursene er vanligvis av to dagers varighet og avsluttes med eksamen.

Opplæringen er delt opp tematisk og det er lagt vekt på å kombinere praktisk trening med teoretisk undervisning. En lokomotivfører har i løpet av opplæringstiden på halvannet år ca. 110 dager med øvelseskjøring. Kommisjonen har i sine undersøkelser fokusert på videreutdanning og virksomhetenes kontroll av personalets kompetanse, samt på lokomotivførers og skiftekonduktørs kunnskap om bremsesystem og farlig gods.

I henhold til NSB BAs overordnete styringssystem for Trafikksikkerhet, Ytre miljø og Arbeidsmiljø (AD-60) skal hver enhets styringssystem klargjøre arbeidsoppgaver og de nødvendige kompetansekrav for å utføre oppgavene. Enhetens leder har ansvar for at det gis nødvendig opplæring. Lokomotivførerne er ansatt i lokomotivførerenheten under Drift- og teknikk i NSB BA. Det tilligger imidlertid NSB Gods å stille kompetansekrav for håndtering av farlig gods, mens ansvaret for selve utdanningen skal ivaretas av Drift og teknikk.

Da Jernbanetilsynet og DBE høsten 1999 gjennomførte en systemrevisjon av NSB Gods ble en del mangler vedrørende opplæring påpekt. Ingen av disse kan imidlertid ses å ha hatt betydning for ulykken. Vi går derfor ikke nærmere inn på dette.

5.3.1 Lokomotivførernes kompetanse på bremsesystem

I tillegg til grunnutdanningen må en lokomotivfører ha typekurs for de ulike tog vedkommende skal kjøre. Kunnskap om togets bremsesystem er sentralt både ved fremføring og uttak av toget. Lokomotivfører har ansvaret for at bremseprøve blir utført før togets avgang, jf. pkt. 5.2.2.

DnV har i sine undersøkelser av bremsene gjennomgått og vurdert det teoretiske pensum som lokomotivførere skal gjennom. Pensum legger stor vekt på togets bremse- og trykkluftsystemer med detaljert gjennomgang av dette. DnV fant imidlertid enkelte konkrete eksempler på manglende kompetanse når det gjaldt håndteringen av togets bremsesystem. Utdanningen inneholder for eksempel ingen spesialopplæring med hensyn til hvordan man skal forholde seg ved hel eller delvis bremsesvikt.

Lokomotiv El 16 har som nevnt i pkt. 5.1.1 en direktebrems som bare virker på lokomotivet. Ved fremføring av et lavutbremset lokomotiv som El 16 i bremsegruppe G, vil bruk av direktebrems i et tilfelle av delvis bremsesvikt gi en økning i lokomotivets og dermed togets samlede bremseevne. Bruk av direktebremsen kan i værste fall føre til avsporing, og opplæring i bruk av denne ved bremsesvikt bør derfor gis.

DnV har i bremserapporten påpekt at de intervjuede lokomotivførerne i liten grad var kjent med at lokomotivets direktebrems ville kunne øke lokomotivets bremseeffekt i nødssituasjoner. Lokomotivførerne antok imidlertid at de nok ville benyttet direktebremsen som et supplement til togets hovedbrems i en slik situasjon. Lokomotivførerne bør få bedre opplæring og råd om når det kan være hensiktsmessig også å benytte direktebremsen.

Som nevnt er bremseprosent kun en teoretisk verdi for togets bremseevne. Det finnes imidlertid gjennom ATC-systemet muligheter for å måle togets reelle bremseevne ved prøvebremsing. Dette er en funksjon som blir benyttet rutinemessig i Sverige hvor man har FATC på de fleste strekninger, men som lokomotivførere her i landet har liten kjennskap til, og som det ikke gis opplæring i å bruke. Dersom slik opplæring gis og det samtidig installeres baliser med fallinformasjon i sporet på utvalgte prøvebremsestrekninger etter de viktigste utgangsstasjoner, vil dette være en enkel og billig måte å gi en sikrere indikasjon på togets reelle bremseevne enn hva dagens prøvebremsing gir.

DnV fant videre at lokomotivførerne manglet kunnskap om de marginer som ligger inne for tillatt hastighet ved ulike bremseprosenter og fall.

Lokomotivførerne hadde således ikke kunnskap om hvilke sikkerhetsmarginer for beregning av bremsevei mellom forsignal og innkjørsignal man bygger på.

Opplæringen med hensyn til bremser bør etter Kommisjonens syn bedres. Særlig bør det legges til rette for at lokomotivførerne læres opp til å utnytte de muligheter som ATC-utstyret gir.

5.3.2 Skiftekonduktørenes kompetanse på bremsesystemer

Som regel er det en skiftekonduktør som assisterer lokomotivfører ved bremseprøving før avgang fra utgangsstasjon. Slik var det også for tog 5781. Skiftekonduktør har mellom 6 og 12 måneders læretid. For å kunne utføre bremseprøver må vedkommende i tillegg gjennomgå et særskilt kurs på 2–3 uker på Jernbaneskolen. Dette kurset har både en teoretisk og en praktisk del hvor utføring av bremseprøve inngår. En skiftekonduktør er hvert tredje år inne til kontrollprøve. Dette er et teoretisk repetisjonskurs som avsluttes med en skriftlig eksamen. Kurset varer en dag. Under Kommisjonens høringer fremgikk det at alle som utfører bremseprøver på Alnabru har gjennomført særskilt kurs for dette.

5.4 Undersøkelser knyttet til NSB Gods vedlikeholdsrutiner

Som nevnt innledningsvis i dette kapitlet var det tidlig klart at bremsesvikt var den direkte årsaken til ulykken på Lillestrøm. Kommisjonen har i kap. 5.2 konstatert at det ikke foretas noen form for kontroll før avgang av at den angitte bremseprosenten reflekterer togets reelle bremseevne. Materiellet som sådan forutsettes å være i den stand godsvognopptaket angir. Kommisjonen ønsket på denne bakgrunn å utrede de rutiner som gjelder for vedlikehold av bremser i NSB Gods. Formålet med en slik undersøkelse har dels vært å bringe på det rene hvorvidt manglende vedlikehold i dette tilfelle kan forklare den bremsesvikt tog 5781 hadde ulykkesnatten, og dels om vedlikeholdsrutinene i NSB Gods generelt synes å være tilstrekkelige til å ivareta sikker togfremføring.

Kommisjonen ba DnV ved Terje Andersen om å undersøke og utrede ovennevnte forhold. Oppdraget ble gitt 26. mai 2000. Fra mandatet hitsettes:

> Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjon etter togulykken på Rørosbanen 4. januar 2000 som har fått utvidet sitt mandat til også å undersøke togkollisjonen på Lillestrøm natt til 5. april 2000, ber DnV ved Terje Andersen undersøke om reglene og rutinene for drift og vedlikehold av bremsesystem på lokomotiv og godsvogner kan ha resultert i de feil og/eller svakheter som hadde konsekvenser for togfremføringen på Lillestrøm 5. april 2000.
>
> Spesielt skal krav for transport av farlig gods vurderes. Undersøkelsene begrenses til godsvogner og lokomotiv. Beholdere og tanker for frakt av farlig gods som lastes eller monteres fast på godsvogner undersøkes spesielt av andre. I tillegg foretas det egne tekniske undersøkelser av det materiell som var involvert i kollisjonen. Dette mandatet er således begrenset til å se generelt på regler og rutiner etc. for vedlikehold av lokomotiv og godsvogner, samt spesielt på vedlikeholdshistorien for lokomotiv og vogner i tog 5781 ved kollisjonen 5. april i år.
>
> Resultatet av undersøkelsene skal gi et klart bilde av hvordan bremsing håndteres ved togfremføring av godstog samt vedlikehold av bremsesystemene innen NSB. Undersøkelsene skal omfatte fire deler; tekniske krav, vedlikehold, kontroll før kjøring samt hvordan lokomotivfører foretar bremsing i ulike situasjoner.
>
> I tillegg skal undersøkelsene omfatte en vurdering av regler og praksis knyttet til disse fire områder. Vurderingen skal også omfatte en sammenligning av Statoils og VTGs interne regler og praksis når det gjelder vedlikehold av gasstankvogner eksklusiv tank sett i forhold til de rutiner NSB arbeider etter.
>
> *Tekniske krav*
>
> Undersøkelsen skal omfatte tekniske krav fra UIC, RID, Jernbaneverket og NSB på det bremsesystem som monteres i lokomotiv og godsvogner. Dessuten skal undersøkelsen omfatte dokumentasjon og rutiner for de krav som berører vedlikehold og drift. Undersøkelsen skal også vise om kravene var oppfylt for lokomotiv og vogner i tog 5781.
>
> *Vedlikehold*
>
> Undersøkelsen skal omfatte gjennomføring av vedlikehold av lokomotiv og godsvogner på NSBs verksteder. Vedlikeholdstype, frekvens, materialer, instruksjoner og utrustning samt vedlikeholdsorganisering med ressurser, personell og utdannelse. Vedlikeholdsprogrammer, gjennomføring av vedlikeholdsarbeidet, kontroll og kvalitetssikring. Videre skal undersøkelsen omfatte den tekniske status på lokomotiv og vogner i tog 5781 før ulykken den 5. april 2000.
>
> *Kontroll før kjøring*
>
> Mellom vedlikeholdsterminene ruller lokomotiv og godsvogner i ulike tog. Undersøkelsen skal også omfatte krav om og gjennomfø-

ringen av bremseprøver/-tester før kjøring og i hvilken grad disse prøvene/testene utføres for å følge opp bremsesystemenes funksjon i drift.

Drift

Undersøkelsen skal omfatte instruksjoner, opplæring og praksis knyttet til bremsehåndtering ved togfremføring. Spesielt skal vinterforhold med snø og is iakttas.

Vurdering

Det skal utarbeides en rapport som gir en vurdering av de foreliggende krav med tanke på risiko og sikkerhet. Videre skal det vurderes så langt som mulig hvordan kravene oppfylles i praksis.

Rapporten fra DnV (bremserapporten) ble overlevert Kommisjonen 9. januar 2001, og er inntatt som vedlegg 3.

DnV har i sin evaluering av NSB Gods' rutiner for ettersyn og vedlikehold av bremser konkludert med at NSB Gods i forbindelse med årlig ettersyn av godsvogner foretar en god diagnose av vognens trykkluftsystem.

Imidlertid påpeker DnV at det i forbindelse med årlig ettersyn ikke gjennomføres noen etterprøving som kan gi grunnlag for å vurdere hvorvidt oppgitt bremseeffekt virkelig oppnås, for eksempel ved klosstrykkmålinger. Slik etterprøving bør helst gjennomføres både med tom og lastet vogn. DnV påpeker at det klosstrykk som oppnås ved fullbrems aldri blir målt. Dette innebærer at den teoretisk beregnede bremseprosenten, som brukes som grunnlag for beregning av togenes høyeste tillatte hastighet, ikke etterprøves. NSB Gods vil dermed ikke oppdage avvik mellom reell bremseevne og den angitte bremseprosenten i godstog. Kommisjonen oppfatter dette som en svakhet i NSB Gods' vedlikeholdsrutiner som kan få sikkerhetskritiske konsekvenser.

DnV foretok i forbindelse med sine undersøkelser retardasjonsmålinger på fem godstog for å måle togenes reelle bremseevne ved nødbrems. Undersøkelsens formål var å finne hvilket samsvar det er mellom den teoretisk beregnede bremseprosent og den retardasjon toget faktisk oppnår. Målinger ved 2–3 nødbremsaktiveringer ble foretatt for hvert av togene.

Målingene viser dårlig samsvar mellom oppgitt bremseprosent og togets retardasjonsevne. For et av togene var det et avvik på 20–25 prosentpoeng. Toget hadde en oppgitt bremseprosent på 91, men den målte retardasjonen var svakere enn den retardasjon som ble målt for et tog med en bremseprosent på 68–70. Et slikt avvik er vesentlig større enn de sikkerhetsmarginer som ligger inne i bremsetabellene. Det aktuelle toget ville ikke vært i stand til å stanse innenfor den spesifiserte signalavstanden på 800 meter om toget hadde vært fremført i maksimalt angitt hastighet i fall. For de andre togene som ble målt var samsvaret noe bedre, men også her ble det funnet betydelige avvik.

I følge DnV synes målingene å vise at den første nedbremsingen gir vesentlig dårligere retardasjon enn de påfølgende nedbremsinger. Særlig ble det målt forskjell hvor den første nedbremsingen også var den første etter avgangsstasjonen. Forskjellen i målt retardasjon mellom første brems etter avgang og etterfølgende nedbremsinger synes å være bortimot 10 %.

Kommisjonen er kjent med at NSB BA er kritisk til de retardasjonsmålinger DnV har foretatt. NSB BA mener disse ikke er i samsvar med tradisjonell metode innen jernbanen og at det er usikkerhetsmomenter med hensyn til målingenes pålitelighet. I følge NSB BA gir DnVs målinger et mål på togets retardasjon i et hastighetsområde som er relativt konstant. Resultatene kan derfor ikke direkte sammenlignes med bremseprosenten, fordi tilsettingstid og høyere avbremsing i lave hastighetsområder ikke er medregnet.

Kommisjonen har vurdert NSB BAs kritikk, og mener DnVs metode er tilstrekkelig detaljert for det formål undersøkelsen hadde. Hensikten med målingene var på et overordnet nivå å finne om det var overensstemmelse mellom teoretisk og reell bremseevne.

DnV har også gått gjennom ulykker og nestenulykker med godstog som skyldes bremsesvikt, se tabell 5.2.

Gjennomgangen over viser at det i flere av tilfellene ble påvist misforhold mellom beregnet bremseprosent og reell bremseevne. Dette bekrefter Kommisjonens oppfatning om at bremseprosent kan gi et usikkert mål på et togs reelle bremseevne, dersom grunnlaget for et togs bremseprosent ikke etterprøves.

DnV har videre påpekt at det ikke gjennomføres funksjonstest eller registrering av eventuelle feilårsaker på bremsekomponenter som skiftes ved utgått revisjonsintervall. Det gjennomføres heller ingen funksjonstest av komponentene før de eventuelt blir revidert og brukt på nytt. NSB Gods har således ingen statistikk over påliteligheten av disse komponentene, og får ingen erfaringer med hensyn til hensiktsmessigheten ved de revisjonsintervaller som benyttes. DnV er særlig kritisk til at revisjonsintervallene er blitt utvidet med fire år, samtidig med at kilometerløpet på den enkelte vogn er økt uten en systematisk etterprøving av tilstanden på de komponenter som tas ut.

Tabell 5.2 Eksempler på hendelser med bremsesvikt i Norge

Nypan 1981	Sammenstøt forårsaket av bremsesvikt. Fremmedlegeme hadde tettet hovedledningen.
Billingstad 1999	Godstog forbi hovedsignal i stopp. Virkelig bremseprosent 49 mot oppgitt 63 % (bremser avstengt i visse vogner).
Lillestrøm 2000	Godstog 5781 kolliderte med Godstog 5713. 5781 hadde kraftig forlenget bremsevei. Virkelig bremseprosent 57 mot angitt 77 % og tom hovedledning.
Bryn – Loenga 2000	Tomt flybrenseltog klarte ikke å holde 30 km/t i 27 ‰ fall. Nødbrems for å ikke overskride maksimal hastighet. Vognenes bremseprosent midlertidig redusert med 10 %.
Dombås – Otta 2000	Lokomotivfører oppdaget dårlige bremser. Virkelig bremseprosent 44 mot oppgitt 79 %. Bremseprøve viste at syv vogner var uten brems.

DnV har også innhentet informasjon om vedlikeholds- og løpshistorien til lokomotiv og vogner i tog 5781. En gjennomgang av materialet gir ingen indikasjon på at vedlikeholdsterminer var oversittet eller at vedlikehold av betydning for togets bremser var utsatt. Likevel hadde toget dårligere bremseevne enn forutsatt.

Kommisjonen mener Jernbanetilsynet tidligere burde ha gjennomført revisjoner rettet mot vedlikehold, regler og rutiner vedrørende bremser på godstog. Bremser er en helt sentral faktor for sikker togfremfremføring og bør følgelig fokuseres også fra Tilsynets side. Tilsynet ble gjort oppmerksom på at Kommisjonen igangsatte grundige undersøkelser av bremsene i godstog gjennom DnV, og ga da uttrykk for at man ønsket å avvente Kommisjonens rapport. Med de funn som er gjort legger Kommisjonen til grunn at Tilsynet vil følge disse opp, og likeledes at Tilsynet vil kartlegge situasjonen for så vidt gjelder bremser i persontog.

Det er etter Kommisjonens oppfatning nødvendig å få bedre samsvar mellom de teoretiske og reelle bremseverdier, hvis bremseprosenten som fremgår av godsvognopptaket skal fremstå som troverdig og som et mål på forventet bremseeffekt. I mellomtiden må det forhold at bremseprosenten ikke er til å stole på fokuseres, slik at prøvebremsing foretas som fastlagt i NSB Gods' interne regelverk.

5.5 Gjennomførte bremsetekniske undersøkelser av materiellet

Som nevnt var det tidlig klart at tog 5781 hadde hatt bremsesvikt i fallet ned mot Lillestrøm stasjon. Kommisjonen fant det derfor nødvendig å få gjennomført bremsetekniske undersøkelser av det involverte materiellet. Sammen med politiet ble det avtalt at disse undersøkelsene kunne gjennomføres av NSB BAs bremsekontor under overvåking og kontroll av politiet og Kommisjonen. I Norge er kompetansen på bremser i tog lokalisert til personer ansatt ved dette kontoret. Kommisjonen fant tilstedeværelse under tester, prøver og rekonstruksjoner, samt kritisk overvåkning av undersøkelsene underveis tilstrekkelig til at man i utgangspunktet kunne basere seg på bremsekontorets rapport.

Kommisjonen har i tillegg fått sivilingeniør, og tidligere bremsesjef i SJ Sven A. Eriksson, nå ansatt i Green Cargo AB (tidligere SJ Gods), til å etterprøve de undersøkelsene som er gjort og de resultater som har fremkommet i NSB BAs bremsetekniske rapport. Henning Brustad ved NSB BAs bremsekontor har hatt hovedansvaret for rapporten som er datert 27. november 2000 og kalt «Gjennomførte undersøkelser i forbindelse med Lillestrøm-ulykken». Rapportens sammendrag er inntatt som vedlegg 4 til Kommisjonens rapport. Sven A. Erikssons verifisering av det arbeid som NSB BA har gjort, samt Kommisjonens mandat til Eriksson er inntatt som vedlegg 5.

Nedenfor vil de gjennomførte prøver og undersøkelser som knytter seg til de bremsetekniske undersøkelsene gjennomgås. Disse er delt inn i fire deler:

- Åstedsbefaring
- Bremsetekniske data
- Registrerte hastighetsdata
- Prøvekjøringer og statiske måleforsøk

5.5.1 Åstedsbefaring

Kommisjonen deltok i åstedsbefaring 10. og 11. april etter at redningstjenesten hadde erklært

at eksplosjonsfaren var over. Ved denne befaring ble status i bremseutrustningen til lokomotiv og vogner i tog 5781 kontrollert. Registrerte hastighetsdata fra lokomotivet, herunder restveiskive og hastighetsregistrering på papirrull, ble tatt ut av lokomotivet.

Ved befaring i lokomotivet ble følgende observasjoner av betydning notert:

- Førerbremseventilen stod i nødbremsestilling
- Nødbremseventilen var ikke åpnet
- Direktebremseventilen var i løsestilling, det vil si stengt
- Elektrisk motstandsbrems var ute av funksjon
- Kompressor var innkoblet og alle kraner var korrekt innstilt

Videre var ATC-utrustningen innkoblet, og følgende innstillinger fremgikk av ATC-panelet, jf. fig. 3.7:

- Maksimal hastighet: 100 km/t
- Toglengde: 200 meter
- Bremsetilsettingstid for vognene: 6 sekunder
- Maksimal retardasjon: 0,60 m/s^2

I lokomotivets maskinrom var SIFA-ventilen innkoblet og plombert, bremsegruppeomstilleren stod i G-stilling, det vil si at lokomotivet var avbremset i bremsegruppe G, se fig. 3.5. Kranene til direktebrems, togbrems og styreventil var åpne.

De ni vognene ble også inspisert. På alle vognene var styreventilene innkoblet, koblingsslangenes kraner åpne og alle vogner var korrekt innstilt i bremsegruppe P. Videre ble alle koblingsslanger undersøkt med hensyn til fuktighet. Det var ikke mulig å foreta undersøkelser av slangene i den første vognen, fordi disse var ødelagt. I bremseslangene til vognene 2 og 3 var det tørt. Ingen fuktighet ble påvist. I bremseslangene mellom vognene 4 til 9 ble det registrert litt fuktighet i hver.

Det forhold at direktebremsen ikke var tilsatt og at det overhodet ikke ble funnet vann, men bare litt fuktighet i togets bremsesystem har stått sentralt i undersøkelsesarbeidet.

5.5.2 Bremsetekniske data

Bremseprosent er som nevnt i pkt. 5.1.2 en teoretisk beregnet verdi for et togs evne til å bremse, bremseevnen. Et togs bremseprosent fremgår av godsvognopptaket som lokomotivfører får utlevert etter utført bremseprøve. En sentral del av undersøkelsesarbeidet har vært å bringe på det rene hvorvidt togets reelle bremseevne var i samsvar med den angitte bremseprosenten. Kommisjonen har i denne hensikt deltatt i bremsetekniske undersøkelser av ulykkesmateriellet sammen med NSB BA og politiet.

Undersøkelsene har dels blitt gjennomført som stillestående målinger av det involverte materiell, og dels som prøvekjøringer med rekonstruert ulykkestog. Ved undersøkelsene har man i størst mulig grad benyttet det materiell som var involvert i ulykken. Hvor dette ikke var mulig har tilsvarende materiell blitt brukt. For eksempel var lokomotiv El 16 nr. 2215 for skadet til å nyttes. Man benyttet derfor et annet El 16 lokomotiv, nr. 2216, men hvor de sentrale bremsekomponenter i lokomotiv nr. 2215 ble satt inn.

5.5.2.1 Lokomotiv

Det beregnes normalt ingen bremseprosent for lokomotivet alene. Lokomotivets bremseevne kan imidlertid etterprøves ved klosstrykkmålinger. Målinger av lokomotivets bremser viser at den reelle bremseevnen for lokomotivet var rundt 75 % av den teoretiske verdien.

5.5.2.2 Vogner

For å få frem vognenes reelle bremseevne ble det foretatt statiske klosstrykkmålinger av bremseklossene på Alnabru 15., 17. og 27. april 2000. Resultatene ble verifisert gjennom bremseveimålinger 9. mai 2000. Det var mulig å foreta slike målinger på alle vogner i tog 5781 med unntak av første gasstankvogn som ble for skadet i kollisjonen. Det er derfor lagt til grunn at denne vognen hadde de samme data som den andre gasstankvognen i toget, fordi konstruksjon og vekt var tilnærmet lik.

Beregninger foretatt på bakgrunn av disse undersøkelsene gjorde det mulig å konstatere følgende avvik mellom den reelle og den teoretiske bremseevnen:

- I gjennomsnitt var reell bremseevne for de syv bakerste godsvognene ca. 6/10 av den teoretiske. Bremseevnen for de enkelte vognene varierte, fra tilnærmet samsvar med teoretisk verdi for vogn 3 til nesten halvert verdi for vogn 5.
- Resultatet for den ene tankvognen var en faktisk bremseverdi på ca. 7/8 av teoretisk verdi. Som nevnt er dette resultatet også lagt til grunn som verdi for den andre tankvognen.

Samlet faktisk bremseevne for vognene i tog 5781 var ca. 2/3 av teoretisk verdi.

Tabell 5.3 Teoretiske og målte bremseverdier for tog 5781

	Faktisk verdi	Ifølge godsvognopptak
Dynamisk masse M (tonn)	619	622
Bremset vekt B (tonn)	357	484
Bremseprosent B/M	57	77

5.5.2.3 Tog 5781

Dokumenterte reelle bremsedata for rekonstruert ulykkestog sammenlignet med angitte verdier i godsvognopptaket er vist i tabell 5.3.

Den maksimale retarderende kraften for tog 5781 ved fullbrems/nødbrems med lavutbremset lokomotiv i bremsegruppe G på strekning uten fall, blir ca. 319 kN (kiloNewton) mot teoretiske 476 kN.

Den reelle bremseevnen for tog 5781 var således 2/3 av den teoretisk beregnede.

5.5.3 Registrerte hastighetsdata

De registrerte hastighetsdata for tog 5781 ble som nevnt tatt ut av lokomotivet under åstedsbefaringene 10. og 11. april 2000. Disse data gjør det mulig å sammenligne kjøremønsteret for toget med hastighetsdata fra de gjennomførte prøvekjøringer. Gjennom disse mente man å finne hvilke forutsetninger som var tilstede ulykkesnatten for å gi den hastighetsprofil toget hadde.

Hastighetsrullen til tog 5781 måtte oppjusteres med 2 km/t på grunn av for lav grunninnstilling av hastighetsmåleren, og i tillegg 3 % for avvikende hjuldiameter. Slik justering er foretatt for alle de hastigheter som gjengis i rapporten.

Restveiskiven gir detaljert informasjon om hastighet og bremsing av lokomotivet de siste 1050 meterne. Denne viser at ulykkestogets hastighet ble redusert fra 91 til 62 km/t på denne strekningen, jf. fig. 3.9 og fig. 5.4.

Følgende forhold som kan leses ut av hastighetsrullen og restveiskiven har stått sentralt i Kommisjonens undersøkelsesarbeid:

Figur 5.4 Skjematisk presentasjon av hastigheten til tog 5781 og profil av strekningen Alnabru - Lillestrøm

- Hastigheten er omtrent konstant rundt 95 km/t gjennom Strømmen stasjon og ut over fallet mellom km 17,6 og 18,4.
- Ved km 18,4 viser hastighetsrullen en forholdsvis konstant akselerasjon over ca. 15 sekunder. Etter drøyt 400 meter reduseres akselerasjonen, og etter ytterligere 100 meter begynner toget å retardere. Dette skjer ved Sagdalen blokkpost, km 18,9, hvor hastigheten har økt til 102 km/t.
- Utover fallet fra Sagdalen blokkpost og frem til kollisjonspunktet (ca. km 20,55) er det ca. 1620 meter og et fall på ca. 17 ‰. På denne strekningen er retardasjonen svak og relativt konstant.
- Ved kollisjonsstedet slutter linjen på hastighetsrullen med en avlest hastighet på 62 km/t.

5.5.4 Statiske måleforsøk og prøvekjøringer

Sammenligner man de avleste data fra hastighetsregistreringen med de bremsetekniske data får man frem følgende:

- Togets teoretiske retardasjon er beregnet til 0,65 m/s^2 i 17 ‰ fall.
- Togets reelle retardasjon var i følge bremsetekniske data fra gjennomførte undersøkelser og målinger i 17 ‰ fall beregnet til 0,39 m/s^2.
- Togets retardasjon ulykkesnatten var i følge hastighetsrullen mellom 0,14 og 0,16 m/s^2.

For å finne forklaringen på forskjellen mellom oppnådd retardasjon og den bremseevnen toget skulle hatt, i det videre benevnt hovedbremsesvikten, var det nødvendig å iverksette ytterligere undersøkelser. Ifølge bremsetekniske data i pkt. 5.5.2 tilsvarte den oppnådde retardasjonen på 0,14 – 0,16 m/s^2 en bremsekraft tilsvarende halvparten av togets reelle bremseevne. Dette tilsvarer en senkning av hovedledningstrykket på ca. 1 bar (4–5 bremsetrinn på førerbremseventilen) eller at de tre til fem bakerste vognene i toget var helt uten brems.

Det er særlig to forhold ved togets hastighetsprofil som har vært vesentlige. For det første den akselerasjon toget hadde etter utkjøring fra Strømmen stasjon og for det andre den sterkt reduserte, men konstante bremseevnen over de neste 1620 meterne fra Sagdalen blokkpost til kollisjonsstedet.

Når tog 5781 hadde en så redusert bremseevne som det viste seg å ha, må dette enten skyldes at lufttrykket i togets hovedledning var tilnærmet borte, eller at hovedledningen var blokkert under nedbremsingen mot Lillestrøm. Dette kan igjen bare skyldes ett av to forhold. Enten ispropp i hovedledningen eller langsom luftlekkasje i bremsesystemet uten nødvendig ettermating fordi førerbremseventilen stod i midtstilling

For å finne årsaken ble følgende rekonstruksjoner og målinger foretatt:

1. Statiske måleforsøk med rekonstruert ulykkestog, Alnabru 21. mai 2000
2. Prøvekjøring med rekonstruert ulykkestog, Strømmen – Lillestrøm 22. mai 2000
3. Statiske måleforsøk med rekonstruert ulykkestog, Alnabru 27. juni 2000
4. Prøvekjøring med rekonstruert ulykkestog, Strømmen – Lillestrøm 23. oktober 2000
5. Benkeforsøk med diverse bremsekomponenter fra lokomotiv og vogner i ulykkestoget på Grorud i oktober og november 2000.

5.5.4.1 Statiske måleforsøk med rekonstruert ulykkestog, Alnabru 21. mai 2000

En mulig forklaring på hovedbremsesvikten er som nevnt at lufttrykket i hovedledningen lekket ut etter avsluttet bremseprøve på Alnabru og at lokomotivfører dermed ikke fikk særlig bremsevirkning i fallet mot Lillestrøm. Hensikten med de statiske måleforsøkene var å finne ut hvordan bremsene virker i en situasjon der trykket sakte siver ut fra hovedledningen ved blokkert ettermating. Dette ble gjort for å kunne vurdere om et slikt ulykkesforløp var mulig.

Undersøkelsen viste at det tar 3 minutter og 15 sekunder å fylle hele togets bremsesystem med luft. Etter en nødbrems går det raskere å øke hovedledningstrykket. 2 bar oppnås etter 12 sekunder, og 4 bar etter 35 sekunder. 5 bar oppnås da i løpet av 1 minutt og 25 sekunder.

Med blokkert ettermating reduseres hovedledningstrykket til 2 bar i løpet av 15 minutter. Etter 19 minutter er trykket nede i 1,6 bar, og med tilsvarende trykkreduksjon vil bremsesystemet være helt tømt for luft etter rundt 30 minutter.

Hvis kompressoren er skrudd av vil hovedstrømbryteren til lokomotivet kobles ut når trykket synker til under 4,6 bar. Togets bremseevne er ved et slikt trykk fortsatt intakt. Lokomotivfører kan dermed stanse toget og skru på strømmen igjen. Dette skjedde beviselig ikke 5. april 2000. Kommisjonen utelukker derfor at utkoblet kompressor kan ha vært årsak til bremsesvikten i tog 5781, jf. pkt. 8.1.2.

5.5.4.2 Prøvekjøring med rekonstruert ulykkestog, Strømmen – Lillestrøm 22. mai 2000

Hensikten med denne prøvekjøringen var å undersøke hvordan toget akselererte i fallet mot Lille-

strøm ved tilsetting av ulik bremsekraft. Dette ble gjort for å verifisere forholdet mellom bremsetilsetting og togets registrerte hastighetsprofil.

Det ble foretatt prøvekjøringer med alle bremser i orden, med bremsene i den nest siste vognen utkoblet og med bremsene i den siste vognen og lokomotivet utkoblet. Undersøkelsen viste at togets bremseevne ulykkesnatten tilsvarte at de siste tre til fem vognene var uten brems.

Siden lokomotivfører har forklart at han tilsatte bremsene med to trinn på førerbremseventilen i fallet mot Sagdalen blokkpost ble dette prøvet. Undersøkelsen viste at toget ikke akselererte i fallet mot Sagdalen med en slik bremsetilsetting. Hastighetsprofilen til tog 5781 viser imidlertid akselerasjon. En slik akselerasjon kan både skyldes blokkert ettermating og blokkert hovedledning.

5.5.4.3 Statiske måleforsøk med rekonstruert ulykkestog, Alnabru 27. juni 2000

En mulig forklaring på hovedbremsesvikten kunne som nevnt være at en ispropp i hovedledningen påvirket togets bremseevne. Hensikten med dette forsøket var å simulere effekten av en ispropp.

Ispropp ble simulert ved delvis blokkering av hovedledningen mellom vogn 6 og 7. Formålet var å sammenligne forskjellige bremseforløp med ulike ispropper for å se om disse samsvarte med hastighetsprofilen.

Forsøk ble gjennomført med simulerte ispropper som ga luftgjennomstrømning tilsvarende henholdsvis 1 % og 5 % åpning i hovedledningen. Resultatene viste at en ispropp som tilsvarer 1 % åpning i hovedledningen, forsinket bremsetilsettingen for vognene bak proppen med fem sekunder ved nødbrems. En ispropp som ga 5 % åpning i hovedledningen påvirket overhodet ikke bremsenes tilsettingstid. Skal en ispropp gi redusert brems må den følgelig tette hovedledningen fullstendig.

5.5.4.4 Prøvekjøring med rekonstruert ulykkestog, Strømmen – Lillestrøm 23. oktober 2000

Hensikten med denne prøvekjøringen var å dokumentere ulykkestogets akselerasjon mellom Strømmen stasjon og Sagdalen blokkpost uten bremsetilsetting, samt å finne togets praktiske rullemotstand for videre teoretiske beregninger.

Resultatet fra prøvekjøringen var at en tilsetting av 4–5 bremsetrinn på førerbremseventilen ved Sagdalen blokkpost, noe som tilsvarer en trykksenking i hovedledningen på 0,91–1,05 bar, gir en retardasjon som tilsvarer den ulykkestoget hadde derfra.

For å se hvilken akselerasjon et tog ville få i fallet mellom Strømmen stasjon og Sagdalen blokkpost uten brems, ble et tog fremført uten bremsetilsetting på denne strekningen. Målt akselerasjon ved rekonstruksjonen var 0,11–0,12 m/s^2.

Beregninger basert på resultatene fra prøvekjøringen sammenlignet med ulykkestogets hastighetsprofil viser at toget må ha vært tilnærmet uten brems i maksimalt fall i ca. 15 sekunder. Dette tilsvarer drøyt 400 meter.

5.5.4.5 Forsøk med diverse bremsekomponenter fra lokomotiv og vogner på Grorud i oktober og november 2000

Hensikten med disse forsøkene var å bringe på det rene hvorvidt det forelå feil ved noen av komponentene i lokomotivet eller vognene i tog 5781 som kunne forklare ulykken.

Førerbremseventil, bremsegruppestiller (GPR-kran) og bremsesylindre fra lokomotiv El 16 nr. 2215 ble funnet i orden.

Styreventilene fra de tre siste vognene ble funksjonstestet i verksted, og det var ingen bemerkninger til ventilenes funksjonsdyktighet.

I tillegg ble det foretatt en spesialtest av styreventilene fra de tre bakerste vognene, for å se hvordan det såkalte A-kammertrykket påvirker bremsesylindertrykket. Hensikten med dette forsøket var å bringe på det rene hvor høyt A-kammertrykk som er nødvendig for at bremsene tilsetter ved nødbrems.

Det tar 41–42 sekunder å lade opp A-kammertrykket i vognenes styreventiler til 1,5 bar hvis A-kammeret er tomt. Ved 1,5 bar trykk i A-kamrene ville samtlige undersøkte styreventiler gitt full tilgjengelig bremseeffekt ved nødbrems. Siden tog 5781 ikke oppnådde full tilgjengelig bremsekraft ulykkesnatten, kan trykket i A-kamrene således ikke ha vært 1,5 bar. Ved lavere trykk enn 1,5 bar i A-kamrene er det svært usikkert hvordan styreventilene reagerer. Noen kan tilsette med full bremsevirkning, mens andre ikke tilsetter. Det er derfor i ettertid svært vanskelig å fastslå hvilke styreventiler som ga brems 5. april 2000, jf. pkt. 8.1.5.

5.5.5 Verifisering av gjennomførte undersøkelser

Som nevnt har Kommisjonen bedt sivilingeniør og tidligere bremsesjef i SJ Sven A. Eriksson, nå ansatt i Green Cargo AB, om å gjennomgå og verifisere NSB BAs bremsetekniske rapport. Eriksson

fikk oppdraget 20. desember 2000. Fra mandatet hitsettes:

> Bremsesystemene i ulykkestoget, lokomotiv El 16 nr. 2215 med ni vogner, er undersøkt på NSB BAs verksteder under oppsyn og kontroll av medlemmer fra Kommisjonen og polititjenestemenn ved Romerike politidistrikt. Gjennomførte målinger, beregninger og konklusjoner er samlet i en rapport fra NSB BAs bremsekontor av 27. november 2000 ved Henning Brustad.
>
> Kommisjonen ber Sven A. Eriksson ved Green Cargo AB gi en faglig vurdering av NSB BAs bremserapport. Rapporten viser at tog 5781 først ikke fikk noen brems etter utkjør Strømmen og deretter hadde redusert, men konstant bremseevne.
>
> Arbeidet skal spesielt omfatte følgende punkter:
> – Er rapporten komplett utfra de undersøkelser, målinger, beregninger og konklusjoner som er gjort eller er det fortsatt åpne problemstillinger som må lukkes?
> – Ville ulykken ha skjedd hvis tog 5781 hadde den teoretisk bremseevnen og det reduserte bremsetrykket?
> – Ville ulykken ha skjedd hvis tog 5781 hadde den faktiske bremseevnen og et normalt bremsetrykk?
> – Hvilken effekt ville bruk av lokomotivets direktebrems gitt for hendelsesforløpet?
> – Vurdering og kommentarer til de konklusjoner som gis i NSB BAs bremserapport.
>
> I tillegg ber Kommisjonen Sven A. Eriksson vie muligheten for ispropp i hovedbremseledningen særlig oppmerksomhet. Dette spørsmålet skal vurderes særskilt og på en slik måte at det ikke er noen tvil om en ispropp kan eller ikke kan ha vært årsak til bremsesvikten. Som grunnlag for denne vurdering finnes værdata med temperatur og luftfuktighet samt innhentet informasjon knyttet til sammenkoblingen av vognene til den aktuelle togstamme på Alnabru 4. april i NSB BAs rapport. Skulle denne informasjon ikke være tilstrekkelig til å vurdere muligheten for ispropp som årsak til bremsesvikten, bes om at Sven A. Eriksson omgående foreslår en utvidelse av dette mandat slik at eventuelle fageksperter innen sne og is engasjeres og slik at eventuelle praktiske forsøk gjennomføres.

Sven A. Eriksson avga sin rapport til Kommisjonen 20. januar 2001. Eriksson har gransket NSB BAs bremserapport og funnet at den inneholder de nødvendige undersøkelser, målinger og beregninger for å avdekke den sannsynlige årsaken til ulykken. Eriksson finner også at de konklusjoner, vurderinger og øvrige kommentarer som gis i rapporten er forenlige med de undersøkelser som er gjennomført. Han stiller seg således bak rapportens hovedkonklusjoner.

Erikssons rapport er inntatt som vedlegg 5.

5.5.6 Oppsummering av de gjennomførte undersøkelser

Undersøkelsene viser at det forelå et avvik mellom den reelle bremseprosenten og den teoretisk beregnede bremseprosenten som fremgikk av godsvognopptaket. Den reelle bremseprosenten for ulykkestoget var 57, mens den skulle vært 77.

Videre forelå det avvik mellom den reelle bremseevnen og den bremseevne toget faktisk hadde ulykkesnatten. Forskjellen i teoretisk og reell bremseevne kan dermed ikke forklare hele bremsesvikten.

Den bremseevne toget hadde tilsvarte at de siste tre til fem vognene var uten brems. Dette tilsvarer tilsetting av 4–5 av de 9 bremsetrinn på førerbremseventilen eller et hovedledningstrykk på 0,91–1,05 bar.

Ulykkestoget må ha vært tilnærmet uten brems i maksimalt fall på strekningen Strømmen – Sagdalen blokkpost i ca. 15 sekunder eller over drøyt 400 meter.

Forsøk med simulert ispropp viste at en ispropp må tette hovedledningen fullstendig for å påvirke bremsetilsettingen.

Det tar 41–42 sekunder å lade opp A-kammertrykket i vognenes styreventiler til 1,5 bar. Ved 1,5 bars trykk i A-kamrene ville samtlige undersøkte styreventiler gitt full tilgjengelig bremseeffekt ved nødbrems. Toget oppnådde ikke full tilgjengelig bremsekraft og A-kammertrykket har derfor ikke ha vært over 1,5 bar. Det er derfor i ettertid svært vanskelig å fastslå hvilke styreventiler som ga brems 5. april 2000.

Betydningen av disse undersøkelsene presenteres i analysen i kap. 8.

5.6 Kjøremønsteret fra Alnabru til kollisjonsstedet

Kommisjonen har studert kjøremønsteret fra Alnabru til Lillestrøm for å se om det foreligger avvik fra normal togfremføring som kan knyttes til ulykken.

Som grunnlag har Kommisjonen benyttet ferdskriveren fra tog 5781 og et såkalt løfteskjema med informasjon om strekningsprofilen og tillatt hastighet for strekningen. Ved å sammenligne data fra ferdskriveren med data om strekningens profil, det

vil si stigning og fall, kan kjøringen studeres i detalj, jf. fig. 5.4.

5.6.1 Alnabru - Strømmen

Tog 5781 kjørte fra Alnabru med lav hastighet, og akselererte deretter fra 30 til 80 km/t over omtrent to kilometer i en motbakke. Akselerasjonen var sterk den første kilometeren og ble deretter noe redusert i motbakken.

Omtrent 1500 meter før Lørenskog stasjon begynte toget å retardere i en motbakke. Ved Lørenskog var hastigheten lav. Ifølge lokomotivfører ble bremsene antakelig ikke brukt fordi motbakken var tilstrekkelig til å gi ønsket retardasjon.

Det var banearbeidere i sporet ved Lørenskog stasjon. Hastigheten var derfor nedsatt til 40 km/t og tog 5781 passerte i avvik, det vil si at toget ble ledet over i motgående spor et stykke, for så å bli vekslet tilbake i riktig spor. Hastigheten var 25–30 km/t. Prøvebremsing som normalt foretas her, fordi sporet er plant, ble ikke foretatt på grunn av omkjøringen. Det hadde imidlertid vært mulig å kontrollere at bremsene tok slik lokomotivfører Hernes i tog 5713 gjorde.

Etter Lørenskog akselererte toget gjennom Fjellhamar frem til Strømmen stasjon hvor hastigheten var omtrent 95 km/t. Tillatt hastighet for tog 5781 var ifølge godsvognopptaket 90 km/t. Lokomotivets hastighetsmåler viste imidlertid 91 km/t på grunn av avvik mellom denne og reell hastighet. På denne delen av strekningen, mellom Lørenskog og Strømmen, hadde det vært mulig å foreta en prøvebremsing.

Gjennom Strømmen stasjon var hastigheten omtrent konstant 95 km/t i et svakt fall på 3 ‰.

5.6.2 Strømmen - kollisjonsstedet

Ved utkjøring fra Strømmen stasjon var hastigheten fortsatt 95 km/t. Da hele toget kom ut i fallet på 17 ‰, ca. 400 meter etter Strømmen stasjon, viser ferdskriver en kraftig akselerasjon over de neste 400–450 metrene. Lokomotivfører har forklart at han innledet bremsing ved Strømmen stasjon med to hakk på førerbremseventilen. Utfra de rekonstruksjoner som er foretatt skulle toget ikke fått noen fartsøkning med en slik bremsetilsetting, se pkt. 5.5.4.2. Like etter Strømmen stasjon viser et skilt at tillatt hastighet er 80 km/t på strekningen. Lokomotivfører fikk dermed en klar oppfordring til å bremse ned toget, noe han også har forklart at han forsøkte å gjøre. Det er på denne bakgrunn unormalt at toget i stedet akselererte fra 95 til 102 km/t frem til Sagdalen blokkpost.

Ved passering Sagdalen blokkpost var hastigheten 102 km/t, og toget begynte å retardere rundt 100 meter før dette. Forsignalet ved Sagdalen blokkpost indikerte at det var stopp i hovedsignalet ved innkjør Lillestrøm. Fra Sagdalen blokkpost til kollisjonsstedet er det omtrent 1620 meter. Over denne strekningen ble hastigheten redusert fra 102 til 62 km/t, som var hastigheten ved kollisjonen. Retardasjonen var svak, men konstant og tilsier at toget ikke var normalt avbremset.

Hastighetsrullen viser at retardasjonen var svak fra Sagdalen til kollisjonsstedet, men at den ble marginalt bedret etterhvert. Hastighetsutviklingen kan deles i tre. I den første delen var retardasjonen svak. I den andre delen ble den noe bedre, men svært lite. I den siste delen ble retardasjonen ytterligere noe forbedret.

Forbedringen kan skyldes at det tok litt tid før bremsene bygget opp maksimalt tilgjengelig klosstrykk. Det var første nedbremsing etter Alnabru, og snø og is i bremsesystemet kan ha forsinket tilsettingen av full tilgjengelig bremsekraft noe. Etter hvert som is og snø ble slitt av tilsatte bremsene med all tilgjengelig kraft, og bremseeffekten ble noe bedre. Lang tilsettingstid for lokomotivets bremser i bremsegruppe G kan også ha virket inn. Bremseeffekten var imidlertid svak gjennom hele bremseveien. Snø og is i bremsesystemet kan på denne bakgrunn ikke ses å ha hatt nevneverdig betydning for at kollisjonen fant sted.

Forbedringen over den siste delen av strekningen skyldes at fallet avtok frem til kollisjonspunktet.

5.6.3 Sammenfatning

Etter Kommisjonens oppfatning var kjøringen fra Alnabru til Strømmen for så vidt normal. Det understrekes imidlertid at bremsene ikke ble brukt på strekningen. Prøvebremsing kunne vært foretatt på strekningen mellom Lørenskog og Strømmen.

Etter Strømmen stasjon viser hastighetsrullen en unormal akselerasjon i det toget egentlig skulle retardert, ettersom forsignalet ved Sagdalen blokkpost indikerte stopp i innkjørsignalet til Lillestrøm. Hastigheten ved Sagdalen blokkpost var 102 km/t. Retardasjonen fra Sagdalen til kollisjonsstedet viser en konstant, men svak bremseeffekt.

5.7 Oppsummering

Tog 5781 var utstyrt med to fungerende bremsesystemer, togets hovedbrems og lokomotivets direktebrems. Både hovedbremsen og direktebremsen er avhengige av trykkluft, men de fungerer uavhengig av hverandre.

Førerbremseventilen brukes av lokomotivfører til å regulere togets bremsesystem. I midtstilling blokkeres ettermating av luft til bremsesystemet.

Ved uttak av godstog skal bremseprøve foretas. Prøven vil vise om det er lufttrykk i bremsesystemet og om bremsene tilsetter og løser. Lokomotivfører skal foreta prøvebremsing ved første anledning etter utkjøring fra avgangsstasjonen, og før lengre fall, for å sjekke togets reelle bremseevne. Prøvebremsing ble ikke gjennomført etter utkjøring eller før fallet mot Lillestrøm ulykkesnatten.

Bremseevnen beregnes teoretisk, og angis i godsvognopptaket som en bremseprosent. Foretatte undersøkelser viser at bremseprosenten gir et lite pålitelig mål på togets reelle bremseevne. Foretatte undersøkelser viser også at tog 5781 hadde en reell bremseprosent på 57 mot en oppgitt bremseprosent på 77.

Undersøkelser DnV har foretatt viser at det ikke foretas noen klosstrykkmålinger som kan etterprøve den teoretisk beregnede bremseeffekten, og at det ikke gjennomføres funksjonstest eller registrering av eventuelle feilårsaker på bremsekomponenter som skiftes ut ved utgått revisjonsintervall. Dette innebærer at forutsetningene for den teoretisk beregnede bremseprosenten aldri etterprøves.

Klosstrykkmåling og prøvekjøring med rekonstruert ulykkestog viser at den reelle bremseevnen for tog 5781 var svakere enn den bremseprosenten som godsvognopptaket tilsa. Målingene tilsier imidlertid at dette ikke alene kan forklare ulykken. Togets hastighetsprofil indikerer en langt svakere bremseevne ulykkesnatten enn fullbrems med tilgjengelig bremseevne skulle gitt.

Kapittel 6
Gasstankene

Som nevnt var de to første vognene i tog 5781 tankvogner med propan. Vognene var innleiet av Statoil i Sverige fra det tyske selskapet Vereinigte Tanklager und Transportmittel GmbH (VTG) i Hamburg.

På grunn av gasslekkasjene som oppstod har Kommisjonen undersøkt de to gasstankene for så vidt gjelder konstruksjon, vedlikehold, fylling og hvilke skader de ble påført i forbindelse med kollisjonen.

Tanker som skal frakte propan på jernbane skal tilfredsstille bestemte krav som fremgår av RID, et internasjonalt regelverk som gjelder for frakt av farlig gods på jernbane, se nærmere pkt. 7.1.2. I hvilken grad det finnes krav, og hvordan de aktuelle tankene møtte disse, er behandlet i pkt. 7.4.2.

6.1 Tankenes størrelse og konstruksjon

De aktuelle vognene ble kun brukt til transport av propan og ble operert fra Borealis' anlegg i Stenungsund i Sverige. Tankvognene blir av Statoil Sverige leiet for en periode på minimum tre år.

Tankvognene bestod av et understell med to boggier, påmontert en stor ståltank beregnet for transport av flytende propan. Propantankene besto av en sylinderisk del med diameter 3 meter og buede endebunner. Hver tank hadde en lengde på 16,26 meter. Godstykkelsen var 12,2 mm i den sylinderiske delen og 13,7 mm i endebunnene.

Begge tankvognene hadde sirkelrunde mannhull til bruk ved innvendig inspeksjon noe under midten på en av endebunnene, se fig. 6.1. Mannhullene stakk ut fra endebunnen og var lukket med et sirkulært mannlokk fastskrudd med 24 bolter jevnt fordelt over omkretsen. Mannlokkets tykkelse var 30 mm. Boltender og påmonterte muttere lå utenfor mannlokkets overflate. Vognene var i togsettet orientert slik at mannhullene vendte mot hverandre, se fig. 3.13 og 13.14.

På toppen av tankene var det nær enden av den sylinderiske delen, i samme ende som mannhullene, et ½» hull til bruk ved trykkprøving av tanken. Hullene var tettet med koniske bolter.

I bunnen hadde tankene uttak for henholdsvis gass og væske. Uttakene hadde innvendige fjærbelastede stengeventiler som forhindrer lekkasje dersom tankens utvendige rørsystem skulle bli revet av i forbindelse med en kollisjon eller avsporing. De utvendige rørsystemene gikk fra uttakene ut til siden for påkobling av fylle- og tømmeslanger.

Begge tankene hadde såkalte soltak i form av en metallplate montert 40 mm fra tankens overflate i sonen hvor propan er i gassform under transport. Hensikten med soltak er å begrense soloppvarming av tankmaterialet og tankens innhold, se fig. 6.2.

Den forreste tanken ble bygget i 1975 ved Linke-Hofmann-Busch GmbH og hadde vognnr.

Figur 6.1 Mannhull for inspeksjon

Kilde: DnV

494–1. Tanken hadde et volum på 108750 liter. Vognens totalvekt uten last var 32550 kg.

Den andre tanken ble bygget i 1978 ved Waggon Union GmbH og hadde vognnr. 055–0. Tanken hadde et volum på 109420 liter. Vognens totalvekt uten last var 32240 kg.

Tankene ble som nye trykktestet med et overtrykk på 26 bar.

6.2 Vedlikehold og kontroll

Alle vogner som blir lastet ved Borealis' anlegg i Stenungsund blir sjekket både før og etter lasting i henhold til en utarbeidet liste inntatt i driftshåndboken ved anlegget. Statoil har overfor Kommisjonen oppgitt at slik kontroll ble utført i forbindelse med lasting av de aktuelle tankene, og at intet unormalt ble funnet.

Hver 20. uke skal tankvognene inn til kontroll hos Borealis. Kontrollen er beskrevet i driftsplanen. Slik kontroll ble sist gjennomført 19. januar 2000 for vogn nr. 494–1 og 11. februar 2000 for vogn nr. 055–0. Mannhullene kontrolleres hverken før eller etter lasting eller ved 20-ukerskontrollen. Mannlokkene blir ikke åpnet ved Borealis. Blir det oppdaget feil ved disse blir tanken tømt, renset og sendt til Tyskland for reparasjon.

Prøvepluggen på toppen av tankene blir ikke åpnet ved Borealis. De blir kun benyttet når tanken fylles med vann og trykkprøves, og dette gjøres i Tyskland.

Tankene skal hvert åttende år inspiseres inn- og utvendig av offisiell kontrollør og trykkprøves. Sist ble dette gjennomført for vogn nr. 494–1 i 1994 og for vogn nr. 055–0 i 1996. Fire år etter denne testen skal det gjennomføres en noe mindre omfattende kontroll som består av en innvendig og utvendig inspeksjon og tetthetsprøve. En slik kontroll ble gjort for vogn nr. 494–1 i 1998.

Større vedlikehold av vognene skjer hvert tolvte år etter et nøye fastlagt program hvor hele vognen demonteres og forsynes med nye deler.

6.3 Fylling av tanker

Når tankene fylles med propan tilsettes et luktstoff, merkaptan, for å kunne oppdage en lekkasje siden propan er uten lukt. Maksimal fyllingsgrad i tankene er 85 %. Denne grensen kan ikke overskrides, og var heller ikke overskredet i de aktuelle tankene.

Fyllingen forgår under et trykk fra fyllingsanlegget på 21 bar. Temperaturen på propanen under fylling er mellom 1 og 4 °C. Etter at vognene er fylt blir de veiet.

Figur 6.2 Gasstankvogn med soltak

Kilde: DnV

Tankvognene ble 20. mars fylt opp med propan ved Borealis' anlegg i Stenungsund. Tanken på vogn nr. 494–1 som gikk nærmest lokomotivet ble fylt med 83760 liter, noe som tilsvarer 46360 kg. Tanken i vogn nr. 055–0 ble fylt med 85410 liter eller 46560 kg propan. Kvaliteten som leveres fra Borealis' anlegg i Stenungsund er propan 95, et produkt som inneholder minst 95 % propan. I dette tilfellet var propaninnholdet i følge Statoil 98,5 %. Resten var hovedsakelig butan og etan. Det ble tilsatt 1,115 kg med luktstoffet merkaptan. Vognene ble satt til lagring i påvente av at noen skulle etterspørre propanen.

Elkem i Mosjøen bestilte 31. mars to vogner med propan for forsendelse 3. april. Vognene ble hentet fra Stenungsund 3. april og transportert til Alnabru av SJ hvor de ble overlevert til NSB BA.

Det er tilfeldig hvordan tankvognene orienteres i forhold til hverandre, og det foreligger ingen regler eller instrukser om dette, se pkt. 7.4.1. Plasseringen styres av hvordan vognene kommer inn til Borealis, og i dette tilfellet ble vognene orientert slik at mannhullene med mannlokk og bolter vendte mot hverandre.

Tankvognene var merket på begge sider med oransje skilt med sifrene 23 øverst og 1965 nederst. Det øverste sifferet angir fareklasse. 23 betyr at tanken inneholdt en komprimert brannfarlig gass. Det nederste sifferet angir stoffnummeret, og 1965 angir at stoffet var en blanding av propan og butan.

6.4 Undersøkelser av tankene foretatt etter ulykken

I forbindelse med kollisjonen kom boltene til mannlokkene i inngrep med hverandre og to bolter på hver tank ble skadet, se fig. 6.3 og også pkt. 3.5.4. Dette førte til at det oppstod lekkasje av propan i væskeform mellom flens og mannlokk på begge tankene. Utlekket propan ble antent og tankene ble utsatt for sterk varmebelastning som følge av brannen.

Etter ulykken kunne det konstateres at tankene hadde tålt den belastningen de ble utsatt for under brannen uten å revne. Den forreste tanken hadde imidlertid en utbuling relativt høyt oppe på den endebunnen som hadde vært brannbelastet, se fig. 6.4. Dette kunne være en indikasjon på at materialet i tanken hadde vært utsatt for belastninger meget nær tålegrensen.

Kommisjonen besluttet derfor å gjennomføre en materialteknisk undersøkelse av tankene for å avdekke hvor store belastninger materialene i tankene hadde vært utsatt for. Kommisjonen inngikk avtale med DnV om slik undersøkelse 20. juni 2000. Rapporten, DnVs materialtekniske rapport, er inntatt som vedlegg 6.

Figur 6.3 Mannlokk med ødelagte bolter
Kilde: DnV

Det fremgår av Kommisjonens mandat til DnV at Kommisjonen blant annet ønsket svar på følgende spørsmål:

- Hvor mye svakere hadde materialet i tankene blitt som følge av brannen?
- Var skadene og konsekvensene av disse som det kunne forventes?
- Hvor nær var tankmaterialet brudd under brannen?

DnV gjennomførte oppdraget både i form av feltundersøkelse av tankene på Alnabru og laboratorieundersøkelser og testing av materialprøver fra tankene i eget laboratorium. DnV leverte sin rapport 24. juli. Rapporten hadde følgende konklusjoner:

- Boltenes strekkfasthet, som oppgitt i spesifikasjonen for boltenes materiale, stemmer ikke overens med strekkfastheten spesifisert av VTG-Lehnkering AG. De testede materialegenskapene er som forventet for denne type materialer, og ingen feil eller defekter med betydning for de observerte skadene på bolter og muttere er blitt avdekket. Heller ingen defekter eller mangler i materialet til disse komponentene, som kan ha forårsaket lekkasjen, har blitt avdekket i de undersøkte prøvene.
- Betydelige skader, som brannskader, brudd, sprekker eller store deformasjoner, har ikke blitt observert på pakningen til mannhullet. In-

gen indikasjoner på at pakningen er skyld i lekkasjen er funnet.

- Prøver av materialet i pluggene på taket til de to vognene, se fig. 6.4, viser at materialet i disse pluggene har forskjellig mikrostruktur. Dette betyr at pluggene mest sannsynlig har vært levert i forskjellige varmebehandlingstilstander.
- Avriving av bolter, se fig. 6.3, to ved hvert mannhull, regnes, etter ekskludering av andre årsaker, som den mest sannsynlige forklaringen til lekkasjen ved mannhullet på vogn 1. At boltene har blitt revet av som følge av kollisjonen er som forventet for utenpåliggende bolter med en utsatt plassering. Lekkasje som følge av avrevne bolter anses som rimelig.
- Testing og undersøkelse av tankmaterialet, viser at dette ikke har blitt betydelig svekket av å bli oppvarmet og avkjølt igjen. Den maksimale permanente svekkelsen av strekkfastheten er på ca. 4 %. Likevel regnes det som sannsynlig at materialets styrke var betydelig redusert mens det var oppvarmet under brannen.
- Tankmaterialet har ikke vært varmere enn 700 °C under brannen.
- Den observerte utbulingen på tanken til vogn nr. 1 er mest sannsynlig et resultat av plastisk deformasjon som følge av høy temperatur og høyt trykk under brannen. Utbulingen indikerer derfor at tankmaterialet har vært overbelastet med hensyn til plastisk deformasjon. Testresultater fra lignende materialer viser at både flytegrense og strekkfasthet avtar betydelig ved opphøyde temperaturer samtidig som forskjellen mellom disse størrelsene blir liten. De nevnte testresultatene indikerer derfor at tankmaterialet var nær bruddbelastning under brannen.
- Høy lokal temperatur har vært en konsekvens av brannen. Denne høye temperaturen har gitt redusert materialstyrke og økt gasstrykk i tanken. Når kombinasjonen av disse to faktorene blir kritisk, er plastisk deformasjon etterfulgt av et eventuelt brudd forventet. Hvorvidt en slik kombinasjon nås, avhenger av forholdet mellom oppvarming og avkjøling av tankmaterialet.

Figur 6.4 Bakre del av gasstanken på vogn 1 etter brannen. Inntrykkingen over mannhullet og utbulingen på tankens øvre del er angitt. Videre pekes på toppluggens plassering

Kilde: DnV

De resultater som kom frem i forbindelse med de materialtekniske undersøkelsene har dannet grunnlag for Kommisjonens vurdering av hvor nær man var den virkelig store katastrofen på Lillestrøm. Dette beskrives i kap. 9.2 og 9.3.

De foretatte undersøkelser av tankene og lekkasjeraten har igjen dannet grunnlaget for beregninger foretatt av ComputIT. Blant annet ble Kjelforeningen Norsk Energi bedt om å finne antall lekkasjepunkter og bestemme lekkasjeraten for begge tankene. Påvisning av lekkasjepunktene ble blant annet gjennomført ved IR-fotografering av Termek AS på oppdrag fra Kjelforeningen Norsk Energi. Det ble påvist fem lekkasjepunkter på de to tankene, se fig. 6.5 og 6.6. Begge tanker hadde lekkasje mellom mannlokk og mannhullsflens og ved innfesting for toppluggen. I tillegg ble det påvist lekkasje i bunnventilen til forreste tank.

Kommisjonen er av den oppfatning at det ikke var lekkasje fra bunnventilen mens brannen pågikk. Alle observasjoner som ble gjort på stedet tyder også på det. Grunnen til at det ble målt lekkasje i bunnventilen i ettertid skyldes etter Kommisjonens oppfatning at det under lekkasjetestene ikke var tilsvarende trykk i tankene som da de inneholdt propan. ComputITs beregninger er behandlet i kap. 9.2 og 9.3.

6.5 Oppsummering

I forbindelse med kollisjonen kom boltene til mannlokkene på de to tankene i inngrep med hverandre. Dette skyldtes at de to tankvognenes mannlokk stod mot hverandre, og at disse stikker ut fra tanken. To bolter på hver tank ble skadet og det oppstod lekkasje av propan mellom flensen og

Figur 6.5 Lekkasjepunkter på vogn 1

Kilde: Kjelforeningen

Figur 6.6 Lekkasjepunkter på vogn 2

Kilde: Kjelforeningen

mannlokket på begge tankene. Gassen ble antent og tankene ble utsatt for langvarig varmebelastning fra brannen som vedvarte i flere dager.

Tanken som gikk nærmest lokomotivet hadde etter brannen en utbuling. Dette var mest sannsynlig et resultat av plastisk deformasjon som følge av høy temperatur og høyt trykk under brannen. Dette indikerer at tankmaterialet var nær bruddbelastning under brannen og at man var derfor var svært nær en stor katastrofe. På hvilket tidspunkt denne utbulingen kan ha oppstått diskuteres nærmere under kap. 9.3.

Lekkasjen som i løpet av brannen oppstod ved pluggene på tankenes topp var av liten betydning for den belastningen tankene ble utsatt for, men skapte usikkerhet og dramatikk i forbindelse med redningsaksjonen fordi man ikke var kjent med at det fantes slike plugger. Dermed antok man at det kunne være en begynnende sprekkdannelse i tanken da man oppdaget at det brant rundt pluggene natten mellom torsdag og fredag, jf. pkt. 3.7.7. Lekkasjen i pluggen antas å ha oppstått som følge av langvarig varmebelastning.

Kapittel 7
Transport av farlig gods på jernbanen

Kommisjonen skal i henhold til sitt mandat vurdere de forutsetninger som er lagt til grunn for transport av farlig gods på jernbane. Lillestrøm-ulykken viste at risikoen for alvorlige ulykker ved transport av farlig gods er meget stor, særlig gjennom tettbygde strøk. Kommisjonen har undersøkt reglene for transport av farlig gods og om de, i lys av erfaringene fra ulykken på Lillestrøm, kan og bør endres.

Ulykker med farlig gods må forebygges gjennom å ha en høy jernbanesikkerhet generelt. I tillegg må man fokusere på risikopotensialet ved det farlige godset som transporteres. Kommisjonen tar i dette kapitlet opp konkrete tiltak som vil kunne medføre lavere risiko ved transport av farlig gods gjennom tettsted og tiltak, spesielt rettet mot transport av farlige gasser.

7.1 Regelverket

7.1.1 Regler for jernbanevirksomheten

For jernbanevirksomheten generelt gjelder følgende regelverk:

- Lov 11. juni 1993 nr. 100 om anlegg og drift av jernbane, herunder sporvei, tunnelbane og forstadsbane m.m. (jernbaneloven),
- Departementets forskrift 22. juli 1994 nr. 746 om krav til anlegg og drift av jernbane, herunder sporvei, tunnelbane og forstadsbane m.m. (kravsforskriften),
- Departementets forskrift 10. juli 1997 nr. 782 om tillatelse til å drive jernbanevirksomhet, herunder sporvei, tunnelbane og forstadsbane m.m. (tillatelsesforskriften),
- Jernbanetilsynets forskrift 23. desember 1999 nr. 1402 om krav til styring og oppfølging av forhold relevant for sikker trafikkavvikling på jernbane, herunder sporvei, tunnelbane og forstadsbane m.m. (sikkerhetsforskriften).

I tillegg har Jernbaneverket utferdiget trafikksikkerhetsbestemmelser (JD-serien). Gjennom en egen avtale, sportilgangsavtalen, pålegges NSB BA og andre operatører på jernbanenettet å følge disse bestemmelsene.

For en bredere omtale av reguleringen av jernbanevirksomheten vises til Kommisjonens fremstilling i Åsta-rapporten (NOU 2000: 30).

7.1.2 Særlige regler for transport av farlig gods

Regelverket for frakt av farlig gods på jernbane bygger hovedsakelig på internasjonale avtaler. «Overenskomst om internasjonal jernbanetrafikk» (COTIF) er en traktat om internasjonal jernbanefrakt, og er ratifisert av de fleste europeiske stater, herunder Norge, samt en del stater i Nord-Afrika og Midtøsten. COTIF er fra 1980, men det foreligger en endringsprotokoll fra 1999 som ennå ikke er ratifisert.

Som en integrert del av COTIF finner vi «Regulation concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail», RID, som regulerer frakt av farlig gods med jernbane. I henhold til COTIF gjelder RID bare for internasjonal transport mellom de stater som er tilsluttet traktaten.

Rådsdirektiv 96/49/EF pålegger alle stater innen EU-/EØS-området å legge RID til grunn også for nasjonal jernbanetransport. Gjennom EØS-avtalen er Norge forpliktet til å etterkomme direktivets pålegg. Pålegget er fulgt opp gjennom «Forskrift om transport av farlig gods på veg og jernbane» av 20. desember 1996, landtransportforskriften, som implementerer RID i norsk rett, jf. forskriftens § 1–2. Ansvaret for oppfølging og tilsyn med landtransportforskriften er delegert til DBE.

Farlig gods er i RID oppdelt i ni ulike klasser, delt inn etter godsets art. Det er gitt ulike transportbestemmelser for hver klasse, i tillegg til at det finnes særbestemmelser for enkeltstoffer. Den relevante klasse for propan er «gasser», RID klasse 2. Klasse 2 er igjen inndelt i åtte siffer, hvor propan inngår under siffer 2 «flytende gasser med kritisk temperatur 20 °C eller høyere». Stoffene under de forskjellige sifre er videre gruppert i henhold til fareegenskaper. Propan inngår i gruppe F, «brennbare gasser». Det er således transportreglene i RID klasse 2, siffer 2F, som gjelder for jernbanetransport av propan. Reglene for transport av alle typer gasser er imidlertid stort sett like.

7.1.3 Regelverkets struktur

Kommisjonens gjennomgang av regelverket for transport av farlig gods på jernbanen har vist at dette er lite oversiktlig og til dels vanskelig tilgjengelig. For det første er man nødt til å kombinere regelverk på mange forskjellige nivåer, fra våre internasjonale forpliktelser i COTIF og EU-direktivet, til jernbaneloven med mange tilhørende forskrifter og ned til Jernbaneverkets trafikksikkerhetsbestemmelser og NSB Gods' interne regler. For det andre er regelverket til en viss grad dårlig samordnet, for eksempel synes det unødvendig med så mange ulike forskrifter med til dels overlappende virkeområde og formål. For det tredje er regelverket ikke tilpasset omorganiseringen av det gamle NSB, noe som fører til uklarheter og tvilsspørsmål.

Kommisjonen er av den oppfatning at det er et stort potensiale for en klargjøring og forenkling av det eksisterende regelverk, og at en slik forbedring kan medføre sikkerhetsgevinster. Det er mer sannsynlig at regelverket blir fulgt hvis det er oversiktlig og lettere tilgjengelig. Det må også antas at kontrollmyndighetenes oppgave blir enklere. Videre vil en strukturell forbedring føre til klarere ansvarslinjer, noe som blant annet kan lette den daglige oppfølgning av driften.

Konkrete forslag til ny regelstruktur krever et omfattende utredningsarbeid som ligger utenfor Kommisjonens mandat. Kommisjonen vil likevel peke på at regelverket bærer preg av at det til dels ble etablert før delingen av NSB i 1996. Det er nødvendig å tydeliggjøre i det enkelte regelverk hvilket organ som er pliktsubjekt. Kommisjonen mener også det bør vurderes om ikke de ulike forskriftene kan slås sammen helt eller delvis, eventuelt også hvorvidt noen av forskriftsreglene bør trekkes opp på lovsnivå.

For transport av farlig gods på vei finnes et tilsvarende regelverk til RID, ADR. RID er strukturert slik at alle bestemmelser er sortert under den enkelte klasse. ADR er derimot tematisk inndelt, slik at bestemmelser som omhandler avsender og transportør er adskilt. Dette gjør pliktsubjektet etter de ulike reglene klarere enn i RID. Avsender- og transportørdelen er igjen delt inn i en generell og en spesiell del, slik at de regler som er felles for klassene fremgår klart. Avvik for enkeltstoffer fremgår i den spesielle delen. I RID vil altså reglene for både avsender og transportør, generelle som spesielle, være samlet under den enkelte klasse. Kommisjonen er av den oppfatning at ADR er bedre og mer oversiktlig strukturert enn RID.

7.1.4 Forholdet til RID-regelverket

Et sentralt spørsmål er hvorvidt Norge kan supplere eller gi strengere regler enn hva som fremgår av gjeldende RID. EUs Rådsdirektiv 96/49/EF setter rammene for en slik adgang. Formålet med direktivet er å legge til rette for fri flyt av transporttjenester mellom medlemsstatene, og derigjennom fjerne hindringer for fri konkurranse innen EU-/EØS-området. En størst mulig grad av harmonisering av regelverket er således nødvendig, og adgangen til nasjonale tilpasninger er derfor begrenset.

Norske myndigheter er følgelig i det alt vesentlige henvist til å følge reglene i RID. RID kan kun fravikes i den grad det direkte fremgår av direktivet. Det er likevel enkelte åpninger for nasjonale tilpasninger. Slike vil bli belyst i forbindelse med behandlingen av de aktuelle konkrete forhold.

RID-reglene fastsettes av Committee of Experts for the Carriage of Dangerous Goods i OTIF (The Intergovernmental Organisation for International Carriage by Rail). Alle land knyttet til OTIF (40 nasjoner) har møte- og stemmerett. Hver nasjon har en stemme og vedtak skjer ved simpelt flertall.

Alle nasjoner har anledning til å fremme forslag om endring av reglene i RID. Norge kan således påvirke regelverket ved aktivt å komme med forslag til nye regler eller endringer.

7.1.5 Transportørens ansvar

Det påhviler trafikkselskapet som disponerer det rullende materiell, her NSB BA, å påse at dette tilfredsstiller gjeldende krav, jf. kravsforskriften § 4. NSB BA plikter dessuten å følge de regler for frakt av farlig gods med jernbane som fremgår av landtransportforskriften og RID, jf. forskriftens § 1–3, første ledd.

Med hensyn til konstruksjon og vedlikehold av gasstanker, begrenser NSB BAs ansvar seg til å avvise tankene dersom de ikke er merket i henhold til kravene i RID. Dersom materiellet er merket i tråd med kravene, kan ikke NSB BA avvise tankene. Ansvaret for at materiellet er bygget og vedlikeholdt i henhold til kravene i RID påhviler den som eier eller leier materiellet, her Statoil, jf. landtransportforskriften § 4–3 jf. § 1–3 annet ledd.

NSB BA har en egen enhet for godstransport, NSB Gods.

7.2 NSB Gods

NSB Gods er en selvstendig resultatenhet i NSB BA og er den dominerende godsoperatøren på det norske jernbanenettet. Som operatør har NSB Gods ansvar for at transporten skjer i henhold til de krav lovverket, sportilgangsavtalen og Jernbaneverkets trafikksikkerhetsbestemmelser stiller.

Det overordnede sikkerhetsansvar i NSB BA ligger hos konsernsjefen. Ansvaret for trafikksikkerhet for øvrig ligger i linjen. Det vil si at ledelsen i NSB Gods har ansvaret for sikkerheten ved transport av farlig gods.

7.2.1 Organisasjon og ansvar for farlig gods

NSB Gods er i hovedsak organisert ut fra sine produkter og var 1. april 2000 organisert i seks produktenheter, se fig. 7.1. Materiellenheten har ansvar for trekkraft og vognmateriell for all godstrafikk, herunder vedlikehold. Driftsenheten har ansvar for terminaltjenester og fremføring av vognlast, det vil si den godstrafikktype som var involvert på Lillestrøm.

Godstransportvirksomhet involverer både eget og andres materiell. Eksempelvis tilhørte gasstankvognene som var involvert i ulykken på Lillestrøm det tyske firmaet VTG.

Direktøren for NSB Gods har det overordnete ansvaret for sikkerhetsarbeidet. I stab har NSB Gods en egen sikkerhets- og kvalitetsleder. Denne stillingen ble etablert høsten 1998. Fra 1999 har NSB Gods også en egen faggruppe som skal være rådgiver for godsdirektøren og linjelederne når det gjelder trafikksikkerhet, inklusive håndtering av farlig gods.

Forskrift om sikkerhetsrådgiver i virksomheter som driver med transport av farlig gods ble gitt i september 1999 og krever at den ansvarlige for virksomheten skal sørge for at det utpekes en eller flere sikkerhetsrådgivere. Disse skal se til at virksomheten foregår på en sikker måte. Blant annet skal de påse at bestemmelsene om transport av farlig gods overholdes og sørge for at det utarbeides

Figur 7.1 Organisering av NSB Gods pr. 1. april 2000

en årlig rapport om håndteringen av farlig gods, herunder antall uhell eller tilløp til uhell. Videre skal sikkerhetsrådgiver sørge for at de ansatte som arbeider med farlig gods får hensiktsmessig opplæring og detaljerte instrukser om hvordan arbeidet skal utføres. Kvalifikasjonskravene til den som ansettes som sikkerhetsrådgiver følger av forskriften, jf. forskriftens § 3–2 og § 3–3.

To medarbeidere i NSB Gods var utpekt som sikkerhetsrådgivere da ulykken på Lillestrøm inntraff.

7.2.2 Styringssystem

I overensstemmelse med kravsforskriften fra 1994, innførte NSB BA fra 1. juni 1999 risikobasert sikkerhetsstyring i sitt overordnede styringssystem, AD 60-0. Dette styringssystemet fyller også kravene i sikkerhetsforskriften fra 1999.

Kravsforskriften § 2 og sikkerhetsforskriften § 7 krever at det skal settes opp klare mål for trafikksikkerheten som virksomheten kan måles opp mot. Slike mål er ikke fastsatt hva gjelder transport av farlig gods.

I tillegg til det overordnede styringssystemet har NSB Gods egne styringsdokumenter som regulerer forhold av betydning for transport av farlig gods. G-60 gir sikkerhetsbestemmelser for produksjon og fremføring av godstog, testing og prøving av bremser og håndtering av farlig gods. G-71 stiller krav til kvalitetskontroll, sikkerhetskontroll og vedlikehold av godsvogner. G-62 behandler krav til opplæring i trafikksikkerhet.

7.2.3 Internkontroll

Kapittel 6 i NSB BAs styringssystem (AD-00) krever at «alle enheter i morselskapet skal dokumentere etterlevelse av kravene i NSBs styringsystem (AD-serien)», herunder utøve internkontroll. Da Jernbanetilsynet og DBE 12. november 1999 avsluttet en systemrevisjon av NSB Gods, kom de til den felles konklusjon at tilfredsstillende internkontroll ikke var etablert. Flere avvik fra landtransportforskriften ble konstatert. Lokale variasjoner i rutiner og praksis i arbeidet med å ivareta sikkerheten i forbindelse med håndtering av farlig gods ble påvist, og man fant ikke ledelsens styrings- og kvalitetskontroll på dette området tilfredsstillende.

I rapporten fra Tilsynets og DBEs systemrevisjon, beskrives blant annet at linjeledere ikke kan dokumentere at de systematisk forsikrer seg om at sikkerheten ivaretas. En del av de linjeledere som ble intervjuet opplyste at deres oppfølgning stort sett begrenset seg til å utgi styringsdokumenter eller sende ut skriv, og at de hadde tillit til at personell nedover i linjen utførte sine oppgaver tilfredsstillende.

NSB Gods utarbeidet etter tilsynet en plan for korrigerende tiltak under ledelse av trafikksikkerhetsgruppen. Før ulykken på Lillestrøm fant sted var 25 av i alt 68 tiltak gjennomført. Kommisjonen har ikke funnet at de tiltak som ennå ikke var gjennomført kan ha hatt betydning for at ulykken fant sted. Mange av tiltakene er imidlertid av vesentlig betydning for en sikker transport av farlig gods generelt.

Når det gjelder bremser har vi i kap. 5.4 vist at NSB Gods ikke har tilfredsstillende kontroll med vedlikeholdet, og med at den reelle bremseevnen er i overensstemmelse med den teoretiske. Det er viktig at internkontrollen griper fatt i dette og sørger for at man har kontroll med hvilke bremser et tog reelt har. Dette gjelder selvsagt de godstog som frakter farlig gods, men også de øvrige godstog. Tilsynet bør påse at dette følges opp, jf. kap. 5.4.

NSB Gods leier lokomotivførere fra konsernenheten Drift og teknikk. Disse kjører både person- og godstog. Ved innleie forutsetter NSB Gods at lokomotivførerne fyller de krav enheten setter til opplæring for så vidt gjelder godstransport generelt og transport av farlig gods spesielt. Ved revisjonstidspunktet var dette ansvaret og godsenhetens krav til opplæring i farlig gods ikke klarlagt.

Landtransportforskriften krever at det gjennomføres systematisk opplæring og oppfriskning av kunnskap om farlig gods. I april 2000 hadde man i NSB BA fått klarlagt ansvaret for denne opplæringen. Men man hadde ennå ikke fått utarbeidet de nødvendige opplæringsmoduler eller gjennomført kurs for viktige personalgrupper. Planlagte beredskapsøvelser i NSB Gods var heller ikke gjennomført.

Ved revisjonen ble det påpekt at farer og problemer ikke var kartlagt, og videre at NSB Gods i liten grad hadde utført risikoanalyser av endringer eller definert risikofaktorer for transport av farlig gods. Denne tilnærmingen har i godsenheten i hovedsak vært brukt på nye prosjekter som vurdering av godstransport på Gardermobanen og av Jet-Fuel-transporter, men er ikke brukt innenfor den løpende virksomheten.

Et viktig tiltak for å få bedre kunnskap om risikoen ved transport av farlig gods er utarbeidelse av risikoanalyser. Grunnlaget for slike analyser er bl.a. data om ulykker og tilløp til ulykker. I NSB BA arbeides det med å utvikle rapporteringssystemet Synergi for at dette skal bli et bedre redskap for å registrere og analysere hendelser med farlig gods.

Dette arbeidet og planer for risikoanalyser var ikke ferdig gjennomført i april 2000.

7.2.4 Sikkerhet og effektivitet

Sårbarhetsutvalget trekker i sin utredning (NOU 2000: 24) fram risiko knyttet til transport av farlig gods som en nøkkelutfordring innenfor transportsektoren. Utvalget kobler endringen i risikobildet til det faktum at transportbedriftene opererer i et sterkt konkurranseutsatt marked, der man må redusere kostnadene samtidig med at servicenivået skal opprettholdes og de utfordringer ny teknologi og økt hastighet medfører skal ivaretas.

Kommisjonen har i Åsta-rapporten pekt på at sikkerhet synes å ha vært lite fokusert i NSB BA i de senere år. I omstillingsfasen fra forvaltning til forretning har NSB BA prioritert områder der det har vært større avstand mellom mål og resultater enn det som har vært tilfelle innenfor sikkerhet, der resultatene har vært rimelig gode.

Det samme mønsteret finner vi i NSB Gods. Forretningsplanen for 1997–2007 slår fast at det overordnete mål for enheten er å produsere lønnsom transport. Denne fokuseringen har bl.a. sin bakgrunn i Stortingets krav til lønnsomhet og det faktum at godsenheten gjennom hele 1990-tallet har hatt et negativt resultat.

NSB Gods er i stor grad utsatt for internasjonal konkurranse. De sentrale elementer i godsenhetens handlingsplaner er derfor knyttet til strategier for å håndtere denne konkurransen, som for eksempel økt satsing på internasjonal alliansebygging, økt markedsføring, kundekontakt o.l. Effektivisering søkes oppnådd gjennom å redusere antallet medarbeidere og gjennom en mer effektiv utnyttelse av materiell og personell. Kommisjonen har ikke funnet at sikkerhet i godstransporten, herunder håndtering av farlig gods, er spesielt omtalt i de senere års konsernplaner, årsmeldinger eller i godsenhetens egne forretningsplaner og strategidokumenter.

7.3 Transport gjennom tettbygde strøk

7.3.1 Identifisering av risikofaktorer

Det sier seg selv at ulykker med farlig gods vil gi større konsekvenser i tettbygde strøk enn utenfor. Kommisjonen har derfor vært særlig opptatt av hvilke farer man står overfor ved transport av farlig gods gjennom tettbygde strøk. En måte å identifisere risikoen på er å foreta risikoanalyser. Kommisjonen har ikke funnet at denne type analyser har vært gjennomført før Lillestrøm-ulykken fant sted.

Kommisjonen har i Åsta-rapporten redegjort nærmere for ulike former for risikoanalyser og viser til denne fremstillingen. Her skal bare kort nevnes at en risikoanalyse av godstransport gjennom tettbygde områder må omfatte en rekke forhold, som materiellet med lokomotiv og vogner, typer av farlig gods som transporteres, transportmengder og hyppighet. Disse faktorer må vurderes sammen med lokale forhold som sporstandard, fall, over- og underbygging, signalanlegg og kommunikasjonssystem. Særlig viktig er det å ta hensyn til sikkerhetstiltak på den aktuelle strekning som f.eks. ATC, muligheten for å komme i rask kontakt med togleder og muligheten for å stanse toget i en nødsituasjon.

For transport gjennom tettbygde strøk må man legge spesiell vekt på transport av stoffer som kan forårsake en såkalt BLEVE med de konsekvenser dette kan få for omgivelsene. Det er åpenbart at konsekvensene av en BLEVE i tettbygde strøk er langt større enn i tynt befolkede områder.

For å analysere risikoen for ulykker og mulige konsekvenser av slike, er det nødvendig å ha oversikt over både transportmengder og transportveier. Slik oversikt finnes i dag ikke for transport av farlig gods på jernbanen. Under Kommisjonens høringer kom det fram at NSB Gods ikke selv har oversikt over hvor mye farlig gods de transporterer. Etter Kommisjonens oppfatning bør det utarbeides en oversikt over dette.

Den siste nasjonale kartleggingen av farlig gods i Norge ble gjennomført i 1992. Kommisjonen mener at nye undersøkelser på dette området er av stor betydning for et effektivt og forebyggende sikkerhetsarbeid. Nye undersøkelser bør spesielt få frem omfanget av transport av farlig gods i tettbygde områder.

7.3.2 Risikoreduserende tiltak

Det som mer enn noe vil redusere risikoen er selvsagt en nedgang i mengden farlig gods som transporteres totalt sett på vei og jernbane. Muligens bør det også vurderes om det er stoffer som ikke bør transporteres når behovet måles mot risikoen. Dette er imidlertid politiske spørsmål som ligger utenfor Kommisjonens mandat.

Kommisjonen har vurdert om transport av farlig gods kan overføres til andre transportmidler for å redusere risikoen. Ulykkesrisikoen ved veitransport er imidlertid klart høyere enn på jernbanen, og en overgang til fly eller skip synes i liten grad aktuelt grunnet tilgjengelighet og kapasitet, men også fordi det vil kreve kombinerte transporter i større grad. Kommisjonen er samtidig av den opp-

fatning at risikoen bør kunne reduseres ytterligere der jernbanetransport av farlig gods går gjennom tettbygde strøk. Aktuelle tiltak er regulering av tidspunkt og hastighet.

Tidsrestriksjoner for frakt av farlig gods, kan skje gjennom å påby at transporten skal foregå om natten når linjenettet har størst kapasitet. Dette bør redusere faren for sammenstøt, og kostnadene for slike tilpasninger vil være begrenset. Et argument mot en slik ordning er at det ofte vil være dårligere beredskap om natten. De praktiske muligheter for en ordning med tidsbegrensninger og hvilke sikkerhetsfordeler som kan oppnås ved dette bør etter Kommisjonens oppfatning undergis en nærmere undersøkelse.

Fastsettelse av hastighet for den konkrete transport ligger innenfor den kompetanse Jernbaneverket har. Det er likevel mulig for lovgiver å fastsette nærmere angitte maksimalhastigheter for visse typer gods som innskrenker Jernbaneverkets generelle kompetanse. Angitte maksimalhastigheter vil i så fall gjelde i den utstrekning Jernbaneverket ikke fastsetter noe annet. Regler om maksimale hastigheter for godstog finnes i NSB Gods styringssystem G-60–7 pkt. 8.2. Maksimalhastigheten varierer mellom 80 og 100 km/t, avhengig av lastens størrelse, togets lengde og togets bremseprosent. Det har imidlertid ingen betydning for hastighetsgrensene hvorvidt godset anses som farlig eller ikke.

Kommisjonen er av den oppfatning at det bør vurderes nærmere hvorvidt en senkning av fartsgrenser for tog som frakter farlig gods kan gi en sikkerhetsforbedring. Det synes hensiktsmessig med en nærmere gradering av fartsgrensene avhengig av faregrad. I dag er det ingen forskjell på fartsgrenser for frakt av helt ufarlig gods og det mest eksplosive gods. Det bør også vurderes en gradering av fartsgrenser i forhold til omgivelsene, slik at frakt av farlig gods gjennom tettbygde strøk må gå med redusert hastighet.

Dersom man etter en nærmere undersøkelse finner det hensiktsmessig med en generell senkning av fartsgrensene, eventuelt en mer gradert inndeling i forhold til fareklasse eller omgivelser, mener Kommisjonen at slike regler bør gis i lov eller forskrift.

7.4 Krav til materiell

Ved frakt av farlig gods kommer to regelverk til parallell anvendelse når det gjelder rullende materiell. Bestemmelser knyttet til lokomotiv, vogner og togets bremsesystem fremgår av de alminnelige reglene i kravsforskriften. Disse stiller ikke særlige krav til materiell som frakter farlig gods. Ved frakt av farlig gods suppleres kravsforskriftens regler av særlige bestemmelser i landtransportforskriften som igjen viser til RID. RID har blant annet krav til styrke og strekkfasthet i tanker som skal frakte farlig gods.

Av kravsforskriften § 4 fremgår at materiellet skal bygges i henhold til internasjonale eller nasjonale standarder. De standarder som ønskes anvendt må godkjennes av Jernbanetilsynet. Materiell som skal brukes i internasjonal trafikk må tilfredsstille kravene som er oppstilt av den internasjonale jernbaneunionen, UIC (Union International de Chemin de fer). For nasjonal transport gjelder ikke noe slikt absolutt krav, men UIC-kravene vil være blant de standarder Jernbanetilsynet vil akseptere.

Tanker som brukes til frakt av farlig gods må være i slik stand og ha slikt utstyr at transporten kan gjennomføres i samsvar med RID, jf. landtransportforskriften § 4–3, jf. § 4–1.

7.4.1 Gasstankers plassering i toget

Gasstankenes plassering i forhold til hverandre kan ha hatt betydning for ulykken på Lillestrøm. Det finnes imidlertid som tidligere nevnt ingen regler i RID med hensyn til i hvilken retning tankene skal være orientert under transport. Tankenes orientering er tilfeldig, og i dette tilfellet stod mannlokkene som nevnt mot hverandre. I forbindelse med kollisjonen støtte mannlokkene sammen. Dette resulterte i at bolter som fester mannlokkene ble skadet og gasslekkasje ved mannhullene oppstod.

Et spørsmål som Kommisjonen har reist er hvorvidt gasslekkasje hadde oppstått dersom mannlokkene ikke hadde vært orientert mot hverandre. Det fantes også ustikkende elementer på den andre endebunnen av tankene, i form av en kort sylindrisk del plassert midt på endebunnen av hver tank, se fig. 7.2. Denne kunne sammen med tilsvarende utstikkende del på motstående tank eller sammen med mannlokket på den andre tanken ha bidratt til skader som ville ført til gasslekkasje. Man hadde derfor ikke nødvendigvis unngått gasslekkasjene dersom tankene hadde vært orientert annerledes.

Gasstankene var som tidligere nevnt plassert nærmest lokomotivet. Det er ikke gitt regler for gasstankers plassering i togsettet. Vognene plasseres derfor i hovedsak etter en sammenskiftingsplan med grunnlag i vognenes bestemmelsessted og de skifteprosedyrer som gjelder ved de enkelte

bestemmelsesstedene. Det tas således ikke hensyn til farlig gods ved plassering av vognene.

Hadde gasstankvognene vært plassert lenger bak i togsettet ville kollisjonsenergien i dette tilfellet i større grad vært fanget opp av vogner uten farlig gods, og gasslekkasjene sannsynligvis vært unngått.

Krav til plassering av farlig gods i togsett vil i prinsippet innebære krav om dekningsvogn. Med dekningsvogn menes vogn uten farlig gods som plasseres mellom lokomotiv og farlig gods, eller mellom forskjellige vogner med farlig gods. I RID finnes det kun én regel om bruk av dekningsvogn. Det er mellom en vogn med eksplosiver og en vogn med brannfarlige eller oksiderende stoffer. Tidligere benyttet man i Norge dekningsvogner i langt større grad enn RID nå påbyr. NSBs Trykk 402, som ble opphevet da RID ble innført, påbød utstrakt bruk av dekningsvogn.

I forbindelse med Lillestrøm-ulykken ville en dekningsvogn uten utstikkende eller skadevoldende elementer mellom lokomotivet og forreste gasstankvogn, og i tillegg en dekningsvogn mellom de to tankvognene, gitt langt mindre belastning på tankene ved kollisjonen, og Kommisjonen antar at lekkasjene ikke hadde oppstått.

Figur 7.2 Tankene hadde en utstikkende sylindrisk del i motsatt endebunn

Kilde: DnV

Kommisjonen savner bevissthet med hensyn til plassering av farlig gods i godstog under transport, slik at risikoen for skade ved kollisjon eller avsporing kan bli minst mulig. Kommisjonen er videre av den oppfatning at det bør vurderes å innføre regler om hvor farlig gods skal plasseres i et tog, herunder krav til orientering av tanker og krav om dekningsvogner.

Norske myndigheter har kompetanse til å pålegge særskilt plassering av gasstankvogner, både med hensyn til orientering og hvor i toget de skal plasseres under nasjonale transporter, jf. Rådsdirektivets art. 1 pkt. 2. De har imidlertid ikke kompetanse til å forby tanker med utstikkende eller skadevoldende elementer. Gasstankene som var involvert på Lillestrøm kunne følgelig ikke vært nektet transportert av norske myndigheter, men kunne vært plassert slik at mannlokkene eller andre skadevoldende elementer hadde blitt ufarlige.

7.4.2 Krav til gasstankers utforming

DnV har som nevnt på oppdrag fra Kommisjonen foretatt undersøkelser av de to gasstankene involvert i ulykken på Lillestrøm. Hensikten med oppdraget var også å undersøke hvorvidt tankene tilfredsstilte de krav som er oppstilt i RID. DnV har konkludert med at det bare forelå marginale avvik fra kravene når det gjelder tankenes konstruksjon og tåleevne. Disse avvikene hadde i følge DnV ikke innvirkning på ulykkesforløpet. Rapporten følger som vedlegg 6 til nærværende rapport.

Flere forhold ved tankenes konstruksjon hadde som nevnt foran betydning for at det oppstod en gasslekkasje. Det finnes ingen regler i RID vedrørende plassering av mannlokk, bruk av utenpåliggende muttere eller krav til materiale i pakning, bolter og muttere som fester mannlokket.

De involverte tankene var utstyrt med såkalte soltak, se fig. 6.2. Soltak er metallplater som er plassert like over tanken for å skjerme mot soloppvarming som kan påvirke lastens trykk. Dette er hensiktsmessig i land med sterk sol. På Lillestrøm var imidlertid disse soltakene til hinder for redningsmannskapenes arbeid. Bruken av soltak er ikke regulert i RID.

Som nevnt i kap. 6.1 var tankene utstyrt med plugger på toppen til bruk ved trykkprøving, se fig. 6.4. Under redningsaksjonen på Lillestrøm oppstod det gasslekkasje og brann ved toppluggene.

DnV har i de materialtekniske undersøkelsene ikke funnet regler om plassering av topplugger i tanker eller krav til materialet i slike.

For alle de ovennevnte forhold gjelder at Rådsdirektivet forhindrer norske myndigheter fra å innføre krav ut over de som er fastsatt i RID. Kommisjonen vurderer imidlertid minimumskravene til gasstanker i RID-regelverket som lite omfattende og lite detaljert sammenlignet med materialkravene som stilles i tilsvarende regelverk for gasstanker brukt til andre formål.

Det bør etter Kommisjonens oppfatning fremmes forslag om forbedringer av gjeldende regelverks krav til kollisjonssikkerhet for gasstanker for jernbanetransport fra norske myndigheters side. Forslagene bør omfatte annen plassering av mannhullene, innfelling av bolter og muttere, samt alternative tetningsmekanismer for toppluggene som medfører redusert risiko ved transport av propan og tilsvarende stoffer.

7.5 Oppsummering

Norge er gjennom COTIF og EUs Rådsdirektiv forpliktet til å legge det internasjonale regelverket RID til grunn ved all transport av farlig gods på jernbanen. Rådsdirektivet åpner bare i liten grad for nasjonale tilpasninger til regelverket. Endringer må derfor skje gjennom aktiv påvirkning av RID-reglene.

De begrensede muligheter for nasjonale tilpasninger som finnes, er ikke utnyttet i Norge. Blant annet har Norge full anledning til å supplere RID med regler om godsvognenes plassering i togene og krav om dekningsvogn ved nasjonale transporter. Kommisjonen mener at muligheten for å redusere risiko ved hjelp av bedre regler på dette området må kartlegges.

Kommisjonen har konstatert at NSB BA har startet arbeidet med å bygge opp et system for risikostyring og internkontroll i henhold til lovverkets krav, både generelt og når det gjelder håndtering av farlig gods. Da ulykken på Lillestrøm fant sted var dette arbeidet ikke fullført, og systemet hadde fortsatt mangler. Kommisjonen har ikke funnet at disse manglene hadde betydning for ulykken. Kommisjonen vil imidlertid understreke betydningen av et fullverdig sikkerhetsstyrings- og internkontrollsystem, for å oppnå en sikker håndtering av farlig gods.

For å forebygge ulykker med store konsekvenser bør det gjennomføres særskilte tiltak som reduserer risikoen ved transport av farlig gods gjennom tettbygde strøk. De tiltak Kommisjonen ser som aktuelle og realistiske å gjennomføre omfatter tids- og hastighetsbegrensninger for transporten. Kommisjonen mener videre man bør vurdere bruk av dekningsvogner, krav til sammenstilling av togsett med farlig gods, samt å innføre nye krav til utforming av gasstanker.

Kapittel 8
Analyse av årsakene til kollisjonen og gasslekkasjen

Kommisjonen vil på bakgrunn av de bevis som foreligger, den dokumentasjon som er gjennomgått og de tekniske og andre undersøkelser og beregninger som er gjennomført, foreta en analyse av årsaksforholdene i tilknytning til ulykken.

Innledningsvis vil de mulige direkte årsaker til kollisjonen gjennomgås. Deretter analyseres de mulige årsaker som kan forklare kollisjonen. Også de bakenforliggende årsaker til at kollisjonen inntraff behandles.

I tillegg til selve kollisjonsårsaken har Kommisjonen sett det som viktig å analysere de direkte og bakenforliggende årsakene til at gasslekkasjene i tankvognene oppstod, noe som i sin tur skapte den dramatiske situasjonen på Lillestrøm.

8.1 Mulige direkte årsaker til kollisjonen

Umiddelbart etter kollisjonen ble det klart at den direkte årsaken til kollisjonen var bremsesvikt i tog 5781. Kommisjonen har på denne bakgrunn foretatt en grundig gjennomgang av de mulige årsaker til bremsesvikten, og hvordan den kunne være så betydelig som den viste seg å være.

8.1.1 Mangler ved bremsesystemet

De undersøkelser som er gjennomført av ulykkesmateriellet for å finne årsaken til den betydelige bremsesvikten i tog 5781, er redegjort for i kap. 5.5. Undersøkelsene viser at togets reelle bremseevne var dårligere enn lokomotivfører Jensen utfra godsvognopptaket kunne forvente. Godsvognopptaket tilsa at toget skulle ha en bremseprosent på 77. Bremseprosenten angir det konkrete togets bremseevne. Den kan være høy eller lav. Poenget er imidlertid at togets hastighet bestemmes ut fra bremseprosenten. Er således bremseprosenten satt for høyt i forhold til togets reelle bremseevne, blir følgelig farten satt for høyt. Klosstrykk- og bremseveismålinger som er gjennomført på ulykkesmateriellet viser at tog 5781 bare hadde en reell bremseprosent på 57. Dette tilsvarer 2/3 av den bremseevne som fremgikk av godsvognopptaket.

Kommisjonen har beregnet bremseveien for toget basert på at den reelle bremseevnen tilsvarte en bremseprosent på 57. Med en slik bremseprosent, og en utgangshastighet på 85 km/t ved Sagdalen blokkpost, ville den beregnede bremsevei vært ca. 800 meter, se fig. 8.1. Avstanden fra Sagdalen til kollisjonsstedet er ca. 1620 meter, og toget ville således ha stanset i god tid før dette. Beregningen er basert på et fall på 17 ‰, en bremsetilsettingstid på fem sekunder og en hastighet på 85 km/t ved passering Sagdalen blokkpost, som tilsvarer strekningens tillatte hastighet på 80 km/t pluss en oppjustering av hastigheten på 5 km/t på grunn av avvik mellom hastighetsmåler og reell hastighet.

Med en hastighet på 102 km/t ved Sagdalen blokkpost, som toget hadde, ville den beregnede bremseveien vært rundt 1000 meter. Tilsettingstid er da ikke tatt med, fordi en lokomotivfører ville tilsatt brems før forsignalet i denne hastigheten. Toget ville ikke kunnet stanse før innkjørsignalet som er plassert 797 meter etter forsignalet, men i god tid før kollisjonsstedet selv med de dårlige bremsene. Den hastighetsprofil toget hadde ulykkesnatten viser imidlertid en langt svakere bremseevne enn en bremseprosent på 57 skulle tilsi.

8.1.2 Mulige årsaker til hovedbremsesvikten

Det har vært foretatt ulike undersøkelser, rekonstruksjoner av kjøringen ulykkesnatten mv. for å forklare årsaken til at tog 5781 hadde en betydelig dårligere brems enn hva undersøkelser og målinger av ulykkesmateriellet tilsier. Denne delen av bremsesvikten benevnes i det følgende «hovedbremsesvikten».

Kommisjonen har undersøkt følgende mulige forklaringer på hovedbremsesvikten:

- Snø og is mellom hjul og bremsekloss
- Utkoblet kompressor eller at kompressoren ikke virket
- Unnlatt bruk av direktebrems
- Ispropp i hovedledningen
- Førerbremseventilen i midtstilling

Tog 5781 hadde ved utkjøring fra Strømmen stasjon en hastighet på 95 km/t, jf. pkt. 5.6.2. I fallet før Sagdalen blokkpost, hvor forsignal innkjør til Lillestrøm er plassert, viser ferdskriveren en akselerasjon i toget over de neste 400–450 meterne fra 95 km/t til 102 km/t ved passering Sagdalen blokkpost. Akselerasjonen skjedde til tross for at lokomotivfører Jensen innledet bremsingen etter Strømmen stasjon. Det er et skilt ved Strømmen som viser at høyeste tillatte hastighet er 80 km/t. Først ved Sagdalen blokkpost begynte toget å retardere, jf. fig. 5.4. Tog 5781 må således ha vært tilnærmet uten brems i ca. 15 sekunder, eller over en strekning på drøyt 400 meter.

Fra Sagdalen blokkpost til kollisjonsstedet er det omtrent 1620 meter. På denne strekningen ble hastigheten redusert fra 102 til 62 km/t, som var hastigheten ved kollisjonen. Retardasjonen var svak og tilsier at toget ikke var normalt avbremset. Hastighetsrullen viser at retardasjonen fra Sagdalen til kollisjonsstedet var svak på hele strekningen, og at den bare ble marginalt bedret etterhvert. Dette hastighetsforløpet har stått sentralt under undersøkelsene av årsaken til bremsesvikten.

Snø og is mellom hjul og bremseklosser kan etter Kommisjonens syn ikke alene forklare hovedbremsesvikten. Med snø og is på bremseklossene, eller mellom hjul og bremseklosser, ville man hatt noe brems da bremsingen ble innledet. Videre ville man fått en gradvis forbedret bremseeffekt etter hvert som snøen eller isen mellom hjul og bremseklosser ble slitt bort, og dette harmonerer dårlig med hastighetsprofilen. Det skal for ordens skyld nevnes at snø og is kan ha medvirket til at bremsevirkningen ble marginalt bedret da toget først fikk brems, men dette har ikke hatt nevneverdig betydning for hendelsesforløpet. Se for øvrig pkt. 5.6.2.

Det forhold at toget var helt uten brems de første 15 sekundene indikerer at det enten ikke har vært lufttrykk i bremsesystemet eller at hovedledningen har vært blokkert. En mulig årsak til dette kunne være at lokomotivfører koblet ut kompressoren eller at kompressoren ikke virket. Kompressoren ble testet etter ulykken og funnet i orden. Kobles kompressoren ut vil ettermating av luft opphøre. Når trykket i lokomotivets hovedluftbeholdere når 4,6 bar, vil strømtilførselen til lokomotivet kobles ut, jf. pkt. 5.5.4.1. Lokomotivfører vil da kunne bremse toget og skru på strømmen igjen. Dette var beviselig ikke situasjonen for tog 5781. *Utkoblet kompressor eller at kompressoren* ikke virket kan derfor avvises som årsak til ulykken.

Som tidligere nevnt benyttet lokomotivfører Jensen ikke lokomotivets *direktebrems*. Manglende bruk av denne kan imidlertid ikke forklare hovedbremsesvikten. Bruk av direktebremsen ville ikke forhindret kollisjonen, men beregninger viser at hastigheten i kollisjonsøyeblikket ville vært redusert til mellom 40 og 45 km/t, jf. pkt. 5.1.1. Det er ikke mulig å si hvorvidt gasslekkasjene hadde oppstått ved en kollisjon i denne hastigheten. Kommisjonen vil i denne sammenheng understreke at Jensen ikke var opplært til bruk av direktebrems ved bremsesvikt.

Kommisjonen er av den oppfatning at det etter dette bare er to forhold som kan forklare at toget var tilnærmet uten brems de første 15 sekundene, eller i drøyt 400 meter, og at retardasjonen deretter var på mellom 0,14 og 0,16 m/s^2. Enten var hovedledningen blokkert eller så var bremsesystemet tilnærmet uten lufttrykk da bremsing ble innledet. Dette kan etter Kommisjonens syn enten skyldes ispropp i hovedledningen eller at førerbremseventilen stod i midtstilling.

En ispropp vil kunne blokkere hovedledningen og således forhindre den trykksenkning som er nødvendig for å aktivere bremsene på vognene bak isproppen, slik at bremsene på disse ikke tilsettes. Med førerbremseventilen i midtstilling vil ettermating av luft til bremsesystemet blokkeres, og lufttrykket vil sive ut i løpet ca. 30 minutter med de lekkasjer som i ettertid er påvist i ulykkesmateriellet. Disse to mulige årsakene til hovedbremsesvikten analyseres nedenfor.

8.1.3 Ispropp i hovedbremseledningen

8.1.3.1 Dannelse av ispropp

En ispropp kan oppstå ved at det kommer snø eller vann inn i bremsesystemet som så fryser til en ispropp. Kommisjonen har vurdert ulike muligheter for hvordan en slik ispropp eventuelt kan ha oppstått, og hvorledes hendelsesforløpet og hastighetsprofilen til tog 5781 samsvarer med dette.

Under bremseprøven som er beskrevet i pkt. 5.2.2 fungerte bremsene tilsynelatende tilfredsstillende. Skiftekonduktør Damstuen som gjennomførte bremseprøven, har forklart at bremsene tilsatte i alle vognene i toget. Det må derfor på dette tidspunkt ha vært luftgjennomstrømning i hovedledningen. Damstuen har også forklart at en eventuell ispropp som blokkerte hovedledningen ville blitt oppdaget under bremseprøven. Dette har lokomotivfører Jensen sagt seg enig i. En eventuell ispropp som blokkerte hovedledningen må derfor ha oppstått i tidsrommet etter at bremseprøven var avsluttet, men før lokomotivfører innledet bremsing etter Strømmen stasjon.

Det forhold at isproppen må ha oppstått etter at bremseprøven av toget ble foretatt, men før brem-

sing ble innledet, taler mot at ispropp kan ha vært årsak til bremsesvikten. For å danne en ispropp av den størrelse og med den tetthet som er nødvendig for at hovedledningen skal blokkeres fullstendig, må snøen også tilføres vann. Vognene hadde stått ute i minusgrader og en eventuell ispropp burde derfor allerede vært oppdaget i forbindelse med bremseprøven. At vann fra bremseledningen til lokomotivet skal ha dannet en ispropp mellom lokomotivet og første vogn anser Kommisjonen som lite sannsynlig.

8.1.3.2 Togets hastighetsprofil

Det er to forhold ved togets hastighetsprofil som er av stor betydning ved vurderingen av om ispropp kan forklare hovedbremsesvikten:

For det første viser hastighetsrullen til tog 5781 som nevnt en unormal akselerasjon fra 95 til 102 km/t etter at bremsing ble innledet. Dette tilsier at toget har vært tilnærmet uten brems i ca. 15 sekunder, tilsvarende en strekning på drøyt 400 meter. Dersom dette skulle skyldes en ispropp må denne ha sittet i hovedledningen mellom lokomotivet og første vogn. Den må i tillegg ha tettet luftgjennomstrømningen i hovedledningen fullstendig. Statiske måleforsøk som er gjennomført, jf. pkt. 5.5.4.3, viser at en ispropp som bare gir 1 % luftgjennomstrømning i hovedledningen forsinker bremsetilsetningen i vognene bak isproppen med fem sekunder ved nødbrems. En ispropp som bare gir 5 % luftgjennomstrømning påvirker overhodet ikke bremsene.

Det andre forholdet av stor betydning er at hastighetsrullen viser at toget, etter at det hadde passert Sagdalen blokkpost, fikk en redusert men forholdsvis konstant bremsevirkning frem til kollisjonsstedet, se fig. 5.4. Bremseeffekten tilsvarer en retardasjon på mellom 0,14 og 0,16 m/s^2. Dette tilsvarer en trykksenkning i hovedledningen på mellom 0,91 og 1,05 bar for hele toget, eller at de tre til fem bakerste vognene var helt uten brems. For at en ispropp skal kunne gi et slikt hendelsesforløp må ett av følgende forhold ha inntruffet:

Isproppen mellom lokomotivet og første vogn må først ha tettet hovedledningen fullstendig. Deretter må den ha sluppet forbi luft tilstrekkelig til å senke trykket i hovedledningen med mellom 0,91 og 1,05 bar. Den må så igjen ha blokkert hovedledningen fullstendig. Alternativt må isproppen, som må ha tettet hovedledningen mellom lokomotiv og første vogn fullstendig i ca. 15 sekunder, ha forflyttet seg ca. 100 meter bakover til et sted mellom noen av de tre til fem siste vognene, eller en ny ispropp må ha dannet seg der.

Kommisjonen finner de ovennevnte hendelsesforløp svært lite sannsynlige. En ispropp harmonerer meget dårlig med den hastighetsprofilen som tog 5781 hadde. I tillegg ble det ikke påvist vann og også svært lite fuktighet i hovedledningen under åstedsbefaringen. Temperaturendringer i tidsrommet mellom kollisjonen og da bremseslangene ble koblet fra hverandre kan forklare at noe fuktighet hadde fordampet, men med en så betydelig ispropp som man her måtte ha stått overfor burde det vært spor av større vannmengder enn hva som ble funnet.

NSB BAs bremsekontor har i sin rapport også avvist ispropp som en mulig årsak til bremsesvikten. Det samme har sivilingeniør og tidligere bremsesjef i SJ Sven A. Eriksson gjort i sin verifikasjon av NSB BAs rapport. Han har også på selvstendig grunnlag vurdert ispropp som mulig årsak og avvist dette.

8.1.3.3 Konklusjon

Kommisjonen finner at den hastighetsprofil som fremgår av tog 5781s hastighetsrull, de manglende funn av fuktighet i hovedledningen i forbindelse med åstedsbefaring samt at hovedledningen ikke var blokkert da bremseprøve på toget ble gjennomført, tilsier at ispropp ikke kan anses som en mulig årsak til den betydelige hovedbremsesvikten.

8.1.4 Førerbremseventil i midtstilling

8.1.4.1 Blokkert ettermating

Den andre mulige forklaringen på at toget var tilnærmet uten brems de første 400 meterne etter innledet bremsing, er at det ikke var lufttrykk i bremsesystemet. De kortvarige løsestøtene lokomotivfører Jensen foretok kan ha ladet opp bremsesystemet tilstrekkelig til å forklare den lave, men konstante bremsevirkningen toget deretter fikk. Dette dreiet seg om en bremsevirkning tilsvarende en trykksenkning i hovedledningen på ca. 1 bar.

Trykket i hovedledningen vil normalt lekke ut etter en viss tid dersom ettermatingen av luft blokkeres, jf. pkt. 5.1.4. Dette kan skje ved at førerbremseventilen settes i midtstilling, se fig. 3.5a. Som nevnt i pkt. 5.5.4.1 har tetthetsprøve av ulykkestoget i ettertid vist at det tar ca. 30 minutter fra førerbremseventilen settes i midtstilling til trykket i hovedledningen er tilnærmet borte. Hvis togets bremsesystem var uten lufttrykk da bremsing ble innledet ved Strømmen stasjon ca. kl. 00.55, må førerbremseventilen ha vært satt i midtstilling senest en halvtime tidligere.

Skiftekonduktør Damstuen har forklart at bremseprøven på Alnabru ble avsluttet rundt midnatt. På dette tidspunktet må det ha vært luft gjennom hele hovedledningen, fordi bremsene tilsatte og løste også på bakerste vogn. Etter at bremseprøve var utført måtte lokomotivfører Jensen vente på å få klarsignal. Togekspeditøren på Alnabru ønsket tog 5713 av gårde før tog 5781. Bremseprøve på tog 5713 var ikke foretatt og Jensen måtte derfor vente. Han har forklart at han tok tiden fra bremseprøven på tog 5781 ble avsluttet og frem til tog 5713 forlot Alnabru, fordi han var irritert over å måtte vente når toget hans likevel var klart. Dette tok i følge Jensen ca. 18 minutter. Tog 5713 forlot Alnabru kl. 00.30. Jensen ventet ytterligere noen minutter og forlot Alnabru kl. 00.38.

Jensen har forklart at han brukte ventetiden til å lese idrettsblader og lytte til radio. Kompressoren, som er plassert rett bak lokomotivførers plass i førerhuset, lager en enerverende lyd når luft til bremsesystemet ettermates. Ettermatingen opphører og lyden forsvinner kort tid etter at førerbremseventilen settes i midtstilling. Det er på det rene at lokomotivførerne er kjent med konsekvensene av å glemme denne i midtstilling. Kommisjonen har forstått at det er så selvsagt at førerbremseventilen ikke må settes i midtstilling mens man venter at NSB BA ikke engang har gitt regler som forbyr dette. Samtidig har sikkerhetssjef og leder for NSB BAs ulykkeskommisjon Svein Ivar Johannessen på spørsmål fra Kommisjonen opplyst at man er kjent med at enkelte lokomotivførere likevel fra tid til annen setter førerbremseventilen i midtstilling mens de venter, for å slippe å høre på lyden fra kompressoren. Jensen har overfor politiet og Kommisjonen bestemt hevdet at han ikke gjorde dette mens han ventet denne natten. På bakgrunn av at dette er den eneste mulige årsaken som gjenstår som forklaring på hovedbremsesvikten, har Kommisjonen likevel undersøkt og analysert denne muligheten.

Som nevnt ville bremsesystemet i tog 5781 i løpet av 30 minutter vært tilnærmet uten lufttrykk dersom ettermatingen ble blokkert. Det gikk således tilstrekkelig tid fra Jensen eventuelt satte førerbremseventilen i midtstilling til bremsing etter Strømmen stasjon ble innledet ca. kl. 00.55. Han kan ha satt førerbremseventilen i midtstilling så sent som mellom kl. 00.20 og 00.25 og likevel hatt et tog tilnærmet uten lufttrykk da bremsingen ble innledet. Bremseprøven på toget må ha vært avsluttet senest kl. 00.12, da det i følge Jensen tok ca. 18 minutter fra tog 5781 var klart til tog 5713 forlot Alnabru.

8.1.4.2 Bremsene ble ikke prøvd før fallet

Lokomotivfører Jensen brukte ikke bremsene før han innledet bremsing etter Strømmen stasjon. Hadde han prøvebremset ville han oppdaget at førerbremseventilen stod i midtstilling, og han ville ført denne til fartsstilling som er den normale stillingen ved togfremføring. I denne stillingen ettermates toget med luft.

Kommisjonen har sammenlignet hastighetsrullen fra tog 5781 med strekningsprofilen på strekningen Alnabru–Lillestrøm, jf. kap. 5.6. Ved Lørenskog stasjon var hastigheten lav, fordi toget måtte over i motgående spor pga. anleggsarbeid i nordgående spor. Hastighetsrullen viser at toget hadde en hastighet på mellom 25 og 30 km/t. Omtrent 1500 meter før Lørenskog stasjon begynte toget å retardere i en motbakke. Jensen har forklart at han antakelig ikke bremset, men at han hadde hånden på førerbremseventilen. Kommisjonen mener utfra strekningsprofil og togets hastighetsrull at toget retarderte i motbakken til 25–30 km/t uten at togets bremser ble aktivert. Siden det ikke ble bremset var det heller ingen grunn til å benytte, eller ha hånden på førerbremseventilen. Jensen kunne utfra hastighetsmåleren påse at han kom ned i tillatt hastighet. Hadde Jensen hatt hånden på førerbremseventilen ville han dessuten høyst sannsynlig ha oppdaget at førerbremseventilen stod i midtstilling.

8.1.4.3 Bremseforløp

Da toget passerte Strømmen stasjon hvor Jensen innledet bremsing, kan han ha dratt håndtaket på førerbremseventilen fra midtstilling til driftsbremsstilling for å få brems. Jensen har forklart at man må bruke to hender for å få førerbremseventilen ut av midtstilling, og at han ikke brukte to hender ulykkesnatten. Dette ble anført som et argument for at han ikke kan ha kjørt med førerbremseventilen i midtstilling. Kommisjonen har imidlertid i forbindelse med rekonstruksjoner fått påvist at man må bruke to hender for å sette førerbremseventilen i midtstilling, men at man ved å bruke en hånd enkelt kan dra den til driftsbremsestilling.

Jensen har forklart at han ikke fikk noen bremsevirkning da han dro til to trinn på driftsbremsen. For å få bremsevirkning og trykk i hovedledningen tok han to løsestøt. Som nevnt i pkt. 5.1.4 og 5.5.4.5 må hele bremsesystemet fylles med luft for at full bremsevirkning skal oppnås. Det tar 8–13 sekunder å lade opp hovedledningen til et trykk på over 1,5 bar som gir full bremsekraft. Det tar imidlertid ca. 40 sekunder å lade opp A-kamrene til vog-

nenes styreventiler til et trykk på over 1,5 bar, som må til for å være sikret bremsevirkning. Ved lavere trykk er det knyttet stor usikkerhet til hvordan styreventilene reagerer.

8.1.4.4 Togets hastighetsprofil

De rekonstruksjoner som er gjennomført viser at togets hastighetsprofil samsvarer med at årsaken til hovedbremsesvikten var at førerbremseventilen stod i midtstilling. Togets hastighet økte fra Strømmen stasjon til Sagdalen blokkpost med 7 km/t, fra 95 km/t til 102 km/t. Hastigheten ble deretter langsomt redusert og var ved kollisjonen 62 km/t. Dette tilsvarer som nevnt en retardasjon på mellom 0,14 til 0,16 m/s^2 eller en bremseeffekt tilsvarende 0,91–1,05 bar trykksenkning i hovedledningen fra Sagdalen blokkpost. Kommisjonen mener denne bremseevnen ble oppnådd gjennom de løsestøt lokomotivfører Jensen foretok da han ikke oppnådde brems. Dette samsvarer med at toget hadde en lav, men konstant bremsevirkning frem til kollisjonsstedet.

8.1.4.5 Konklusjon

Etter dette er den eneste rimelige forklaring på hovedbremsesvikten at førebremseventilen stod i midtstilling og Kommisjonen legger det til grunn. Kommisjonens konklusjon på hovedbremsesvikten støttes av bremserapporten fra NSB BA ved bremsekontoret som er verifisert av sivilingeniør og tidligere bremsesjef i SJ Sven A. Eriksson.

8.1.5 Forholdet dårlige bremser - førerbremseventil i midtstilling

Som nevnt i pkt. 8.1.1 hadde tog 5781 dårligere bremseevne enn hva som fremgikk av godsvognopptaket. De dårlige bremsene kan imidlertid ikke alene forklare årsaken til kollisjonen. Toget ville uten førerbremseventilen i midtstilling ha stanset i god tid før kollisjonsstedet. At denne stod i midtstilling var således en nødvendig forutsetning for at kollisjonen inntraff.

Spørsmålet blir da om kollisjonen ville skjedd med førerbremseventilen i midtstilling, men med

Figur 8.1 Skjematisk presentasjon av ulike bremseveier for tog 5781

en bremseevne tilsvarende den bremseprosenten som fremgikk av godsvognopptaket. Rent teoretiske beregninger Kommisjonen har foretatt viser at kollisjonen da ville vært unngått. Beregningene er basert på en utgangshastighet på 102 km/t i 17 ‰ fall, tilsetting av bremser ved Sagdalen blokkpost, høyutbremsing for lokomotivet under 55 km/t og et trykk i hovedledningen på 0,97 bar i gjennomsnitt. Beregningene viser at toget ville ha stanset ca. 300 meter før kollisjonsstedet.

Vurderinger Kommisjonen har innhentet fra S. A. Eriksson basert på teoretiske beregninger og praktisk erfaring tilsier imidlertid at det er svært usikkert hvordan vognenes styreventiler opererer ved et så lavt trykk i A-kamrene. Det er derfor umulig i ettertid å avgjøre hvordan bremsekraften var fordelt mellom de ulike vognene, og mellom lastede og ulastede vogner. Dette har betydning for togets virkelige bremsekraft, men er ikke tatt hensyn til i den teoretiske beregningen. Erikssons vurdering er at kollisjonen ikke ville vært unngått, men at risikoen for alvorlige materielle skader på gasstankvognene ville vært redusert.

Kommisjonen kan på denne bakgrunn ikke med sikkerhet si hvorvidt de dårlige bremsene var en nødvendig betingelse for at kollisjonen fant sted, eller om det at førerbremseventilen stod i midtstilling alene forårsaket kollisjonen. Det som imidlertid er klart er at kollisjonshastigheten ville vært lavere om bremsene hadde vært som forutsatt.

8.2 Bakenforliggende årsaker til kollisjonen

I tillegg til de direkte årsakene til kollisjonen vil Kommisjonen redegjøre for de bakenforliggende årsaker til at denne skjedde. Følgende forhold har etter Kommisjonens oppfatning påvirket hendelsesforløpet:

- Mangler ved NSB Gods' vedlikeholdsrutiner vedrørende bremser
- Manglende prøvebremsing
- Manglende varsel ved kritisk lavt lufttrykk i bremsesystemet

8.2.1 Mangler ved NSB Gods' vedlikeholdsrutiner vedrørende bremser

Det er et faktum at toget hadde dårligere bremser enn hva det skulle ha hatt. Dette kan som nevnt ha vært en medvirkende årsak til at kollisjonen inntraff. Uansett har de dårlige bremsene hatt betydning for kollisjonshastigheten og kan følgelig ha medvirket til at gasslekkasjene oppstod.

DnV har i bremserapporten påpekt at NSB Gods ikke etterprøver togets bremsekraft gjennom klosstrykkmålinger i forbindelse med årlig ettersyn, eller på annen måte, jf. kap. 5.4. Det foretas således ingen kontroll av om den teoretisk beregnede bremseprosenten samsvarer med et togs reelle bremseevne. Dette innebærer at NSB Gods ikke har full kontroll med hvilken bremseevne togene i realiteten har.

Bremseprosenten danner utgangspunktet for hvilken bremseevne en lokomotivfører kan forvente hos det tildelte togsett og er grunnlaget for den hastighet toget tillates fremført i. Situasjonen er imidlertid at den bremseprosenten som oppgis er et usikkert mål på hva den reelle bremseevnen vil være. Ettersom togets hastighet fastsettes konkret ut fra den oppgitte bremseprosenten kan dette gi for knappe sikkerhetsmarginer ved togfremføring, spesielt ved nedbremsing i fall.

DnVs retardasjonsmålinger av fem godstog og gjennomgang av ulykker og nestenulykker der bremsesvikt var årsak, viser at avvik mellom bremseevne og bremseprosent som kan være sikkerhetskritiske forekommer uten at dette oppdages eller er forsøkt oppdaget.

8.2.2 Manglende prøvebremsing

Som nevnt foretok ikke lokomotivfører Jensen prøvebremsing etter utkjøring fra Alnabru til tross for at toget hadde en ny sammensetning som etter reglementet krever prøvebremsing. Reglene krever også prøvebremsing før fallet mot Lillestrøm. Dersom prøvebremsing hadde vært foretatt før toget kom inn i fallet ville dette ha avdekket at førerbremseventilen stod i midtstilling. Lokomotivfører Jensen ville da ha dratt førerbremseventilen til driftsbremsestilling og således oppdaget at ettermatingen av luft til bremsesystemet var blokkert.

Som nevnt pågikk det anleggsarbeider ved Lørenskog stasjon der lokomotivfører Jensen vanligvis foretar prøvebremsing. Han prøvet derfor ikke bremsene. Lokomotivfører Hernes i tog 5713 har forklart at han til tross for lav hastighet foretok prøvebremsing ved Lørenskog for å kjenne at bremsene tok.

Studie av strekningsprofil og tog 5781s hastighetsrull tilsier at Jensen i tillegg kunne foretatt prøvebremsing mellom Lørenskog og Strømmen. Dersom prøvebremsing hadde vært foretatt der

ville det vært tilstrekkelig tid til å lade bremsesystemet med luft før fallet mot Lillestrøm. Kollisjonen ville da vært unngått.

8.2.3 Manglende varsel ved kritisk lavt lufttrykk i bremsesystemet

Lokomotiv El 16 er ikke utstyrt med noen utrustning som gjør lokomotivfører oppmerksom på et eventuelt sikkerhetskritisk trykkfall i bremsesystemet. Det er i bremsesystemet følsomhetskrav til lekkasjeomfanget. Slike krav foreligger for at bremsene ikke skal tilsettes ved mindre lekkasjer, da dette er normalt. Kompressoren skal sørge for at luft ettermates. Dersom ettermatingen er blokkert vil bremsesystemet kunne tappes for luft over noe tid uten at bremsene tilsettes.

Dersom det hadde vært knyttet et lys- og/eller lydsignal, eller traksjonssperre som hindrer fremføring, til et kritisk trykkfall i bremsesystemet, ville lokomotivfører Jensen oppdaget at togets bremsesystem var tilnærmet lufttomt på et tidligere tidspunkt. Hovedbremsesvikten ville da vært unngått, fordi han ville oppdaget at førerbremseventilen stod i midtstilling.

8.3 Direkte årsaker til gasslekkasjene

I tillegg til redegjørelsen for de direkte og bakenforliggende årsakene til kollisjonen, vil Kommisjonen foreta en nærmere analyse av de direkte og bakenforliggende årsakene til at gasslekkasjene oppstod. Det var gasslekkasjene som skapte den dramatiske situasjonen på Lillestrøm.

Gasslekkasjene i de to gasstankene oppstod som en direkte følge av selve kollisjonen. Tankene gikk som vogn 1 og 2 i tog 5781. De materialtekniske undersøkelsene som er foretatt og de observasjoner som ble gjort etter ulykken, viste at tankene i seg selv tålte den belastning de ble utsatt for i forbindelse med kollisjonen. Derimot oppstod det lekkasjer ved mannhullene i de to tankene som følge av at mannlokkene på tankene kom i inngrep med hverandre. Mannhullene på de to gasstankene stod mot hverandre under transporten.

Tankenes konstruksjon, med utstående bolter på mannlokkene, var således den direkte årsaken til at gasslekkasjene oppstod som følge av kollisjonen.

8.4 Bakenforliggende årsaker til gasslekkasjene

For så vidt gjelder de bakenforliggende årsaker til at gasslekkasjene oppstod har følgende forhold etter Kommisjonens oppfatning påvirket hendelsesforløpet:

- Mannlokkenes konstruksjon
- Tankvognenes plassering
- Unnlatt bruk av direktebrems

8.4.1 Mannlokkenes konstruksjon mv.

Som nevnt over var den direkte årsaken til gasslekkasjene at boltene på de to mannlokkene grep inn i hverandre. Kommisjonen er imidlertid tvilende til om det hadde hjulpet å orientere vognene slik at mannhullene ikke gikk mot hverandre. I motsatt endebunn var det en utstikkende sylinderisk del som antagelig også ville påført mannlokket skader, slik at gasslekkasjene også da kunne oppstått. Hadde de to sylinderiske delene stått mot hverandre kan det heller ikke utelukkes at gasstankene ville blitt påført skader som hadde forårsaket lekkasje.

Hadde tankene vært konstruert med mannlokk med jevn overflate, er det Kommisjonens oppfatning at kollisjonen med stor sannsynlighet ikke ville ført til noen gasslekkasje. Det burde også vært en annen konstruksjonsløsning av den sylindriske delen i motsatt endebunn. Med glatte endebunner vil forutsetningene for å unngå gasslekkasje i forbindelse med en kollisjon eller avsporing være langt bedre enn med utstikkende deler på tankene.

DnV har som nevnt i kap. 6.4 utarbeidet en materialteknisk rapport på oppdrag fra Kommisjonen. DnV ble i den anledning bedt om å undersøke hvilke regler som gjelder for plassering og konstruksjon av mannlokk. Slike regler foreligger ikke.

8.4.2 Tankenes plassering i toget, dekningsvogn mv.

Tankvognene med propan var som nevnt vogn 1 og 2 i toget. Som påpekt i pkt. 7.4.1 er det ikke gitt regler om plassering av vogner med farlig gods i godstog. Det er i stedet praktiske hensyn som legges til grunn for plasseringen av vognene i togsettet. Hadde gasstankvognene gått lenger bak i toget ville en større del av kollisjonsenergien blitt tatt opp av vogner uten farlig gods. Det er da sannsynlig at kollisjonen ikke ville påført de to gasstankene slike belastninger at gasslekkasjene hadde oppstått. Dekningsvogn mellom de to gasstankvog-

nene ville sannsynligvis forhindret direkte sammenstøt mellom tankenes mannlokk, og således forhindret gasslekasjene, såfremt dekningsvognen hadde vært glatt uten utstikkende deler. Det er følgelig nødvendig å sette krav til dekningsvognenes konstruksjon dersom slike i større grad skal benyttes.

Krav til plassering av farlig gods i togsett vil i prinsippet innebære krav om dekningsvogn, det vil si vogn uten farlig gods som plasseres mellom lokomotiv og vogn med farlig gods, eller mellom to vogner med farlig gods. Kommisjonens gjennomgang av regelverket viser at det bare i beskjeden utstrekning finnes regler om slik bruk. Norske myndigheter har imidlertid kompetanse til å stille krav om dekningsvogn i nasjonale transporter i større grad enn hva som fremgår av RID.

Kommisjonen antar at bruk av dekningsvogn mellom lokomotiv og første gasstankvogn, og i tillegg dekningsvogn mellom de to gasstankvognene ville forhindret lekkasje.

8.4.3 Unnlatt bruk av direktebrems

Tog 5781 hadde foruten hovedbrems, også direktebrems som bare virker på lokomotivet, jf. pkt. 5.1.1. Lokomotivfører Jensen har forklart at han ikke brukte lokomotivets direktebrems da faresituasjonen oppstod. Han hevdet at bruk av direktebrems ikke ville gitt noen effekt på togets bremsevirkning, fordi manometeret på førerpanelet viste at trykket i hovedledningen var null etter at han hadde brukt den automatisk virkende bremsen.

Direktebremsen virker uavhengig av togets hovedbrems. Ved bruk av direktebrems ville lokomotivet hatt høyutbremsing i hele hastighetsområdet. Dette ville gitt en dobling av lokomotivets bremseevne i hastighetsområdet over 55 km/t i forhold til bruk av hovedbremsen alene. I tillegg har direktebremsen kortere tilsettingstid enn hovedbremsen i G-stilling. Bruk av direktebremsen ville derfor gitt hurtigere bremsevirkning på lokomotivet.

Gjennomførte beregninger viser at bruk av direktebremsen i hele fallet ville ha økt tilgjengelig bremsekraft for toget med ca. 20 %. Med tilsatt direktebrems ville ulykken ikke vært unngått, men hastigheten i kollisjonsøyeblikket ville ha blitt redusert til mellom 40 og 45 km/t, avhengig av om direktebremsen hadde vært tilsatt ved Sagdalen blokkpost eller 10 sekunder etter passering av Sagdalen blokkpost.

Togets bevegelsesenergi ved 40 km/t er om lag 40 % av bevegelsesenergien ved 62 km/t, noe som vil redusere konsekvensene av en kollisjon betydelig. Hvorvidt gasslekkasjene hadde vært unngått er det imidlertid ikke mulig å si.

Det understrekes at lokomotivfører Jensen ikke var opplært i bruk av direktebrems ved bremsesvikt. DnVs undersøkelser av den opplæring lokomotivførere gis i bruk av bremser viser at opplæringen er mangelfull når det gjelder hvordan en lokomotivfører skal forholde seg ved hel eller delvis bremsesvikt.

8.5 Kommisjonens hovedkonklusjoner

Den utløsende årsak, og således hovedårsaken til at kollisjonen inntraff, var det forhold at førerbremseventilen stod i midtstilling. Dette hadde betydning både i forhold til den akselerasjon som fant sted etter Strømmen stasjon og i forhold til den svake bremsevirkningen toget deretter hadde. Beregninger Kommisjonen har foretatt viser at toget ville ha stanset i god tid før kollisjonsstedet både med den faktiske hastighet toget hadde og med en hastighet i samsvar med tillatt hastighet på strekningen, dersom førerbremseventilen ikke hadde stått i midtstilling.

Rent teoretiske beregninger Kommisjonen har foretatt viser at toget med en bremseevne på 77 % og med førerbremseventilen i midtstilling ville ha stanset ca. 300 meter før kollisjonsstedet. Vurderinger basert på praktiske erfaringer og teoretiske beregninger tilsier imidlertid at bremseevnen i en situasjon med lavt trykk i vognenes styreventiler er svært usikker. Det vil således i ettertid være umulig å avgjøre hvordan bremsekraften var fordelt mellom de ulike vognene, noe som også har betydning for togets virkelige bremsekraft. S. A. Erikssons vurdering er at kollisjonen ville inntruffet, men med en lavere kollisjonshastighet. Kommisjonen mener på denne bakgrunn at det i ettertid er umulig å si hvorvidt kollisjonen ville vært unngått dersom toget hadde hatt bremser som forutsatt.

Hadde lokomotivfører gjennomført prøvebremsing før fallet mot Lillestrøm, slik reglene tilsier, ville han ha oppdaget at førerbremseventilen stod i midtstilling. Han ville da kunnet forhindre at ettermatingen av luft til bremsesystemet ble blokkert, og således hatt tid nok til å få tilstrekkelig luft i bremsesystemet til at full bremseeffekt ville vært oppnådd. Slik prøvebremsing kunne vært utført mellom Lørenskog og Strømmen.

Det er ingen lyd- eller lysalarm som varsler lokomotivfører dersom trykket i togets bremsesystemet er kritisk lavt. Det er heller ingen traksjonssperre som forhindrer togfremføring ved for lavt

trykk i bremsesystemet. Slike innretninger ville etter Kommisjonens oppfatning gitt lokomotivfører et varsel og forhindret kollisjonen.

Kommisjonen mener videre at gasslekkasjene oppstod som følge av at de to gasstankenes mannlokk kom i inngrep med hverandre. De to mannlokkene hadde utstikkende bolter som ble skadet i forbindelse med kollisjonen slik at det oppstod en lekkasje i begge de to tankene ved mannhullene. Det er Kommisjonens oppfatning at lekkasjene med stor sannsynlighet hadde vært unngått dersom tankene hadde vært konstruert med mannlokk med jevn overflate.

Gasslekkasjene kunne også muligens vært unngått om norske myndigheter i større grad hadde gitt regler for nasjonale transporter av farlig gods på jernbanen. Det kan stilles krav både til plassering av vogner med farlig gods i godstog og utstrakt bruk av dekningsvogner. Det er Kommisjonens oppfatning at gasslekkasjene sannsynligvis ville vært unngått om gasstankene ikke hadde vært plassert som vogn 1 og 2 i tog 5781. Bruk av dekningsvogn uten utstikkende og skadevoldende deler både mellom lokomotiv og første vogn og i tillegg mellom de to gasstankvognene, kunne antagelig forhindret lekkasje.

Kapittel 9
Analyse av brannsituasjonen og redningsaksjonen

9.1 Konsekvenser av en BLEVE

En såkalt BLEVE oppstår når en tank med brennbar gass eller væske i forbindelse med en brann blir utsatt for kraftig oppvarming og revner som følge av innvendig trykk eller annen påvirkning. Innholdet vil da fordampe umiddelbart. Dette vil føre til en effektiv blanding med luft og en derav følgende eksplosjonsartet forbrenning som arter seg som en brennende ildkule. En slik ildkule vil ha en overflatetemperatur på mer enn 1000 °C og medføre en ekstrem varmestråling. Videre vil fragmenter både fra tanken og fra området nær tanken, bli kastet av gårde med stor hastighet og føre til skader, som følge av trykkbølgen som oppstår.

Varmestrålingen vil i den mest eksponerte sonen medføre forbrenninger med døden til følge for personer som er utendørs og brennbare materialer vil ta fyr. Denne sonen kan strekke seg mange hundre meter i alle retninger fra den aktuelle tanken. Fig. 9.1 viser en BLEVE i USA i 1970 hvor en tank med 65 tonn propan revnet.

Den største ulykken i Europa av BLEVE-karakter inntraff 11. juli 1978 da en tankbil med ca. 23 tonn propylen forulykket nær en campingplass mellom Barcelona og Valencia i Spania. Det er usikkert hvordan selve ulykken skjedde, men det er klart at tanken revnet, innholdet fordampet, blandet seg med luft og brant som en ildkule. Ulykken krevde 215 menneskeliv og ytterligere 67 ble skadet.

Kommisjonen har ansett det som viktig å få klarhet i hvor nær man var en BLEVE i forbindelse med ulykken på Lillestrøm.

9.2 Analyse av brannsituasjonen og mulige konsekvenser

9.2.1 Brannteknisk analyse

Både Kommisjonen, politiet og parter som var berørt av ulykken (Statoil og NSB BA) ønsket å gjennomføre en analyse av den brannsituasjonen som oppstod på Lillestrøm stasjon etter kollisjonen og frem til tankene var tømt, for å belyse hvor nær en virkelig katastrofe (BLEVE) man var. Videre ønsket man å få kunnskap om hvilke hendelsesforløp man kunne forventet ved andre værforhold (vind og temperatur) og andre lekkasjerater. NSB BAs ulykkeskommisjon påtok seg i forståelse med Kommisjonen og politiet å stå for gjennomføringen av undersøkelsene.

Etter å ha innhentet tilbud fra flere firmaer, ble det inngått avtale med ComputIT i Trondheim om å gjennomføre aktuelle analyser. Kommisjonen har vært holdt fortløpende underrettet om fremdriften i arbeidet. ComputIT fremla sin rapport 17. november 2000. Denne er inntatt som vedlegg 7 til nærværende rapport. Nedenfor vil det bli redegjort for rapportens viktigste konklusjoner.

Prosjektet har bestått av to deler:

- Modellering og simulering av lekkasje, brannforløp og temperatur- og spenningsutvikling i tankene i den aktuelle ulykken.
- Gjennomføring av en sensitivitetsanalyse for å fremskaffe informasjon om konsekvenser ved et annet ulykkesbilde som for eksempel andre lekkasjerater, andre vindforhold, at propanen ikke antennes og sprer seg utover et større område som tung gass, at situasjonen utvikler seg til en BLEVE og lignende. Alt dette som underlag for videre arbeid med retningslinjer for både forebyggende tiltak og eventuelt senere redningsarbeid.

Til simuleringene er benyttet dataprogrammet Kameleon FireEx som er et anerkjent program utviklet over en årrekke av NTNU/SINTEF-miljøet.

9.2.1.1 Analyse av den aktuelle situasjonen på Lillestrøm

For den aktuelle situasjonen på Lillestrøm stasjon er det gjort beregninger for tre ulike rater for samlet utlekket propan fra de to tankene, på henholdsvis 45 g/sek, 90 g/sek og 135 g/sek. Dette er gjort som følge av at det var for stor usikkerhet knyttet til de lekkasjeundersøkelsene som var utført til at resultatene kunne brukes direkte.

Ved sammenligning av de datasimulerte brannene ved ulike lekkasjerater og bilder fra den

Figur 9.1 BLEVE med tankvogn lastet med 65 tonn propan i Crecent City, Illinois, USA 21. juni 1970
Kilde: National Fire Protection Assosiation (NFPA) USA

reelle brannen, har ComputIT kommet frem til at den mest sannsynlige lekkasjeraten var ca. 150 g/sek, tilsvarende 540 kg/time.

For begge vognene lå lekkasjepunktet godt under væskenivået, slik at lekkasjetverrsnittet ble gjennomstrømmet av propanvæske.

Etter kollisjonen stod den bakerste av de to gasstankvognene fortsatt horisontalt, mens den forreste vognen fikk en skråstilling på fem grader målt i vognens lengderetning. Dette innebar at en stor del av tankveggen, spesielt store deler av endebunnen som vendte mot brannen, var over væskenivået i tanken, se fig. 9.2 og 9.3. Varmeoverføring skjer lettere mellom stål og væske enn mellom stål og gass. Derfor ble tankveggen varmere der det var gass enn der det var væske.

Hovedkonklusjonene til ComputIT er:

- «Med stor sannsynlighet har det vært en brannutvikling nokså lik den som er simulert med en lekkasjerate på 135 g/sek., eller kanskje noe høyere.
- Når man sammenholder beregninger og observasjoner og tar i betraktning usikkerheter, er det sannsynlig at flytekapasiteten

for beholdermaterialet i det brannutsatte området på forreste tank ble overskredet etter ca. 2 timers brann.
- Det var kritisk viktig å nedkjøle tankene med vann, og dette forhindret med stor sannsynlighet en videre utvikling mot katastrofe.
- Dette var en ulykke hvor i hovedtrekk de riktige katastrofehindrende tiltak ble iverksatt».

9.2.1.2 *Analyse av alternative hendelsesforløp*

ComputIT har foretatt en analyse av hvordan hendelsesforløpet ville blitt om situasjonen på skadestedet hadde vært noe annerledes enn den var 5. april.

Hovedkonklusjonene er som følger:
- «Studien av alternative ulykkesscenarier viser at ulykken kunne fått et annet og mer omfattende og dramatisk omfang hvis lekkasjeraten hadde vært noe større og/eller hvis det hadde blåst sterkere vind langs vognene.
- Simuleringene som ble utført for å studere konsekvensene av utstrømning av uantent propan, viser at uttynningen ville vært meget kraftig, slik at en sannsynligvis kan se bort fra eventuell eksplosjonsfare med tilhørende alvorlige konsekvenser.
- I det aktuelle tilfellet viser gasspredningsberegningene at det sannsynligvis hadde vært fordelaktig å slukke brannen mens de nødvendige tømmetiltak ble iverksatt.
- Studien viser også at det var svært viktig å komme i gang med vannoverrisling, og at dette helst bør starte i løpet av den første halvtimen etter antennelse.
- Hvis brannen hadde vært betydelig større enn i det aktuelle tilfellet er det tvilsomt om det ville vært forsvarlig å starte vannoverrisling, eventuelt slokning, da faren for eksplosjon og ildkuledannelse (BLEVE) ville vært betydelig.
- Analyse av ildkuleproblemstillingen viser at eksplosjon av en eller begge tanker ville ført til dannelse av en ildkule med katastrofale konsekvenser.
- Det foreslås at det igangsettes et prosjekt hvor en med utgangspunkt i Kameleon FireEx simulerer en rekke forskjellige alternative hendelsesforløp for gasslekkasjer ved ulykker under transport av propan eller liknende på jernbane eller vei, for å fremskaffe et bredt underlag for å kunne treffe de riktige tiltak når ulykker av denne art inntreffer».

9.3 Hvor nær var man en katastrofe på Lillestrøm 5. april?

Kommisjonen har som nevnt ment at det er viktig å bringe på det rene hvor farlig den situasjonen man hadde på Lillestrøm var. Selv om man i dette tilfellet, gjennom å iverksette riktige tiltak i tide, var i stand til å forhindre at det utviklet seg til en katastrofe er det viktig å få kunnskap om hvilke marginer man hadde.

Det er etter ulykken gjennomført to undersøkelser for å belyse hvor nær en katastrofe man var. Disse er nærmere omtalt under kap. 6.4 og 9.2. Kommisjonen har tatt utgangspunkt i disse undersøkelsene i sin vurdering.

De to undersøkelsene, gjennomført henholdsvis av DnV og ComputIT, har langt på vei sammenfallende konklusjoner med hensyn til hvor nær man var en katastrofe. Undersøkelsene har imidlertid tatt utgangspunkt i ulikt grunnlagsmateriale. Mens DnV har undersøkt materialprøver fra tankene har ComputIT benyttet opplysninger om brannens størrelse, værforhold, temperatur og den kjøling som ble foretatt av tankene som utgangspunkt for sine analyser.

Kommisjonen har nøye gått igjennom materialet fra undersøkelsene, og vurdert grunnlagsmaterialet de har benyttet seg av, metoden for undersøkelsen og de resultatene man har kommet frem til. Kommisjonen har imidlertid ikke hatt kompetanse til å gå inn i detaljer i de enkelte undersøkelsene. Etter Kommisjonens oppfatning er undersøkelsene gjennomført av meget kompetent personell. Videre er det grunnlagsmaterialet som er benyttet i overensstemmelse med realitetene. Riktig nok er det foretatt visse forenklinger, men dette påvirker etter Kommisjonens oppfatning ikke resultatene i nevneverdig grad. ComputIT har i sin analyse tatt utgangspunkt i at temperaturen på tankene da brannen startet var 5 °C. Kommisjonen mener at denne temperaturen var noen grader lavere. Dette er imidlertid ikke avgjørende for resultatene.

Med hensyn til resultatene er det alltid en viss usikkerhet knyttet til denne type undersøkelser og analyser. Det faktum at begge undersøkelsene, med ulikt utgangspunkt og ulike metoder, har stort sammenfall i resultater gir imidlertid grunnlag for å anta at usikkerheten i dette tilfellet er liten. Det må derfor legges til grunn at man var meget nær en stor katastrofe i forbindelse med ulykken på Lillestrøm.

Det mest kritiske tidspunktet antas å ha vært umiddelbart før kjøling ble iverksatt, omtrent to timer etter at kollisjonen fant sted. Beregningene foretatt av ComputIT tilsier at det er sannsynlig at

Figur 9.2 Den forreste tanken ble stående med helning fremover på ca. fem grader etter kollisjonen

Kilde: Romerike Blad v/fotograf Daniel Sannum Lauten

Figur 9.3 Skissen viser at tankens helning medførte at et stort område av den brannekspo nerte endebunnen i tank 1 var over væskenivået

Kilde: Scandpower A/S

flytekapasiteten til tankmaterialet i det utsatte området på den forreste tanken ble overskredet etter ca. to timers brann. DnV på sin side konkluderer med at flytegrensen har vært overskredet, men har ikke forutsetninger for å si noe om tidspunktet.

Etter å ha gått gjennom hele hendelsesforløpet mener Kommisjonen at belastningen på tankmaterialet med stor sannsynlighet var størst i perioden før kjøling ble iverksatt. Det er imidlertid en viss mulighet for at belastningen kan ha vært størst nat-

ten mellom torsdag 6. og fredag 7. april, mot slutten av den perioden tankene var uten kjøling. Dette er etter Kommisjonens oppfatning lite sannsynlig fordi bortfallet av kjøling var i størrelsesorden 40 minutter, samt at tankene antas ikke å ha vært så varme da kjølingen stoppet at tålegrensen ville bli nådd i løpet av 40 minutter. Det som likevel kan støtte en teori om at man var nærmest katastrofe natten mellom torsdag og fredag er at tankene på det tidspunktet allerede var svekket gjennom to døgn med kontinuerlig varmepåkjenning.

På bakgrunn av de undersøkelser og analyser som er foretatt er det etter Kommisjonens oppfatning ingen tvil om at det i løpet av natten til 5. april hadde utviklet seg til en katastrofe med meget store konsekvenser dersom kjøling av tankene ikke hadde blitt iverksatt. På det tidspunktet katastrofen ville inntruffet var det ikke gjennomført noen form for evakuering.

Det er noe usikkert hvor lang tid det ville tatt før en av tankene hadde revnet og man hadde fått en BLEVE. De beregninger og analyser som er gjennomført indikerer imidlertid at det ikke var lang tid igjen til en katastrofesituasjon da kjølingen ble iverksatt. Med bakgrunn i de beregninger og simuleringer som er gjennomført av ComputIT er Kommisjonen av den oppfatning at en BLEVE ville inntruffet innen tre timer etter at brannen startet, dersom kjøling av tankene ikke hadde blitt iverksatt. En katastrofe ville således inntruffet mellom klokken tre og fire om natten.

ComputIT sier i sin rapport at en BLEVE ville hatt katastrofale virkninger for et område i størrelsesorden 1000 meter (radius 500 m). Ildkulen ville etter syv sekunder hatt en diameter på 200 meter sett ovenfra, og ville brent ut i løpet av ti sekunder.

Kommisjonens oppfatning er at dersom man hadde fått en BLEVE natten til 5. april, før evakuering var gjennomført, ville et stort antall mennesker omkommet og det ville blitt formidable materielle ødeleggelser innenfor et område på opp til 500 meter fra tankene. Dersom begge beholderne hadde revnet, noe som må anses som sannsynlig dersom først en tank hadde revnet, ville ulykkesomfanget blitt enda større.

Det er ikke mulig å si noe sikkert om hvor store konsekvensene av en BLEVE mellom klokken tre og fire natten til 5. april hadde blitt, men Kommisjonen er kommet til at man ikke kan se bort fra at mer enn hundre mennesker hadde omkommet umiddelbart, og mange hundre hadde blitt alvorlig skadet, mange ville kanskje fått livstruende skader. Det som synes klart er at alle som oppholdt seg utendørs innenfor en avstand på omtrent 500 meter fra tankene med stor sannsynlighet ville blitt drept av strålingen. Dette omfatter blant annet alt innsatspersonell på skadestedet. Videre ville branner i et stort antall bygninger samtidig, på denne tiden av døgnet, trolig medført at mange ikke hadde kommet seg ut i tide.

Brannene som hadde oppstått hadde utvilsomt fått herje i lang tid før noen hadde vært i stand til å gjøre noe med dem. Mange av brannvesenets innsatsmannskaper ville allerede ha mistet livet, og mesteparten av brannvesenets utstyr ville vært tapt. Resultatet ville vært at store deler av Lillestrøm sentrum hadde blitt lagt i ruiner.

Kommisjonens konklusjon er således at man med stor sannsynlighet var mindre enn en time fra en katastrofe vi ikke har sett maken til i Norge i fredstid da brannvesenet startet kjøling av tankene noen minutter etter klokken tre om natten 5. april 2000.

9.4 Hvordan ville andre værforhold og en større gasslekkasje påvirket utfallet?

ComputIT har påvist at man med noe andre værforhold enn de man faktisk hadde på Lillestrøm ville hatt vesentlig mindre tid til rådighet før en katastrofe hadde vært et faktum. Kommisjonen finner dette materialet interessant og presenterer det her selv om det fremgår av ComputITs rapport som er inntatt som vedlegg 7.

Da ulykken fant sted var det en vindhastighet på 1,5 m/s. Det er gjort beregninger for en vindhastighet på 15 m/s (kuling). Beregningene viser at sikkerhetsmarginen mot revning var redusert til null etter 1 time og 22 minutter.

Hadde den samme ulykken skjedd om sommeren ville innholdet på tankene hatt en høyere utgangstemperatur. Det er gjort en beregning for en temperatur på 20 °C i tankene i kollisjonsøyeblikket. Beregningen viser at sikkerhetsmarginen var redusert til null allerede etter 1 time og 12 minutter.

Gasslekkasjene fra tankene, som er antatt å ha vært omtrent 150 g/sek, må anses for liten. For å studere i hvilken grad en større lekkasje hadde påvirket tiden før kjøling måtte iverksettes ble det derfor gjort beregninger for en lekkasje på 1350 g/sek, eller ti ganger så stor lekkasje som den faktiske. Denne lekkasjemengden er heller ikke veldig stor. Med en slik lekkasje ville det tatt 32 timer før tankene var tomme forutsatt at lekkasjen var lik på begge tankene. Beregningene som er utført viser at det med de samme værforholdene som det var på ulykkestidspunktet ville gått mindre enn en

halv time før sikkerhetsmarginene hadde vært brukt opp. Ved en slik lekkasje er det urealistisk å tenke seg at man ville fått situasjonen under kontroll, både fordi tiden som er til rådighet er knapp og de vannmengder som skal til er svært store. Hadde det i tillegg blåst 15 m/s ville tiden blitt redusert til omtrent 15 minutter.

På bakgrunn av de beregninger som er gjort for andre værforhold kan det slås fast at værforholdene på Lillestrøm 5. april var gunstige. Mer vind eller varmere vær ville medført at tiden før kjøling måtte vært iverksatt hadde blitt kortere.

Beregningene viser også at lekkasjens størrelse er helt avgjørende for hvilken tid man har til rådighet, og om det i det hele tatt er mulig å bringe situasjonen under kontroll ved kjøling med vann.

Beregningene viser samlet sett at tiden man har til rådighet før en katastrofe inntreffer kan være kort ved ulykker hvor tanker med brannfarlig væske eller gass er utsatt for brannpåvirkning. Det medfører etter Kommisjonens oppfatning behov for kunnskap som gjør det mulig på kort tid å bedømme risikoen, og at denne kunnskapen er tilgjengelig for redningstjenesten. Dette må være beslutningsgrunnlaget for om det kan gjøres en innsats for å bringe situasjonen under kontroll.

Både det hendelsesforløpet man hadde på Lillestrøm og de situasjoner som er simulert med andre værforhold og større gasslekkasje, viser med all tydelighet at tiden som er til rådighet før en BLEVE inntreffer er knapp og lett kan bli for kort. Det er derfor viktig å treffe tiltak som kan øke tiden man har til rådighet. Etter Kommisjonens oppfatning vil det mest aktuelle tiltaket være å brannbeskytte tankene med isolasjon. Dette vil medføre at det tar lengre tid for en utvendig brann å varme opp innholdet på tankene enn om tanken er uisolert. Isolerte tanker kan også utstyres med sikkerhetsventil som bidrar til trykkavlastning. Dette er etter det Kommisjonen kjenner til gjennomført for nye tanker i USA og Canada.

9.5 Analyse av redningsaksjonen

Ved hvert av landets 54 politidistrikt og ved sysselmannsdistriktet på Svalbard er det etablert lokale redningssentraler (LRS). Den lokale redningssentralen ledes av politimesteren i politidistriktet. Med lokal redningssentral menes det ledelses- og koordineringsapparat som iverksettes ved politidistriktet i forbindelse med en redningsaksjon, som for eksempel en ulykke. Politimesteren kan avpasse apparatets størrelse etter situasjonen.

Hver lokal redningssentral består av en redningsledelse med politimesteren som leder. Redningsledelsen omfatter foruten politimesteren vanligvis representanter for brannvesenet, helsevesenet, Forsvaret, Telenor, Sivilforsvaret og lufttrafikktjenesten. Politimesteren kan etter behov peke ut rådgivere fra andre organisasjoner.

Ved redningsaksjoner som denne, hvor det fast organiserte ledelsesapparatet ikke er egnet til å lede politiinnsatsen, opprettes det en egen stab til å ta seg av ledelsesfunksjonene. Denne staben blir da politimesterens apparat for å ivareta ledelsen av redningsaksjonen.

Romerike politidistrikt hadde på ulykkestidspunktet en lokal redningssentral i henhold til gjeldende regler og prinsipper. Redningsplanen inneholder innsatsplaner for til sammen 18 forskjellige typer ulykker. Det foreligger særskilte innsatsplaner både for jernbaneulykke og ulykke med farlig gods. Innsatsplanene inneholder en beskrivelse av tiltak som er aktuelle å iverksette ved den aktuelle ulykkestype samt en oversikt over de ressurser det vil kunne være aktuelt å trekke på.

9.5.1 Beredskapen da ulykken inntraff

Beredskapen i et land som Norge varierer i stor grad med befolkningstettheten, men med lokale variasjoner ut fra særskilt risiko og sårbarhet. Lillestrøm/Nedre Romerike er et tett befolket område og har som følge av dette en omfattende beredskap. Videre er avstanden til ytterligere ressurser kort.

Politiet hadde da ulykken skjedde en fullverdig og god lokal redningsplan. Denne inneholdt som nevnt særskilte innsatsplaner både for farlig godsulykke og togulykke.

I det ulykken inntraff hadde politiet flere patruljer ute. Via radiosamband ble disse dirigert til ulykkesstedet. Første politipatrulje var på ulykkesstedet 16 minutter etter at politiet mottok varsel om ulykken.

Brannvesenet hadde en meget sentral rolle i forbindelse med ulykken. Lillestrømregionen har et felles brannvesen for kommunene Lørenskog, Skedsmo og Rælingen med to døgnbemannede stasjoner, henholdsvis på Lillestrøm og i Lørenskog. Dette medførte at man på brannsiden umiddelbart hadde relativt store ressurser tilgjengelig underlagt brannvesenets leder på skadestedet. Brannvesenets førsteutrykning omfattet fem biler og tolv mann. En førsteutrykning av dette omfang ville ikke funnet sted om det ikke hadde vært et interkommunalt brannvesen. Det normale ville da vært at fungerende brannsjef i kommunen hvor

ulykken har skjedd først etter å ha vurdert ulykkesomfanget ville bedt om assistanse fra nabokommuner.

Fra Lillestrøm er det kort vei til ytterligere ressurser for brannbekjempelse både i kommuner, sivilforsvar og ved flyplassen på Gardermoen.

Beredskapsplanen for Skedsmo kommune var innelåst i Rådhuset og var ikke tilgjengelig for dem som ledet evakueringen.

Kommisjonen har ikke sett nærmere på helsevesenets beredskap i forbindelse med ulykken i og med at denne aldri ble satt på prøve.

9.5.2 Organiseringen av redningsarbeidet

Både politi, ambulanser og brannvesen var raskt på skadestedet, jf. pkt. 3.7.3. Det ble etter kort tid konstatert hva som faktisk hadde skjedd og at det ikke var skadede personer i forbindelse med ulykken.

Det gikk omtrent tre timer fra ulykken inntraff til LRS-stab ble innkalt. Dette indikerer etter Kommisjonens oppfatning at politiets ledelse i den første fasen etter at ulykken inntraff ikke hadde noen klar oppfatning av hvor alvorlig ulykken var, og hvor store konsekvenser den kunne få.

Brannsjefen inngikk i brannvesenets førsteutrykning og ledet således brannvesenets innsats på skadestedet fra starten til han kl. 05.06 ble tilkalt for å inngå i LRS-stab.

SKL-KO ble opprettet i stasjonsbygningen på Lillestrøm stasjon kl. 03.09. Fra dette tidspunkt kan det virke som om innsatsen ble bedre koordinert og at politiet hadde et fastere grep om ledelsen enn i den aller første fasen. Opprettelsen av SKL-KO på stasjonsområdet er etter Kommisjonens oppfatning en klar indikasjon på at skadestedsledelsen på dette tidspunkt vurderte situasjonen som mindre alvorlig enn hva de gjorde noen få timer senere. SKL-KO ble, som det fremgår i pkt. 3.7.4, flyttet fra jernbanestasjonen til brannstasjonen i Lillestrøm kl. 08.33.

Tidlig på morgenen 5. april hadde man bygget opp et fullstendig ledelsesapparat med en sentral stab knyttet opp mot politimesteren og de viktigste medlemmene av LRS på plass. Videre hadde man en operativ skadestedsledelse knyttet til politiets skadestedsleder. Man hadde også tilkalt og fått til stedet flere rådgivere med kompetanse på gass, både fra Norske Shell, Statoil og Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern.

Organisasjonen fungerte i hovedsak godt under hele aksjonen. Det ble fattet en rekke meget viktige beslutninger og gjennomført tiltak som medførte at en katastrofe ble forhindret. I en slik situasjon, med vedvarende høy risiko over lang tid og sterkt press på en rekke personer over mange dager, var det ikke til å unngå at det oppstod situasjoner med usikkerhet og uenighet. Dette forhindret imidlertid ikke at nødvendige beslutninger ble tatt. I ettertid kan det konstateres at disse beslutningene gradvis førte aksjonen i riktig retning.

En avgjørende periode under aksjonen var natt til fredag, da det ble sammenkalt til ekstraordinært møte i LRS kl. 00.00. Bakgrunnen for møtet var at situasjonen var i ferd med å komme ut av kontroll som følge av sterkt redusert kjøling av tankene, og at det var oppdaget en lekkasje på toppen av den ene tanken, som man antok kunne være en begynnende sprekkdannelse. Tidligere på kvelden hadde det blitt gjort et mislykket forsøk på å slokke brannen. Etter dette var vannforsyningen sterkt svekket fordi pumper hadde stoppet og slanger frosset. Personellet fra Gasakuten var meget skeptiske til å gjøre noen form for forsøk på å tømme tankene slik situasjonen var, se pkt. 3.7.7.

En fullstendig evakuering i denne situasjonen ville med stor sannsynlighet ført til en BLEVE med meget store ødeleggelser. Man hadde imidlertid små marginer mot en katastrofe. Hadde ulykken oppstått uten at man hadde trukket alle ressurser tilbake ville mange menneskeliv gått tapt. Sannsynligheten for tap av liv ville derimot vært liten dersom alle mennesker var trukket ut fra evakueringssonen. De materielle ødeleggelsene ville imidlertid blitt formidable.

Skadestedsledelsen brukte en del tid for å være sikker på at de tiltak som ble iverksatt kunne gjennomføres sikkerhetsmessig forsvarlig. Ved en ulykke som denne, hvor det kreves spesialkompetanse, må redningsledelsen bruke noe tid på å skaffe denne, og ikke minst sammenholde de råd man får før beslutninger fattes.

Under en langvarig og krevende aksjon som på Lillestrøm vil det alltid være forhold som i ettertid kan påvises ikke å ha vært tilfredsstillende og som det bør tas lærdom av. Når det gjaldt organiseringen iverksatte den sentrale redningsledelsen i minst ett tilfelle tiltak uten å gå veien om den operative ledelsen (SKL). Dette gjaldt beslutningen om å brenne av gassen i fakler uten først å slokke brannen. I det tilfellet gikk ordre om iverksettelse direkte fra LRS til medlemmene av Gasakuten, som stod for gjennomføringen. Dette fikk ikke uønskede konsekvenser, men det kunne medført en situasjon ingen hadde kontroll over.

Personell fra Gasakuten arbeidet med tømming av den forreste tanken mer enn ett døgn etter at redningsaksjonen var avsluttet. I denne perioden synes det uklart hvem som hadde ansvaret på skadestedet.

9.5.3 Bistand fra eksperter

Redningsledelsen hadde ikke selv den kompetanse som var nødvendig for å vurdere faremomenter og tiltak. Det ble derfor tidlig tatt initiativ til å tilkalle fageksperter. Fagekspertene hadde en viktig rolle under hele aksjonen som rådgivere for skadestedsledelsen.

Etter hvert knyttet redningsledelsen til seg flere eksperter. En representant fra Stockholms brandvesen var rådgiver for LRS, og spesialister fra Teknologisk Institutt målte flere ganger temperaturen på tankene.

Ved vurderingen av mulighetene for å tømme tankene, og når det gjaldt innhenting av personell som var i stand til å gjennomføre dette, spilte flere av fagekspertene en sentral rolle.

Etter Kommisjonens oppfatning var det helt nødvendig for redningsledelsen å knytte til seg fageksperter slik situasjonen var. Dette kan ha vært av avgjørende betydning for utfallet av ulykken. Ekspertene på sin side ga råd som medførte at ledelsen var i stand til å ta de nødvendige avgjørelser. Flere av gassekspertene hadde et stort apparat i egne organisasjoner å spille på.

9.5.4 Evakueringen

På bakgrunn av de opplysninger og råd skadestedsledelsen fikk fra eksperter ble det som nevnt tidlig på morgenen onsdag 5. april besluttet å evakuere området rundt Lillestrøm stasjon i en radius av 700–800 meter. Bakgrunnen for evakueringen var at det ble vurdert å være en overhengende fare for BLEVE.

Etter de beregninger som ble gjort av gassekspertene ville 45 tonn propan danne en gassky som brant i 15–20 sekunder, ha en radius på 300 meter og en høyde på 100–200 meter. Prosjektiler fra vognene ville kunne nå 600–700 meter. Det ble også ansett som realistisk at en eller begge tankene kunne fare av gårde som raketter dersom en av endeveggene sprakk.

Ut fra den begrensede kunnskap Kommisjonen har om selve evakueringen som ble gjennomført onsdag morgen, synes denne å ha foregått planmessig og så raskt som man kunne forvente ved en så omfattende evakuering. Tallene er usikre, men det antas at omtrent 2000 personer ble evakuert i løpet av tre til fire timer. De som hadde særskilte behov ble også hensyntatt på en tilfredsstillende måte.

Ut fra den kunnskap man har i ettertid, om faren for en BLEVE bare to timer etter at kollisjonen fant sted, burde evakueringen vært gjennomført umiddelbart etter at man hadde observert brannen mellom de to tankvognene. På det tidspunktet hadde imidlertid ikke redningsledelsen nødvendig kunnskap om hvor stor faren var til å fatte en beslutning med så store konsekvenser. Det ville i tilfelle vært aktuelt å vekke innbyggerne med luftvernsirener, og sende ut melding på radio om umiddelbar evakuering. Kommisjonen vil imidlertid påpeke at i en situasjon med litt større lekkasje eller litt mer vind ville denne kunnskap vært avgjørende for å redde mange liv.

9.5.5 Branninnsats - kjøling av tankene

I ettertid vet man at kjølingen av tankene var helt avgjørende for at situasjonen ikke utviklet seg til en meget dramatisk ulykke med store konsekvenser.

Brannvesenet var på et tidlig tidspunkt bevisst på at tankene måtte kjøles med vann. Det gikk imidlertid halvannen time fra beslutning om kjøling av tankene ble fattet til det var etablert en tilfredsstillende vannforsyning. Kommisjonen mener at vannforsyningen kunne vært etablert raskere.

Kommisjonen har også registrert at man ikke oppnådde full effekt av kjølingen i den tidlige fasen, i og med at vannet ikke ble rettet mot de stedene på tankene som var mest påvirket av varmen, angivelig av frykt for å slokke brannen og få en ukontrollert gassvandring med fare for eksplosjon.

Kunnskapen om viktigheten av å kjøle tankene og hvordan dette skulle gjøres økte etter hvert som man knyttet til seg eksperter som rådgivere.

Brannvesenet hadde god kontroll med kjølingen av tankene hele onsdag 5. april og frem til på formiddagen torsdag 6. april. Man var imidlertid ikke godt nok forberedt til å håndtere den situasjonen som oppstod i løpet av torsdag formiddag med økende vind og påfølgende problemer med å få vannstrålene til å treffe tankene slik at kjølingen ble effektiv. Situasjonen synes imidlertid etter det Kommisjonen kjenner til å ha blitt løst på en tilfredsstillende måte.

Slokkeforsøket torsdag kveld mislyktes. Først og fremst skyldtes dette etter Kommisjonens oppfatning at det var for dårlig planlagt. Isolert sett var det ikke noe problem at man ikke klarte å slokke brannen. Kommisjonens oppfatning er at så lenge man hadde temperaturen på tankene under kontroll og varmen ikke gjorde det umulig å arbeide med forberedelse til tapping av tankene, var det en fordel at utlekket gass fortsatte å brenne. Selv om det er beregnet i ettertid at gassen raskt ville blitt fortynnet til en ikke brennbar blanding ville en situasjon med utlekkende gass skapt usikkerhet ved arbeidet på skadestedet. Slokkeforsøket medførte

imidlertid at vannet frøs i avstengte slanger slik at man fikk for store problemer med vannforsyningen til å fortsette kjølingen av tankene. Dessuten stoppet enkelte pumper. På dette tidspunktet hadde også representantene fra Gasakuten oppdaget lekkasjen på toppen av den ene tanken. Ved at man ikke klarte å slokke brannen ble situasjonen forandret fra å være under full kontroll til å bli svært dramatisk. Etter Kommisjonens oppfatning var det helt unødvendig å komme i en slik situasjon. Det kunne på meget enkel måte vært truffet tiltak som forhindret at vannet frøs i slanger og ventiler.

Etter at man ca. kl. 03.00 natt til fredag igjen hadde klart å opprette tilfredsstillende kjøling av tankene, hadde man god kontroll med temperaturen på tankene resten av tiden inntil de var tømt.

Kommisjonen er ikke i tvil om at man hadde fått en katastrofe på Lillestrøm innen klokken fire natten til 5. april dersom brannvesenet ikke hadde vært i stand til å igangsette kjøling av tankene omtrent på det tidspunktet de gjorde. Det synes også klart at fremdriften for å få i gang kjøling ikke var preget av en bevissthet om at det var knapt med tid. Dette tilsier at det, selv om brannvesenet gjorde de riktige tingene, er behov for mer kunnskap.

Begge tankene hadde som nevnt en metallplate montert i avstand 40 mm fra tankens overflate på den øvre delen av tanken (soltak). Soltaket var klart til hinder i forbindelse med kjølingen av tankene. For å få en best mulig kjøleeffekt er det viktig at vannet treffer flaten som skal avkjøles direkte, i dette tilfellet tankoverflaten. I dette tilfellet var man likevel i stand til å lede bort nok varme til at det ikke ble en katastrofe.

Etter Kommisjonens oppfatning kan det ikke være behov for soltak på tankvogner som benyttes i de nordiske land. Det bør vurderes om bruk av soltak i Norden kan unngås, slik at de ikke er til hinder for effektiv kjøling av tankene ved behov.

9.5.6 Tømming av tankene

Det var tidlig klart at det kunne ta mer enn to uker å tømme tankene gjennom de lekkasjene kollisjonen hadde forårsaket. Dette ville hatt store konsekvenser for Lillestrøm-samfunnet. Som det fremgår i pkt. 3.7.6 fikk skadestedsledelsen gjennom Statoil kontakt med Gasakuten. I utgangspunktet ville ikke Gasakuten starte operasjonen med å tømme tankene før brannen var slokket. Det ble derfor gjort et forsøk på å slokke brannen torsdag kveld som mislyktes.

Det var etter det mislykte slokkeforsøket usikkert om personellet fra Gasakuten ville gjennomføre operasjonen med å tømme tankene så lenge brannen ikke var slokket. Det ble derfor i løpet av natten til fredag 7. april kartlagt om annet innsatspersonell var villige til å gjennomføre tømming uten at brannen mellom tankene var slokket. Personellet fra Gasakuten bestemte seg imidlertid for å påta seg oppgaven. Tømmingen av tanken lengst fra lokomotivet startet fredag formiddag og var henimot tom kl. 22.00 på kvelden samme dag.

Den andre tanken hadde, som det fremgår i pkt. 3.5.4, fått ødelagt rørsystemet i forbindelse med kollisjonen. Det måtte derfor sveises på nye flenser og bores hull før man kunne begynne tappingen. Det tok forholdsvis lang tid før man fikk tømt tankene. Dette var imidlertid en meget uvanlig ulykke med muligheter for dramatiske konsekvenser om den ikke ble håndtert riktig.

9.6 Oppsummering

Kommisjonen er ikke i tvil om at man i forbindelse med brannen mellom tankvognene på Lillestrøm stasjon var meget nær en ekstremt stor ulykke som ville kostet et stort antall mennesker livet og dessuten medført store materielle tap. Utbulingen på den ene tanken,og de to undersøkelsene som er foretatt i ettertid av henholdsvis DnV og ComputIT med ulikt utgangspunkt, dokumenterer at tankenes tålegrense var nær ved å overskrides. Kommisjonen mener ut fra de undersøkelser som er foretatt at en BLEVE ville inntruffet mellom klokken tre og fire om natten 5. april dersom kjøling av tankene ikke hadde blitt iverksatt i tide.

Hadde en av tankene revnet ville også den andre tanken med stor sannsynlighet revnet kort tid etter. Ulykken ville imidlertid vært ekstremt stor uansett om bare den ene eller begge tankene revnet.

Brannene som ville oppstått hadde utvilsomt fått herje i lang tid før noen hadde vært i stand til å gjøre noe med dem. Resultatet ville vært at store deler av Lillestrøm sentrum hadde blitt lagt i ruiner.

I dette tilfellet kan det fastslås at god beredskap, tilgang på egnet utstyr og god vannforsyning forhindret en katastrofe. Det avgjørende var at man ved kjøling av tankene med store mengder vann var i stand til å hindre for sterk temperaturstigning i tankene og tankmaterialet.

Værforholdene, både på kollisjonstidspunktet og senere, bidro positivt til at katastrofen ikke inntraff. Med andre værforhold ville en BLEVE med

stor sannsynlighet ha inntruffet før kjøling ble iverksatt.

De mest dramatiske tidspunktene under aksjonen var den første natten før det ble iverksatt kjøling og natten til fredag da vannforsyningen til kjølingen ble sterkt redusert.

Den evakueringen som ble gjennomført onsdag morgen var etter Kommisjonens oppfatning nødvendig.

Tømmingen av tankene, slik dette ble gjort, medførte at aksjonen ble redusert med mange dager, kanskje opptil to uker.

På Lillestrøm var man i stand til å sette inn relativt store ressurser på kort tid, og man hadde tilstrekkelig kompetanse til å iverksette de riktige tiltakene. I tillegg til god tilgang på egne ressurser hadde man dessuten raskt tilgang på eksterne eksperter. I store deler av landet ligger ikke forholdene for å håndtere denne type ulykker til rette på samme måte som på Lillestrøm. Det kan heller ikke forventes at man har like god kompetanse til å håndtere denne type ulykke, som er meget sjeldent forekommende, i alle politidistrikt og alle brannvesen. Det kan imidlertid ikke ses bort fra at denne type ulykker skjer igjen.

Kapittel 10
Anbefalinger

10.1 Hovedgrupper av mangler og svakheter som danner bakgrunn for Kommisjonens anbefalinger

Ulykken på Lillestrøm avdekket feil og mangler av forskjellig art vedrørende bremser på godstog. Foretatte undersøkelser har avdekket at mange tog ikke har den bremseevne som oppgis og som lokomotivfører baserer togfremføringen på. De faktorer beregningen av bremseevnen baserer seg på etterprøves ikke og gir dermed usikre resultater. Bremseprosenten reflekterer derfor i mange tilfeller ikke den reelle bremseevnen.

Undersøkelser har vist at rutinene for ettersyn og vedlikehold av bremser er mangelfulle. De ulike bremsekomponenters tilstand etter bruk blir ikke systematisk kartlagt ved revisjoner. Kommisjonens undersøkelser har videre avdekket at prøvebremsing etter avgang, som gir lokomotivfører kunnskap om togets bremseevne, ikke alltid gjennomføres slik reglene krever. Undersøkelser gjennom intervjuer av lokomotivførere og en gjennomgang av det pensum disse gjennomgår har også avdekket at opplæringen vedrørende togets bremser på flere områder er mangelfull.

Transport av farlig gods gjennom bolig- og byområder kan få katastrofale konsekvenser ved ulykker. Ulykken har avdekket at materiellets konstruksjon og plasseringen av vogner med farlig gods i togsettet, kan ha betydning for om et sammenstøt skal resultere i en alvorlig ulykke eller ikke. Slike forhold er i liten utstrekning regulert i gjeldende regelverk. Regelverket for transport av farlig gods med jernbane er dessuten etter Kommisjonens oppfatning lite oversiktlig og vanskelig tilgjengelig.

Kommisjonens undersøkelser har avdekket at togradioen har lang responstid ved nødanrop. I tillegg bryter ikke nødanrop ned andre telefonsamtaler, og det tar tid når togleder må benytte et musebasert datasystem for å koble opp og besvare samtalen. Dessuten brytes samtalen dersom toget beveger seg inn i et nytt togradioområde.

10.2 Kommisjonens hovedanbefalinger

På bakgrunn av de ulike forhold Kommisjonens undersøkelser har avdekket, har Kommisjonen drøftet en rekke forslag til tiltak som kan redusere risikoen for en ulykke med tilsvarende skadepotensiale i fremtiden. Ulykken er av en slik karakter at det er tre helt ulike forhold som særlig har fått Kommisjonens oppmerksomhet. Dette gjelder for det første mange forhold vedrørende togets bremser, herunder konstruksjon, opplæring, testing, bruk og vedlikehold. For det andre har Kommisjonen sett på gasstankenes utforming. Til slutt har Kommisjonen undersøkt hvordan forutsetningene for frakt av farlig gods på jernbane, og da spesielt frakt av propan, gjennom regelverk og rutiner er tilrettelagt for å forhindre alvorlige ulykker.

Kommisjonen har i sine anbefalinger basert seg på hvordan situasjonen var 5. april 2000. Forslagene er begrenset til dem som Kommisjonen antar praktisk og økonomisk lar seg gjennomføre.

For så vidt gjelder Kommisjonens anbefalinger vedrørende sikkerhetsstyring av jernbanevirksomheten generelt, vises til rapporten om Åsta-ulykken (NOU 2000: 30).

Til sammen seks områder utpeker seg etter Kommisjonens oppfatning som de klart viktigste å gjøre noe med.

10.2.1 Bremsesystem og bremseevne

10.2.1.1 Beregning og etterprøving av bremseevne

Bremseevne angis som bremseprosent og baseres blant annet på bremseklossenes trykk på hjulene og av vognenes totalvekt. Vekten varierer med lastens vekt i det enkelte tilfelle. Klosstrykket vil endres avhengig av slitasje og vedlikehold. Det er derfor viktig å etterprøve bremsefunksjonen på den enkelte enhet regelmessig. Bare på denne måten vil en kunne beregne et togs bremseevne med akseptabel presisjon.

Den teoretisk beregnede bremseprosenten er ifølge målinger og prøvekjøringer med rekonstruerte ulykkestog, DnVs retardasjonsmålinger fore-

tatt på fem tog og intervjuer av lokomotivførere et usikkert mål på et togs reelle bremseevne. Usikkerheten knyttet til bremseprosent som angivelse av et togs bremseevne innebærer at sikkerhetsmarginene som brukes ved togfremføring kan være for knappe, spesielt ved kjøring på strekninger med fall. I tillegg er nøyaktigheten av hastighetsmålere varierende og mange baner er ikke utrustet med FATC. Dette medfører at det kan foreligge fare for passering av stoppsignal på grunn av utilstrekkelig bremseevne i forhold til togets hastighet.

Bremsetabellene som brukes i dag er lite brukervennlige. Lokomotivførerne avpasser heller hastigheten i fall skjønnsmessig utfra erfaring og følelsen de har med togets bremseevne.

Kommisjonen anbefaler at det etableres en praksis for å etterprøve togs reelle bremseevne. Inntil dette er gjennomført, anbefales at det opereres med større sikkerhetsmarginer enn hva som i dag er tilfelle.

Kommisjonen anbefaler videre at det utarbeides et mer brukervennlig alternativ til dagens bremsetabeller.

10.2.1.2 Endring av krav til bremsegruppe og tilsettingstid

Dersom lokomotivets bremser tilsetter samtidig med eller før bremsene på vognene, vil vognene trykke på bakfra, noe som øker risikoen for avsporing. Jernbaneverkets trafikksikkerhetsbestemmelser oppstiller derfor et krav om at lokomotiv i godstog alltid skal framføres i bremsegruppe G, uansett togets lengde og vekt.

Dersom alle vognene i et tog fremføres i bremsegruppe P, og toget er kort og lett slik at faren for avsporing er liten, er kravet etter Kommisjonens mening ikke like godt begrunnet. I slike tilfeller vil lokomotivet i bremsegruppe P få raskere tilsetting av bremsene uten at risikoen for avsporing øker. Spesielt ved bremsesvikt i deler av toget eller ved behov for rask nedbremsing i høye hastigheter, vil fremføring i bremsegruppe P være å foretrekke.

Lokomotiv av typen El 16 har lenger tilsettingstid i bremsegruppe G enn det som kreves i regelverket fra UIC og Jernbaneverket.

Kommisjonen anbefaler at hensiktsmessigheten ved at lokomotiv i godstog alltid skal fremføres i bremsegruppe G vurderes.

Kommisjonen anbefaler videre at alle El 16-lokomotiv gjennomgås systematisk for å justere tilsettingstiden slik at den blir i samsvar med UICs og Jernbaneverkets krav.

10.2.1.3 Tiltak for å varsle og forhindre lavt trykk i hovedbremseledningen

Analysen av ulykken på Lillestrøm viser at det er av avgjørende betydning for togets bremseevne at førerbremseventilen i lokomotiv El 16 ikke står i midtstilling under fremføring. Dette vil blokkere ettermating av luft til hovedledningen. Samtidig er det slik førerbremseventilen nå er konstruert, mulig å kjøre toget med ventilen i midtstilling. I denne posisjon siver trykket sakte ut uten at bremsene tilsettes, og toget mister over tid sin bremseevne.

Kommisjonen mener det bør gjennomføres tiltak slik at tog ikke kan fremføres når trykket i hovedbremseledningen er for lavt til å kunne stoppe innenfor de sikkerhetsmarginer som gjelder.

Kommisjonen anbefaler at det installeres alarm som utløses ved kritisk lavt trykk i hovedbremseledningen, og/eller en traksjonssperre (fremføringssperre) som forhindrer at tog kan fremføres i slike tilfeller.

10.2.2 Rutiner for prøving av bremser

Bremseprøven som gjennomføres før avgang er først og fremst en kvalitativ funksjonsprøve av togets bremsesystem, og sier ingenting om togets bremseevne. Det er mange muligheter for feil som kan gi redusert bremsekraft for et tog uten at det blir oppdaget ved en fullstendig bremseprøve.

Målinger av retardasjonen til godstog indikerer dessuten dårligere bremseeffekt ved første nedbremsing etter avgangsstasjon enn raskt påfølgende nedbremsinger. Det er derfor svært viktig at det etter avgang og underveis gjennomføres prøvebremsing.

På mange strekninger, særlig med fall, er det vanskelig for lokomotivfører å vurdere resultatet av en prøvebremsing. Det er i dag ingen hjelpemidler som kan forenkle lokomotivførers vurdering av togets bremseevne, som for eksempel skilt som indikerer akseptabel bremsevei.

ATC-systemet har en funksjon som kan gi direkte informasjon om et togs bremseevne ved prøvebremsing. Det er ikke lagt til rette for bruk av denne funksjonen i dag. Slike målinger kan allerede i dag gjennomføres på flate strekninger hvor DATC er installert. I fall må det legges inn baliser med fallinformasjon.

Kommisjonen anbefaler at det påses at kravet om prøvebremsing etter avgangsstasjon og før lengre fall blir fulgt.

Kommisjonen anbefaler videre at det legges til rette for at lokomotivfører skal kunne kontrollere togets faktiske bremseevne ved prøvebremsing. For å oppnå dette bør spesielle strekninger avmerkes og markeringer settes opp slik at det kan vurderes hvorvidt togets bremseevne er akseptabel. Hvis tilgjengelig strekning ligger i fall bør ATC-baliser med fallinformasjon installeres etter større godsterminaler, slik at ATC-systemets bremseprøvingsfunksjon kan utnyttes.

Det anbefales at Jernbanetilsynet foretar en gjennomgang og vurdering av regler, rutiner etc. for så vidt gjelder bremser i persontog.

10.2.3 Revisjonsintervaller for vedlikehold av bremser

For bremsekomponenter som tas ut av godsvogner i forbindelse med revisjoner kartlegges ikke systematisk hva kjørelengde, bruk over tid mv. betyr for komponentenes tilstand. Dermed får man ikke kunnskap om revisjonsintervallene er hensiktsmessige. Kommisjonen ser dette som bekymringsfullt, spesielt når revisjonsintervallene er blitt utvidet med fire år for mange komponenter samtidig som vognene utnyttes i større utstrekning, dvs. at kjørelengden pr. tidsenhet har økt.

Kommisjonen anbefaler systematisk kartlegging av tilstanden til ulike bremsekomponenter som tas ut ved revisjoner og av de faktorer som er av betydning for slitasje, vedlikeholdsbehov mv. På dette grunnlag bør det vurderes hvilke revisjonsintervaller som er nødvendige for å sikre at den reelle bremseevne er i samsvar med den beregnede.

10.2.4 Opplæring av lokomotivførere i bruk av bremser

Direktebremsen ble ikke brukt i forbindelse med ulykken på Lillestrøm, til tross for at denne hadde økt togets bremseeffekt i den aktuelle situasjonen. Ved fremføring av lokomotiv El 16 er det lavutbremsing i bremsesylinderne i hastigheter over 55 km/t også ved fullbrems og nødbrems. Ved nødbremsing i dette hastighetsområdet vil bruk av lokomotivets direktebrems nær fordoble lokomotivets selvstendige bremseeffekt, og dermed gi et vesentlig tilskudd til togets totale bremseevne, særlig i korte godstog. Dessuten har direktebremsen kortere tilsettingstid enn togets hovedbrems, slik at lokomotivets bremser raskere gir effekt.

Kommisjonens undersøkelser tyder på at det på flere områder forekommer at lokomotivførere bryter regelverket eller at de ikke følger fastlagte rutiner. Eksempelvis gjelder dette innstilling av høyere hastighet på ATC enn tillatt, bruk av annen bremsegruppe enn gjeldende bestemmelser angir mv. Kommisjonen ser dette som uheldig, uansett om det er et uttrykk for at reglene er uhensiktsmessige eller en uheldig kultur. Kommisjonen har ikke oversikt over omfanget av slike avvik, men vil peke på at kunnskap om dette vil gi et viktig grunnlag både for opplæring og videreutdanning, og for å forbedre regelverket der dette måtte være nødvendig.

Kommisjonen er kjent med at lokomotivførere fra tid til annen setter førerbremseventilen i midtstilling mens de venter, for å unngå en enerverende lyd fra kompressoren. Konsekvensen av å glemme førerbremseventilen i denne stillingen er at togets bremsekraft forsvinner i løpet av en halv time. Dette er lokomotivførerne kjent med. NSB BA mener det er så selvsagt at førerbremseventilen ikke må settes i midtstilling annet enn ved tetthetsprøve at det ikke er laget noen regel som forbyr dette. Kommisjonen er av den oppfatning at når det finnes en slik praksis på tross av at risikoen er kjent, bør praksisen søkes stoppet også i form av et formelt forbud.

Kommisjonen anbefaler at lokomotivførerne i forbindelse med opplæringen gis en grundigere innføring i virkemåten til ulike bremsesystemer og de spesielle forhold som gjelder for bestemte togtyper. Slik kunnskap er en forutsetning for å kunne utnytte den samlede bremseevne i et tog, og således oppnå maksimal bremseeffekt i kritiske situasjoner.

Behovet for prøvebremsing og bruk av hjelpemidler til å bedømme et togs bremseevne bør få en sentral plass ved utdanning av lokomotivførere, jf. pkt. 10.2.2.

Kommisjonen anbefaler en grundig kartlegging av hvordan ulike regler for togfremføring etterleves i praksis og årsaker til eventuelle avvik. Ut fra dette bør behovet for supplerende opplæring og eventuell endring av regler vurderes.

Kommisjonen anbefaler at det i regelverket nedfelles et forbud mot å sette førerbremseventilen i midtstilling annet enn ved tetthetsprøve eller når lokomotivet betjenes fra annen førerbremseventil.

10.2.5 Tiltak for å forebygge gasslekkasjer

10.2.5.1 Bruk av dekningsvogner

Dekningsvogn mellom lokomotiv og vogner med farlig gods vil gi større avstand mellom kollisjonspunktet og det farlige godset, slik at en større del av kollisjonsenergien tas opp av vogner uten farlig gods. Dekningsvogn mellom forskjellige vogner med farlig gods vil forhindre direkte kontakt mellom disse, og således kunne begrense skadene ved

kollisjon eller avsporing. Det forutsettes at man bruker dekningsvogner uten utstikkende deler som kan skade vogner med farlig gods. Fordeler ved bruk av dekningsvogner må vurderes opp mot eventuelle ulemper som følge av at dette vil gi flere skiftinger.

Norske myndigheter har etter EUs Rådsdirektiv 96/49/EF art. 1. nr. 2 kompetanse til å fastsette regler om godsvogners plassering i toget for den nasjonale togtrafikk. Den eneste regel som foreligger i dag er en regel om dekningsvogn mellom eksplosiver og brannfarlige eller oksiderende stoffer.

Kommisjonen anbefaler at norske myndigheter vurderer om regler for dekningsvogn ved transport av farlig gods kan være egnet til å forbedre sikkerheten og redusere skadepotensialet ved ulykker.

10.2.5.2 Glatte tanker uten utstikkende mannlokk og bolter

Lekkasje fra de to gasstankene som var involvert i ulykken på Lillestrøm oppstod som følge av at muttere og utstikkende bolter som festet mannlokkene ble revet av. Med en annen tankkonstruksjon, med glatte overflater på tankenes endebunner, ville sammenstøtet mellom tankene med stor sannsynlighet kunne skjedd uten at det oppstod lekkasje. Mannhullene kan også plasseres andre steder på tanken enn hva som var tilfellet på de aktuelle tankene.

Kommisjonen anbefaler at norske myndigheter tar initiativ til endringer i RID med krav om at tanker konstrueres uten utstikkende deler i områder som kan være utsatt ved kollisjoner, avsporinger mv.

10.2.6 Regulering av transport gjennom tettbygde strøk

Transport av farlig gods gjennom bolig- og byområder som Lillestrøm, kan medføre katastrofer i forbindelse med ulykker. Tiltak som reduserer faren for ulykker og reduserer skadepotensialet er derfor påkrevet. Lokale risikoanalyser vil kunne klargjøre hvilke særskilte forebyggende tiltak som kan iverksettes i det enkelte området.

Kommisjonen anser restriksjoner med hensyn til tidspunkt for transport og hastighetsbegrensninger gjennom tettsteder, som aktuelle tiltak for å redusere risikoen ved frakt av farlig gods. Risikoen for ulykker med godstog antas å være lavere i de perioder da jernbanenettet er minst trafikkert. Risikoen for at en ulykke med farlig gods skal utvikle seg til en katastrofe, vil bli lavere jo lavere hastigheten er. I dag er det ingen forskjell i fartsgrensene for transporter med og uten farlig gods. Selv det mest eksplosive gods fremføres i normal hastighet, også gjennom tettbygde strøk.

Kommisjonen anbefaler et sterkere fokus på transport av farlig gods i tettbygde områder, blant annet ved at det gjennomføres risikoanalyser for norske byer og tettsteder hvor jernbanetransport av farlig gods skjer.

Kommisjonen anbefaler en vurdering av om en tidsregulering og hastighetsbegrensning for tog som frakter farlig gods gjennom tettbygde strøk, kan gi en sikkerhetsforbedring. På dette grunnlag bør nye regler vurderes. Slike regler bør etter Kommisjonens oppfatning gis i lov eller forskrift.

10.2.7 Forebygging av katastrofer ved ulykker med gasstanker

10.2.7.1 Isolering av tanker

Ved ulykker av den typen vi hadde på Lillestrøm er det helt avgjørende for å unngå en BLEVE at temperaturen på tankene ikke blir for høy. Tiden man har til rådighet for å komme i gang med effektiv kjøling vil ofte være knapp. Tiden kan forlenges om tankene beskyttes mot oppvarming med isolasjon. Slik isolasjon vil, avhengig av tykkelse og isolasjonsegenskaper, medføre en betraktelig reduksjon av varmeoverføringen til tankmaterialet og tankens innhold. Dermed blir tiden man har til rådighet før situasjonen blir kritisk vesentlig lenger. Isolerte tanker er, etter det Kommisjonen kjenner til, tatt i bruk i USA og Canada.

Tiden før situasjonen blir kritisk kan økes ytterligere om tankene utstyres med sikkerhetsventil. En slik ventil vil bidra til trykkavlastning.

Kommisjonen anbefaler at norske myndigheter utreder bruk av isolerte tanker for gasstransport, samt å utstyre tankene med sikkerhetsventil. På bakgrunn av denne utredningen bør det vurderes om forslag til nye krav skal foreslås i RID.

10.2.7.2 Mulighet for måling av trykk og væskenivå

Ved ulykker med gasstanker er det nødvendig å kjenne til trykk, temperatur og væskenivå på tankene for å kunne vurdere faremomenter. Denne muligheten hadde man ikke på Lillestrøm. Dette ville gitt bedre grunnlag for å vurdere hvor stor faren var for en BLEVE under de ulike faser.

De tanker som brukes i dag gir ikke tilfredsstillende mulighet for måling eller registrering av trykk og væskenivå, og tiltak blir derfor iverksatt på grunnlag av antakelser. Sikre målinger vil gi bedre grunnlag for å vurdere sikkerhet for innsats-

personell, behov for evakuering og behov for og effekt av kjøling.

Kommisjonen anbefaler at norske myndigheter fremmer forslag om at det i RID inntas regler om at gasstanker skal ha utstyr for registrering av trykk og væskenivå.

10.2.7.3 Skandinavisk innsatsgruppe

Det viste seg ved ulykken på Lillestrøm at det var behov for personell med særlig kompetanse for å tømme tankene. Dette er et behov som vil oppstå ved ulykker, men ikke ofte. Det er derfor ikke aktuelt å etablere denne type kompetanse mange steder. Det hensiktsmessige vil være å ha en innsatsgruppe som dekker hele Skandinavia på et sted med god tilgang til rask transport både av personell og utstyr.

Kommisjonen anbefaler at LPG-bransjen i Skandinavia i fellesskap oppretter en fast innsatsgruppe for ulykker med LPG.

10.2.7.4 Opplæringsopplegg for brannvesen

Ved ulykker med tanker som kan utløse en BLEVE kan det være av avgjørende betydning at vidtrekkende tiltak, som evakuering, iverksettes raskt. Samtidig er det viktig at slike tiltak, som er svært krevende, ikke iverksettes i utide. Det vil først og fremst være politiet og brannvesenet som er involvert i beslutninger av denne karakter, med brannvesenet som faglig rådgiver og politiet som beslutende myndighet. Om slike beslutninger må fattes raskt, er det nødvendig med lokal kompetanse til å vurdere situasjonen, eventuelt raskt oppnå kontakt med rådgivere. Det er få brannvesen som i dag har kompetanse til å vurdere denne type situasjoner. Det er imidlertid mulig å utvikle opplæringsopplegg som vil gi brannvesenet et langt bedre forutsetninger for denne type vurderinger, uten at dette krever store ressurser i det enkelte brannvesen.

Kommisjonen anbefaler at myndighetene og LPG-bransjen i samarbeid utvikler et opplæringsopplegg som gir brannvesenet bedre forutsetninger for å vurdere tiltak i forbindelse med ulykker som kan medføre BLEVE.

10.3 Andre anbefalinger

10.3.1 Forenkling av regelverket

Regelverket for transport av farlig gods på jernbane er lite oversiktlig og vanskelig tilgjengelig. Regelverket er til dels dårlig samordnet, med mange ulike forskrifter med til dels overlappende virkeområde og formål. Regelverket er ikke i tilstrekkelig grad tilpasset omorganiseringen av det gamle NSB, noe som fører til uklarheter og tvilsspørsmål.

Kommisjonen har sammenlignet strukturen i RID med det tilsvarende regelverk for frakt av farlig gods på vei, ADR. Vi finner den tematiske strukturen i ADR mer oversiktlig enn RID som er inndelt etter fareklasser. I ADR klargjøres reglenes pliktsubjekt bedre, og de fellestrekk som finnes for transport av flere fareklasser kommer klarere frem.

Kommisjonen anbefaler, som følge av at NSB er delt etter at regelverket ble innført, at det tydeliggjøres i det enkelte regelverk hvilket organ som er pliktsubjekt.

Kommisjonen anbefaler videre at det vurderes om de ulike forskriftene kan slås sammen helt eller delvis, eventuelt også hvorvidt noen av forskriftsreglene bør trekkes opp på lovsnivå.

Kommisjonen anser strukturen i ADR som mer hensiktsmessig og brukervennlig enn strukturen i RID, og anbefaler på den bakgrunn at norske myndigheter fremmer forslag om å endre strukturen i RID i samsvar med ADR.

10.3.2 Kartlegging av transport av farlig gods

For å analysere risiko for uhell og mulige konsekvenser er det nødvendig å ha oversikt over både transportmengder og transportveier. Slik oversikt finnes ikke for transport av farlig gods på jernbanen.

Den siste nasjonale kartleggingen av farlig gods i Norge ble gjennomført i 1992. Kommisjonen mener nye undersøkelser på dette området er av stor betydning for et effektivt og forebyggende sikkerhetsarbeid. Nye undersøkelser bør spesielt få frem data om risiko ved transport av farlig gods i tettbygde områder.

Kommisjonen anbefaler at det utarbeides en fullstendig oversikt over transport av farlig gods på jernbanen både hva gjelder stofftyper, mengder og banestrekninger. Systemet bør legges opp slik at oversikten kontinuerlig oppdateres.

Videre anbefaler Kommisjonen at det iverksettes en ny kartlegging av den samlede transport av farlig gods i Norge.

10.3.3 Transportuhellskort for lokomotivførere

Lokomotivføreren av ulykkestoget på Lillestrøm hadde ikke kunnskap om hvilken type farlig gods

han fraktet, og heller ikke om hvilke tiltak han burde gjennomføre ved en ulykke med denne type gods.

Ved transport av farlig gods på vei finnes det krav om at sjåføren skal medbringe skriftlige instruksjoner spesifikt for det farlige godset som transporteres. Disse skal blant annet omhandle opptreden og tiltak ved uhell. Tilsvarende krav gjelder ved sjøtransport og flytransport av farlig gods, men ikke for jernbanetransport.

Etter Kommisjonens oppfatning er det viktig at lokomotivfører har kunnskap om egenskapene ved det farlige gods som er under transport og hvordan han skal opptre ved uhell. Det er ingen grunn til at dette skal være annerledes ved jernbanetransport enn det er ved transport med bil, båt eller fly.

Kommisjonen anbefaler at det innføres krav om at lokomotivfører ved transport av farlig gods skal medbringe informasjon om godsets egenskaper, hvordan det skal handles ved ulykker mv.

10.3.4 Nødsamband over togradio

Slik togradioen i dag fungerer vil en etablert samtale brytes når et tog forlater et togradioområde og går over i et annet. Dette gjelder også for nødanrop. I forbindelse med ulykken på Lillestrøm kunne dette fått uheldige følger, fordi lokomotivfører i tog 5781 ringte inn nødanrop like før han kjørte inn i et nytt togradioområde.

I forbindelse med ulykken på Lillestrøm tok det noe tid før togleder fikk koblet opp nødsamtalen med lokomotivføreren. Dette som følge av at systemet er menybasert og krever at en peker med datamus på riktig punkt på skjermen. I tillegg er responstiden på togradioen lang, fordi den nøyaktige posisjonsbestemmelsen tar tid. Dette kan gi uheldige konsekvenser i nødssituasjoner.

Kommisjonen anbefaler at togradiosystemet forbedres gjennom innføring av ny teknologi, slik at samtaler og anrop, herunder nødanrop, ikke brytes ved overgang til nytt togradioområde.

Kommisjonen anbefaler videre at bruken av skjermbaserte systemer i nødsituasjoner blir vurdert.

10.3.5 Tanker uten soltak ved transport i Skandinavia

På øvre del av tankene som var involvert i ulykken på Lillestrøm, var det montert metallplater ca. 40 millimeter fra tankenes overflate. Hensikten med platene er å forhindre sterk soloppvarming av tankene. Platene reduserte imidlertid kjøleeffekten av vannet som ble sprøytet på tankene under brannen. Denne type solavskjerming er beregnet for transport under langt varmere klimatiske forhold enn i Norge.

Kommisjonen anbefaler at norske myndigheter fremmer forslag om endringer i RID slik at det ikke er soltak på tanker som kun brukes for transport i Skandinavia, eller at soltakene får en slik konstruksjon at de lett kan fjernes ved behov.

10.3.6 Vaktenes lengde på togledersentralen

Kommisjonens undersøkelser har avdekket at togleder som var på vakt ulykkesnatten hadde arbeidet fra kl. 13.40 den 4. april og først skulle gå av vakt kl. 06.50 neste dag. Kommisjonen finner en vaktlengde på 17 timer svært betenkelig sett i lys av de sikkerhetskritiske oppgaver en togleder skal ivareta.

Kommisjonen anbefaler at arbeidstidsordningen på togledersentralene gjennomgås, herunder også konsekvenser ved bytting av vakter. Det bør settes klare regler for hvor lang sammenhengende arbeidstid som kan aksepteres.

10.3.7 Logging av hendelser

10.3.7.1 Logg av alle tjenestesamtaler på togledersentral

Samtaler fra telefonen som vaktlederen på togledersentralen i Oslo benyttet for å alarmere AMK-sentralen ble ikke logget slik at den kunne avspilles i ettertid. Etter Kommisjonens oppfatning er det viktig at flest mulig opplysninger som kan ha betydning for å rekonstruere hendelsesforløpet ved ulykker finnes tilgjengelig i ettertid.

Kommisjonen anbefaler at alle telefoner som brukes til tjenestesamtaler på togledersentralene blir utstyrt slik at samtalene blir tatt opp og tidspunktet for start og avslutning blir registrert.

10.3.7.2 Logging av data i lokomotiv

Manglende logg om bord i lokomotivet i tog 5781 kompliserte Kommisjonens arbeid med å kartlegge hendelsesforløpet i forbindelse med ulykken på Lillestrøm.

Lokomotiv kan utstyres med en logg (ferdskriver) koblet til ATC-systemet, som kan registrere data om utkjørt distanse, hastighet, trykksenking i hovedledningen, utløsning av ATC-brems, SIFA-ventilens tilstand mv. Logging av slike data vil innebære store fordeler ved undersøkelse av ulykker og uønskede hendelser.

Lufttrykk i bremsesystemet er avgjørende for et togs bremseevne, og står av den grunn sentralt i

granskningen av mange togulykker. Ved logging av lufttrykket i hovedledningen og hovedluftbeholder i lokomotivet vil arbeidet med ulykkesutredninger vedrørende bremsesvikt forenkles betydelig.

Kommisjonen anbefaler at alle lokomotiv utstyres med ATC-logg for å legge til rette for undersøkelse av ulykker og uønskede hendelser. Kommisjonen anbefaler videre logging av lufttrykk i hovedledning og hovedluftbeholder i lokomotivet.

Kapittel 11
Sammendrag

Det vil nedenfor bli gitt et kort sammendrag av viktige faktiske forhold som er behandlet i rapporten, sentrale problemstillinger og Kommisjonens vurderinger og anbefalinger. For ordens skyld gjør vi oppmerksom på at når hovedpunktene gjengis på denne måten, kan nyanser bli borte. Når det gjelder anbefalingene er kun selve anbefalingen inntatt og ikke teksten som forklarer denne. Kommisjonens anbefalinger er basert på situasjonen slik den var 5. april 2000.

11.1 Kommisjonens oppnevning og dens arbeid

7. april 2000, to dager etter ulykken, ble undersøkelseskommisjonen som var oppnevnt etter Åstaulykken bedt om også å granske togulykken på Lillestrøm stasjon 5. april 2000. Ved kongelig resolusjon av 14. april 2000 ble Kommisjonens mandat formelt utvidet. Kommisjonen hadde denne sammensetningen:

1. Lagdommer Vibecke Groth, Borgarting lagmannsrett, leder
2. Sivilingeniør Øystein Skogstad, SINTEF
3. Sivilingeniør Finn Mørch Andersen, Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern
4. Sivilingeniør Ingemar Pålsson, Det norske Veritas, Gøteborg
5. Sosiolog Marika Kolbenstvedt, Transportøkonomisk institutt

På Kommisjonens anmodning ble denne 26. juli 2000 utvidet med ingeniør Joakim Böcher, Det norske Veritas, Danmark. Kommisjonens sekretær har vært advokatfullmektig Jacob Ferdinand Bull, advokatfirmaet Arntzen, Underland & Co. Fra 15. oktober har også Jens-Henrik Lien, vitenskapelig assistent ved Universitetet i Oslo, vært sekretær.

Kommisjonen fikk som mandat å foreta de nødvendige undersøkelser for å bringe de faktiske omstendigheter omkring ulykken på Lillestrøm stasjon og årsakene til den på det rene. Det ble særskilt nevnt at det særlig synes nærliggende å vurdere forutsetningene som er lagt til grunn for transport av farlig gods.

Kommisjonen fikk umiddelbart et godt samarbeid med politiet i Romerike politidistrikt om hvilke undersøkelser som burde foretas.

Det norske Veritas ble oppnevnt som sakkyndig for å foreta en materialteknisk undersøkelse av gasstankene på toget, og for å se på om de oppfylte gjeldende krav til teknisk standard og regelverk for transport av propangass. Det norske Veritas fikk videre i oppdrag å undersøke bremsesystemene på godstog, vedlikeholdet av bremsesystemene og tilstanden for tog 5781 da det kjørte ut fra Alnabru ulykkesdagen.

NSB BA ved bremsekontoret har utredet bremsenes tilstand på tog 5781 etter ulykken. Dette arbeidet ble kontrollert og overvåket av politiet og Kommisjonen. Rapporten fra NSB BAs bremsekontor er på oppdrag fra Kommisjonen vurdert av sivilingeniør Sven A. Eriksson, tidligere bremsesjef i SJ fra 1988–1998, nå ansatt i Green Cargo AB (tidligere SJ Gods).

Videre er det foretatt undersøkelser vedrørende lekkasjene på de skadede gasstankvognene, og analyser og beregninger av hvor nær man var en katastrofe på Lillestrøm.

Kommisjonen har avhørt fire vitner. Kommisjonen har fått stilt til rådighet alle politiforklaringer, samt dokumenter og opplysninger for øvrig av interesse fra den politietterforskning som har vært drevet parallelt med Kommisjonens undersøkelser. Videre har Kommisjonen innhentet dokumentasjon og annet materiale av betydning for undersøkelsene fra NSB BA, Jernbaneverket, Statens Jernbanetilsyn, DBE, VTG og Statoil.

11.2 Ulykken

Natt til onsdag 5. april 2000 kl. 00.38 forlot godstog 5781 Alnabru på vei til Mosjøen. Det var ca. to timer forsinket på grunn av stort snøfall. Lokomotivet var av typen El 16. Godsvognopptaket som lå i lokomotivet anga bl.a. togets vekt, lengde, bremseprosent og at det fraktet komprimert brannfarlig gass.

Etter passering Strømmen stasjon innledet lokomotivfører bremsing. Han registrerte ingen bremsevirkning samtidig som hastigheten økte. Han oppfattet like etterpå at forsignalet til innkjørsignalet til Lillestrøm var branngult. Det betydde at innkjørsignalet var rødt. Ferdskriveren angir at togets hastighet da det passerte forsignalet var ca. 102 km/t. Høyeste tillatte hastighet for toget var i henhold til godsvognopptaket 90 km/t. ATC-enheten var innstilt på 100 km/t.

Ved Sagdalen blokkpost iverksatte lokomotivfører nødbrems da bremseeffekten han oppnådde var liten. Tog 5713 stod inne på Lillestrøm stasjon og ventet i spor 7. Lokomotivfører i tog 5781 forstod at han ikke ville klare å stoppe i tide, og begynte derfor å signalisere med tyfonen for å varsle om faren.

Lokomotivfører forsøkte å komme i kontakt med togleder via togradioen. Han oppnådde først kontakt i det han passerte innkjørsignalet til Lillestrøm stasjon som viste rødt, og varslet da om det som var i ferd med å skje. Lokomotivfører løp innover i maskinrommet og kastet seg ned da toget kjørte inn i tog 5713 kl. 00.57. Hastigheten var ca. 62 km/t i kollisjonsøyeblikket. Ingen av lokomotivførerne eller andre personer ble skadet i kollisjonen.

Kollisjonen førte til en del skader på materiellet, men det vesentlige var at de to propantankene i tog 5781 ble skadet og propan lekket ut. Etter kort tid ble propangassen antent. Faren for en katastrofe som følge av gassbrannen var overhengende. Situasjonen var kritisk og man var svært nær en BLEVE som ville medført et stort antall omkomne og lagt Lillestrøm i ruiner. Ca. 2000 mennesker ble evakuert innenfor den beregnede faresonen på 1000 meter fra tankene.

Faren for eksplosjon ble avverget og de evakuerte kunne returnere 9. april 2000.

11.3 Årsakene til kollisjonen

11.3.1 Direkte årsaker

Umiddelbart etter kollisjonen ble det klart at den direkte årsak til kollisjonen var bremsesvikt i tog 5781. På denne bakgrunn foretok Kommisjonen en grundig gjennomgang av de mulige årsaker til bremsesvikten. Den viste seg å være betydelig.

De tekniske undersøkelser som er foretatt viser at togets reelle bremseevne var dårligere enn lokomotivfører utfra godsvognopptaket kunne forvente. Godsvognopptaket tilsa at toget hadde en bremseprosent på 77. Klosstrykk- og bremseveismålinger som er gjennomført viser at toget bare hadde en reell bremseevne på 57 %. Dette gir 2/3 av den bremseevne som godsvognopptaket oppga. Beregninger Kommisjonen har foretatt viser imidlertid at toget ville ha kunnet stoppe i god tid før kollisjonsstedet med denne reduserte bremseevnen. De dårlige bremsene kan således ikke alene forklare bremsesvikten.

Det har vært foretatt ulike undersøkelser, beregninger og rekonstruksjoner av kjøringen ulykkesnatten for å forklare årsaken til at toget hadde en betydelig lengre bremsevei enn den reelle bremseevnen skulle tilsi. Denne delen av bremsesvikten benevnes i det følgende «hovedbremsesvikten» eller den resterende bremsesvikten.

De foretatte undersøkelser har vist at toget må ha vært tilnærmet uten brems i ca. 15 sekunder, eller over en strekning på drøyt 400 meter etter Strømmen stasjon, hvor hastigheten økte fra 95 til 102 km/t. Videre viser hastighetsprofilen at retardasjonen var svak men forholdsvis konstant fra Sagdalen til kollisjonspunktet. Undersøkelser har vist at dette tilsvarte en trykksenking på ca. 1 bar i hovedledningen, eller at de siste 3–5 vognene var uten brems.

Hovedbremsesvikten må således både ha medført at lokomotivfører først ikke fikk brems og siden at bremseevnen til toget var svak, men konstant. En slik bremsesvikt kan bare forklares med at hovedledningen var blokkert og at denne blokkeringen endret posisjon i hovedledningen ved Sagdalen, eller at det manglet lufttrykk i bremsesystemet.

En ispropp vil kunne blokkere hovedledningen og således forhindre den trykksenking som er nødvendig for å aktivere bremsene på de vognene som befinner seg bak isproppen. Imidlertid harmonerer den hastighetsprofil som fremgår av togets hastighetsrull dårlig med at ispropp har vært årsak til hovedbremsesvikten. En ispropp må da først ha blokkert hovedledningen mellom lokomotiv og første vogn, for deretter å løsne og blokkere mellom de tre til fem bakerste vognene. Videre ble det i forbindelse med åstedsbefaring ikke påvist tilstrekkelig fuktighet i hovedledningen til at Kommisjonen anser det som sannsynlig at ispropp kan ha forårsaket hovedbremsesvikten. Dessuten var det luftgjennomstrømning i hele hovedledningen da bremseprøven på toget ble gjennomført før avgang. Disse forhold tilsier at det er så lite sannsynlig at ispropp var årsak til den betydelige hovedbremsesvikten at Kommisjonen legger til grunn at dette ikke var årsaken.

Den eneste rimelige forklaring på bremsesvikten er etter dette, slik Kommisjonen ser det, at

lokomotivfører må ha satt førerbremseventilen i midtstilling og glemt å sette den i fartsstilling før han kjørte ut fra Alnabru. Med førerbremseventilen i midtstilling under kjøring vil ettermating av luft til bremsesystemet blokkeres og lufttrykket vil, med de lekkasjer som i ettertid er påvist i ulykkesmateriellet, sive ut i løpet ca. 30 minutter. Togets hastighet økte fra Strømmen stasjon til Sagdalen blokkpost med 7 km/t, fra 95 km/t til 102 km/t. Dette samsvarer med en situasjon hvor trykket har sivet ut og toget er tilnærmet uten brems. Deretter ble hastigheten langsomt redusert til kollisjonspunktet der hastigheten var ca. 62 km/t. Dette tilsvarer en retardasjon på 0,14–0,16 m/s² eller en bremseeffekt tilsvarende en trykksenkning på 0,9–1,05 bar i hovedledningen. Kommisjonen mener denne bremseevnen ble oppnådd gjennom de løsestøt lokomotivfører Jensen foretok da han ikke oppnådde brems. Løsestøt vil gi hurtigoppladning av trykket i hovedledningen, men ikke av hele bremsesystemet. Dette samsvarer med at toget hadde en lav, men konstant bremsevirkning frem til kollisjonsstedet.

Disse forhold tilsier at den betydelige hovedbremsesvikten skyldtes at førerbremseventilen stod i midtstilling. Dette hadde betydning i forhold til den svake bremsevirkningen toget faktisk hadde, fordi dette blokkerte ettermatingen og gjorde at togets bremsesystem derfor var tilnærmet lufttomt da bremsing ble innledet.

Dersom førerbremseventilen ikke hadde stått i midtstilling ville toget ha stanset i god tid før kollisjonsstedet både med den faktiske hastighet toget hadde ved passering Sagdalen blokkpost og med en hastighet i samsvar med tillatt hastighet på strekningen. Den utløsende årsak til kollisjonen var således at førerbremseventilen stod i midtstilling.

De dårlige bremsene som toget hadde kan imidlertid ha vært en nødvendig betingelse for at kollisjonen fant sted. Teoretiske beregninger Kommisjonen har foretatt viser at kollisjonen ville vært unngått selv med førerbremseventilen i midtstilling, dersom togets bremser hadde tilsvart den bremseevne som godsvognopptaket oppga. Vurderinger Kommisjonen har innhentet fra S. A. Eriksson basert på teoretiske beregninger og praktisk erfaring, tilsier imidlertid at kollisjonen hadde funnet sted, men i en lavere hastighet. Når det hersker forskjellige oppfatninger skyldes det den usikkerhet som oppstår ved at det i ettertid er umulig med full sikkerhet å si hvordan styreventilene på hver vogn har funksjonert med et så lavt trykk i A-kamrene. Dette gir i også store utslag i beregningen av bremsevei. Kommisjonen kan derfor ikke med sikkerhet si hvorvidt det at førerbremseventilen stod i midtstilling alene var årsak til kollisjonen eller om de dårlige bremsene var en nødvendig betingelse for at denne fant sted.

11.3.2 Bakenforliggende årsaker

11.3.2.1 Mangler ved NSB Gods' vedlikeholdsrutiner vedrørende bremser

Som nevnt hadde tog 5781 dårligere bremser enn hva lokomotivfører utfra godsvognopptaket kunne forvente. Basert på de beregninger Kommisjonen har foretatt ville toget ved normal fremføring ha stanset før innkjørsignalet til Lillestrøm stasjon, men hele sikkerhetsmarginen som ligger i avstanden mellom forsignal og innkjørsignal ville vært brukt. Med en høyere hastighet ville toget passert innkjørsignalet.

DnV har i sin bremserapport som er utarbeidet for Kommisjonen påpekt at NSB Gods ikke foretar klosstrykkmålinger i forbindelse med årlig ettersyn eller på annen måte etterprøver togets bremsekraft. Det foretas således ingen kontroll av hvorvidt den teoretisk beregnede bremseprosenten samsvarer med et togs reelle bremseevne. Dette innebærer at NSB Gods ikke har full kontroll med hvilken bremseevne togene i realiteten har. DnVs retardasjonsmålinger av fem godstog og gjennomgang av ulykker og nestenulykker der bremsesvikt var årsak, viser at sikkerhetskritiske avvik mellom bremseevne og bremseprosent kan forekomme uten at dette oppdages eller er forsøkt oppdaget.

11.3.2.2 Manglende prøvebremsing

Lokomotivfører foretok ikke prøvebremsing etter utkjøring fra Alnabru slik reglene tilsier. Kravet om prøvebremsing før fallet mot Lillestrøm ble heller ikke fulgt. Dersom prøvebremsing hadde vært foretatt før toget kom inn i fallet, ville dette avdekket at førerbremseventilen stod i midtstilling. Lokomotivfører ville da ha dratt førebremseventilen til driftsbremsestilling og således oppdaget at ettermatingen av luft til bremsesystemet var blokkert. Studie av strekningsprofilen og togets hastighetsrull tilsier at prøvebremsing kunne vært foretatt mellom Lørenskog og Strømmen. Dersom prøvebremsing hadde vært foretatt der ville det vært tilstrekkelig tid til å lade bremsesystemet med luft før fallet mot Lillestrøm. Togets bremseevne ville da vært tilstrekkelig til at kollisjonen hadde vært unngått.

11.3.2.3 Varsel ved manglende lufttrykk i bremsesystemet

Lokomotiv El 16 er ikke utstyrt med noen utrustning som gjør lokomotivfører oppmerksom på et eventuelt sikkerhetskritisk trykkfall i bremsesystemet. Dersom det hadde vært knyttet et lys- og/eller lydsignal eller traksjonssperre til en kritisk trykksenkning i bremsesystemet, ville lokomotivfører på et tidligere tidspunkt enn da han skulle innlede bremsing ved Strømmen stasjon ha oppdaget at togets bremsesystem var tilnærmet lufttomt. Kollisjonen ville da vært unngått, fordi lokomotivfører ville oppdaget at førerbremseventilen stod i midtstilling.

11.4 Årsakene til gasslekkasjene

11.4.1 Direkte årsaker til gasslekkasjene

Gasslekkasjene i de to gasstankene, som skapte den dramatiske situasjonen på Lillestrøm, oppstod som en direkte følge av selve kollisjonen. Tankene gikk som vogn 1 og 2 etter lokomotivet i tog 5781. De materialtekniske undersøkelsene DnV har foretatt på oppdrag fra Kommisjonen og de observasjoner som ble gjort etter ulykken, viste at tankene i seg selv tålte den belastning de ble utsatt for i forbindelse med kollisjonen.

Mannhullene som stod mot hverandre under transporten hadde mannlokk som var festet med utstikkende bolter. Gasslekkasjene oppstod som følge av at boltene kom i inngrep med hverandre i forbindelse med kollisjonen og to bolter på hvert av mannlokkene ble skadet. En bolt ble revet av, mens en annen ble deformert. Tankenes konstruksjon, med utstikkende bolter, var således den direkte årsaken til at gasslekkasjene oppstod som følge av kollisjonen.

11.4.2 Bakenforliggende årsaker til gasslekkasjene

11.4.2.1 Mannlokkenes konstruksjon mv.

De to gasstankene som var innblandet i ulykken var i seg selv meget solide, og var utstyrt med stoppventil på undersiden som skulle forhindre lekkasje dersom rørføringen ble skadet i forbindelse med kollisjon eller avsporing. Hadde tankene også vært konstruert med mannlokk med jevn overflate, er det Kommisjonens oppfatning at kollisjonen med stor sannsynlighet ikke ville ført til noen gasslekkasje. Også i motsatt endebunn var det utstikkende elementer. Kommisjonen mener derfor at lekkasjene ikke nødvendigvis ville vært unngått om tanken var orientert annerledes. Kommisjonen etterlyser en større bevissthet når det gjelder konstruksjon av tanker som frakter farlig gods. Blant annet foreligger det ikke regler for plassering og konstruksjon av mannlokk. Med glatte endebunner vil forutsetningene for å unngå gasslekkasje i forbindelse med en kollisjon eller avsporing være langt bedre enn med utstikkende deler på tankene.

11.4.2.2 Tankenes plassering i toget, dekningsvogn mv.

De to tankvognene gikk nærmest lokomotivet. Hadde gasstankvognene gått lenger bak i toget ville en større del av kollisjonsenergien blitt tatt opp av vogner uten farlig gods. Det er da sannsynlig at kollisjonen ikke ville påført de to gasstankene slike belastninger at gasslekkasje hadde oppstått.

Bruk av dekningsvogn i tog 5781 mellom lokomotivet og gasstankvognene ville medført at gasstankvognene hadde tatt opp en langt mindre del av kollisjonsenergien i forbindelse med kollisjonen. Kommisjonen kan imidlertid ikke med sikkerhet si om gasslekkasjene av den grunn hadde vært unngått. Dekningsvogn mellom de to gasstankvognene ville sannsynligvis forhindret direkte sammenstøt mellom tankenes mannlokk, og således forhindret gasslekkasjene såfremt dekningsvognen hadde vært glatt uten utstikkende deler. Kommisjonen antar at bruk av dekningsvogn mellom lokomotiv og første gasstankvogn og dekningsvogn mellom de to gasstankvognene ville forhindret lekkasjene. Kommisjonens gjennomgang av regelverket har avdekket at det bare i beskjeden utstrekning finnes regler om bruk av dekningsvogn ved transport av farlig gods.

11.4.2.3 Unnlatt bruk av lokomotivets direktebrems

Tog 5781 hadde foruten hovedbrems også direktebrems som bare virker på lokomotivet. Direktebremsen virker uavhengig av togets hovedbrems, men ble ikke benyttet av lokomotivfører. Bruk av direktebrems ville gitt en dobling av lokomotivets bremseevne i hastighetsområdet over 55 km/t i forhold til bare bruk av hovedbremsen. Gjennomførte beregninger viser at bruk av direktebremsen i hele fallet ville ha økt tilgjengelig bremsekraft for tog 5781 med ca. 20 %. Med tilsatt direktebrems ville ulykken ikke vært unngått, men hastigheten i kollisjonsøyeblikket ville blitt redusert til mellom 40 og 45 km/t. Hvorvidt gasslekkasjen da hadde vært unngått er det ikke mulig å si. Det understre-

kes at lokomotivfører ikke var opplært i bruk av direktebrems ved bremsesvikt.

11.5 Gassbrannen

En såkalt BLEVE er den situasjonen som oppstår når en tank med brennbar gass/væske i forbindelse med en brann blir utsatt for kraftig oppvarming og revner på grunn av overbelastning som følge av innvendig trykk eller annen påvirkning. Innholdet vil da fordampe umiddelbart. Dette vil føre til en effektiv blanding med luft og en derav følgende eksplosjonsartet forbrenning som vil arte seg som en brennende ildkule. En slik ildkule vil ha en overflatetemperatur på mer enn 1000 °C og medføre en ekstrem varmestråling. Videre vil fragmenter både fra tanken og fra området nær tanken bli kastet av gårde med stor hastighet, og føre til skade som følge av trykkbølgen som oppstår.

Varmestrålingen vil i den mest eksponerte sonen medføre forbrenninger med døden til følge for personer som er utendørs, og trebygninger og brennbare materialer vil ta fyr. Denne sonen kan strekke seg mange hundre meter i alle retninger fra den aktuelle tanken.

På bakgrunn av de undersøkelser og analyser som er foretatt er det etter Kommisjonens oppfatning ingen tvil om at man i løpet av natten til 5. april hadde fått en BLEVE med meget store konsekvenser, dersom kjøling av tankene ikke hadde blitt iverksatt. Etter Kommisjonens oppfatning ville en katastrofe inntruffet mellom klokken tre og fire om natten om kjøling av tankene ikke hadde blitt iverksatt. På det tidspunktet en slik katastrofe ville inntruffet var det ikke gjennomført noen form for evakuering. Det må legges til grunn at mer enn hundre mennesker antagelig ville omkommet umiddelbart, og flere hundre hadde blitt alvorlig skadet. Mange ville kanskje fått livstruende skader. Det må antas at alle som oppholdt seg utendørs innenfor en avstand av 500 meter fra tankene med stor sannsynlighet hadde blitt drept av strålingen. Videre ville branner i et stort antall bygninger samtidig på denne tid av døgnet trolig medført at mange ikke hadde kommet seg ut i tide.

Brannene som hadde oppstått ville fått herje i lang tid før noen hadde vært i stand til å gjøre noe med dem. Mange av brannvesenets innsatsmannskaper ville allerede ha mistet livet, og mesteparten av brannvesenets utstyr ville vært tapt. Resultatet hadde vært at store deler av Lillestrøm sentrum ville blitt lagt i ruiner.

Etter Kommisjonens oppfatning var man antagelig mindre enn en time fra en katastrofe vi ikke har sett maken til i Norge i fredstid da brannvesenet startet kjøling av tankene natten til 5. april.

11.6 Redningsaksjonen

Både politi, ambulanser og brannvesen var raskt på skadestedet. Det ble etter kort tid konstatert hva som faktisk hadde skjedd, og at det ikke var skadede personer i forbindelse med kollisjonen.

Organiseringen av redningsaksjonen fungerte i hovedsak godt under hele aksjonen. Det ble i løpet av denne fattet en rekke viktige beslutninger og gjennomført tiltak som medførte at en katastrofe ble forhindret. Brannvesenet var på et tidlig tidspunkt bevisst på at tankene måtte kjøles med vann. Bevisstheten om viktigheten av å kjøle tankene og hvordan dette skulle gjøres økte etter hvert som man knyttet til seg eksperter som rådgivere.

Redningsledelsen hadde ikke selv den kompetanse som var nødvendig for å vurdere faremomenter og tiltak ved en slik ulykke. Det ble derfor tidlig tatt initiativ til å tilkalle fageksperter.

Etter Kommisjonens oppfatning forhindret redningstjenestens innsats at ulykken på Lillestrøm utviklet seg til en katastrofe med meget store konsekvenser. God beredskap, tilgang på egnet utstyr og god vannforsyning forhindret en meget stor ulykke.

Dersom tankene skulle tømmes gjennom de lekkasjer som hadde oppstått i forbindelse med kollisjonen ville dette kunne ta to uker eller mer. Dette ville hatt store konsekvenser for Lillestrømsamfunnet. Skadestedsledelsen fikk kjennskap til en beredskapsgruppe sammensatt av aktører i den svenske LPG-bransjen kalt «Gasakuten». Gasakuten har fem faste medlemmer som har kompetanse og spesialutstyr til å kunne tømme store gasstanker. Gasakuten ankom Lillestrøm i løpet av ettermiddagen 6. april og avbrenning av gassen (fakling) ble påbegynt neste dag. Begge tanker var fullstendig tømt mandag 10. april. Søndag 9. april ble faren for eksplosjon ansett over og de evakuerte kunne vende tilbake til sine hjem.

Ulykken skjedde på et sted hvor det var enkelt å komme til med tungt utstyr, og vannforsyningen var god. Dersom dette ikke hadde vært tilfelle må man etter Kommisjonens oppfatning regne med at ulykken hadde utviklet seg til en BLEVE. I store deler av landet ligger ikke forholdene for å håndtere denne type ulykker til rette på samme måte som på Lillestrøm.

11.7 Kommisjonens anbefalinger

Kommisjonen har følgende anbefalinger:

Hovedanbefalinger:

Vedrørende bremsesystem og bremseevne:

Kommisjonen anbefaler at det snarest etableres en praksis for å etterprøve godstogs reelle bremseevne. Inntil dette er gjennomført, anbefales at det opereres med større sikkerhetsmarginer enn hva som i dag er tilfelle.

Videre anbefaler Kommisjonen at det utarbeides et mer brukervennlig alternativ til dagens bremsetabeller.

Det anbefales at hensiktsmessigheten ved at lokomotiv i godstog alltid skal fremføres i bremsegruppe G vurderes.

Kommisjonen anbefaler videre at alle El 16 lokomotiv gjennomgås systematisk for å justere tilsettingstiden, slik at den blir i samsvar med UICs og Jernbaneverkets krav.

Kommisjonen anbefaler at det installeres alarm som utløses ved kritisk lavt trykk i hovedbremseledningen, og/eller en traksjonssperre (fremføringssperre) som forhindrer at tog kan fremføres i slike tilfeller.

Det anbefales at Jernbanetilsynet foretar en gjennomgang og vurdering av regler, rutiner etc. for så vidt gjelder bremser i persontog.

Vedrørende rutiner for prøving av bremser:

Kommisjonen anbefaler at det påses at kravet om prøvebremsing etter avgangsstasjon og før lengre fall blir fulgt.

Kommisjonen anbefaler videre at det legges til rette for at lokomotivfører skal kunne kontrollere togets faktiske bremseevne ved prøvebremsing. For å oppnå dette bør spesielle strekninger avmerkes og markeringer settes opp slik at det kan vurderes hvorvidt togets bremseevne er akseptabel. Videre bør ATC-baliser med fallinformasjon installeres etter større godsterminaler, slik at ATC-systemets bremseprøvingsfunksjon kan utnyttes.

Vedrørende revisjonsintervaller for vedlikehold av bremser:

Kommisjonen anbefaler systematisk kartlegging av tilstanden til ulike bremsekomponenter som tas ut ved revisjoner, og av de faktorer som er av betydning for slitasje, vedlikeholdsbehov mv. På dette grunnlag bør det vurderes hvilke revisjonsintervaller som er nødvendige for å sikre at den reelle bremseevne er i samsvar med den forventede.

Vedrørende opplæring av lokomotivførere i bruk av bremser:

Kommisjonen anbefaler at lokomotivførerne i forbindelse med opplæringen gis en grundigere innføring i virkemåten til ulike bremsesystemer og de spesielle forhold som gjelder for bestemte togtyper. Slik kunnskap er en forutsetning for å kunne utnytte den samlede bremseevne i et tog, og således oppnå maksimal bremseeffekt i kritiske situasjoner.

Behovet for prøvebremsing og bruk av hjelpemidler til å bedømme et togs bremseevne bør få en sentral plass ved utdanning av lokomotivførere.

Kommisjonen anbefaler en grundig kartlegging av hvordan ulike regler for togfremføring etterleves i praksis og årsaker til eventuelle avvik. Ut fra dette bør behovet for supplerende opplæring og eventuell endring av regler vurderes.

Kommisjonen anbefaler at det i regelverket nedfelles et forbud mot å sette førerbremseventilen i midtstilling annet enn ved tetthetsprøve eller når lokomotivet betjenes fra annen førerbremseventil.

Vedrørende tiltak for å forebygge gasslekkasjer:

Kommisjonen anbefaler at norske myndigheter vurderer om regler for dekningsvogn ved transport av farlig gods kan være egnet til å forbedre sikkerheten og redusere skadepotensialet ved ulykker.

Kommisjonen anbefaler videre at norske myndigheter tar initiativ til endringer i RID med krav om at tanker konstrueres uten utstikkende deler i områder som kan være utsatt ved kollisjoner, avsporinger mv.

Vedrørende regulering av transport gjennom tettbygd strøk:

Kommisjonen anbefaler et sterkere fokus på transport av farlig gods i tettbygde områder, blant annet ved at det gjennomføres risikoanalyser for norske byer og tettsteder hvor jernbanetransport av farlig gods skjer.

Videre anbefaler Kommisjonen at det foretas en vurdering av om en tidsregulering og hastighetsbegrensning for tog som frakter farlig gods gjennom tettbygde strøk kan gi en sikkerhetsforbedring. På dette grunnlag bør nye regler vurde-

res. Slike regler bør etter kommisjonens oppfatning gis i lov eller forskrift.

Vedrørende forebygging av katastrofer ved ulykker med gasstanker:

Kommisjonen anbefaler at norske myndigheter utreder bruk av isolerte tanker for gasstransport, samt å utstyre tankene med sikkerhetsventil. På bakgrunn av denne utredningen bør det vurderes om forslag til nye krav skal foreslås i RID.

Kommisjonen anbefaler videre at norske myndigheter fremmer forslag om at det i RID inntas regler om at gasstanker skal ha utstyr for registrering av trykk og væskenivå.

Kommisjonen anbefaler at LPG-bransjen i Skandinavia i fellesskap oppretter en fast innsatsgruppe for ulykker med LPG.

Det anbefales at myndighetene og LPG-bransjen i samarbeid utvikler et opplæringsopplegg som gir brannvesenet bedre forutsetninger for å vurdere tiltak i forbindelse med ulykker som kan medføre BLEVE.

Andre anbefalinger:

Vedrørende forenkling av regelverket:

Kommisjonen anbefaler, som følge av at NSB er delt etter at regelverket ble innført, at det tydeliggjøres i det enkelte regelverk hvilket organ som er pliktsubjekt.

Kommisjonen anbefaler videre at det vurderes om de ulike forskriftene kan slås sammen helt eller delvis, eventuelt også hvorvidt noen av forskriftsreglene bør trekkes opp på lovsnivå.

Kommisjonen anser strukturen i ADR som mer hensiktsmessig og brukervennlig enn strukturen i RID, og anbefaler på den bakgrunn at norske myndigheter fremmer forslag om å endre strukturen i RID i samsvar med ADR.

Vedrørende kartlegging av transport av farlig gods:

Kommisjonen anbefaler at det utarbeides en fullstendig oversikt over transport av farlig gods på jernbanen både hva gjelder stofftyper, mengder og banestrekninger. Systemet bør legges opp slik at oversikten kontinuerlig oppdateres.

Videre anbefaler Kommisjonen at det iverksettes en ny kartlegging av den samlede transport av farlig gods i Norge.

Vedrørende transportuhellskort for lokomotivførere:

Kommisjonen anbefaler at det innføres krav om at lokomotivfører ved transport av farlig gods skal medbringe informasjon om godsets egenskaper, hvordan det skal handles ved ulykker mv.

Vedrørende nødsamband over togradio:

Kommisjonen anbefaler at togradiosystemet forbedres gjennom innføring av ny teknologi, slik at samtaler og anrop, herunder nødanrop, ikke brytes ved overgang til nytt togradioområde.

Kommisjonen anbefaler videre at bruken av skjermbaserte systemer i nødsituasjoner blir vurdert.

Vedrørende tanker uten soltak ved transport i Skandinavia:

Kommisjonen anbefaler at norske myndigheter fremmer forslag om endringer i RID slik at det ikke er soltak på tanker som kun brukes for transport i Skandinavia, eller at soltakene får en slik konstruksjon at de lett kan fjernes ved behov.

Vedrørende vaktenes lengde på togledersentralen:

Det anbefales at arbeidtidsordningen på togledersentralene gjennomgås, herunder også konsekvenser ved bytting av vakter. Det bør settes klare regler for hvor lang sammenhengende arbeidstid som kan aksepteres.

Vedrørende logging av hendelser:

Kommisjonen anbefaler at alle telefoner som brukes til tjenestesamtaler på togledersentralene blir utstyrt slik at samtalene blir tatt opp og tidspunktet for start og avslutning blir registrert.

Kommisjonen anbefaler at alle lokomotiv utstyres med ATC-logg for å legge til rette for undersøkelse av ulykker og uønskede hendelser. Kommisjonen anbefaler videre logging av lufttrykk i hovedledning og hovedluftbeholder i lokomotivet.

Kapittel 12
Summary

The following is a brief summary of important facts dealt with in the report, the main issues, the views of the Commission and its recommendations. We would like to point out that in summarising the main points in this manner, certain shades of meaning may be lost. As far as the recommendations are concerned, only the individual recommendation itself has been included, without the text explaining its basis. The Commission has based its recommendations on the situation as it was on 5 April 2000.

12.1 Appointment of the Commission and its work

On 7 April, two days after the accident, the commission of inquiry that had been appointed following the Åsta rail accident was also asked to investigate the rail accident at Lillestrøm station on 5 April 2000. The Commission's mandate was formally expanded by Royal Decree on 14 April 2000. The following were appointed members of the Commission:

1. Judge Vibecke Groth, Borgarting Court of Appeals, chair
2. Øystein Skogstad, chartered engineer, SINTEF (Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology)
3. Finn Mørch Andersen, chartered engineer, Directorate for Fire and Explosion Prevention
4. Ingemar Pålsson, chartered engineer, Det norske Veritas, Gothenburg, Sweden
5. Marika Kolbenstvedt, sociologist, Institute of Transport Economics.

At the request of the Commission members, the Commission was expanded to include Joakim Böcher, engineer, Det norske Veritas, Denmark, on 26 July 2000. Jacob Ferdinand Bull, associate of the law firm Arntzen, Underland & Co., was secretary to the Commission. Jens-Henrik Lien, research assistant at Oslo University, was also secretary from 15 October onwards.

The Commission's mandate was to undertake the necessary investigations to establish the facts of the accident at Lillestrøm station and its cause. The mandate made particular mention of the fact that it would seem particularly appropriate to assess the premises on which the transport of dangerous goods is based.

The Commission enjoyed close cooperation with the police of the Romerike police district in determining which investigations should be conducted.

Det norske Veritas (DnV) was appointed expert adviser and requested to undertake a technical examination of the gas tanks on the train, and to see whether they complied with the current requirements relating to technical standard and the regulations for the transport of propane gas. DnV was also commissioned to perform a general examination of the goods train's braking systems, the level of maintenance and the general condition of train No. 5781 when it left Alnabru station on the day of the accident.

NSB BA (Norwegian State Railway) issued a report on the condition of the brakes on train No. 5781 after the accident. This work was supervised and monitored by the police and the Commission. Sven A. Eriksson, chartered engineer, former manager of the braking systems section at SJ (Swedish State Railway) from 1988–1998, now employed by Green Cargo AB, was engaged by the Commission to assess the report from the NSB BA.

In addition, investigations have been conducted of the leaks in the damaged tank wagons and analyses and calculations have been made of how close the accident at Lillestrøm was to a catastrophe.

The Commission has interviewed four witnesses. The Commission has had at its disposal all the statements made to the police, and any documents or other information that might be of interest from the police investigation conducted in parallel with the Commission's own investigations. In addition, the Commission has obtained documentation and other material of importance to its investigations from NSB BA, the Norwegian National Rail Administration, the Norwegian Railway Inspectorate, the Directorate for Fire and Explosion Prevention (DBE), VTG and Statoil.

12.2 The Accident

On Wednesday 5 April at 00.38, goods train No. 5781 left Alnabru station for Mosjøen. It was delayed by approximately two hours due to a heavy fall of snow. The locomotive was an E1 16. The train documentation kept in the locomotive stated the weight and length of the train, its braking percentage and that it was carrying compressed flammable gas.

After the train had passed Strømmen station, the driver began to apply the brakes. He registered that there was no braking effect and that the train's speed was increasing. He then noticed that the distant signal for the entry signal to Lillestrøm station was yellow. This meant that the entry signal was red. The trip recorder shows that when the train passed the distant signal it was travelling at 102 km/h. The train's maximum permitted speed according to the train documentation was 90 km/h. The ATC (Automatic Train Control) unit was set for 100 km/h.

When he was only able to achieve a slight braking effect, the train driver applied the emergency brakes when he passed Sagdalen block signal post. Train No. 5713 stood waiting at Lillestrøm station on track 7. The train driver of train No. 5781 realized that he would not be able to stop in time and began to signal a danger warning using the train's horn.

The train driver tried to contact the rail traffic controller via the train radio. He did not make contact until he passed the entry signal to Lillestrøm station, which was red, and he then warned the traffic controller of what was about to happen. The train driver ran back into the engine room and threw himself down onto the floor when the train ran into train No. 5713 at 00.57. The speed of the train at the moment of collision was 62 km/h. Neither of the engine drivers or any other person was injured in the collision.

The collision caused some material damage, but the most important event was that the two propane tanks in train No. 5781 were damaged and propane leaked out. After a short time, the propane ignited. The situation was critical and came very close to a BLEVE that would have killed a large number of people and laid Lillestrøm in ruins. About 2000 people were evacuated from the danger zone estimated at 1000 metres from the tanks.

The danger of explosion was averted and the evacuees were able to return on 9 April 2000.

12.3 Cause of the accident

12.3.1 Direct causes

It was apparent immediately following the collision that the direct cause of the collision was brake failure in train No. 5781. On the basis of this fact, the Commission undertook a thorough examination of the possible causes of the brake failure. The brake failure proved to be extensive.

The technical examinations that have been carried out show that the train's actual braking capacity was lower than the driver could expect on the basis of the train documentation. The train documentation indicated that the train had a braking percentage of 77. Measurements of brake pad pressure and braking distance show that the actual braking capacity of the train was only 57 per cent. This is 2/3 of the braking capacity stated in the train documentation. However, calculations made by the Commission show that the train with this reduction in braking capacity would have been able to stop in good time before it reached the collision location. Consequently, poor brakes alone cannot explain the brake failure.

Various examinations, calculations and reconstructions of the operation of the train on the night of the accident have been carried out to find the reason why the train's braking distance was substantially greater than its braking capacity would indicate. In the following section, this part of the brake failure is termed the «main brake failure» or the remaining brake failure.

The investigations made have shown that the train must have been virtually without brakes for about 15 seconds, or for a distance of just over 400 metres after passing Strømmen station, where its speed increased from 95 to 102 km/h in a downward slope of 17 ‰. Furthermore, the speed profile shows that deceleration was weak but relatively constant from Sagdalen to the point of collision. Investigations have shown that this corresponded to a drop in pressure of approximately 1 bar in the main brake pipe, or that the last 3–5 cars were without brakes.

The main brake failure must therefore be the reason for both the driver's initial inability to brake and subsequently the fact that braking capacity was weak though constant. Brake failure of this kind can only be explained by a blockage in the main brake pipe and that this blockage changed position in the main brake pipe at Sagdalen, or that there was no air pressure in the brake system.

A plug of ice would be capable of blocking the main brake pipe and thus prevent the drop in pres-

sure that is necessary to activate the brakes on the cars behind the location of the plug. However, the speed profile indicated by the train's trip recorder does not correspond well with the idea that ice was the cause of the main brake failure. A plug of ice would first have had to block the main brake pipe between the locomotive and the first car, then work loose and block the pipe between the three to five last cars. In addition, inspections at the scene of the accident did not produce evidence of sufficient moisture in the main brake pipe for the Commission to regard it as likely that a plug of ice could have caused the main brake failure. Furthermore, when the brakes were tested before departure, air passed freely through the entire length of the main brake pipe. These factors would indicate that it is so unlikely that a plug of ice was the cause of a main brake failure of this extent that the Commission rules out this possibility.

Consequently, the only reasonable explanation for the brake failure is, in the view of the Commission, that the train driver must have put the driver's brake valve in the mid-position and forgotten to move it into the running position before he left Alnabru. With the brake valve in mid-position while a train is travelling, the brake system will not be replenished with air, and with the leakages that have subsequently been discovered, the air pressure will gradually be lost in the course of about 30 minutes. From Strømmen station to Sagdalen block signal post the speed of the train increased by 7 km/h, from 95 km/h to 102 km/h. This is consistent with a situation whereby the air in the brake system has escaped and the train is virtually without brakes. The speed was subsequently slowly reduced up to the point of collision when the speed was 62 km/h. This is a deceleration of 0.14–0.16 m/s^2 or a braking effect corresponding to a drop in pressure of 0.9–1.05 bar in the main brake pipe. In the opinion of the Commission, this braking power was achieved by the release manoeuvre used by train driver Jensen when he was not able to achieve any braking effect. Release manoeuvres produce a rapid charging of the pressure in the main brake pipe, but not of the whole system. This is consistent with the low, though constant braking effect up to the site of the collision.

These factors would indicate that the main brake system had failed to such an extent because the driver's brake valve was set at mid-position. This had an impact on the weak braking effect of the train because it prevented replenishment, resulting in a brake system that was virtually empty of air when the brakes were applied.

If the driver's brake valve had not been in the mid-position, the train would have stopped well before the collision location whether travelling at the actual speed the train had when it passed Sagdalen block signal post or at the maximum permitted speed for this section of the line. Thus, what finally triggered the collision was the fact that the driver's brake valve was set in the mid-position.

However, the poor brakes on the train may have been a necessary condition for the collision to take place. Theoretical calculations carried out by the Commission show that the collision could have been prevented even with the driver's brake valve in mid-position if the train's brakes had the braking capacity stated in the train documentation. However, the assessment obtained by the Commission from S. A. Eriksson, based on theoretical calculations and practical experience, indicates that the collision would have taken place, although at a lower speed. The differences of opinion are due to the uncertainty that has arisen because it is now impossible to say with absolute certainty how the brake control valves on each wagon functioned when the air pressure in the main brake pipe was so low. This will also in this particular case have considerable effect on the calculation of the braking distance. The Commission cannot therefore say with certainty whether the fact that the driver's brake valve was in the mid-position was the sole cause of the collision or whether inefficient brakes were a necessary condition for the collision to take place.

12.3.2 Underlying causes

12.3.2.1 Deficiencies in NSB Gods brake maintenance procedures

As mentioned earlier, train No. 5781 had less effective brakes than the driver of the locomotive could have expected from the train documentation. Based on calculations carried out by the Commission, the train would normally have stopped before reaching the entry signal to Lillestrøm station, but it would have used the entire safety margin provided by the distance between the distant signal and the entry signal. Travelling at a higher speed, the train would have continued past the entry signal.

In its brake report prepared for the Commission, DnV pointed out that NSB Gods (NSB freight) does not conduct brakepad pressure measurements in connection with annual inspections or otherwise tests train braking power. Thus, no check is made of a train's theoretical braking percentage to ascertain whether it corresponds with its actual braking capacity. This means that NSB

Gods is not fully informed of the actual braking capacity of the trains. DnV's deceleration measurements of five goods trains and its review of accidents and near-accidents caused by brake failure show that safety-critical deviations between braking capacity and braking percentage can occur without being detected and without any attempt to detect them having been made.

12.3.2.2 No test-braking

The driver did not conduct test-braking after exiting Alnabru as stipulated in the regulations. The requirement of test-braking before the downhill gradient into Lillestrøm was not met either. If test-braking had been conducted before the train began its descent, this would have revealed that the driver's brake valve was in mid-position. The driver would then have moved the driver's brake valve to the running position and discovered that replenishment of air to the brake system was blocked. A study of the geographical profile of the line and the train's trip recorder indicate that test-braking could have been conducted between Lørenskog and Strømmen. If test-braking had been conducted, there would have been enough time to charge the brake system with air before the downhill gradient into Lillestrøm. The train would then have had sufficient braking capacity to avoid collision.

12.3.2.3 Warning of lack of air pressure in brake system

Locomotive E1 16 is not equipped with any device to warn the driver of a safety-critical drop in pressure in the brake system. If a light and/or sound signal or traction blocking device had been linked to a critical fall in pressure in the brake system, the driver would have discovered before he started braking at Strømmen station that the train's brake system was virtually empty of air. The collision would then have been prevented because the driver would have discovered that the driver's brake valve was in mid-position.

12.4 Causes of gas leaks

12.4.1 Direct causes of gas leaks

The gas leaks in the two gas tanks, which created the dramatic situation at Lillestrøm, were a direct result of the collision itself. The tanks were wagons 1 and 2 behind the locomotive in train No. 5781. Technical investigations carried out by DnV for the Commission and the observations made after the accident showed that the tanks in themselves withstood the strain they were subjected to in connection with the collision.

The manholes that were located opposite each other during transport had covers that were attached with protruding bolts. The gas leaks arose as a result of the bolts becoming interlocked during the collision and two bolts on each of the covers were damaged. One bolt was torn off, while another was deformed. Thus the design of the tanks with their protruding bolts was the direct cause of the gas leaks that arose as a result of the collision.

12.4.2 Underlying causes of the gas leaks

12.4.2.1 Design of manhole covers etc.

The two gas tanks involved in the accident were in themselves very strong, and were equipped with a stop valve on the underside of the tank to prevent leakages if the pipelines were damaged in connection with a collision or derailment. If the tanks had also been designed with manhole covers with a smooth surface, it is highly likely in the view of the Commission that the collision would not have resulted in a gas leak. There were also protruding elements at the opposite end of the tanks. The Commission is of the opinion that the leakage would not necessarily have been prevented if the tank had been turned in the opposite direction. The Commission calls for greater awareness with regard to the design of tanks that carry dangerous goods. For example, there are no rules for the positioning and design of manhole covers. With smooth ends the preconditions for avoiding gas leaks in connection with a collision or derailment would have been far better than with protruding parts on the tanks.

12.4.2.2 Location of tank wagons in train, protection wagon, etc.

The two tank wagons were positioned just behind the locomotive. If the gas tank wagons had been placed further back in the train, a greater proportion of the collision energy would have been absorbed by cars not carrying dangerous goods. It is then likely that the collision would not have subjected the two gas tanks to a level of stress that would have resulted in gas leaks.

If a protection wagon had been placed between the locomotive and the gas tank wagons on train No. 5781, the gas tank wagons would have absorbed a much smaller proportion of the collision

energy. However, the Commission cannot say with certainty whether the gas leak would therefore have been prevented. A protection wagon between the two gas tank wagons would probably have prevented direct contact between the manhole covers and thus prevented the gas leak, provided the protection wagon had a smooth surface without any protruding parts. The Commission finds it likely that the use of a protection wagon between the locomotive and the first gas tank wagon and a protection wagon between the two gas tank wagons would have prevented the gas leak. In its review of the legislation, the Commission has discovered that there is little in the way of regulations concerning the use of protection wagons in the transport of dangerous goods.

12.4.2.3 Locomotive's direct brakes not used

In addition to its main brakes, train No. 5781 had direct brakes that only work on the locomotive. Direct brakes work independently of the train's main brakes, but were not used by the driver. The use of direct brakes would have doubled the locomotive's braking capacity at speeds above 55 km/h compared to using the main brakes only. Calculations show that using the direct brakes throughout the downhill gradient would have increased the available braking power for train No. 5781 by about 20 per cent. The addition of direct braking would not have prevented the collision, but the speed at the moment of impact would have been reduced to between 40 and 45 km/h. Whether the gas leak would thereby have been prevented is impossible to say. It must be stressed that driver Jensen had not been trained in the use of direct brakes in the event of brake failure.

12.5 The gas fire

The term BLEVE (boiling liquid expanding vapour explosion) is used about the situation that arises when a tank containing flammable gas or liquid is subjected to extreme heat in connection with a fire and ruptures because of overloading due to internal pressure or other factors. The contents will then immediately evaporate. This will result in an effective mixture of propane and air, resulting in explosive combustion in the form of a fireball some height above ground. A fireball like this will have a surface temperature of more than 1000 °C and will radiate extreme heat. In addition, the shock wave from the blast will cause fragments both from the tank and from the area near the tank to be propelled outward at high velocities, causing damage.

Thermal radiation in the most exposed zone will result in fatal burns for any persons who are outdoors, and wooden buildings and combustible materials inside windows etc. will catch fire. This zone can stretch for hundreds of metres in all directions from the tank.

On the basis of the investigations and analyses that have been carried out, the Commission is in no doubt that a BLEVE would have developed with catastrophic consequences on the night between 4 and 5 April if cooling of the tanks had not been undertaken. In the opinion of the Commission, a catastrophe would have occurred between 3 and 4 a.m. if action had not been taken to start cooling the tanks. At the time the catastrophe would have occurred, evacuation had not been started. It must be assumed that under these circumstances more than hundred people would probably have been killed instantly, and several hundred would have been seriously injured. Many people would perhaps have received life-threatening injuries. It must be assumed that any persons who were outdoors within a radius of 500 metres from the tanks would most probably have been killed by thermal radiation. Furthermore, fires in a large number of buildings at the same time at this time of night would probably have meant that many people would have been unable to get out in time.

The fires that would have developed would have raged from some time before anyone was able to do anything about them. Many fire service personnel would have already lost their lives and most of the firefighting equipment would have been destroyed. Much of Lillestrøm town centre would have been reduced to ruins as a result.

In the opinion of the Commission, a catastrophe the likes of which we have not seen in Norway in peace time was probably less than an hour away when the fire service started cooling the tanks on the night between 4 and 5 April.

12.6 Rescue operation

The police, ambulances and the fire service were quick to arrive at the scene of the accident. It was quickly established what had actually happened and that there were no casualties in connection with the collision.

The organization of the rescue operation ran for the most part smoothly throughout. In the course of the operation a number of important decisions were taken and measures implemented that

in combination prevented a catastrophe. Fire service personnel were aware at an early stage that the tanks would have to be cooled with water. Awareness of the importance of cooling the tanks and how this should be accomplished increased as experts were drawn in as advisers.

The incident commander did not possess the necessary expertise to assess the hazards and the response in a major accident involving propane tanks where gas was leaking out and on fire. An early initiative was therefore taken to call in specialists.

In the opinion of the Commission, the efforts of the rescue service prevented the Lillestrøm accident from developing into a catastrophe that would have had enormous consequences. Good emergency preparedness, access to suitable equipment and a good supply of water prevented an accident on a very large scale.

To drain the tanks by means of the leaks that had arisen in connection with the collision could have taken two weeks or more. This would have had a major impact on the Lillestrøm community. The incident commander was notified of an emergency response group composed of operators in the Swedish LP Gas industry called «Gasakuten». This group has five permanent members who have the expertise and the specialized equipment to be able to empty large gas tanks. Gasakuten arrived in Lillestrøm on the afternoon of 6 April and began burning off (flaring) the gas the next day. Both tanks were completely empty by Monday 10 April. On Sunday 9 April the danger of explosion was considered to be over and the evacuees were able to return to their homes.

The accident happened at a location where it was easy to bring in heavy equipment and there was a good water supply. If this had not been the case, it must be taken as likely, in the opinion of the Commission, that the accident would have developed into a BLEVE. In many parts of the country, the conditions for managing this kind of accident are not as favourable as they are at Lillestrøm.

12.7 Recommendations of the Commission

The Commission has the following recommendations:

Main recommendations:

Brake system and braking capacity:

The Commission recommends that a routine for testing the actual braking capacity of goods trains be established as soon as possible. Until this has been carried out, it is recommended that greater safety margins are employed than is the case today.

In addition, the Commission recommends that more user-friendly alternatives to the current braking tables for speed and gradient are produced.

It is recommended that an assessment is made of whether it is appropriate that goods trains are always required to be operated in brake group G.

Furthermore, the Commission recommends that all E1 16 locomotives are systematically examined to adjust brake application times to comply with UIC and Norwegian National Rail Administration requirements.

The Commission recommends the installation of alarms that are set off when pressure in the main brake pipe is critically low and/or a traction blocking device that makes it impossible to operate the train under these circumstances.

It is recommended that the Norwegian National Rail Administration undertakes a review and assessment of regulations, procedures etc. relating to passenger train brakes.

Procedures for test-braking:

The Commission recommends that action is taken to ensure compliance with the requirement for test-braking after departure from a station and before long gradients.

The Commission also recommends that arrangements are made to enable the driver of the locomotive to check the train's actual braking capacity by test-braking. To achieve this, special sections of line should be marked off and markers set up so that an assessment can be made of whether the train's braking capacity is acceptable. Furthermore, ATC balises (beacons located along the track) conveying gradient information should be installed on the lines out of major goods terminals, so that the test-braking function of the ATC system can be utilized.

Overhaul intervals for brake maintenance:

The Commission recommends that a systematic survey is conducted of the condition of the various brake components taken out during overhaul and of any factors that are important in relation to wear

and tear, maintenance, etc. On the basis of this information, an assessment should be made of how often brakes should be overhauled so as to ensure that the actual level of braking capacity corresponds to the expected level.

Training drivers in the use of brakes:

The Commission recommends that drivers of locomotives are given more thorough instruction in the way the various brake systems work and the special conditions that apply to specific train types in the course of their training. This knowledge is essential for a driver to be able to make use of the total braking capacity of a train and thus to achieve maximum braking effect in critical situations.

The necessity of test-braking and the use of aids to judge a train's braking capacity should be given a central place in the training of locomotive drivers.

The Commission recommends a thorough survey of how the various rules for train operation are complied with in practice and of the reasons for any non-compliance. The need for supplementary training and any amendments to the rules should be assessed on the basis of the findings from this survey

The Commission recommends that a prohibition is laid down in the regulations against the driver's brake valve being put into mid-position except when conducting a tightness test or when the locomotive is being operated from another driver's brake valve.

Measures to prevent gas leaks:

The Commission recommends that the Norwegian authorities consider whether the rules for the use of protection wagons in the transport of dangerous goods might improve safety and reduce the damage potential of an accident.

The Commission also recommends that the Norwegian authorities take the initiative for amendments to the Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail (RID) to include a requirement that tanks are designed without protruding parts in areas that may be exposed in a collision, derailment, etc.

Regulation of transport through densely populated areas:

The Commission recommends a stronger focus on the transport of dangerous goods through densely populated areas, for example by having risk analyses conducted for Norwegian towns and urban settlements through which dangerous goods are transported.

The Commission also recommends that an assessment is made of whether a regulation of times when trains carrying dangerous goods can pass through densely populated areas and speed restrictions may improve safety. New rules should be considered on the basis of this assessment. These rules should in the opinion of the Commission be issued in the form of Acts or regulations.

Prevention of catastrophes as a result of accidents involving gas tanks:

The Commission recommends that the Norwegian authorities commission a study of the use of insulated tanks for gas transport and equipping the tanks with a safety valve. On the basis of this study, it should be considered whether proposed new requirements should be put forward for inclusion in RID.

The Commission also recommends that the Norwegian authorities submit a proposal that rules requiring that gas tanks have equipment to register pressure and fluid level should be included in RID.

The Commission recommends that the LP Gas industry in Scandinavia establishes a joint permanent response group for accidents involving LP Gas.

It is recommended that the authorities and the LP Gas industry cooperate to develop a training programme that gives fire service personnel a better basis for assessing the action to be taken in connection with accidents that can result in a BLEVE.

Other recommendations:

Simplification of regulations:

Since NSB was split into two parts (NSB BA and the Norwegian National Rail Administration) after the regulations were introduced, the Commission recommends that it is made clear in the individual sets of regulations which body is the dutyholder.

The Commission also recommends that an assessment is made of whether all or parts of the various regulations can be combined and, if appropriate, whether any of the regulations should be moved up to the level of Acts.

The Commission regards the structure in ADR as more appropriate and user-friendly than the structure in RID and therefore recommends that the Norwegian authorities submit proposals to

amend the structure of RID to correspond with ADR.

Overview of the transport of dangerous goods:

The Commission recommends that a complete overview is drawn up of the transport of dangerous goods by rail, with regard to types of substances, quantities and sections of line. The system should be organized so that the overview is continuously updated.

The Commission also recommends that a new survey is conducted of the transport of dangerous goods in Norway in general.

Transport emergency card:

The Commission recommends that a requirement is introduced stipulating that drivers transporting dangerous goods are to carry information about the properties of the goods, how the goods should be handled in the event of an accident, etc.

Emergency communication by train radio:

The Commission recommends that the train radio system is improved by introducing new technology, so that ongoing communication and calls, including emergency calls, are not interrupted during the transition between two train radio areas.

The Commission also recommends that the use of screen-based systems in emergency situations is considered.

Tanks without a heat reflective panel during transport in Scandinavia:

The Commission recommends that the Norwegian authorities submit a proposal for amendments to RID so that there is no sun shield covering on tanks used for transport in Scandinavia only, or that the sun shield covering is designed so that it can easily be removed when necessary.

Length of shifts at rail traffic control centres:

It is recommended that the working time arrangements at the rail traffic control centres are reviewed, including consequences related to shift changes. There should be clear rules stipulating the maximum length of continuous working time that is acceptable.

Logging of incidents:

The Commission recommends that all telephones used for service calls at the rail traffic control centres are equipped to record conversations and register the time they began and ended.

The Commission also recommends that all locomotives are equipped with an ATC log to facilitate the investigation of accidents and undesired incidents. In addition, the Commission recommends logging of air pressure in the main brake pipe and main air reservoir in the locomotive.

Vedlegg 1

Vitneliste for Oslo

Knut Erik Damstuen	Skiftekonduktør/terminalarbeider ved Alnabru skiftestasjon
Ivar Brenden	Togleder Oslo togledersentral
Ragnar Jensen	Lokomotivfører på påkjørende tog 5781
Lars Normann Nordhelle	Trafikksikkerhetsrådgiver i NSB Gods

Vedlegg 2

Vurdering av Direktoratet for brann- og eksplosjonsverns (DBE) råd i forbindelse med togulykken på Lillestrøm stasjon

1 Mandat av 5. desember 2000 til professor Göran Holmstedt ved Lunds Tekniska Högskola

Fra Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjonen ved kommisjonsleder Vibecke Groth.

Vedr. vurdering av Direktoratet for brann- og eksplosjonsverns (DBE) råd i forbindelse med togulykken på Lillestrøm stasjon.

Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjon etter togulykken på Rørosbanen 4. januar 2000 er også blitt bedt om å undersøke omstendighetene rundt togulykken på Lillestrøm stasjon 5. april 2000. Som følge av kollisjonen mellom to godstog, hvorav det ene fraktet to tanker med propan, utviklet det seg en gasslekkasje og en påfølgende brann. Lillestrøm sentrum ble evakuert som følge av eksplosjonsfaren.

DBE er en nasjonal fagmyndighet som skal påse at både enkeltindividets og samfunnets trygghetsbehov blir ivaretatt. Ansvarsområdet omfatter forebyggende og beredskapsmessige tiltak i forbindelse med brann, eksplosjon, landtransport av farlig gods samt væsker og gasser under trykk. DBE ble av den grunn kontaktet og opererte som rådgiver for den lokale redningsledelsen på Lillestrøm fra morgen 5. april og frem til eksplosjonsfaren var over.

Kommisjonen ber professor Holmstedt ved Lunds Tekniska Högskola gi en faglig vurdering av de råd som ble gitt av DBE i forbindelse med ulykken. Som underlag for vurderingen vedlegges brev med vedlegg av 4. september 2000 fra DBE ved direktør Suhrke til Kommisjonen. Disse vedleggene er:

- Intern notat i DBE av 1. september 2000 fra Nils Henrik Agerup til Tor Suhrke med oversikt over DBEs engasjement ved gassbrannen på Lillestrøm 5. – 8. april 2000
- Notat av 6. april 2000 fra DBE til Kommunal- og regionaldepartementet vedr. brann på stasjonsområdet i Lillestrøm, jernbanetankvogner med propangass
- Internt notat i DBE av 10. april 2000 vedr. noen erfaringer som DBE representant i LRS og fremskutt skadestedsledelse ved håndtering av storulykken, med 2 x 45 tonn propan på Lillestrøm stasjon 5. april
- Møtereferat fra internt møte i DBE 12. april 2000 vedr. oppsummering og erfaringer (internt) etter gassbrannen på Lillestrøm stasjon
- Møtereferat av 30. mai 2000 fra evalueringsmøte etter gassbrannen på Lillestrøm jernbanestasjon den 5. 4. 2000 kl. 01.03 16. mai på Romerike politikammer

Det forutsettes som antydet at arbeidsomfanget utgjør maksimalt to dagsverk og at arbeidet er avsluttet innen 17. desember 2000 i form av en skriftlig rapport til Kommisjonen. Eventuelle forsinkelser eller endringer i arbeidsomfanget må meldes Kommisjonen så snart som overhodet mulig. Kommisjonen understreker at tidsperspektivet er viktig.

Kommisjonens kontaktperson er Ingemar Pålsson.

2 Vurdering fra professor Göran Holmstedt ved Lunds Tekniska Högskola

2.1 Bakgrund

Bedömningen har gjorts mot bakgrund av informationen i:

- Internt notat i DBE av 1. september 2000 fra Nils Henrik Agerup till Tor Suhrke med oversikt over DBEs engasjement ved gassbrannen på Lilleström 5. – 8. april 2000.
- Notat av den 6. april 2000 fra DBE til Kommunal- og regionaldepartementet vedr. Brann på stasjonsområdet i Lilleström, jernbanetankvogner med propangass
- Internt notat i DBE av 10. april 2000 vedr. Noen erfaringar som DBE representantet i LS og fremskutt skadestedsledelse ved håndtering av storulycken, med 2*45 tonn propan på Lilleström stasjon 5. april.
- Mötesreferat fra internt möte i DBE 12. april 2000 vedr. Oppsummering og erfaringer (internt) etter gasbrannen på Lilleström stasjon

– Mötesreferat av 30. mai 2000 fra evalueringsmöte etter gasbrannen på Lilleström jernbanestasjon den 5. april 2000 kl 01.03 16. mai på Romerike politikammer.

Vid värderingen har även beräkningar utförts om riskområde vid BLEVE och projektilnedfall med ett program, GASOL, som utvecklats vid institutionen på uppdrag av Statens Räddningsverk (SRV) i Sverige 1996.

2.2 Tekniska rådgivarrollen

Den tekniska rådgivarrollen omfattade tre steg, en inledande fas då DBE gav råd om omedelbara åtgärder, en påföljande fas råd om att begränsa risken för skada genom åtgärder för att förhindra att en BLEVE utvecklades samt en avslutande fas, då tankarna skulle tömmas, då råd gas i samband med att vattentillförseln föll bort.

2.3 Inledande fas

2.3.1 Inkommen information

DBE varslades ca. kl. 04.20 den 5 april 2000 om en kollision mellan två godståg på Lilleströms station som inträffat kl. 01.05 och som resulterat i läckage och brand i två tankvagnar med propan. I den första informationen från brandplatsen verkade brandkåren ha situationen under kontroll med vattenkanoner. Det kom emellertid ganska snart information om att branden förvärrats.

2.3.2 DBE:s åtgärder

Nils Henrik Agerup utsågs till DBE:s kontaktman mot brandkåren och skadeplatsledningen och det beslöts att han skulle resa till Lilleström för att kunna ge expertråd på plats. Ca. kl. 05.30 anbefallde DBE en utvidgning av riskzonen till 700 – 1000 m och evakuering av alla inom denna zon. De påpekade samtidigt att det var mycket viktigt att kyla tankarna med stora mängder vatten.

2.3.3 Min bedömning

Brandscenariet med två gasolvagnar inblandade kan i värsta fall resultera i en s.k. BLEVE, där gastankarna rämnar och all gasol förbränns på ett tiotal sekunder. Beräkningar mer SRV:s program Gasol och internationella erfarenheter visar på stora riskavstånd vid denna typ av olyckor. I det aktuella fallet ger modellen en riskzon för första gradens brännskador på en radie av ca. 500 m och risk för flygande metalldelar upp till ca. 1000 m. Övergången från en brand vid läckaget till en BLEVE inträffar på några sekunder dvs. man får ej tid att utrymma.

Mot denna bakgrund och osäkerheten om hur pass mycket branden från läckaget påverkade risken för en BLEVE anser jag att DBE bedömning att anbefalla evakuering inom ett område till 700–1000 m och andra åtgärder i denna fas var helt riktiga och att beslut fattades snabbt efter det att information erhållits.

2.4 Påföljande fas

2.4.1 Inkommen information

Den påföljande fasen gick ut på att försöka hindra att branden utvecklades till en BLEVE. Arbetet med utrymning och kylning av tankarna fortsatte.

Skadeplatsledningen flyttades från järnvägsstationen stationen till brandstationen. Arbete påbörjades för att samla information om läckagets storlek och hur branden påverkade tankarna. Den första informationen visade på ett relativt begränsat läckage och att temperaturen på vätskefasen var ca. 20 grader C i båda tankarna. Branden tycktes med hjälp av kylningen kommit in i en «stabil» fas. En bedömning av läckagets storlek torsdagen den 6. april, tydde på att branden skulle kunna hålla på 5–6 dygn. Beslut fattades om att sända efter utrustning för att tömma tankarna.

2.4.2 DBE:s åtgärder

DBE:s representant deltog från ca. kl. 09.30 den 5. april vid skadeplatsledningen i den tekniska värderingen av risken för BLEVE. Han påpekade att risken för en BLEVE inte minskar när mängden gasol i tanken minskar och att risken för en BLEVE inträffade när som helst inte kunde uteslutas. DBE framhävde vikten av att evakuera folk och att ha så liten mängd insatspersonal på platsen som möjligt. En expertgrupp med DBE i Tönsberg kontaktades. Denna grupp värderade riskerna och gjorde kontrollberäkningar på säkerhetsavstånd.

2.4.3 Min bedömning

I detta läge av olyckan är det viktigt att så snabbt som möjligt utrymma och att ha så litet antal insatspersonal som möjligt inom riskzonen. Internationellt har denna typ av olyckor krävt dödsoffer bland insatspersonal som vid kylning av tankarna överraskats av en BLEVE. Kylning fordrar att vattenkanonerna placeras relativt nära gasoltankarna då kastlängden för en vattenkanon är relativt kort, dvs. man måste operera långt in i risksonen.

Med andra ord insatsledningen har ett mycket svårt val mellan risken för insatspersonal och risken för att scenariet utvecklas till en BLEVE.

Risken för en BLEVE skall inträffa ökar om flammorna från branden träffar en tank ovanför vätskenivån, dvs risken avtar inte då mängden gasol i tanken minskar, den snarare ökar.

Mot denna bakgrund anser jag att DBE:s representant i denna fas givit rätt rekommendationer till skadeplatsledningen. Åtgärden att inrätta en expertgrupp för värdering av risker och kontroll av beräkningar av säkerhetsåtgärder var befogad. Branden verkade ha nått ett «kontrollerat» tillstånd där tid till djupare analys gavs. DBE:s man på plats var i denna fas även involverad i bedömning av den pågående insatsen.

2.5 Avslutande fas, då tankarna skulle tömmas

2.5.1 Inkommen information

Kl. 01.30 på fredagen den 7. april blev det gjort klart för att tömma den första tanken. Då inträffade ett dramatiskt bortfall av kylvatten som resulterade i att branden ökade. Risken för att den tanken närmast loket skulle rämna ökade och därmed riken för en efterföljande BLEVE. Vattentillförseln kom igång igen ca. kl. 03.00 och branden återgick efter en tid till ett «kontrollerat» tillstånd. Ca. kl. 11.00 påbörjades tömningen av den första tanken. En ventil blev påsvetsad på den andra tanken. Även den tömdes utan problem.

2.5.2 DBE:s åtgärder

I samband med bortfall av kylvattnet erhölls indikationer på att en tank höll på att rämna. DBE:s representant anbefallde en utvidgning av evakueringsområdet till 1200 m i den riktning tanken kunde tänkas flyga. Det beslöts även att ledningen för LRS skulle evakueras då den låg i farosonen. Representanter för DBE följde sedan tömningsförloppet av den första tanken och deltog som rådgivare i samband med påsvetsningen av ventilen till den andra tanken. Kl. 18.00 lördagen den 8. april avslutades DBE:s arbete på olycksplatsen.

2.5.3 Min bedömning

I samband med bortfallet av kylvattnet ökade risken för att en tank skulle rämna. Hur pass stor risken var är svårt att bedöma. I samband med likartade inträffade olyckor har tunga metalldelar från tankarna påträffats på stort avstånd från olycksplatsen. Hur pass stora avstånd beror bland annat på hur tanken rämnar, hur tunga metallfragmenten är, hur pass mycket gasol som finns i tanken. Fragmenten brukar även till största delen hamna i tankens längdriktning. Beräkningar med SRV:s program gasol visar att en riskson i tankens längdriktning på 1200 m kan vara befogad.

Mot denna bakgrund anser jag att DBE:s representant i denna fas givit rätt rekommendationer till skadeplatsledningen.

2.6 Informationsrollen

En olycka av denna typ kräver mycket arbete med information till massmedia och andra myndigheter. DBE beslöt på ett tidigt skede att avskärma DBE:s man på olycksplatsen från massmedia. Jag anser att det var ett riktigt beslut då DBE:s representants viktigaste uppgift var att bedöma hur olyckan kunde utvecklas, bedöma konsekvenserna och anbefalla utrymning inom en skyddsson.

2.7 Sammanfattning

Mot bakgrund av den information jag erhållit om de åtgärder DBE:s representanter vidtagit vid olyckan anser jag:

- Beslutet om utvidgning av risksonen till 700–1000 m togs snabbt och var en korrekt bedömning.
- Beslutet om att anbefalla flyttning av skadeplatsledningen och kylning av tankarna med bivillkoret att så lite räddningstjänstpersonal som möjligt skulle befinna sig inom risksonen var riktigt. Alternativet att endast utrymma och inte kyla tankarna skulle kraftigt ökat risken för en olyckan utvecklats till en BLEVE som troligtvis skulle resulterat i en massiv förstörelse på avstånd upp till 500–1000 m från olycksplatsen.
- Beslutet att inrätta en expertstyrka för analys av riskson och möjliga strategier var riktigt.
- Beslutet att avskärma DBE:s representant på skadeplatsen från massmedia var riktigt.

Lund den 22. december 2000
Göran Holmstedt

Vedlegg 3

Bremser i godstog. Spesifikasjoner, bruk og vedlikehold

Det norske Veritas (DnV) rapport nr. 2000-3300 rev. nr. 02

Terje Andersen, Stefan Palm og Yngve Arnesen

Sammendrag

Det Norske Veritas har fått i oppdrag av «Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjonen etter togulykkene på Åsta og Lillestrøm» å utrede en del forhold rundt bremsesystemer for godstog. Oppdraget har omfattet en generell del knyttet til vedlikehold av bremsesystemene (krav, rutiner, praksis, erfaring m.m.), og en spesiell del knyttet til tilstanden for tog 5781 på ulykkesdagen.

De funn som er gjort i de foregående aktivitetene er beskrevet i denne rapporten, som gir en vurdering av dagens rutiner hos NSB Gods, og om disse tilfredsstiller relevante krav fra UIC og JBV. Det gis også visse kommentarer vedrørende kravene hvorvidt de synes tilstrekkelig i forhold til moderne godstrafikk samt om de implementeres på en tilfredsstillende måte i de daglige rutiner.

Utredningens resultater og konklusjoner er presentert i kapitel 1. Blant punktene kan følgende nevnes:

- Bremsesystemer for godsvogner med farlig gods håndteres på samme måte som andre godsvogner.
- Målinger av retardasjonsevne for et mindre antall godstog hos NSB har vist store avvik mellom målt retardasjon og forventet retardasjon ut fra oppgitt bremseprosent.
- Rutiner for ettersyn og vedlikehold av godsvogner hos NSB Gods omfatter i liten grad etterprøving av reell bremseevne for de ulike vognene, hverken under årlig ettersyn eller ved revisjon av utstyrskomponenter.
- Dagens bremsetabeller vedrørende fastsetting av tillatt kjørehastighet for godstog er ikke brukervennlige og bør forandres. Tabellene bør enten omredigeres, eller nye og mer effektive rutiner og hjelpemidler bør tas i bruk. Dette kan gjøre relativt enkelt med tilgjengelig teknologi.
- Lokomotivtype El.16 som ble brukt i ulykkestoget har for lang tilsettingstid på bremsene i G-posisjon i forhold til UIC-krav.
- I forbindelse med arbeidet er det ikke funnet noen feil eller mangler ved ulykkestoget som gir en åpenbar forklaring av ulykkesforløpet 05.04.00, men noen mulige forklaringer er antydet, uten at det er gjort noen sannsynlighetsvurdering av dem.

Grafiske utskrifter fra målingene (figur 1–30 i appendiks C til DnVs rapport) har Kommisjonen ikke inntatt i vedlegget. Resultatene av målingene fremgår av tabell 3.14.

1 Sammendrag og resultater

1.1 Mandat

Det Norske Veritas har fått i oppdrag av «Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjonen etter togulykkene på Åsta og Lillestrøm» å utrede en del forhold rundt bremsesystemer for godstog. Oppdraget har omfattet en generell del knyttet til vedlikehold av bremsesystemene (krav, rutiner, praksis, erfaring m.m.), og en spesiell del knyttet til tilstanden for tog 5781 (toget som forårsaket ulykken) på ulykkesdagen.

1.2 Tekniske spesifikasjoner og krav

Minimumskrav til bremseutrustning på tog er i stor grad styrt av internasjonale avtaler gjennom UIC. Godsvogner skal som oftest kunne gå i internasjonal trafikk, og de ulike nasjonale jernbaneselskapene er i henhold til inngåtte avtaler forpliktet til å framføre jernbanevogner fra andre land såframt de er RIV/RID-merket.

Så langt vi har identifisert gir UIC i sine forskrifter *ingen* spesifikasjoner eller krav hva gjelder vedlikehold, utprøving og bruk av trykkluftbremser i tog. Det synes heller ikke å være spesielle krav til bremser for godsvogner med farlig gods.

Jernbaneverket spesifiserer i JD 345 (ref. 2) krav til togs bremseutrustning, bremsekraft og

bremseprøving før togavgang, men har ikke utviklet rutiner for å etterprøve om disse krav følges.

NSB Gods har en omfattende systemdokumentasjon (ref. 3) når det gjelder produksjon og framføring av godstog som spesifiserer krav til togsammensetning, bremseutrustning, utførelse av bremseprøve m.m. Tilsvarende har NSB Gods en omfattende dokumentasjon når det gjelder ettersyn og vedlikehold av godsvogner og deres bremseutrustning (ref. 4). Dagens sjekkliste for Årlig Ettersyn er noe summarisk og lite detaljert når det gjelder vedlikehold av den mekaniske bremseutrustningen. Referansene til andre dokumenter er ikke entydige.

Den største svakheten med dagens rutiner er at NSB ikke gjør noen etterprøving av hvilken bremseevne som oppnås hverken for den enkelte vogn eller for hele godstog.

1.3 Godstogs retardasjonsevne

Det er foretatt retardasjonsmålinger på 5 godstog for å måle togenes bremseevne under nødbrems. Målinger under to–tre nødbremsaktiveringer ble gjort på hvert av togene. Bestemmende retardasjon for de 5 godstogene ble målt i området 0,49–0,66 m/s^2. I slutten av bremseforløpet øker retardasjonen betydelig i forhold til ovennevnte tall pga. øket friksjonskoeffisient ved lav hastighet, men bremseveien fra høye hastigheter vil i stor grad være bestemt av de ovennevnte verdier.

De målte retardasjonene er sammenlignet med den bremseprosent som er oppgitt i togoppgaven til lokomotivføreren. Målingene viser liten eller dårlig korrelasjon mellom oppgitt bremseprosent og togets retardasjonsevne. For et av togene var det et avvik på 20–25 bremseprosentpoeng, dvs toget var oppgitt å ha en bremseprosent på 91 mens den målte retardasjonsevnen var lavere enn det som ble målt for tog med bremseprosent 68–70. Et slikt avvik er vesentlig større enn de sikkerhetsmarginer som ligger inne i bremsetabellene og det aktuelle tog ville ikke være i stand til å stoppe innenfor den spesifiserte forsignalavstand på 800 m hvis toget var kjørt med maksimalt lovlige hastigheter i fall. For de andre togene hvor det ble utført retardasjonsmålinger var samsvaret mellom målt retardasjon og oppgitt bremseprosent noe bedre, men også her var det betydelige avvik. Avvikene behøver ikke å skyldes feil med bremsene, men kan også skyldes utilstrekkelig vektkontroll. Uansett blir resultatet med hensyn til togets retardasjonsevne den samme.

De utførte retardasjonsmålingene synes også å antyde at den første bremsing gir vesentlig dårligere retardasjon enn påfølgende nedbremsinger. Spesielt kan forskjellen være markant hvis den første nedbremsingen også er togets første bremsing etter avgangsstasjonen. Forskjellen i målt retardasjon mellom første brems etter avgang og etterfølgende nedbremsinger synes å være bortimot 10 %. For ytterligere informasjon vises til kapitel 9 og appendiks C.

1.4 Bremseprøving i godstog

Bremseprøven slik den gjennomføres i dag er først og fremst en kvalitativ funksjonsprøve og sier i virkeligheten lite om togets reelle bremseevne. Bremseprøven viser at bremseutrustningen på den enkelte vogn synes å fungere i henhold til forutsetningene, dvs. togets bremseklosser tilsetter og løser ut. Bremseprosenten beregnes ut fra opplysninger på vognen eller i togets følgepapirer. Hvilken kraft klossene trykker mot hjulet med blir ikke prøvet.

Det er flere muligheter for feil som kan gi redusert bremsekraft for en vogn. Større og mindre avvik kan forekomme relativt ofte da mange av feilmodene i henhold til konstruksjonsfilosofien for bremsesystemene gir redusert avbremsing. Bremseprøven vil ikke avdekke slike forhold.

Det er derfor svært viktig at det etter avgang og underveis gjennomføres prøvebremsing som spesifisert i NSBs styringsdokument G 60–6. Dette er et meget viktige sikkerhetstiltak, og bør fokuseres sterkere i NSB Gods sine prosedyrer.

Jernbaneverket kan også tilrettelegge bedre for prøvebremsing, ved å merke av og utruste steder etter større godsterminaler hvor bremsen skal prøves.

1.5 Rutiner for ettersyn og vedlikehold av bremser

Basert på møter med NSB Gods og verkstedbesøk vedrørende ettersyn og vedlikehold av godsvogner og deres komponenter vil vi gi følgende kommentarer med hensyn til dagens praksis:

– NSB Gods har lagt opp til et årlig ettersyn (ÅE) på sine godsvogner som er hyppigere enn de fleste andre jernbaneforvaltninger. Derimot er spesifikasjonene for det arbeid som skal gjøres med bremseutrustningen ved ÅE noe knapp og uklar, spesielt sammenlignet med tilsvarende spesifikasjoner hos Deutsche Bahn. NSB Gods sin sjekkliste bør forbedres ved at punkter vedrørende ettersyn og vedlikehold av bremser detaljeres og utdypes, samt at relevante punkter i Trykk 742.1 tas inn i sjekklisten for ÅE. Med en

bedre spesifisering av arbeidpunktene under ÅE tror vi dette er en riktig veg å gå i godsvognvedlikeholdet.

- I forbindelse med Årlig Ettersyn (ÅE) av godsvogner gjøres en god diagnose av vognens trykkluftsystem ved hjelp av en dedikert og selvkontrollerende prøveutrustning.
- Det er uheldig at rengjøring og smøring av leddforbindelser i stangsystemene, hverken for mekaniske utveiingsinnretninger eller for bremsekraftoverføring, ikke inngår i ÅE. Rutinemessig rengjøring og smøring av leddforbindelser i stangsystemet bør inngå i preventivt vedlikehold av godsvognenes bremseutrustning
- Ved ÅE gjøres ingen klosstrykkmålinger som kan gi grunnlag for å vurdere om oppgitt bremseeffekt virkelig oppnås. Dette bør uansett helst gjøres for både tom og lastet vogn og dette kan være vanskelig å få til i forbindelse med ÅE. Det er dog en stor svakhet ved NSB Gods sitt vedlikeholdsprogram for godsvogner at det aldri rutinemessig gjennomføres klosstrykksmålinger, hverken for tomme eller lastede vogner.
- For bremsekomponenter (styreventiler, veieventiler, bremseetterstillere, lastbremseautomater med bremsesylinder) som tas ut av vognen pga. utgått revisjonsintervall gjøres ingen funksjonstest, men komponenten går rett på lager for eventuell senere revisjon. Derved skjer det ingen erfaringstilbakeføring med hensyn til godhet av revisjonsintervallene.
- Spesielt bekymringsfullt er dette da revisjonsintervaller er blitt utvidet med 4 år for mange komponenter samtidig med at vognenes kilometerløp er sterkt øket i samme periode. Dette er gjort uten systematisk etterprøving av tilstand på komponenter som tas ut.
- Bremseetterstillere og lastbremseautomater funksjonstestes ikke fullstendig etter overhaling/ revisjon.

1.6 Etterprøving av bremseevne i godstog

Etterprøving av bremseevnen til godstog under drift gjøres ikke hos NSB Gods i dag. I forbindelse med dette oppdraget har DNV utført retardasjonsmålinger på et lite antall godstog. For å få bedre basis til å vurdere bremseevnen til godstog, samt avdekke hvor det kan ligge svakheter bør NSB Gods ha et systematisk program for etterprøving av bremseevnen til godstog. Dette kan gjøres enten ved hjelp av målinger av retardasjon på tog i drift, som gjennomført i dette oppdraget, eller ved systematiske klosstrykkmålinger på godsvogner over hele lastområdet.

Dette bør gjøres på godsvogner det kan mistenkes har dårlig bremsevne, f.eks:

- På vogner med lastbremseautomat AC2D som utgjorde en stor andel av den bremsede vekt i godstog 5781, ulykkestoget, og
- På kontainervogner som viste svært mye lavere bremseprosent enn forventet i de utførte retardasjonsmålinger.

1.7 Opplæring i bruk av ATC Retardasjonskontroll

For å få bedre kontroll på togs bremseevne er det viktig at NSBs lokomotivførere gis informasjon og opplæring i bruk av denne ATC-funksjonen.

Nøyaktigheten av denne funksjonen bør utprøves, eventuelt med kalibrering mot målinger av retardasjon, og hvis den er nøyaktig bør den benyttes rutinemessig for å etterprøve togets bremseprosent etter avgang fra utgangsstasjon og andre stasjoner hvor togsammensetningen forandres. For å bedre anvendeligheten av ATC-retardasjonskontroll kan det være nødvendig at Jernbaneverket supplerer med fallbaliser på utvalgte prøvebremsestrekninger som ikke er horisontale. (ref. pkt. 1.9.3.)

1.8 Bremser på lok type El.16

Tilsettingstid for bremser i G-posisjon: Bremsene på lokomotiv av type El.16 har i G-posisjon en lengre tilsettingstid (35–40 s) enn det som er spesifisert av UIC og Jernbaneverket (18–30 s). Dette er spesielt uheldig ved framføring i høye hastigheter.

Bruk av direktebrems ved nødbremsing: Ved bremsing med togbremse på El. 16 er det normalt lavavbremsing i bremsesylinderne på lokomotivet (170 kPa) ned til en hastighet på ca 55 km/h i bremsegruppe G og P, også ved fullbrems og nødbrems. Ved nødbremsing i dette hastighetsområdet vil bruk av lokomotivets direktebrems øke lokomotivets avbremsing. Lokomotivførerne bør gjøres bedre kjent med dette forhold.

1.9 Jernbaneverkets Trafikksikkerhetsbestemmelser

1.9.1 Sikkerhetsmarginer i bremsetabeller

I følge NSB Gods er det ikke unormalt med noe svakere bremsevirkning for godstog enn det som bremseprosenten tilsier. Utførte målinger av retardasjon i tilfeldig utvalgte godstog bekrefter dette.

Ved framføring av fjerngodstog vil lokomotivførerne ofte ligge tett opp mot tillatt hastighet, og det kan ikke utelukkes at man enkelte ganger går litt over tillatt hastighet. Ruteplanene for enkelte godstogene gir ikke mye slakk. Det er også en viss usikkerhet med hensyn til nøyaktighet av hastighetsmålere som kan virke i begge retninger. Så lenge banen ikke er utrustet med FATC bør det være marginer for at tog enkelte ganger blir framført med noe større hastighet enn tillatt, uten at det i seg selv skal medføre ulykkesfare.

Sikkerhetsmarginene som ligger til grunn for dagens bremsetabeller synes noe knappe, spesielt ved kjøring utover fall. Ved ugunstige situasjoner kan det være relativt stor fare for passering av stoppsignal pga. utilstrekkelig bremseevne i forhold til togets hastighet.

1.9.2 Brukervennlighet av bremsetabeller

Fra intervju med lokomotivførere er det klart at dagens bremsetabeller i liten grad benyttes av lokomotivførerne da de ansees lite brukervennlige, samt at oppgitt bremseprosent er lite å stole på når det gjelder mål for togets bremseevne. I stor grad bruker de heller skjønn og erfaring samt følelse for togets bremseevne til å bestemme hastighet i fall.

Med dagens noe tilfeldige korrelasjon mellom bremseprosent og retardasjonsevne kan det være like bra, men situasjonen er ikke tilfredsstillende og et mer brukervennlig system bør utarbeides.

1.9.3 ATC-funksjon – Retardasjonskontroll

En mulighet for å få bedre kontroll på togets retardasjonsevne er aktiv bruk av ATC-funksjonen «Retardasjonskontroll». ATC-utrustningen som er installert på alle toglok som benyttes for framføring av godstog har en slik funksjon som gjør det mulig å etterprøve togets bremseprosent.

Jernbaneverket bør kreve at denne funksjonen skal benyttes ved første prøvebremsing etter avgangsstasjonen, og selv installere baliser med fallinformasjon der det er nødvendig for å få riktig avlesing.

1.9.4 Prøvebremsing etter avgangsstasjon

Målinger av retardasjon på godstog synes å indikere vesentlig dårligere bremseeffekt ved første oppbremsing etter avgangsstasjon. Dette styrker behovet av å gjøre en prøvebremsing etter avgangsstasjon samt underveis hvor det er tatt inn nye vogner, ikke bare for at lokomotivfører skal få verifisert bremseevnen og kvaliteten av togets bremser, men også for å skjerpe kvaliteten på togets bremser.

Prøvebremsing er en svært viktig del av kontrollen av godstogs bremseutrustning og krav om dette bør tas inn i Jernbaneverkets «Trafikksikkerhetsbestemmelser». Dette bør kombineres med bruk av ATC-funksjonen retardasjonskontroll. For ordens skyld gjøres oppmerksom på at prøvebremsing etter avgang er spesifisert i NSBs Sikkerhetsbestemmelser G-60–6 «Bremseprøver».

1.9.5 Krav om lokomotivbremse i G-posisjon

Reglene fra JBV spesifiserer at lokomotiv i godstog alltid skal framføres i bremsegruppe G uansett toglengde og vekt. Bremsetabell for P-bremse skal fortsatt brukes og det kreves ingen form for hastighetsreduksjon. Dette synes klart uheldig for relativt korte og lette godstog hvor lokomotivet kan utgjøre en betydelig del av vekten.

Spesielt uheldig er dette for lok av type El.16 hvor bremsene i G-posisjon har svært lang tilsettingstid.

2 Innledning

2.1 Mandat

Det Norske Veritas har fått i oppdrag av «Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjonen etter togulykkene på Åsta og Lillestrøm» å gjøre en utredning vedrørende bremsesystemer for godstog. Oppdraget omfatter en generell del knyttet til spesifikasjon og vedlikehold av bremsesystemene (krav, rutiner, praksis, andre selskapers erfaring), og en spesiell del knyttet til tilstanden for tog 5781 på ulykkesdagen. Oppdragets innhold er nærmere spesifisert nedenfor.

2.2 Tekniske krav

Oppdraget inkluderer en identifisering av tekniske regler og krav fra UIC og/eller JBV vedrørende konstruksjon og vedlikehold av bremseutrustning i godsvogner og lokomotiver for framføring av godstog. Blant annet er det undersøkt om disse regler stiller krav til rutiner for test og vedlikehold av bremsesystemer med hensyn til hvordan og hvor ofte ulike tester og vedlikehold skal gjennomføres og dokumenteres. Undersøkelsen skal også vise om kravene var oppfylt for lokomotiv og vogner i tog 5781 på ulykkesdagen. Spesielle krav for transport av farlig gods skal identifiseres.

Tekniske spesifikasjoner for relevant bremseutrustning på tog 5781 er gjennomgått med formål å identifisere komponenter som ved feil kan føre til redusert eller bortfalt bremsevirkning, samt komponenter som eventuelt utsettes for slitasje og dermed kan være spesielt sikkerhetskritisk og vedlikeholdskrevende.

2.3 Vedlikehold

Gjennom intervju samt granskning av NSB Gods sine spesifikasjoner og vedlikeholdsmanualer er undersøkt hvilke rutiner som gjelder for inspeksjon og vedlikehold av bremseutrustningen på NSBs godsvogner og relevante lokomotiver med hensyn til vedlikeholdstype, frekvens, materialer, instruksjoner og utrustning, samt vedlikeholdsorganisering inkludert ressurser, personale, opplæring og kvalifikasjoner e.g.:

- Sammenheng mellom vedlikeholdsintervaller og km-løp
- Identifisere hvilke komponenter i bremsesystemet som er underlagt periodisk inspeksjon og vedlikehold
- Undersøke hvilke funksjonstester og effektmålinger som gjennomføres for godsvogners bremsesystemer i forbindelse med periodisk ettersyn og vedlikehold.

I tillegg er det ved intervju og undersøkelser i felten, så langt det er mulig, gransket hvordan arbeidet i virkeligheten gjennomføres, dokumenteres og kontrolleres. Spesielt vil det fokuseres på inspeksjon og vedlikehold av systemer og komponenter som kan medføre at hele eller store deler av toget kan miste bremsevirkning. Videre vil undersøkelsen søke å klarlegge teknisk kontroll og vedlikeholdsstatus på lok og vogner i tog 5781 før togavgang ulykkesdagen den 5. april d.å.

I henhold til kommisjonens mandat vil det gjøres en sammenligning av VTGs regler når det gjelder vedlikehold av bremser og bremseutrustning på gassvogner i forhold til de rutiner NSB arbeider etter.

2.4 Kontroll før kjøring

Hvilken dokumentasjon for togets bremseevne får lokomotivfører og hvilke usikkerheter eksisterer med hensyn til oppgitt bremseprosent og togets bremseevne?

Hvilke krav gjelder vedrørende bremseprøve før kjøring fra avgangsstasjon og underveis i tog, og hvordan gjennomføres disse i praksis for de ulike togtyper? Hvilket personale er involvert og hvordan utføres og dokumenteres prøvene?

Intervjuer med lokomotivførere er utført basert på forberedte spørreskjemaer og nødvendige oppfølgingsspørsmål. Resultater fra intervjuene er forsøkt anonymisert slik at enkeltsvar ikke kan tilbakeføres til enkeltpersoner uten personenes samtykke.

2.5 Bruk av togbremser under kjøring

Lokomotivførers generelle rutiner vedrørende bremsing av godstog er også belyst ved en gjennomgang av instruksjoner knyttet til bremsehåndtering ved togframføring, samt etterfølgende intervju med lokomotivførere vedrørende normal praksis. Vinterforhold med snø og is er berørt spesielt.

2.6 Rapportering

De funn som er gjort i de foregående aktivitetene er beskrevet i denne rapporten, som gir en kort beskrivelse av vanlige bremsesystemer på godstog og gir en vurdering av dagens rutiner hos NSB Gods, og om disse tilfredsstiller relevante krav fra UIC og JBV. Det gis også visse kommentarer vedrørende kravene hvorvidt de synes tilstrekkelig i forhold til moderne godstrafikk samt om de implementeres på en tilfredsstillende måte i de daglige rutiner.

2.7 Definisjoner

Bremset vekt: Bremset vekt B er et mål for bremseevnen hos en jernbanevogn eller annet rullende materiell. Bremset vekt er en funksjon av klosstrykk for vognens bremser og tilsettingstid. Metoder for fastsetting av bremset vekt er gitt i UIC 544, og kan enten beregnes ut fra formler (gruppe G), eller bestemmes ved forsøk (gruppe R & P). Ulik bremset vekt kan gjelde for ulike bremsegruppestillinger. For bremsegruppe G er den bremsede vekt proporsjonal med det totale klosstrykk for vognens bremser.

Dynamisk vekt: Med et togs dynamiske vekt Q forstås togets bruttovekt med tillegg for dynamiske effekter av roterende masser i lokomotivets traksjonsmotorer o.l.

Bremseprosent: Et togs bremseprosent beregnes som forholdstallet mellom togets bremsede vekt (dvs. summen av bremset vekt vekt for vogner med aktive bremser) og togets dynamiske vekt uttrykt i prosent: dvs. 100xB/Q.

Bremsegruppe: En inndeling av togbremser i henhold til deres reaksjonstid og avbremsings-

karakteristikk i forhold til hastigheten. For godstog benyttes bremsegruppe G (langsomtvirkende bremser) og bremsegruppe P (hurtigvirkende bremser). R benyttes for ekspresstog (persontog).

3 Spesifikasjoner og krav

3.1 Internasjonale krav (UIC-krav)

Minimumskrav til bremseutrustning på tog er i stor grad styrt av internasjonale avtaler gjennom UIC. Godsvogner skal som oftest kunne gå i internasjonal trafikk, og de ulike nasjonale jernbaneforvaltningene er i henhold til inngåtte avtaler forpliktet til å framføre jernbanevogner fra andre land såframt de er RIV-merket.

Bremsesystemene på jernbanevogner i internasjonal trafikk må derfor være kompatible og UIC har fastsatt minstekrav og utgitt regler for bremsesystemer på rullende jernbanemateriell. Funksjonskravene for trykkluftbremseutrustning på jernbanevogner er gitt i:

UIC-Merkblatt «540 V: Bremsen – Druckluftbremsen für Güter- und Personenzüge».

Ytterligere spesifikasjoner vedrørende utforming av trykkluftbremser og fastsettelse av bremseevne for rullende jernbanemateriell for godstog er gitt i følgende Merkblatt dokumenter:

541–1: Bremse – Vorschriften für den Bau der verschiedene Bremsteile
541–03: Bremse – Vorschriften für …
– Driver's brake valve
541–04: Bremse – Vorschriften für …
– Automatische Lastabbremsung und Automatische Lastwechseleinberichtung «LEER – BELADEN»
541–07: Bremse – Vorschriften für …
– Simple pressure receptacles of steel, not fired, for air braking
543: Bremse – Vorschriften über die Ausrüstung der Wagen
544–1: Brakes – Braking Power
547: Druckluftbremsen – Normalprogramme für Versuche

Så langt vi har identifisert gir UIC i ovennevnte forskrifter *ingen* spesifikasjoner eller krav når det gjelder vedlikehold, utprøving og bruk av trykkluftbremser i tog. Det synes heller ikke å være spesielle krav til bremser for godsvogner med farlig gods.

3.2 Jernbaneverkets krav

3.2.1 Mandat/hjemmel

Jernbaneverket forvalter det statlige norske jernbanenettet og har hjemmel og plikt til å påse at rullende materiell som benyttes på norske jernbanespor ikke skader sporet samt ellers kan framføres på en sikker måte. Dette skjer ved at materielleier/togdriftsoperatør får en sportilgangsavtale med Jernbaneverket for det rullende materiell han ønsker å bruke.

I forbindelse med oppdelingen av det gamle NSB med Jernbaneverket som infrastrukturholder og NSB BA som trafikkoperatør ble alt den gang eksisterende rullende materiell gitt sportilgang til Jernbaneverkets nett basert på hevdvunne rettigheter.

Jernbaneverket og NSB BA i Norge har undertegnet internasjonale konvensjoner om internasjonal jernbanetrafikk og er derfor forpliktet til å akseptere og framføre utenlandske vogner godkjent for internasjonal trafikk i henhold til UIC-spesifikasjoner.

Utover dette har Jernbaneverket ingen separate krav til bremseutrustning på norske eller internasjonale vogner for framføring i norske godstog.

3.2.2 Trafikksikkerhetsbestemmelser

3.2.2.1 Materiellets driftssikkerhet generelt

Jernbaneverket har utarbeidet «Trafikksikkerhetsbestemmelser» for trafikk på Jernbanevekets nett som de ulike transportutøvere (NSB m fl) må forholde seg til. Blant dokumentene i trafikksikkerhetsbestemmelsene er:

JD 345: «Togframføring – Togenes sammensetning, bremser og kjørehastighet» (ref. 2)

Bestemmelsene i JD 345 gjelder for alle som skal trafikkere Statens jernbanenett. I dokumentets generelle krav til materiellets driftssikkerhet står blant annet:

- «Operatøren skal kun bruke godkjent materiell og kunne dokumentere at materiellet blir regelmessig kontrollert og oppfyller gitte krav til sikkerhet.» (Kap.1)
- «Operatørens dokumentasjon skal angi revisjonsintervall for alle typer materiell operatøren bruker. Dokumentasjonen skal også angi begrunnelse for valgte revisjonsintervall.» (Kap.1)
- «Det påligger operatøren å etablere håndbok som styrer operatørens daglige trafikkvirksomhet. Håndboken skal være gjort kjent og brukes

av operatørens ledelse, drifts-, og planleggingspersonale og annet aktuelt personale. Håndboken skal holdes oppdatert.»

I Jernbaneverket er det i dag ikke utviklet rutiner for å etterprøve at ovennevnte krav tilfredsstilles for godstog eller godsvogner.

3.2.2.2 Bremser

Dokument JD 345 gir krav til bremser for tog som skal framføres på Jernbaneverkets spor. Blant innholdet kan nevnes:

Togs sammensetning og bremsekraft

- Materiellets bremser
- Kopling og sammensetning
- Bremseprosent og bremsetabeller
- Beregning av bremset vekt
- Bremsegrupper

Bremseprøve

- Sikkerhetskrav
- Fullstendig bremseprøve
- Gjennomslagsprøve
- Avstengning av bremsen

Hverken i Trafikksikkerhetsbestemmelsene JD 345 eller i annet regelverk hos JBV finnes spesielle krav til bremser på vogner som transporterer farlig gods. Vognene vil uansett plasseres i godstog sammen med andre vogner og spesielle krav til bremser på vogner med farlig gods vil derfor ha begrenset betydning.

3.2.3 Togs sammensetning og bremsekraft

3.2.3.1 Materiellets bremser

JBV gir funksjonskrav til den bremseutrustning vognene skal være utstyrt med, og som generelt samsvarer med UIC-krav. Operatøren pålegges å utarbeide prosedyrer for hvordan den bremsede vekt skal avleses for vogner med lastbremseautomater eller automatisk lastveksel.

Jernbanevogner har generelt bremser som kan innstilles til ulike bremsegrupper avhengig av toglengde og togets kjørehastighet.

- *R-bremser;* hurtigvirkende med høy avbremsing som kjennetegnes ved at bremsegruppestilleren står i R-stilling, eller, hvor omstilling mangler, ved påskriften R
- *P-bremser;* hurtigvirkende som kjennetegnes ved at bremsegruppestilleren står i stilling P, eller hvor omstilling mangler, ved påskrift på vognen (f.eks. KE-P eller tilsvarende)
- *G-bremser;* langsomtvirkende, som kjennetegnes ved at bremsegruppestillerenstår i stilling G, eller hvor omstilling mangler, ved påskrift på vognen (f.eks. KE-G eller tilsvarende)

Forskjellen mellom R/P og G-bremser ligger i avbremsingsprosenten og i tilsettings- og løsetiden. Kravene for de ulike bremsegrupper her er i hovedsak spesifisert av UIC.

I tabell 3.1 gjengis kravene til tilsettings- og løsetider ved fullbremsing, dvs når hovedledningstrykket senkes med 1,5 bar, slik de er uttrykt i JD 345:

3.2.3.2 Kopling og sammensetning

Vognopptak for toget skal utstedes og gi opplysninger om et togs innhold, akselantall, lengde sammensetning, bremseprosent og kjørehastighet ifølge togsammensetningen (ekskl. lokomotiv). Stasjonene som setter vogner inn i tog er ansvarlig for at opptak foretas. Ved stasjoner uten betjening tillegges dette ansvaret lokføreren. Dokumentasjon på gjennomført vognopptak skal oppbevares hos lokomotivfører.

3.2.3.3 Bremseprosent, bremsetabeller og bremseveger

Krav til bremseevne og tillatt hastighet for tog er avstemt med forsignalavstander slik at togene ved framføring innenfor tillatte hastigheter alltid skal være sikret å kunne stoppe ved hovedsignaler. Det opereres med to ulike bremselengder for utarbeidelse av bremsetabeller i JBV. Et sett bremsetabel-

Tabell 3.1 Krav til tilsettings- og løsetider for bremser i henhold til JD 345

Bremsetype:	Tilsettingstid (s)	Løsetid (s)
R-brems:	3–10	10–20
P-brems:	3–10	15–20
G-brems:	18–30	40–60

ler er basert på en bremseveg på 800 m og er det normale på tradisjonelle jernbanestrekninger i Norge. Nybygde baner er dimensjonert for større hastigheter og opererer med lengre signalavstander som tillater bremseveger på 1200 m. Bremsetabellene viser hvilke hastigheter et tog kan framføres med ved en gitt bremseprosent på de ulike strekninger.

Generelt har tog svært lange bremseveger, spesielt gjelder det godstog. Hovedgrunnen til dette er begrensningen som ligger i friksjonen mellom hjul og skinne som setter et øvre tak for avbremsingen såfremt ikke spesielle bremsesystemer benyttes. En svært variabel friksjonskoeffisient mellom hjul og skinne, samt problemer knyttet til hjulslag ved eventuell låsing av hjul gjør også at man ønsker marginer mot låsing av hjul. (Glidevern er normalt forbeholdt traksjonsenheter eller spesielle høyhastighetstog.) I tillegg kommer begrensninger på grunn av materialtemperaturer ved bruk av tradisjonelle klossbremser for tungt lastede godsvogner.

Sikkerhetsmarginer: Ved fastsettelse av sammenheng mellom et togs bremseprosent og tillatte kjørehastigheter under ulike topografiske forhold, er det i følge opplysninger fra Jernbaneverket innlagt en sikkerhetsmargin på 10 % uten at det ble nærmere angitt hvordan denne framkommer. I tillegg er det en sikkerhetsmargin mot alvorlig ulykke ved at et hovedsignal normalt står minimum 200 m før det farepunktet som hovedsignalet skal styre trafikken forbi.

Reelt sett er sikkerhetsmarginene relativt beskjedne spesielt på strekninger med betydelig fall. I tabell 3.2 nedenfor er vist beregnede bremseveger for et tog i bremsegruppe P med doble bremseklosser i henhold til formler presentert i en bok fra Knorr-Bremse AG (ref. 1).

Som man kan se av tabellen vil man med en utgangshastighet som ligger 10 km/h over det tillatte ha spist opp marginene i forhold til dimensjonerende bremseveg. Hvis man i tillegg har 20 % lavere bremseevne enn det bremseprosenten skulle tilsi vil man også gå ut over minimum sikkerhetsavstand på 200 m fra hovedsignal til farepunkt, spesielt for bremsestrekninger som ligger i betydelig fall.

Når man vet at lokførere ofte ligger tett opptil og enkelte ganger kanskje litt i overkant av tillatt hastighet (ruteplanen kan ofte kreve det), og det ikke er unormalt med noe svakere bremsevirkning enn det som bremseprosenten tilsier (iflg NSB Gods), vil ingen av de ovennevnte avvik være særlig ekstreme og må forutsettes å kunne forekomme relativt hyppig.

3.2.3.4 Togs bremsegruppe og beregning av bremset vekt

Nedenfor er referert de viktigste krav i Jernbaneverkets trafikksikkerhetsbestemmelser når det gjelder bruk av ulike bremsegrupper og beregning av bremset vekt for godstog. Bremsegruppe R benyttes kun for persontog og vil ikke beskrives nærmere.

Bremsegruppe P kan benyttes for tog med kjørehastighet:

- T.o.m. 100 km/h når alle bremsede aksler har P-bremser, eller inntil halvparten av de bremsede aksler har R-bremser.
- T.o.m. 80 km/h når inntil 1/3, høyst 10 av de bremsede aksler har G-bremser, (P- og G-bremser). Blanding av R-, P- og G-bremser i samme tog tillates ikke.

Tabell 3.2 Beregnet bremselengde for tog med P-bremse i ulike fall med ulike bremseprosenter og kjørehastigheter

Fall (promille)	77 %[1] bremser og tillatt hastighet		77 % bremser og + 10 km/h over tillatt hastighet		60 % bremser og + 10 km/h i forhold til tillatt hastighet	
	Hastighet (km/h)	Bremseveg (m)	Hastighet (km/h)	Bremseveg (m)	Hastighet (km/h)	Bremseveg (m)
5	95	661	105	816	105	1037
10	90	641	100	801	100	1044
17[2]	85	657	95	832	95	1137
25	75	598	85	792	85	1168

1) 77 % bremser er oppgitt bremseprosent på ulykkestoget Gt 5781 05.04.00.

2) Bestemmende fall på strekningen Strømmen – Lillestrøm.

Bremsegruppe G kan benyttes for tog med kjørehastighet t.o.m. 80 km/h når alle bremsede aksler har G-bremser. På vogner med brems uten omstilling til G skal bremsene avstenges.

Følgende merknader gjelder i tillegg:
- Under alle bremsegrupper skal lokomotivets aksler regnes med.
- Lokomotiv i godstog skal alltid kjøres i bremsestilling G, også ved kjørehastighet over 80 km/h.

Beregning av bremset vekt:

JBVs trafikksikkerhetbestemmelser angir også hvordan bremset vekt skal beregnes. For godstog framført i bremsegruppe P gjelder regler som spesifisert i tabell 3.3.

Reglene fra JBV som spesifiserer at bremsene til lok i godstog skal stå i posisjon G uansett toglengde og vekt uten noen form for hastighetsreduksjon kan synes noe uheldige spesielt for relativt korte og lette godstog hvor lokomotivet kan utgjøre en betydelig del av vekten.

3.2.3.5 Bremseprøve

Ved bremseprøven kontrolleres blant annet at hovedledningen er åpen gjennom hele toget og at bremsene virker tilfredsstillende. Bremseprøven skal foretas med den førerbremseventil/førerbremseanlegg som siden skal brukes under kjøringen, unntatt når prøven tas med stasjonært bremseprøveapparat. Som bremseprøver må bare brukes personell som er godkjent til slik tjeneste.

Jernbaneverkets Trafikksikkerhetsbestemmelser gir visse minimumskrav til når og hvordan bremseprøve skal utføres, men det pålegger operatøren å utarbeide dokumenterte prosedyrer for gjennomføring av bremseprøve for de ulike tilfeller.

3.2.3.6 Avstenging av bremse

Ved visse feil på bremseutrustningen på en vogn skal bremsen avstenges. Dette gjelder spesielt ved mangler på bremseklosser, når vognens bremser ikke tilsetter eller løser, bremsene selvløser eller vognens bremseutrustning har store lekkasjer.

I slike tilfeller skal styreventilens avstengningskran stenges og vognens bremsesystem tømmes helt for trykkluft, og det skal kontrolleres at bremseklossene ikke ligger an mot hjulene. Vognen skal merkes med grunn for avstengning av bremser, og data om togets bremseprosent oppdateres tilsvarende.

3.3 NSB BA/ NSB Gods

3.3.1 Styringsdokumentasjon

3.3.1.1 Krav til bremser

NSBs tekniske krav til bremseutrustning på godsvogner samsvarer med UICs krav og er spesifisert i Trykk 705 (ref. 5).

Viktige komponenter i bremseutrustningen for en godsvogn er:
- Hovedledning og koblingsslanger
- Styreventil(er)
- Bremsesylinder
- Lastomstillere eller lastbremseautomater
- Bremseetterstiller(e)
- Stag og balanser for overføring av bremsekraft fra bremsesylinder til klosser
- Bremseklosser

Tabell 3.3 Regler for beregning av bremset vekt for tog i bremsegruppe P

Bremsetype:	Bremsegr.stiller:	Lastveksel:	Beregning av bremset vekt
P-brems:	I stilling «P»	Håndstilt[2)]	Påført bremset vekt for henholdsvis «Lastet» og «Tom» (gjeldende for stilling P) 2) Hvis omstillingsvekt eller bremset vekt ikke er angitt skal hendelen stilles på «Tom»
P-brems:	I stilling «P»	Automatisk	
P-brems	I stilling «P»	Lastbremse-automat	Enten påført bremset vekt i tabell ved bremsegruppestilleren (stilling P) eller vognens bruttovekt inntil påført grense for max bremset vekt.
G-brems	Uten (hvis ikke omstilling til P)	Alle former	80 % av bremset vekt beregnet for G-bremse

Kilde: NSB BA, trykk 705

På norske vogner benyttes så godt som utelukkende KE-styreventiler fra Knorr. Utenlandske vogner kan ha andre typer bremseventiler, men med RIV-merket vogn skal bremsene være kompatible.

3.3.1.2 Bremseprøving

Som trafikkoperatør har NSB BA i henhold til JBVs Trafikksikkerhetsbestemmelser plikt til å utarbeide prosedyrer for utprøving og bruk av bremser i tog. For godstog er disse prosedyrene innarbeidet i NSB Styringsdokument G-60–6 «Bremseprøve» (3) utgitt av NSB Gods.

Innholdet i Styringsdokument G 60–6 er omtalt i kap 3.3.2.

3.3.1.3 Ettersyn og vedlikehold

Dokumentasjon av ettersyns- og vedlikeholdssystemet for godsvogner er gitt i NSB Styringsdokument G-71 «Kvalitetskontroll, sikkerhetskontroll og vedlikehold av godsvogner» (ref. 4).

Innholdet i det ettersyn og vedlikehold som er spesifisert i Styringsdokument G-71 er nærmere beskrevet i kapitel 5.

3.3.2 Bremseprøve

3.3.2.1 Generelt

Gjennom bremseprøven kontrolleres at toget bremser fungerer i hele togets lengde, dvs:

- at hovedledningen er tett og åpen i hele togets lengde,
- at togets trykkluftbremser tilsettes og løses i henhold til beskrevet prøveprosedyre.

Ved feil på bremsene vil feilen enten rettes, eller vognens bremser avstenges. Kun godkjent personell skal utføre bremseprøve og normalt vil det være en eller flere skiftekonduktører som assisterer lokfører i utførelsen av bremseprøven.

Bremseprøven gjennomføres med den togsammensetning og utrustning som skal framføres og det skal ikke gjøres endringer i toget etter utført bremseprøve uten at det foretas ny bremseprøve.

Det skilles mellom fullstendig bremseprøve og gjennomslagsprøve, og følgende krav vedrørende hvilken type prøve som skal utføres er relevante for godstog:

Fullstendig bremseprøve skal foretas:

a) På togets utgangsstasjon
b) Når tog har hatt opphold på mer enn 2 timer (ved –15 °C eller kaldere, om oppholdet har vart lenger enn 1 time)

Gjennomslagsprøve skal foretas:

a) Når annen førerbremseventil/førerbremseanlegg skal brukes
b) Når hovedledningen har vært stengt/åpnet
c) Når vogner kobles fra eller til
d) Når førerbremseanlegg legges i nøddrift.

3.3.2.2 Fullstendig bremseprøve

Ved en fullstendig bremseprøve kontrolleres hovedledningen for kommunikasjon og tetthet i hele togets lengde, samt at bremseutrustningen på hver enkelt vogn i toget prøves, dvs hvorvidt vognens bremser tilsettes og løser ut med foreskrevne trykksenkninger og hevinger i togets hovedledning. I tillegg gjøres et generelt tilsyn med togets tilstand både med hensyn til bremser og annet sikkerhetskritisk, dvs. posisjon på bremsegruppeomstillere, og lastomstillere, fjærklaringer, lastsikring m.m. Ved en fullstendig bremseprøve skal hele toget befares til fots av bremseprøver minimum to ganger, normalt en på hver side av toget.

3.3.2.3 Gjennomslagsprøve

Gjennomslagsprøven er en forenklet prøve som primært sikres at hovedledningen er åpen og tett i hele togets lengde og benyttes når det har vært brudd på hovedledningen ved utsett og inntak av vogner. For nye vogner som tas inn i toget gjøres fullstendig bremseprøve med mindre de kommer direkte fra et annet tog hvor det er gjort full bremseprøve og lokomotivet har utrustning for automatisk fjerning av overlading.

3.3.2.4 Prøvebremsing

I tillegg til bremseprøve før avgang spesifiserer G-60–6 at lokomotivfører så snart som mulig etter avgang fra utgangsstasjon eller stasjon hvor det er foretatt vesentlige forandringer i togets sammensetning, skal kontrollere bremsene ved å foreta en prøvebremsing for å få følelse med togets bremsekraft. Før kjøring utover lengre fall skal det foretas ny prøvebremsing for å kontrollere togets bremsekraft. Synes bremsekraften å være utilstrekkelig stoppes toget snarest og forholdet undersøkes.

3.3.3 Vinterforhold

Dokument G-60–8 i NSB BA sitt styringssystem omfatter spesielle forhold deriblant et avsnitt om vinter- og bremseproblemer. Fra dette refereres følgende to punkter:

Bruk av frostvæske i bremseledningen

> «I perioder med spesielt lave temperaturer, –200 °C eller lavere, strekker ikke lokomotivenes alkoholforstøver eller tørkeanlegg til for å hindre problemer med frost i togenes trykkluftanlegg. Det må da tilsettes frosthindrende middel direkte til togets hovedledning ved å helle ca 0,2 l i koplingsslangen mellom lokomotivet og første vogn.»

Redusert bremsekraft – klossbremse

> «Nedbremsingen påbegynnes alltid kraftig når det er fare for at det kan være is mellom bremseklosser og hjul.
>
> Er sporet dårlig ryddet for snø og det er løssnø langs eller i sporet som kan virvle opp rundt hjul og bremsestell, skal det bremses så ofte som mulig for å rense bremsestell og klosser for snø og is. I slike tilfeller bremses det bare så kraftig at bremsevirkning registreres.»

3.4 Test av bremseevne (DNV kommentar)

I dagens rutiner savnes en reell kvantitativ prøve av togets bremseevne. Dagens bremseprøve er kun en kvalitativ funksjonstest og sier i virkeligheten ingen ting om togets bremseevne. Den er kun en test på at bremseutrustningen på den enkelte vogn synes å fungere i henhold til forutsetningene dvs. toget bremseklosser tilsetter og løser. Togets bremseprosent (bremseevne) beregnes ut fra opplysninger på vognen eller i togets følgepapirer. Hvilken kraft klossene trykker mot hjulet med blir ikke prøvet.

Det er mange muligheter for feil som kan gi redusert bremsekraft i forhold til oppgitt bremseprosent.

Typiske eksempler er:

- Overlasting av en eller flere vogner
- Feil på lastbremseautomat eller veieventil slik at vognen kun avbremses med taravekt også når den er lastet
- Usmurte leddforbindelser i bremsenes stangsystem reduserer bremseevnen
- Nye ubrukte bremseklosser på en eller flere av togets vogner
- Omsetningsforholdet i balanser o.l. er påvirket av slitasje og gir for liten avbremsing.

Det finnes i dag ikke informasjon om hvor ofte dette forekommer, men mindre avvik i negativ retning kan forekomme relativt ofte da feilmodene på systemene i henhold til konstruksjonsfilosofien for bremsesystemene gir redusert avbremsing. Dette vil ikke oppdages med de testrutiner som gjennomføres i dag.

Det er derfor svært viktig at den spesifiserte prøvebremsing gjennomføres på en sikker og forsvarlig måte, og for tog med funksjonell ATC-utrustning bør det i den forbindelse gjøres ATC-retardasjonskontroll. Dette vil gi lokomotivføreren en bremseprosent basert på prøvebremsingen og dermed et reellt etterprøvet kvantitativt mål for togets bremseevne.

Dette synes ikke å være fokusert sterkt nok i dag og heller ikke tilrettelagt godt nok for ved opplæring av lokomotivførere samt supplerende ATC-utrustning av aktuelle prøvebremsestrekninger.

4 Bremsesystem og bremsekomponenter i tog

4.1 Oversikt

En skjematisk beskrivelse av ulike hovedtyper av trykkluftbremsesystemer som er i bruk i NSB's materiell er gitt i Trykk 705 utgitt av NSB.

De to viktigste systemene benevnes:

- Ikke automatisk virkende en-kammer brems – direktevirkende brems
- Automatisk virkende en-kammer brems

Figur 3.1 viser en forenklet fremstilling av systemene og de viktigste komponentene. En kort beskrivelse av systemenes hovedkomponenter og -funksjoner vil bli gitt i dette avsnitt. I avsnittene 4.3–4.5 er gitt en mer detaljert beskrivelse av det mest brukte systemet. Fremstillingen er imidlertid ikke komplett. Det vises ellers til NSBs Trykk 705 (ref. 5) for detaljer.

De to systemene er basert på følgende felles komponenter:

- Hovedledning for trykkluft som løper fra loket gjennom hele toget til enden av siste vogn.
- Kompressor montert i lokomotivet/traksjonsenheten som mater hovedluftbeholderen.
- Hovedluftbeholderen (montert i lokomotivet)
- Førerbremseventilen, med hvilken føreren styrer mating av hovedledningen og bremsevirkningen.

- Hjelpeluftbeholdere (montert på hver vogn). Hjelpeluftbeholdere finnes ikke på direkte virkende brems.
- Styreventil, med hvilken trykket i bremsesylinderen reguleres. Styreventil finnes ikke på direkte virkende brems.
- Bremsesylinder, med hvilken luftrykket omsettes i en kraft i et stempel.
- Dragstenger og balanser, med hvilke kraften fra stempelet i bremsesylinderen overføres til bremseklossen.
- Bremseklosser, som trykker på og derved bremser hjulene.

En direktevirkende togbrems virker ved at luftrykket i hovedbeholderen eller hovedledningen får virke direkte på stempelet i bremsesylinderen ved at førerbremseventilen for den direktevirkende bremse åpnes og trykket i bremsesylinderen økes. Typen betegnes «ikke automatisk« da et trykkfall i hovedledningen (f.eks. grunnet brudd på hovedledningen) fører til at bremsevirkningen opphører. Bremsetypen brukes kun på lokomotiver og noen spesielle typer vogner (ep-bremse), og er alltid et supplement til en automatisk virkende bremse.

Den automatisk virkende en-kammer bremsen virker ved at luftrykket i hovedledningen *senkes*. Ved hjelp av styreventilen vil da en forbindelse mellom hjelpeluftbeholderen og bremsesylinderen åpnes. Trykket i hjelpeluftbeholderen, som i løsestilling lades til samme trykk som hovedledningen, vil da gi en kraft på stempelet i bremsesylinderen og bremsen tilsettes. Når trykket i hovedledningen igjen økes av føreren vil styreventilen bevirke at overtrykket i bremsesylinderen luftes ut til fri luft og stempelet føres tilbake til utgangsposisjonen ved hjelp av en stålfjær i sylinderen. Bremsetypen betegnes «automatisk» da et trykkfall i hovedledningen vil føre til at bremsen automatisk tilsettes.

Figur 3.1 Automatisk virkende en-kammer trykkluftbremse
1. Kompressor, 2. Hovedluftbeholder, 3. Førerbremseventil, 4. Hovedledning, 5. Enkammer bremsesylinder, 6. Hjelpeluftbeholder, 7. Styreventil

Kilde: NSB BA, trykk 705

Denne typen brems er den vanligst forekommende på godsvogner i dag.

Kraften fra bremsesylinderen overføres til bremseklossen gjennom et system av dragstenger og balanser. Systemet er vist skjematisk for en to-akslet vogn i figur 3.3 Prinsippet er det samme for alle typer vogner. I avsnittene fra 4.3 til 4.5 er hver av de viktigste komponentene beskrevet nærmere. Det vises til NSB's trykk 705 (ref. 5) for detaljer.

En god kilde til basisinformasjon for togbremser, utover NSB's trykk 705, er en håndbok utgitt av Knorr Bremse AG. (ref. 1).

4.2 Bruk av bremser

Bremseeffekt oppnås ved å senke hovedledningstrykket gjennom å aktivere førerbremseventilen. Etter at bremsing er innledet går det en viss tid innen bremsevirkning oppnås. Tiden før maksimalt bremsesylindertrykk oppnås er bestemt av styreventil og bremsegruppe.

Fullbrems oppnås ved å senke HL-trykk til 3,5 bar. Med opprinnelig 5 bar i hovedledning og vognenes forrådsbeholder skal da trykket i bremsesylinderen bli ca. 3,8 bar, men målinger har vist ned til 3,6 bar. Motkraften til fjæren i bremsesylinderen skal tilsvare ca. 0,3 bar trykk. Ved fullbrems vil bremsesylinderen mates fra hovedledningen hvis trykket i en enkelt bremsesylinder pga. lekkasje faller under HL-trykket.

Figur 3.2 viser blant annet retardasjons- og hastighetsforløp under en fullbrems med klossbremser.

Ved nødbrems, dvs. full tømming av HL-ledningen, vil ikke trykket i bremsesylinderen og bremsekraften bli noe større enn ved fullbrems.

Elektrisk bremse på lokomotivet vil koble ut når hovedledningstrykket synker under en viss grense for å unngå fastbremsing av hjul på lokomotivet. Manglende el-bremse på lokomotivet har derfor ingen eller helt ubetydelig betydning for togets bremseveg ved fullbrems eller nødbrems.

4.3 Betjeningsutrustning

For tilsetting av bremser under kjøring og testing av bremser før avgang har lokomotivføreren følgende betjeningsutrustning:

4.3.1 Førerbremseventil

Førerbremseventilen er plassert ved førerplassen og brukes av lokomotivføreren til å regulere trykket i hovedledningen. Det vil si senke trykket ved tilsettning av bremsene og øke trykket ved løsing

Figur 3.2 Retardasjons- og hastighetsforløp under en fullbremsing med klossbremser

Kilde: NSB BA, trykk 705

av bremsene. Førerbremseventilen brukes også for å kontrollere ladingen av hovedledning etter tilkobling til tog samt under kjøring. Førerbremseventilen er utstyrt med en trykkregulator som under lading og kjøring begrenser trykket i hovedledningen til 5,0 bar mens lokomotivets hovedluftbeholder har ca 10 bar.

På lokomotiv El 16 finnes en førerbremseventil Knorr type D 3a F25. Førerbremseventil Knorr, type D, har 5 ulike posisjoner på førerbremsehåndtaket. Disse stillingene og deres rekkefølge er som følger:

- Midtstilling (nøytralstilling)
- Løse og ladestilling
- Fartsstilling
- Driftsbremseområde (9 trinn)
- Nødbremsestilling.

I tillegg er førerbremseventil Knorr type D utstyrt med anordning for å kunne fjerne overlading.

Løse- og ladestilling:

Stillingen brukes ved lading av togets bremsesystem og når det skal gis løsestøt til tilsatt brems. Trykkluft strømmer direkte fra hovedbeholder til hovedledningen gjennom et relativt stort tverrsnitt. Fyllingen forgår så lenge håndtaket holdes i denne stillingen. Ved bruk av løsestøt kan det sendes en kortvarig trykkpuls med høyere trykk enn normalt

hovedledningstrykk inn i hovedledningen for å påskynde løsing av bremsene.

Fartsstilling:

Stillingen brukes:
- under togs framføring med løse bremser,
- som løsestilling i korte tog
- ved fjerning av overlading.

I denne stillingen vil eventuelt trykktap som følge av lekkasje i HL erstattes over en trykkkontrollinnretning. Ettermatingen er ikke så kraftig at den hindrer tilsetting av bremsene ved slangebrudd eller nødbremsing fra toget.

Driftsbremseområde:

Stillingen brukes ved driftsbremsinger, hastighetsreguleringer og for å stoppe toget. Avhengig av ønsket bremseeffekt tilsettes nødvendig antall bremsetrinn som senker trykket i hovedledningen med en tilpasset verdi og holder det konstant så lenge bremsetrinnet ikke varieres. Så lenge betjeningshåndtaket blir stående i samme bremsetrinn vil trykket i hovedledningen være konstant. Eventuelle trykktap i HL ettermates som i fartsstilling.

Driftsbremsetrinn, som gir høyere HL-trykk enn det betjeningshåndtaket står i, kan benyttes som løsestilling ved trinnvis løsing av bremsene. På denne måten kan det løses trinnvis i hver ny stilling fram til fartsstilling hvor bremsen løses helt.

Nødbremsestilling:

Stillingen brukes i situasjoner hvor det er nødvendig å stoppe toget så hurtig som mulig. Nødbremseventilen åpnes av en knast på styrehylsen og HL settes i forbindelse med fri luft gjennom et stort tverrsnitt. Hvis håndtaket blir stående i denne stilling, tømmes HL fullstendig. HL ettermates ikke og ved lekkasje i bremsesylindre, kan bremsevirkning svekkes over tid.

Midtstilling (Nøytralstilling):

Stillingen brukes:
- ved tetthetsprøve av hovedledningen,
- eller når togets bremser betjenes fra annen førerbremseventil.

Hovedledningen (HL) ettermates ikke gjennom en førerbremseventil i midtstilling, og ved lekkasje i HL kan trykket sive sakte ut uten at bremsene går på. Trykksenkingen vil vises på lokførers manometer.

Tidligere hadde førerbremseventil Knorr type D midtstillingen plassert mellom løse- og ladestilling og fartsstilling, og uten noen sperreanordning, noe som representerte en betydelig fare for at førerbremseventilen kunne havne i midtstilling i ren vanvare.

Alle førerbremseventiler hos NSB ble for en del år siden ombygd slik at midtstilling er plassert lengst fram, dvs foran løse- og ladestilling, og det er en mekanisk sperring som må frigis for å sette betjeningshåndtaket i denne stillingen. Med de ombygde førerbremseventiler av Knorr, type D, må lokomotivfører bruke begge hender for å sette førerbremseventilen i midtstilling. Dette kan knapt gjøres som en ubevisst feilhandling under kjøring.

4.3.2 Direktebremseventil

Direktebremseventilen er plassert ved førerplassen. Den brukes av føreren til å styre trykkluft direkte fra hovedbeholderen inn på lokomotivets bremsesylindre når man ønsker bremsevirkning kun på lokomotivet. Direktebremseventilen er uavhengig av trykket i hovedledningen og lokomotivets styreventil og kan gi et trykk på inntil 320 kPa i bremsesylindrene på El16 lokomotivet.

Direktebremsen kan brukes ved framføring av løslok, men brukes mest for å holde toget i ro etter stopp på stasjon uten at hele togets bremser behøver å være tilsatt. Det minsker risikoen for låste hjul ved igangsetting under vinterforhold.

4.4 Annen lokomotivutrustning

4.4.1 Kompressor

Lokomotivet har en kompressor som leverer trykkluft til bremsesystemet og eventuelle andre forbrukere i toget. Kompressoren mater hovedluftbeholderen med et trykk på mellom 8 og 10 bar etter at luften har passert en oljeutskiller og tørkeutrustning. Det kan benyttes forskjellige typer kompressorer: stempel, skrue- eller rotasjonskompressorer. Skruekompressor synes å være den foretrukne kompressortypen på moderne trekkraftenheter. Lokomotivtype El.16 har en Tamrock skruekompressor for levering av luft til lokomotivets hovedluftbeholder. For nærmere informasjon vises til (ref. 6).

For lok type El.16 finnes ingen separat luftkjøler, men kompressoren har en oljekjøler basert på luftkjøling som holder driftstemperaturen for kompressoren på et akseptabelt nivå.

4.4.2 Oljeutskiller

Etter kompressoren står en oljeutskiller som skiller ut oljen som brukes til å smøre og tette kompressoren fra trykkluften før denne mates inn på adsorpsjonstørken og hovedluftbeholderen. Oljen returneres gjennom ovennevnte kjøler til kompressorens sugeside.

4.4.3 Avfukter/Tørker

Lufttørken skiller ut fuktighet fra trykkluften før den ledes til hovedluftbeholderen. Det brukes hovedsaklig absorbsjonstørkere. Loktype El.16 har en Hamrin adsorpsjonstørkeanlegg VXG-2 med to kolonner. Det ene tårnet adsorberer fuktigheten mens det andre tårnet regenereres. Etter ca. 4 timer skjer en veksling av tørketårn slik at prosessen ombyttes. Duggpunkt for utgående luft er –40 °C (–20–60 °C) ved maksimal innløpstemperatur på 35 °C. (ref. 6). Tørkene på El.16 har ingen duggpunktskontroll av tørket luft og regenereringsprosessen er kun tidsstyrt.

Til tørken hører også filtertilsatser både for inngående luft med olje/vannutskiller samt partikkelfilter for utgående luft til hovedluftbeholder.

4.4.4 Hovedluftbeholder

Luftakkumulator fra hvilken hovedledningen lades via førerbremseventilen. Hovedluftbeholderen på El.16 er på 800 l fordelt på 4 beholdere a 200 l. Beholderne lades fra kompressoren og holdes ved et trykk på mellom 8 og 10 bar med trykkstyrt start og stopp av kompressoren.

4.5 Hovedledning

Hovedledningen går fra førerventilen i loket gjennom hele toget til enden av bakerste vogn. Hovedledningen settes sammen hver gang et tog skiftes sammen ved at slangene i endene av vogner og lok kobles sammen med slangene i nabovognen og dermed lager en kontinuerlig forbindelse fra førerventilen til samtlige pneumatiske komponenter i bremsesystemet i hver vogn. De forskjellige komponenter i hovedledningen beskrives mer i detalj nedenfor.

4.5.1 Hovedledning – stålrør

Plassering:

Klamret til undersiden av vognens rammeverk.

Funksjon

Stålrør, ca 25–50 mm i diameter, sammenkoblet ved hjelp av skruekoblinger, iblant med sveiseskjøter. Fra hovedledningen føres mindre stålrør til veieventiler, styreventil, luftbeholdere etc. i hver vogn.

4.5.2 Hovedledning – kraner og koblingsslanger

I hver ende av hovedledningen på endene av vognen er montert avstengningskraner. Fra kranene er festet gummislanger til et koblingsstykke. Slangene fra to vogner/lok kobles sammen midt i mellom vognene ved hjelp av koblingsstykker.

Kranenes funksjon er å lukke og åpne hovedledningen ved sammenkobling og frakobling av vogner. I tillegg har kranene en avblåsning som gjør det mulig å avblåse trykket i koblingsslangene på en sikker måte før koblingen mellom vognene åpnes.

4.6 Utrustning på vogner

I figur 3.3 er vist bremseutrustningen på en vanlig to-akslet vogn.

4.6.1 Hjelpeluftbeholder

Plassering:

Festet til undersiden av vognens rammeverk.

Funksjon

Leverer den trykkluft som aktiverer stempelet i bremseylinderen. Hjelpeluftbeholderen lades fra hovedledningen gjennom styreventilen.

4.6.2 Styreventil

Plassering:

Festet til undersiden av vognens rammeverk

Funksjon

Styrer luftstrømmen fra hjelpeluftbeholderen til bremsesylinderen ved tilsetting av bremsene og utluftingen av bremsesylinderen ved løsing av bremsene. De styreventiler som brukes i dag muliggjør gradvis tilsetting og løsing av bremser, dvs. trykket i bremsesylinderen kan økes og minskes trinnvis mellom null og fullt bremsetrykk. Styreventilens funksjoner aktiveres ved å øke og minske trykket i hovedledningen.

I følge UIC 547 gjelder følgende følsomhetskrav til styreventiler på UIC-godkjent jernbanemateriell:

- Ved en trykksenking på inntil 0,3 bar over en periode på ett minutt skal ingen bremsevirkning innledes. (Prøvetid 5 min)
- Ved en trykksenking på 0,6 bar i løpet av 6 sekunder skal bremsevirkning innledes i løpet av 1,2 sekund.

Hva som skjer med trykksenkninger imellom disse to verdiene er derfor noe uspesifisert, men det er klart at hvis førerbremseventilen står i midtstilling under fart, og det er en viss lekkasje i toget, kan trykket i HL reduseres betydelig over en relativt kort periode uten at bremsene i toget går på.

4.6.3 Bremsesylinder

Plassering:

Festet til undersiden av vognens rammeverk.

Funksjon

Omsetter trykket fra luften levert fra hjelpeluftbeholderen til en kraft i et stempel som aktiverer bremsene.

4.6.4 Bremsegruppeomstiller

Plassering:

Omstilleren er festet under vognens rammeverk og er forbundet med en arm til omstillingskranen i styreventilen.

Funksjon

Brukes til å regulere tilsetningstiden til bremsene ved at forskjellige dyser kobles inn i luftstrømmen i ventilen. Disse dyser har forskjellig strypingsgrad.

Figur 3.3 Stang og bremsesystem på en to-akslet vogn

Kilde: NSB BA, trykk 705

4.6.5 Lastveksel

4.6.5.1 Manuell

Plassering:

Lastvekselen er festet under vognens rammeverk og er forbundet med en arm til enten en omstillingskran i styreventilen eller en mekanisk innretning som forandrer utvekslingsforholdet fra bremsesylinder til dragstenger/balanser.

Funksjon

Brukes til å regulere kraften i dragstengene i to trinn, lav kraft (for tom vogn) eller høy kraft (for lastet vogn). Mekanisk innretning.

4.6.5.2 Automatisk

Funksjon

Fungerer etter samme prinsipper som den manuelle lastvekselen, men veksler om automatisk mellom lav og høy kraft avhengig av vognens nedlasting. Lasten på en hjulaksling overføres mekanisk til en pneumatisk ventil som leverer ut luft under trykk når kraften på akslingen overstiger en gitt verdi. Denne trykkluften brukes til å aktivere den samme type innretning som i den manuelle lastvekselen.

4.6.5.3 Kontinuerlig lastbremseautomat

Plassering:

Lastbremseautomater er festet til undersiden av vognens rammeverk og er sammenkoblet med bremsesylinderen. Se tegning i figur 3.4.

Funksjon

For alle lastbremseautomater gjelder at regulering av bremsekraften skjer kontinuerlig som funksjon av aksellasten og ikke trinnvis. Det finnes ulike prinsipper og typer av lastbremseautomater som kort er beskrevet under.

4.6.5.4 Mekanisk avveiing/ mekanisk regulering

Funksjon

Lasten i opplagringen av en hjulaksling overføres mekanisk til en lastveksel-automat som gjennom direkte mekaniske overføringer regulerer utvekslingen i kraftoverføringen fra stempelet i bremsesylinderen til dragstengene. Se tegning i figur 3.4.

4.6.5.5 Pneumatisk avveiing/ mekanisk regulering

Funksjon

Lasten på en hjulaksling overføres mekanisk til en pneumatisk veiecelle som leverer trykkluft med et trykk som følger aksellasten. Dette trykk påvirker en mekanisk innretning som regulerer utvekslingen i kraftoverføringen fra stempelet i bremsesylinderen til dragstengene.

4.6.5.6 Pneumatisk lastbremseautomat

Funksjon

Lasten på en hjulaskling overføres mekanisk til en pneumatisk veiecelle som leverer trykkluft med et trykk som følger aksellasten. Dette trykk påvirker en innretning i styreventilen som regulerer luftrykket i bremsesylinderen.

4.6.6 Etterstiller (DRV)

Plassering:

Er en del av dragstangen som går fra stempelet i bremsesylinderen til balanser og overføringsarmer til bremseklossene.

Funksjon

Etterstilleren justerer automatisk lengden av dragstengene slik at slaglengden til bremsesylinderen holdes innenfor de foreskrevne toleranser. En slik justering er nødvendig da bytte av bremseklosser og slitasje av disse samt hjulslitasje gjør at posisjonen til bremsebommen forandres i forhold til bremsesylinderen. På de fleste norske godsvogner benyttes etterstiller av type DRV som er en hurtig dobbeltvirkende etterstiller som etterstiller for små og store klossklaringer til de fastsatte verdier. En for kort slaglengde registreres ved første tilsetting og forlenges ved andre tilsetting av bremsene hvis forholdene er de samme. Etterstilleren inngår i stangsystemet som en del av en dragstang. En skisse som viser en DRV etterstiller er vist i figur 3.5.

4.6.7 Dragstenger og balanser

Plassering:

Flytende opphengt under vognens ramme.

Funksjon

Overfører og fordeler kraften fra bremsesylinderen til bremseklossene. Under forutsetning av at

Figur 3.4 Mekanisk lastbremseapparat med henholdsvis løs og tilsatt brems

Kilde: NSB BA, trykk 705

Figur 3.5 Automatisk bremseetterstiller, type DRV

Kilde: NSB BA, trykk 705

systemet fungere etter hensikt vil trykket på samtlige klosser være tilnærmet likt.

4.6.8 Bremsebom

Plassering:

Henger under vognens rammeverk. Bremseklossene er festet til bremsebommen.

Funksjon

Holder bremseklossene i riktig posisjon og overfører kraften fra dragstengene til bremseklossene.

4.7 Feilmode- og effektanalyse

En grov feilmode- og effektanalyse er utført og dokumentert i appendiks A.

4.7.1 Feil og avvik som påvirker bremseevne for hele toget

Blant de komponenter eller enkelthendelser som kan ha svært sikkerhetskritiske konsekvenser ved at de kan påvirke hele togets bremseevne kan nevnes:

1. Blokkering av togets hovedledning:

Ved en blokkering av togets hovedledning vil bremsene i den bakenforliggende del av toget for-

bli funksjonsudyktige med mindre det gjøres arrangement for å kunne tilsette bremsene også fra togets bakre deler. Mulige årsaker til blokkering er:

- Fuktighet i hovedledning som kondenserer og danner isplugg ved fallende temperatur Scenariet impliserer feil på kompressorens tørkeutrustning, eller overføring av fuktighet fra andre aggregater gjennom innkoblede vogner i toget for kondensutfall fra atmosfærisk luft i hovedledningen er neppe nok til å lage stor nok vannansamling for å blokkere ledningen.
- Snø og is i fritthengende bremseslanger som ikke er hengt opp i sine blindkoblinger. Betydelige mengder løs snø er nødvendig for å lage tilstrekkelig isplugg, men isklumer som kommer inn eller snø som pakkes i slangen kan være mer kritisk.
- Delaminering av bremseslanger lager leppe med funksjon som tilbakeslagsventil
- Last som forskyver seg og faller mellom vognene lukker isoleringskran i hovedledningen på en av vognene nært lokomotivet.
- Sabotasje fra personer som lukker isoleringskran i en av vognene nært lokomotivet.

2. Hovedledning tømmes for trykkluft uten bremsetilsetting.

Vanlige krav til følsomhet og robusthet for styreventilen tilsier at ved en sakte trykksenking i hovedledningen vil denne tømmes uten at bremsene aktiveres og toget vil være uten bremsevne. Mulige årsaker til dette kan være:

- Lekkasje i hovedledningen og utilstrekkelig eller manglende ettermating gjennom førerbremseventil fordi denne er blokkert eller stilt i midtstilling (Det siste kan med dagens førerbremseventil ikke gjøres uten etter bevisst handling).
- Ettermatingen i førerbremseventilen såvidt for liten til å kompensere for lekkasje og trykket i HL synker noe, men stabil tilstand nås etter et visst trykkfall.

3. Klosser og stag pakkes med snø og is

Med fokksnø av ugunstig konsistens og uheldige temperaturskifter kan flere av vognens bremseutrustning pakkes med snø og is som hindrer bevegelse og reduserer friksjonen mellom kloss og hjul. Eller is og vannlag kan dannes på bremseskiver som forårsaker vannplaning og redusert friksjon mellom kloss og skive. Problemene forekommer hyppigst for skivebremsede tog, men snø og is kan også blokkere stenger eller redusere friksjonen for tog med vanlig støpejernsbremseklosser.

4. Redusert adhesjon på skinnene pga. løvfall eller lignende

Dette er hovedsakelig et sesongbestemt forhold under løvfallstiden hvor skinnene kan bli svært glatte og redusere effektiv bremseevne. Først og fremst er det et problem for persontog med høy avbremsing.

4.7.2 Enkeltvognsfeil

Langt de fleste feil eller avvik påvirker kun bremseevnen på en vogn, og blir derfor vesentlig mindre kritisk. Til gjengjeld er det langt flere av dem da de kan opptre på hver enkelt vogn, og det er derfor grunn til å tro at de opptrer langt hyppigere. Blant de mest typiske er:

- Dårlig smurte leddforbindelser i stangsystem
- Komponentfeil (veiecelle, lastveksel, etterstiller, klosser etc.)
- Overvekt på vogn
- Operatørfeil (avstengt brems uten angivelse i togoppgave, feil lastomstilling etc.)

Slike feil vil redusere togets bremseevne noe, og hvis man har systematiske feil, eller flere feil i samme tog kan reduksjonen bli betydelig. For å undersøke effekten av dette er det gjort en usikkerhetsanalyse på de ulike parametrene og hva det har av betydning for totalen.

4.7.3 Usikkerhetsanalyse

Funksjonen til flere av komponentene beskrevet i de foregående avsnitt kan variere og derved gi en viss variabilitet i den endelige bremseeffekt, f.eks. vil trykket i hovedledningen kunne variere fra den fremre enden av toget til bakerste vogn avhengig av hvor mye lekkasje det er i hovedledningen.

Appendiks A inneholder en systematisk gjennomgang av de faktorer en har funnet i denne undersøkelsen som kan påvirke togets bremseeffekt i den ene eller andre retning. Basert på antagelser om fordeling av de ulike parametre er det gjort beregninger av hvordan dette kan påvirke resulterende bremseevne. Beregningene er svært usikre, men viser at resulterende bremseevne kan bli vesentlig lavere enn spesifisert, samt at usikkerheten (variabiliteten) er større for tog med få vogner i forhold til tog med mange vogner.

5 Framføring av Godstog

5.1 Kvalifikasjoner og kompetanse

5.1.1 Lokomotivførers kvalifikasjoner og kompetanse

Lokomotivførerne går gjennom et opplæringsprogram som lokomotivføreraspiranter. Dette er en blanding av teoretisk utdanning og praktisk kjøreopplæring sammen med en kjørelærer. Ved nyansettelse i dag tar utdannelsen 16 mnd. fra ansettelse til man er autorisert som lokomotivfører. Tidligere tok opplæring og kvalifisering vesentlig lengre tid, og inneholdt en periode på flere år hvor man gikk i tjeneste som lokomotivførerassistent på godstog. I følge utsagn fra intervjuede lokomotivførere gav dette god mulighet for opplæring og praktisk kjøring med godstog.

I Oslo-området foregår dagens opplæring stort sett på lokaltogsett av Type 69. For å kunne kjøre andre typer tog må man ha typekurs for de ulike materielltyper. Dette kommer i tillegg til de ovennevnte 16 mnd.

Pensum i den teoretiske opplæringen legger stor vekt på togets bremse- og trykkluftsystemer med detaljert gjennomgang av en rekke styreventiler og førerbremseventiler. Lokomotivførerne anser dette som godt dekket i opplæringen. Utdanningen inneholder ingen spesialopplæring om hvordan man skal forholde seg ved helt eller delvis bremsesvikt eller spesialkompetanse for framføring av godstog med farlig gods.

Ved oppsett av tjenesteturer tilstrebes det, basert på personalets ønsker, mest mulig blandet tjeneste (dvs. blanding av lokaltog, IC-tog, fjerntog, godstog). Rendyrking av togslag for å få bedre spisskompetanse på kjøring av utvalgte togtyper ble av lokomotivførerne ikke vurdert som relevant.

5.1.2 Skiftekonduktører

Skiftekonduktørene assisterer som oftest lokomotivføreren ved bremseprøving. Forøvrig gjør skiftekonduktørene sporskiftertjeneste og skifteledertjeneste. Kvalifikasjonene til en skiftekonduktør er generelt noe mindre enn for en vognvisitør. Følgende krav gjelder ved nyansettelse:

- 9-årig grunnskole
- 6–12 mnd læretid i bedriften (for tjeneste som bremseprøver kreves eget kurs)

Også for skiftekonduktører har det vært liten nyrekruttering i de senere år slik at personalet generelt har lang erfaring.

5.2 Aktiviteter før togavgang

5.2.1 Lokomotivuttak m.m.

Ved uttak av lokomotiv testes SIFA-utrustning og ATC-utrustning samt lokomotivets førerbremseventiler for automatisk virkende brems og direktebrems i begge ender. Lokomotivfører observerer trykkfall på manometer og hører utblåsning ved løsing. På lok med klosser (for eksempel El.14) vil man gå ut og observere at klossene tilsetter. På lok med skivebremser (El.16, El.18) kan ikke dette observeres og det gjøres derfor ikke. Slitasje på bremseklosser sjekkes ved innsett.

De fleste godstog framføres i dag en-bemannede hvor lokomotivfører er alene i toget. Skiftekonduktør assistere ved tilkobling til togstamme samt ved etterfølgende utførelse av bremseprøve. I noen tilfeller er det vognvisitører som utfører bremseprøven, spesielt på tog mot kontinentet.

Personale fra NSB Gods har ansvar for framdriften i togets forberedelser for avgang, men lokomotivføreren har et klart ansvar for at en bremseprøve blir utført før togets avgang og har ikke lov å kjøre før det er utført.

5.2.2 Utførelse av bremseprøve

Kvaliteten på utførelsen av bremseprøven er NSB Gods og bremseprøvers ansvar.

Lading av hovedledningen hvis denne er tømt tar vanligvis ca. 5–10 min. De ulike steg i en fullstendig bremseprøve er:

- Fylling av hovedledning til 5,0 bar og tetthetstesting av hovedledning.
- Refylling og tilsetting av bremser med 0,6 bar trykksenking i hovedledningen.

Tilsetting av bremsene på hver vogn sjekkes visuelt på bremsesylinder og/eller med spark eller slag på klossene.

Førerbremseventilen settes i fartsstilling (løsing) og bremseprøver kontrollerer at bremsene på alle vogner med virksom trykkluftbremse løser ut.

Det vil som oftest være bremseprøver som bestemmer hvilken type bremseprøve som gjøres avhengig av om toget vurderes som et nytt tog, eller om det kun er lokbytte på en tidligere framført og sammenkoblet togstamme. Hvis lokomotivføreren krever fullstendig bremseprøve vil ingen protestere mot det.

Gjennomslagsprøve utføres ved lokbytte eller ved inntak av vogner i tog. De nye vognene skal ha full bremseprøve.

Normalt vil det være en skiftekonduktør som assisterer lokomotivfører med utførelse av bremseprøven, men såfremt sporet er tilstrekkelig plant kan lokomotivfører også gjennomføre den alene. Det gjøres for eksempel ved henting av tomme flybrenselvogner på Gardermoen.

Kvalifikasjonsbevis for bremseprøvere eksisterer ikke som for de andre yrkesgrupper innen NSB, og lokomotivføreren har ingen mulighet for å sjekke at bremseprøveren er kvalifisert.

En fullstendig bremseprøve tar ca. 20–30 minutter avhengig av toglengde. Lokførerne uttrykte seg generelt fornøyd med dagens rutiner for bremseprøving.

5.2.3 Vognopptak og togdata

Før togavgang mottar lokomotivfører vognopptak for toget som inneholder data over togets lengde (inkl. lok), brutto togvekt, bremset vekt, bremseprosent, største hastighet, opplysninger om eventuelt farlig gods i toget.

NSB Gods er ansvarlig for at disse data er korrekt, og lokomotivføreren vil rutinemessig ikke etterprøve disse data da han ikke har mulighet for det, med unntak for største hastighet pga. aksellast som han kan sjekke fra vognopptaket. Det gjøres nok i en viss utstrekning.

NSB Gods er ansvarlig for å oppdatere togdata (bremseprosent etc) hvis deler av toget skal settes ut underveis eller nye vogner tas inn. Hvis vogner settes ut eller bremser kobles ut på initiativ fra lokomotivfører må han selv sørge for oppdatering av togdata.

5.2.4 Pålitelighet av togdata

De oppgitte bremseprosenter vurderes av lokomotivførerne å være upålitelige. Erfaringene er at et tog med høy bremseprosent kan bremse dårligere enn et tog med vesentlig lavere bremseprosent. Erfaringer vi har gjort fra målinger av retardasjon på en del godstog støtter lokomotivfører i denne vurderingen.

Togvektene kan ofte avvike fra oppgitt togvekt spesielt for tog med flis og tømmer, men forholdene vurderes å ha blitt bedre i det siste. Såframt toget ikke har problemer med framkommeligheten har lokomotivfører liten mulighet for å sjekke togvekt annet enn ved avlesing av strømforbruk ved konstant hastighet i stigning.

5.2.5 ATC-innmating

Relevante togdata som toglengde, bremseprosent og største hastighet mates inn i ATC-systemet. Som største hastighet hender det at man mater inn 10 km/h høyere enn den største hastighet som er oppgitt i vognopptak av følgende grunner:

- Unngå ATC-oppbremsing ved sliring under dårlige adhesjonsforhold
- Unngå problemer pga. avvikende kalibrering på hastighetsindikator og Teloc (ATC-systemets hastighetsmåler)
- Mer praktisk og økonomisk framføring ved kupert bane ved at man unngår å måtte bremse i lavbrekk kun fordi man går over tillatt hastighet med noen få km.

Det ble presisert at denne praksis ikke betyr at man generelt kjører for fort.

Lokomotivets hastighetsindikator vurderes å ha en nøyaktighet på +/– 5 %.

5.2.6 Bremsegruppe for lokomotiv

Det står i JBVs trafikksikkerhetsbestemmelser at lokomotiv i godstog skal framføres i bremsegruppe G. I følge lokomotivførerne skjer dette relativt sjelden og de ser ikke poenget med dette all den tid de fleste trekkraftaggregater har elektrisk brems som man oppfordres til å bruke. I hovedsak ble det kjørt i bremsegruppe P, hvis ikke lokomotivet sto i bremsegruppe G ved uttak/overtakelse.

Dette synes å være en fornuftig vurdering av lokomotivførerne. Jernbanverkets generelle regel, uten begrensninger, om at lokomotiv i godstog skal gå i bremsegruppe G synes lite formålstjenlig og kan for et godstog med liten togvekt og stor tillatt framføringshastighet (100 km/h) svekke togets bremser vesentlig. Derimot kan bremsegruppe G for lokomotivet være et fornuftig valg for et langt tog med lav bremseprosent eller ujevn fordeling av bremsene.

5.3 Framføring og bremsing

5.3.1 Prøvebremsing

Ifølge lokomotivførerne i intervjuet utføres prøvebremsing etter avgang fra utgangsstasjon og før kraftige fall, og ansees viktig for å få følelse med togets bremser. Aktuelle prøvebremsestrekninger etter avgang fra skiftestasjoner, andre avgangsstasjoner eller kraftige fall er ikke skiltet, og det er ikke lagt opp til hjelpemidler for å bedømme resultatet av prøvebremsingen. Det siste ble også av

lokomotivførerne vurdert som vanskelig å gjennomføre.

Holdningen til lokomotivførerne var generelt at bremsene må prøves og hastigheten avpasses skjønnsmessig i forhold til generelle erfaringer og følelsen for togets bremser.

Hvor man går rett ut i fall fra en stasjon kan det være vanskelig å finne egnet sted for prøvebremsing. (for eksempel Dombås ved avgang sydover.) Ved avgang fra Alnabru mot Loenga og Oslo S kan man prøve bremsene før Bryn stasjon.

5.3.2 Kjøretider

Den oppsatte rutemessig kjøretid for godstog ble ansett realistisk i forhold til de hastighetsbegrensninger som gjelder for tog og bane, men det kan være vanskelig å ta inn forsinkelser hvis man er forsinket i avgang fra utgangsstasjonen. Kjøring av godstog ble ansett mindre stressende enn kjøring av persontog. Eksempelvis færre stopp og lite stress med korrekt avbremsing for å treffe plattform m.m.

5.3.3 Signalavstander m.m.

Forsignalavstandene kan være knappe og man begynner om nødvendig nedbremsing med det samme man ser et restriktivt forsignal før signalet passeres. Spesielt ved vanskelig føreforhold er dette viktig. Andre problemer er:

- Hovedsignaler flyttes uten at tilhørende avstandsmarkeringsstolper flyttes tilsvarende
- Manglende vegetasjonskontroll har i løpet av sommeren innskrenket siktavstand og sikttid for enkelte signaler slik at de kun oppdages like før passering (for eksempel Sagdalen Bp)

På spørsmål ble det kontant benektet at framføringen enkelte ganger kan påvirkes av hvordan man forventer at signaler skal reagere når man nærmer seg dem. Derimot ble sagt at man kunne gjøre feilslutninger i forhold til signalbilder som vises. (Tenke enkeltspor når man kjører dobbeltspor etc.)

5.3.4 Bremsetabeller og kjørehastighet i fall

Dagens system med omfattende bremsetabeller som angir hvor fort man har lov å kjøre i ulike fall med en gitt bremseprosent fungerer dårlig. Tabellene, hvor en enkelt tabell har over 500 tall, konsulteres sjelden eller aldri av lokomotivførerne og tabellene has i liten grad lett tilgjengelig i førerhuset.

Tabellene er for vanskelige å slå opp i både før avgang og underveis når man kommer til et angitt fall. Bare de færreste husker stignings- og fallforhold langs hele strekningen de skal kjøre. En omredigering som kan gjøre tabellene mer brukervennlig er å sette bremseprosent langs x-aksen. Aksene har da kjente parametre og tillatt hastighet finnes ved å følge respektive kolonne i tabellen til rekke med aktuell stigningsverdi.

Lokomotivførerne anbefaler at systemet forandres tilsvarende det svensk systemet med strekningsvis angivelse i «Linjebok». I tillegg vurderes sammenhengen mellom oppgitte bremseprosenter og togets bremseevne å være såpass dårlig at det er bedre å avpasse hastigheten skjønnsmessig i forhold til generelle erfaringer og følelsen for togets bremser.

Lokomotivpersonalet er ikke kjent med hvilke marginer som ligger inne i de tillatte hastigheter ved ulike bremseprosenter og fall.

5.3.5 ATC-test av bremseprosent

ATC-utrustningen som er installert på alle toglok som brukes for framføring av godstog har en funksjon (ATC-Retardasjonskontroll) som gjør det mulig å etterprøve togets bremseprosent. Så lenge banen ikke er utrustet med full ATC-utrustning (FATC) må testen gjøres på tilnærmet horisontalt spor for å få riktig avlesning.

Ut fra utsagn fra de intervjuede lokomotivførere brukes funksjonen ATC-Retardasjonskontroll i liten grad i Norge for å bestemme togs bremseprosent. De fleste lokførerne kjenner den ikke, eller er ikke opplært i hvordan den utføres. De intervjuede lokomotivførerne gav inntrykk av at denne funksjonen ble benyttet mer aktivt i Sverige, og er kjent av lokomotivførere som kjører til Sverige.

Det Norske Veritas går ut fra at hvis JBV installerer baliser med fallinformasjon i sporet på utvalgte prøvebremsestrekninger etter de viktigste avgangsstasjoner for godstog, samt NSB gir opplæring til personalet, bør denne funksjonen også kunne benyttes i langt større utstrekning i Norge.

5.3.6 Innflytelse av vinterforhold

De intervjuede lokomotivførerne mente at godstogs bremseegenskaper er lite påvirket av vær- og føreforhold. Det er ofte mye større problemer med skivebremsede persontog. Problemer med bremsesvikt på grunn av fykesnø og skivebremser på El.16 i godstogframføring var ukjent.

Det vanligste problem med godstogbremser under vinterforhold er lekkasje og trykkfall i hovedledningen på grunn av lave temperaturer, samt problemer med å løse bremsene.

Det er grunn til å moderere disse utsagn noe i forhold til de råd som er gitt i Dok G-60–8 (3) vedrørende vinter- og bremseproblemer hvor det under pkt 5.8 står:

> «Nedbremsingen påbegynnes alltid kraftig og tidlig når det er fare for at det kan være snø og is mellom bremseklosser og hjul. Ved løssnø langs eller i sporet som kan virvle opp rundt hjul og bremsestell, skal det bremses så ofte som mulig for å rense bremsestell og klosser for snø og is».

5.3.7 Nødbremsing med El 16

Ved bremsing med togbremse på El 16 er det normalt lavavbremsing i bremsesylinderne på lokomotivet (170 kPa) ned til hastigheter på omkring 50–60 km/h. Dette gjelder også ved fullbrems og nødbrems. Ved nødbremsing i dette hastighetsområdet vil bruk av lokomotivets direktebrems øke lokomotivets avbremsing, men dette skjer da uten funksjonelt glidevern og fare for å låse hjulene hvis adhesjonen er dårlig.

De intervjuede lokomotivførerne var i liten grad kjent med dette forholdet, men antok at de i en krisesituasjon antagelig likevel ville prøvd å bruke direktebremsen på lokomotivet.

Det ville være en fordel om lokomotivførerne var bedre kjent med dette forhold, samt gitt råd om når det kan være fornuftig å benytte direktebremsen på El.16 som supplement til togbremsen.

5.4 Avvikssituasjoner

Lokomotivførerne avkreftet kategorisk at det ofte var problemer med godstogbremser. Følgende avvik som kan forekomme ble nevnt:

- Tynne klosser
- Sprukne klosser
- Tjuvbremsing
- Lekkasje i styreventil eller bremsesylinder og avstenging av bremser på vogn.

6 Ettersyn og vedlikeholdsrutiner

6.1 Organisering

NSB BA som trafikkoperatør på det norske jernbanenettet er delt i ulike forretningsenheter hvorav NSB Gods har ansvar for godstrafikken, samt eieransvar for godsvogner og godstoglokomotiver. Dette innebærer at NSB Gods har teknisk og organisasjonsmessig ansvar for godsvognvedlikeholdet.

I tillegg står NSB Gods som organisasjonsmessig ansvarlig for lokomotivverkstedet på Grorud, mens servicefunksjonen Drift og Teknikk har det faglige ansvar for lokomotivvedlikeholdet, dvs. fastsetter vedlikeholdsintervaller og sjekklister for vedlikehold.

NSBs Bremsekontor har ansvaret for tekniske krav til bremseutrustning og vedlikehold av denne.

6.2 Vognparkens alderssammensetning og vedlikeholdsbehov

Før vi går inn på vedlikeholds- og ettersynsrutinene kan det være fornuftig å se litt på godsvognparkens alderssammensetning.

Godsvogner for jernbanetrafikk har generelt en høy levetid og det samme gjelder NSBs godsvogner. Det har heller ikke har vært mye nyanskaffelse av godsvogner i de senere år, men en stor del av de eldste vognene er utrangert.

I perioden 1994 til 1998 er NSBs godsvognpark redusert fra 4502 enheter i 1994 til 2974 enheter i 1998. Dette tilsvarer en reduksjon på ca. 35 %.

Av den totale operative NSB-eide godsvognparken per utgangen av 1998 var aldersfordelingen som følger (ref. 7):

19 år eller eldre	59 %
9–18 år:	35 %
Yngre enn 9 år:	6 %

I perioden 1994–98 har NSBs godstransportarbeid, eksklusiv malmtrafikk på Ofotbanen, holdt seg relativ konstant, eller vist en svært beskjeden nedgang. Dette betyr at man i dag har et vesentlig større kilometerløp og transportarbeid på en gammel vognpark enn man hadde for 5 år siden.

Vi har ingen indikasjoner på at NSBs relativt gamle godsvognpark ikke er tilfredsstillende vedlikeholdt, men generelt forventer man et økende vedlikeholdsbehov med økende alder for tekniske innretninger. Et effektivt vedlikehold vil være med på å opprettholde tilstanden og funksjonalitet samt forhindre økende feilrate. Men når økende alder kombineres med økende utnyttelsesgrad er det viktig med effektiv tilstandsovervåkning og etterprøving av effektiviteten i det vedlikeholdsarbeidet som gjøres.

6.3 Tilsyn og vedlikehold av godsvogner hos NSB

6.3.1 Generelt

Vedlikeholdssystem for godsvogner og deres bremseutrustning er spesifisert i NSBs Styringsdokument G-71 (ref. 4), og er oppbygd av følgende aktiviteter:

- *Bremseprøve før avgang:* Utføres av skiftekonduktør og inkluderer funksjonstest av bremse.
- *Ankomstkontroll:* Utføres av vognvisitør ved ankomst av fjerngodstog til Alnabru og omfatter visuell kontroll av teknisk løpeverk.
- *Periodisk ettersyn:* Utføres etter 26 uker (+/– 4 uker) og omfatter en kontroll i henhold til sjekkliste i NSB Gods sitt styringssystem (Dok.) Ettersynet kan gjøres på driftsspor og er ikke avhengig av verkstedbesøk.
- *Årlig ettersyn:* I 1996 tok NSB Gods i bruk et nytt vedlikeholds- og tilsynssystem for godsvogner hvor vogner som forfalt til hovedrevisjon ble overført til et nytt system med årlig ettersyn i NSB gods sine egne verksteder bemannet med en kombinasjon av vognisitører og verkstedarbeidere. Mange godsvogner er enda ikke tatt inn i det nye vedlikeholdssystemet. Nylig er det vedtatt at alle resterende vogner skal inn i det nye systemet i løpet av 2 år.
- *R1: 300 000 km tilsyn* (350 000 km for noen vogntyper)
- *R2: Hovedrevisjon:* Ble utført hvert 12. år men er nå erstattet av årlig ettersyn (ÅE). Tidligere påmalte revisjonsdatoer gjelder for vogner som ikke er forfalt for overgang til årlig tilsyn.

6.3.2 Bremseprøve ved avgang

Fullstendig bremseprøve utføres på alle godstog før avgang fra utgangsstasjonen og ved lengre opphold underveis. Gjennomslagsprøve gjøres når hovedledningen brytes, eller det skjer vesentlige endringer i togets sammensetning. Bremseprøve gjøres normalt av skiftekonduktør. Se forøvrig 3.2.3.5 og 3.3.1.2.

I forbindelse med en fullstendig bremseprøve gjøres også en visitasjon av toget hvor det i tillegg til bremsene sees på sikring av last m.m. Følgende skal sjekkes når det gjelder bremsesystemet:

- Håndbremser er løse,
- Lekkasjer i trykkluftsystem (evt. lekkasjer utbedres),
- Koplingsslanger er riktig koplet og tilhørende koplingskraner er helt åpne, samt at ikke benyttede koplingsslanger er forsvarlig opphengt og avstengt,
- Bremsegruppestilleren står i riktig stilling,
- Bremsen (styreventilen) er innkoplet med mindre vogna av en eller annen grunn skal gå med avstengt bremse,
- Bremseklosser er i forskriftsmessig stand,
- Lastvekselstillere står i korrekt stilling,
- Tetthetsprøving av hovedledning,
- Kontroll av at bremsene tilsetter på alle vogner med aktiv trykkluftbrems når trykket i hovedledningen senkes med 0,5 bar,
- Kontroll av at alle bremsene i toget er løse når hovedledningstrykket økes til 5 bar,
- Resultatet av bremseprøven meddeles lokomotivføreren.

Lokomotivets bremser prøves ikke ved bremseprøve av toget, dvs. undersøkes ikke av bremseprøveren. Dette er lokomotivførers ansvar og inngår i hans sjekkliste ved uttak av lokomotiv.

6.3.3 Ankomstkontroll

Kontrollen utføres på ankommende tog. Grensen for løpslengden er 2000 km etter siste kontroll. Kontrollen utføres alltid på ankommende fjerngodstog med endestasjon Alnabru. Ankomstkontroll skal også utføres ved overtagelse av godsvogner fra annen forvaltning/operatør som bestemt av avtale mellom overleverende og mottakende bane, og i spesielle tilfeller av transittbane.

Kontrollen omfatter vognenes løpsdyktighet og lastens plassering, sikring/nedbinding og tildekking. Ved kontroll skal personalet gå langs hele toget og nøye undersøke hver vogn. For å høre eventuelle hjulslag skal personalet foreta ankomstkontroll ved togets innkjøring. Ankomstkontrollen er i liten grad en kontroll av bremser.

Materiellansvarlig skal ved hver ruteendring sette opp en liste over hvilke tog som skal gis ankomstkontroll og hvor kontrollen skal utføres.

6.3.4 Periodisk kontroll (PE)

Periodisk kontroll utføres etter 26 uker (+/–4 uker) av vognvisitører og omfatter en kontroll i henhold til navngitte kontrollpunkter i NSB Gods sitt styringssystem Dok. G-71 (ref. 4). Ettersynet kan gjøres på driftsspor mens vognen er i trafikk og er ikke avhengig av verkstedbesøk. For spesialvogner kan det være behov for å ta vognen over grav og under vinterforhold kan det være behov for avising innendørs for å komme til kontrollpunkter. Periodisk kontroll tas også på innleide vogner etter nærmere oppsett av Materiell i NSB Gods.

Ansvar for gjennomføring av PE ligger til den leder som ifølge stillingsbeskrivelsen har ansvaret for å gjennomføre kontrollen, samt de ledere som har ansvar for vedlikeholdet. Av lokal stillingsbeskrivelse, arbeidsbeskrivelse eller tilsvarende skal det med henvisning til Dokument G-71, framgå hvor og av hvem denne kontrollen skal utføres.

Utført PE angis ved å fylle ut bl. nr. 001.571.16 der det skrives år og uke for neste PE. Blanketten kvitteres og settes i ukelappholder på vogna med neste ukeforfall synlig. Ytterligere dokumentasjon av periodisk kontroll gjøres ikke.

Følgende deler av bremsesystemet kontrolleres ved periodisk kontroll:
- Skrubremse m. spindel
- Bremseklosser, oppheng, klossklaring
- Bremsestangsystem, lastveksel
- Bremseetterstiller
- Omstillingsanordning

Skrubremse og omstillingsanordning utprøves og smøres ved behov. For de resterende komponenter gjøres kun en ytre visuell kontroll og komponentene funksjonstestes ikke.

6.3.5 Bytte av bremseklosser

Bremseklosser for tradisjonelle klossbremsede tog er av støpejern og minst to klosser på hvert hjul. Bremseklosser er forbruksvare på klossbremsede tog og de må byttes/suppleres når gjenværende tykkelse blir for liten. Bytte skjer på regelmessig basis og hyppigheten avhenger av slitasjen på den enkelte godsvogn som igjen er avhengig av km-løp og utnyttelsen av vognens lasteevne.

Nye bremseklosser har rust på sliteflaten, og sliteflaten er ikke tilpasset hjulets diameter. Begge disse forhold vil begrense friksjonskoeffisienten mellom kloss og hjul. Nye klosser må derfor slites inn gjennom noen nedbremsinger før de gir full bremseeffekt.

En betydelig reduksjon i togets bremseeffekt kan oppstå hvis flere vogner i et tog har helt nye bremseklosser.

6.3.6 Årlig ettersyn (ÅE)

I 1996 tok NSB Gods i bruk et nytt vedlikeholds- og tilsynssystem for godsvogner hvor vogner som forfalt til hovedrevisjon ble overført til et nytt system med årlig ettersyn (ÅE). Dette utføres i NSB gods sine egne verksteder bemannet med en kombinasjon av vognvisitører og verkstedarbeidere. Årlig ettersyn erstatter tidligere revisjoner. Det årlige ettersyn gjøres på enklere verksted og normalt over grav. Det er utarbeidet sjekkliste med rettleiing for ÅE. I forbindelse med ettersynet fylles sjekklisten ut og kvitteres av den som har utført ettersynet samt kontrollør. Etter ferdig tilsyn males ny tilsynsfrist på vognen og sjekklisten arkiveres.

Vedrørende bremser og trykkluftutstyr er følgende komponenter nevnt i sjekklisten:
1. Balanser, stenger og bolter
   a) Bolter/foringer og splittpinner kontrolleres
   b) Sikring bremsebom m/befestigelse kontrolleres
2. Trykkluftanlegg kontrolleres og testes i samsvar med Trykk 742.1 del 6 side 3
3. Sjekk av revisjonsfrister på styreventiler og andre bremsekomponenter og utskifting av komponenter hvis gjenværende tid < 1 år
4. Smøring av bremsesylinder hvert 6. år
5. Bremseprøve i henhold til Trykk 742.1 pkt. 6.08.

Både sjekklisten og den tilhørende rettleiing i Styringsdokument G-71 (ref. 4) er lite spesifikke når det gjelder ettersyn av bremser. Riktignok henvises det til punkter i tidligere Trykk 742.1 (ref. 10) som også er inntatt i ovennevnte styringsdokument, men den spesifikke referanse synes delvis feil og det synes noe uklart hvor stor del av Trykk 742.1 som gjelder.

Under ÅE gjennomgår trykkluftsystemet i hver vogn en test i et spesielt trykkluft prøve- og diagnoseapparat for bremsesystem. Der sjekkes at hovedledning, styreventiler og andre trykkluftkomponenter på vognen ikke har lekkasjer eller andre funksjonsfeil. Apparatet er programmert med et spesielt testprogram for ulike vogner og hver sekvens må sjekkes ut med akseptable verdier før man kan gå videre. Etter test gir apparatet en utskrift med aktuelle verdier på ulike parametre

Det Norske Veritas fikk systemet demonstrert i forbindelse med besøk på vognverkstedet på Alnabru. Dette synes å fungere godt, men vognen er inne til ÅE i tom tilstand og feil ved veieventil og pneumatisk lastvekselautomat vil kun i begrenset grad kunne oppdages. Ved årlig ettersyn sjekkes kun bremsenes trykkluftsystem. Klosstrykket som oppnås ved fullbrems blir ikke målt som ledd i ÅE, og heller ikke ved andre rutineettersyn.

Ved selvsyn på vogn inne til ÅE kunne observeres at ledd i mekanikken var tørre (ikke smurt). Det var ikke mulig å få full klarhet i om leddene smøres regelmessig eller ikke. Inntrykket er at de mesteparten av levetiden går tørre. Dette øker friksjonen i aktivering av bremsesystemet og reduse-

rer vognens bremseevne. Ifølge opplysninger vi fikk fra NSB Gods kan reduksjonen være opptil 20–30 %.

Mange godsvogner hos NSB er enda ikke tatt inn i det nye vedlikeholdssystemet. Nylig er det vedtatt at alle resterende vogner skal inn i det nye systemet i løpet av 2 år.

6.3.7 Revisjoner

Godsvogner har tidligere vært underlagt to revisjoner R1 (hver 300 000 km) og R2 hvert 12 år. Disse er nå erstattet av årlig ettersyn (ÅE), men fortsatt løper en hel del vogner i trafikk basert på tidligere utført R1 og R2 inntil nytt revisjonsforfall. NSB Gods har nylig vedtatt og påskynde overgangen til ÅE, og det er planen at gjenværende vogner skal over på ÅE i løpet av 2 år.

6.4 Lokomotivvedlikehold

Ved uttak av lokomotiv finnes sjekklister for sikkerhetskritiske funksjoner som skal funksjonstestes som del i lokomotivførerens uttaksrutiner. Sjekk av slitasjekomponenter som for eksempel bremseklosser gjøres ved innsetting av lokomotiv som har vært i trafikk slik at driftspausen i størst mulig grad kan benyttes til vedlikehold og feilretting.

Forøvrig er ettersyns- og vedlikeholdssystemet for lokomotiver og deres bremsesystem basert på terminettersyn T og revisjoner R. For El.16 er det 5 ulike terminettersyn T1-T5 som forfaller til utførelse basert på lokomotivets kilometerløp. Kmløpene for de ulike terminettersynene er slik at intervallene for et høyere nummerert terminettersyn alltid er et helt multiplum av km-løpet for T1 slik at sjekkpunkter for et lavere nummerert terminettersyn alltid er inkludert i et høyere (dvs. T2 inneholder alle sjekkpunkter i T1 pluss noe tillegg osv.). For hvert type terminettersyn er utarbeidet en sjekkliste på hva som skal gjøres og hvor det skal kvitteres for utførelsen av hvert enkelt punkt.

Kontroll av bremse og trykkluftutstyr, inkludert tapping av kondensvann, inngår i alle terminettersyn. Ved T4 og T5 byttes tørkemiddel i lufttørkeanlegget.

I tillegg til terminettersyn er det revisjoner hver 1,5 mill km eller maksimum hvert 8. år. Ved alle revisjonene gjøres også fullstendig bremserevisjon som innbefatter åpning og innvendig kontroll av alt trykkluftutstyr. Bremseutrustning i lokomotivet undergår derfor hyppigere ettersyn enn bremseutrustning i vogner.

6.5 Komponentvedlikehold hos NSB

6.5.1 Revisjonsintervaller

Følgende revisjonsintervaller gjelder for bremsekomponenter i godsvogner:
- Styreventiler: 16 år
- Veieventiler: 6 år
- Bremsesylindre: 12 år (smøres etter 6 år)
- Lastomstillere og lastvekselautomater og lastbremseautomater: 12 år
- Bremseetterstillere: 12 år

Det er ingen spesielle intervaller for komponenter i vogner for transport av farlig gods.

Revisjon av ovennevnte bremsekomponenter unntatt smøring av bremsesylindre skjer i eget komponentverksted ved at komponenten tas ut av vognen og erstattes med en nyrevidert komponent av samme type, mens den forfalte komponenten oversendes verkstedet.

Ingen funksjonstester eller registreringer over feilårsaker gjøres av komponenter som tas ut av vognene ved revisjonsforfall, og det gjøres heller ingen funksjonstest av komponentene som kommer inn til revisjon før de blir revidert. Det foreligger derfor ingen statistikk over påliteligheten til disse komponentene med dagens ettersynsrutiner.

6.5.2 Revisjonspraksis

Ved besøk på Verkstedet Grorud ble representanter fra Det Norske Veritas gitt en demonstrasjon av hvordan bremsekomponenter ble åpnet og vedlikeholdt under vanlige revisjoner. Demonstrasjonskomponentene var ifølge opplysninger tilfeldig valgt. Hele revisjonsforløpet for alle komponenter ble ikke fulgt, men demonstrasjonen ble fulgt av en fyldig forklaring på arbeidet.

Blant komponentene som ble demonstrert var:
- En KE-styreventil siste gang revidert for ca. 15 år siden
- En veieventil med ukjent revisjonstid ble åpnet
- En lastbremseautomat med bremsesylinder, siste gangs revidert for ca. 15 år siden, ble åpnet i DNV's nærvær.
- En etterstiller av type DRV revidert sist gang for ca. 4 år siden ble åpnet.

Komponentene som ble åpnet var hentet fra lager for komponenter som var forfalt for revisjon og forutsettes å være representative eksempler på komponenter som kommer inn for overhaling. Ved åpning av komponentene ble følgende ble observert:

Samtlige åpnede komponenter unntagen veieventilen ble funnet å være i god orden innvendig, dvs. det var lite med rust, forurensing, vann etc. Pakninger var slitt, men ble bedømt å være funksjonsdyktige fortsatt.

Styreventil: Det er mulig å montere feil type styreventil på en vogn. Festet er likt for alle ventiler slik at de kan forveksles.

Membraner på den åpnede styreventilen så fortsatt ut til å være hele og uten nevneverdig slitasje.

Etter vedlikehold blir samtlige styreventiler prøvet i et dedikert apparat mhp tider for tilsetting og løsning og maksimalt bremsetrykk. Toleransen til maksimalt bremsetrykk er +/– 0,1 bar.

Veieventil: I veieventilen var stålstempelet slitt. Membranen var sprukket og slitt og det var tvilsomt om membranen fortsatt var lufttett. Metalldeler, sannsynligvis fra en brukken spennring, ble funnet. Det ble kommentert at veieventiler ofte har stor slitasje og det kan være tvil om funksjonsdyktigheten til endel av de som kommer inn for revisjon. Veieventiler funksjonsprøves etter revisjon.

Lastbremseautomat med bremsesylinder: Det var noen slitasje på metalldeler i lastbremseautomaten. Denne slitasjen ville føre til at automaten gir noe lavere bremsevirkning på vognen enn virkelig last.

Stivheten til fjærene i bremsesylindere blir aldri kontrollert ved prøving eller på noen annen måte, men fjærstivheten må forutsettes å være relativt konstant og uten for stor variasjon.

Etter vedlikehold blir lastbremseautomater justert i henhold til fabrikantens anvisninger. Automatene blir ikke prøvet slik at en kan bestemme om de gir riktig kraftutveksling fra sylinderen for en gitt vognvekt.

Bremseetterstillere: Bremseetterstillere ble skrudd fra hverandre, komponentene undersøkt for slitasje og slitasjedeler byttet. Såvidt vi forsto ble etterstillere ikke funksjonsprøvet etter revisjon, men det er kanskje ikke mulig å sette den samme på en feil måte. Uansett vil funksjonsfeil på en etterstiller oppdages ved bremseprøving.

6.6 Kvalifikasjoner og kompetanse av personell

Vognvisitører

Vognvisitørene er den sentrale personellressurs i NSB Gods sitt rutinemessige tilsyn og vedlikehold av godsvogner. De krav som NSB Gods setter til basisutdanning og læretid ved nyansettelse av vognvisitører i dag er:

- Videregående yrkesfaglig skole med mekanisk linjevalg
- 2 år læretid som gir rett til fagbrev som togmekaniker

I de senere år har det vært relativt lite nyrekruttering til vognvisitørtjenesten i NSB slik at dagens personale ikke nødvendigvis tilfredsstiller ovennevnte krav, men de har i tillegg lang erfaring.

Skiftekonduktører

For spesifikasjon av kvalifikasjoner og kompetanse til skiftekonduktører vises til pkt 5.1.2.

6.7 Kommentarer til NSB sine rutiner for ettersyn og vedlikehold av bremse

Basert på møter med NSB Gods og verkstedbesøk vedrørende vedlikehold av godsvogner og deres komponenter kan følgende kommentarer gjøres:

- Spesifikasjonene for det arbeid som skal gjøres med bremseutrustningen ved Årlig Ettersyn er noe knapp og uklar. Sjekklisten bør forbedres ved at punkter detaljeres og utdypes samt at relevante punkter i 742.1 tas inn i sjekklisten for ÅE.
- I forbindelse med Årlig Ettersyn (ÅE) av godsvogner gjør NSB en god diagnose av vognens trykkluftsystem ved hjelp av en dedikert og selvkontrollerende prøveutrustning.
- Det er uheldig at rengjøring og smøring av leddforbindelser i stangsystemene, hverken for mekaniske utveiingsinnretninger eller for bremsekraftoverføring, ikke inngår i ÅE.
- Ved ÅE gjøres ingen klosstrykkmålinger som kan gi grunnlag for å vurdere om oppgitt bremseeffekt virkelig oppnås. Dette bør gjøres for både tom og lastet vogn, og dette kan være vanskelig å få til i forbindelse med ÅE. Det er dog en stor svakhet ved NSB Gods sitt vedlikeholdsprogram for godsvogner at det aldri rutinemessig gjennomføres klosstrykkmålinger, hverken for tomme eller lastede vogner.
- For bremsekomponenter som tas ut av vognen pga. utgått revisjonsintervall (styreventiler, veieventiler, bremseetterstillere, lastveksel- og lastbremseautomater med bremsesylinder) gjøres ingen funksjonstest, men komponenten går rett på lager for eventuell senere revisjon. Derved skjer det ingen erfaringstilbakeføring med hensyn til godhet av de revisjonsintervaller som praktiseres.
- Spesielt bekymringsfullt er dette da revisjonsintervaller er blitt utvidet med 4 år med økende

kilometerløp på de enkelte vogner uten systematisk etterprøving av tilstand på komponenter som tas ut.
- Bremseetterstillere og lastveksel- og lastbremseautomater funksjonstestes ikke etter overhaling/revisjon.

7 Ettersyn og vedlikeholdsrutiner for gassvogner

7.1 VTG-Lehnkering

VTG-Lehnkering AG er et tysk selskap innen transport- og logistikkbransjen som blant annet driver med utleie av tankvogner. Selskapet har en omsetning på DEM 1,7 milliarder (NOK 7 milliarder) og har 3400 ansatte i følge selskapets hjemmesider på internett. VTG-Lehnkering tilbyr for utleie 18 500 godsvogner, hovedsakelig tankvogner. For transport av kondenserte gasser under trykk, dvs. propan, LPG etc. tilbyr selskapet 4100 tankvogner.

VTG-Lehnkering er representert med flere kontorer i Tyskland, Østerrike, Italia, Sveits, Belgia og Nederland. Agent for VTG-Lehnkering i Norge og Sverige er Nordic Transport Rail (NTR) i Trelleborg.

De fleste av VTGs tankvogner leies ut på langtidskontrakter til olje- og kjemiindustrien, jernbaneoperatører eller andre transportselskaper. På vogner under langtidsutleie vil normalt leier være ansvarlig for daglig vedlikehold, mens VTG-Lehnkering er ansvarlig for myndighetspålagte tekniske revisjoner. Vognene er registrert i Tyskland og følger derfor Deutsche Bahn sitt vedlikeholdsprogram som er godkjent av EBA (EisebahnBundesamt).

7.2 Vedlikeholdsprogram

Kontroll og vedlikehold av godsvogner er i henhold til spesifikasjoner fra Deutsche Bahn, men det synes som om vedlikeholdet kan utføres av private firmaer under kontroll av DB.

I følge tyske myndigheter skal tankvogner være inne til kjelkontroll hvert 4. år. Godsvogner generelt har normalt kontroll av løpeutrustning og bremser hvert 6. år. For å samordne de ulike kontrollene for tankvogner bedre har derfor kontroll av løpeutrustning og bremser for disse vogner blitt forandret til hvert 4. år slik at det gjøres samtidig med kjelkontrollen.

Det er to ulike rutinemessige bremsekontroller BR2 og BR3. BR3 er noe mer omfattende enn BR2, men omfatter i hovedsak mye av de samme punktene. For tankvogner gjøres disse med følgende intervall:
- BR3 utføres hvert 12. år
- BR2 utføres hvert 4. år når BR3 ikke utføres.

I tillegg til rutinemessige bremsekontroller av type BR2 og BR3 finnes bremsekontroller av type BR0 og BR1.
- BR0 er behovsbetinget arbeid som utføres ved skade på bremse, bytte av bremseklosser, bytte av hjulsatser eller andre arbeider som medfører avløfting av vognkasse fra hjulsatser. Blant annet omfatter dette justering av etterstillere.
- BR1 er en kontroll og vedlikehold av bremseutrustning som utføres når vogna er inne på verksted for korrektivt vedlikehold og det er mer enn 12 mnd. siden siste BR1, BR2 eller BR3.

Tabell 3.4 spesifiserer DBs program (ref. 11) for BR2 og BR3 og sammenligner med årlig ettersyn (ÅE) hos NSB Gods. Sammenligningen kan på enkelte punkter være noe vanskelig da det er noe ulik grad av spesifisering av arbeidsoppgavene.

7.3 Ettersyn og vedlikehold hos Borealis

På basis av samtale med Lars Erik Andersson hos Borealis i Stenungsund har vi fått følgende informasjon om daglig vedlikehold av propangassvognene i ulykkestoget.
- Borealis har «leaset» vognene fra VTG Vereinigte TanklagerGesellschaft i Tyskland
- Borealis har en mann ansatt på heltid som bytter bremseklosser, slanger, hjulsatser etc. Han er godkjent for å gjøre slikt arbeid. Borealis eier i tillegg en del vogner selv.
- Borealis gjør kun en visuell besiktelse før hver gang de bruker vognen. I tillegg gjøres vanlig bremseprøve og vognopptak når SJ overtar vognene for framføring.
- Ellers gjør Borealis ingen spesielle funksjonstester av bremsene.
- Hvert 4:e år sendes vognene til VTG for revisjon.

Hvilket vedlikeholdsprogram vognene gjennomgår under den 4-årlige revisjonen er ukjent for Borealis. Vedlikehold i henhold til myndighetskrav er VTGs ansvar.

7.4 Sammenligning av vedlikeholdsprogram hos NSB Gods og DB

Som man ser av tabell 3.4 inngår de fleste arbeidsoppgavene vedrørende ettersyn og vedlikehold av

Tabell 3.4 Arbeidsoppgaver ved Br2 og Br3 hos Deutsche Bahn (ref. 11) samt ÅE hos NSB

Nr	Arbeidsoppgave:	Deutsche Bahn	NSB	Nr
		BR2	BR3	ÅE
1	Bremsestengenes tilstand, innfesting og innstilling ettersees og prøves. Glideflater smøres og leddforbindelser smøres (ved behov)	x[1)]		x[1)]
2	Sikkerhetsjern og fangslinger sjekkes og byttes ved behov	x		x
2	Håndbremse; rengjøres, funksjonsprøves. Glideflater og ledd smøres	x		x[2)]
3	Håndbremse tas ned, fraskilles, rengjøres og undersøkes. Glideflater og ledd smøres. Remonteres.		x	[3)]
4	Bremsestenger og sikringsutstyr tas ned, fraskilles rengjøres og undersøkes. Glideflater og ledd smøres. Bolter og foringer sjekkes. Remonteres.		x	[3)]
5	Ytre stangfjærer besiktiges og eventuelt smøres	x	x	?[4)]
6	Føringsbøyler for bremsesylinderstangen besiktiges vedrørende posisjon og innfesting	x	x	?[4)]
7	Omstillingsutrustning rengjøres, undersøkes, funksjonsprøves og smøres.	x	x	x[5)]
8	Bremseetterstiller (DRV) inkludert stillskrue og styreinnretninger besiktiges (Revisjonsfrist 18 år)	(x)	x	12 års frist
9	Lastveksel/lastautomat prøves	x		[6)]
10	Lastveksel/lastautomat revideres (overhales)		x	12 års frist
11	Bremseklosser besiktiges	x	x	x
12	Bremseklossjernenes tilstand og tykkelse etterprøves	x	x	x
13	Trykkluftledninger besiktiges	x	x	x
14	Trykkluftledninger utblåses	x	x	x
15	Koblinger og slangeforbindelser etterprøves mhp tilstand og alder. (Max. 12 års levetid)	x	x	x[7)]
16	Avstengningsventiler etterprøves vedrørende manøvrerbarhet, tetthet og funksjonsdyktighet av friluftsløp	x	x	x
17	Blindkoblingsholder for bremseslanger besiktiges	x	x	?[4)]
18	Bremsesylinderen undersøkes med hensyn til skade og opplagring	x	x	x
19	Bremsesylinder og stempel åpnes, overhales og smøres (Revideres)		x	12 år frist[8)]
20	Trykkluftbeholder og festebånd besiktiges	x	x	x
21	Trykkluftbeholder dreneres, avblåses og sprayes med rustbeskyttelsesolje	x	x	x
22	Styreventil undersøkes på dato, prøves med prøveapparat Pdr4/5, byttes ved behov	x	x	x
23	Overårige ventiler (styreventil, lastbremseventil, veieventil) revideres. (Revisjonsfrist 18 år)		x	Se pkt 6.5.1
24	Bremser justeres, tetthetsprøves og funksjonsprøves[9)]	x	x	x

1. Leddforbindelser smøres ikke regelmessig ved ÅE hos NSB. Det er også noe uklart om det gjøres rutinemessig eller ved behov hos DB.

2. Håndbremse er ikke spesifikt nevnt i NSB sin spesifikasjon for ÅE, men antar at den sjekkes og smøres da den er nevnt i sjekkliste for periodisk ettersyn (PE).

3. Stangforbindelser og håndbremse demonteres såvidt vi forstår ikke rutinemessig hos NSB Gods, men slitasje i bolter og foringer sjekkes ved ÅE. Strengere slitasjemål hos DB.

4. Ikke nevnt spesifikt under ÅE sjekkliste hos NSB Gods.

5. Ikke nevnt spesifikt under ÅE sjekkliste hos NSB Gods, men nevnt under PE, antar den sjekkes også under ÅE.

6. Muligens kun ytre besiktning og ikke prøving, men skal funksjonsprøves under bremseprøve (pkt 24)

7. Ingen maksimumslevetid på disse komponenter hos NSB Gods så langt vi forstår.

8. Innvendig smøring hvert 6.år uten at komponenten åpnes.

9. DB har en noe mer detaljert spesifikasjon av funksjonsprøvingen som gjøres som ledd i kontrollen.

bremseutrustning både i henhold til NSB Gods sitt program for Årlig Ettersyn og DB sine mer tradisjonelle bremserevisjoner. Med hensyn til kontroll av bremsekomponenter er DBs spesifikasjoner for bremserevisjonene Br2 og Br3 vesentlig mer detaljert enn NSB Gods sin sjekkliste og rettleiing for Årlig Ettersyn slik det framgår i Styringsdokument G-71.

DBs vedlikeholdsprogram tilsvarer i stor grad det program som NSB Gods gikk bort fra i 1996 når de innførte det årlig ettersyn i stedet for 6 og 12 årlige revisjoner. Mange godsvogner hos NSB er enda ikke tatt inn i det nye vedlikeholdssystemet. Nylig er det vedtatt at alle resterende vogner skal inn i det nye systemet i løpet av 2 år.

NSB Gods har et hyppigere, men ikke like velspesifisert tilsynsprogram som DB. Et hyppig tilsyn kan gi muligheter til å oppdage relativt vanlig forekommende feil tidligere, mens en manglende grundighet kan gjøre at man overser punkter som er viktig i det lange løp. Smøring av leddforbindelser i stangsystemet og kontroll av mekanisk lastbremseautomat kan være slike punkter

Her vil vi være noe forsiktig i den faglige kritikken av NSBs program, for basert på G-71 kan det være vanskelig å få oversikt over hva som virkelig inngår i NSB Gods sin bremsekontroll under ÅE ettersom man må forholde seg til flere ulike deldokumenter og spesifikasjoner av bremsekontroller på ulike steder i styringsdokumentet, men med noe unøyaktige kryssreferanser.

Det er grunn til å tro at et velordnet detaljspesifisert program gir jevnere kvalitet på ettersynet både i tid og sted, dvs det gir mindre muligheter for lokale fortolkninger av programmet fra år til år som kan gi svært sprikende kvalitet på ettersynet. Vi tror derfor en samlet og mer detaljert spesifisering av arbeidsoppgavene med bremsekontroll under Årlig Ettersyn vil tjene kvaliteten på arbeidet og minske uklarheten om hva som egentlig gjøres. I det lange løp kan det også ha gunstige kostnadseffekter.

8 Ulykkestoget

8.1 Togets sammensetning

I oppstillingen i tabell 3.5 er vist sammensetningen til tog 5781 natt til 5. april 2000. Data er hentet fra vognopptak og oppgir lokomotiv, vognnummer, avsender- og mottaksstasjon, lastestatus, brutto vekt, bremset vekt:

Andre togdata iflg. vognopptak:

- Lengde (m): 184 m
- Antall aksler: 30
- Brutto vekt: 532 t (622 t dynamisk med lokomotiv)
- Bremset vekt: 422 t (484 t bremset med lokomotiv i gruppe G)
- Bremseprosent: 77
- Bremsegruppe: P
- Største hastighet: 90 km/h

Det var ikke tilsatt Kemetyl (frostvæske) i hovedledningen ved sammenkobling av toget, men dette er kun spesifisert ved temperaturer under –20 °C.

8.2 Vær og føreforhold

Døgnet før ulykkestidspunktet var det kraftig nedbør i form av snø med ikke ubetydelig vind i Osloområdet. Det ble målt ca. 15 mm nedbør på Blindern døgnet før ulykkesnatten i følge Meteorolo-

Tabell 3.5 Sammensetning godstog 5781 natt til 5. april 2000

Vogn/lok. nr.	Utgangsstasjon	Destinasjon	Status	Bruttovekt	Bremset vekt
Lok El.16.2215	Alnabru	Trondheim	–	90[1)]	62[2)]
338079124941	Kornsjø grense	Mosjøen	Lastet	77	54
338079120550	Kornsjø grense	Mosjøen	Lastet	77	54
217623761251	Borgestad	Fauske	Lastet	40	32
317639212545	Oslo S	Mo i Rana	Lastet	78	64
217637012105	Alnabru	Mo i Rana	Tom	13	13
217637010380	Alnabru	Mo i Rana	Tom	13	13
827659270082	Grefsen	Mo i Rana	Lastet	78	64
827659270264	Grefsen	Mo i Rana	Lastet	78	64
827659270157	Brumunddal	Mo i Rana	Lastet	78	64

[1)] Dynamisk vekt for lokomotivet

[2)] Bremset vekt i bremsegruppe G

gisk Institutt. Det var ikke observert vesentlig nedbør på Blindern etter kl. 20.00 ulykkesnatten, men det var snødrev i lufta og høy luftfuktighet.

Temperaturen lå i løpet av dagen like under nullpunktet. Utover kvelden/natten klarnet det opp, nedbøren avtok og temperaturen sank noe:

Følgende data er målt kl 02:00 ulykkesnatten:
Blindern: –3,5 °C (relativ luftfuktighet 67 %)
Gardermoen: –6,4°C (relativ luftfuktighet 79 %)

8.3 Banedata for bremsestrekningen

Hovedbanen har et kraftig fall fra Strømmen stasjon og ned til Lillestrøm. Fra km 18,19 (146.2 m.o.h) etter Strømmen stasjon til km 20,47 ved bru over Nitelva (109,5 m.o.h) er det et gjennomsnittlig fall på ca. 16,5 promille, varierende noe underveis. Data er hentet fra JBVs løfteskjema for strekningen.

Strekningen er også relativt kurverik, spesielt fra km 18,7 til km 20,3 hvor det er kontinuerlig kurver ned til minimum radius på 375 m.

Største hastighet for konvensjonelle tog på strekningen er skiltet som følger:

Km 14,64	120 km/h
Km 17,5	95 km/h
Km 18,4	80 km/h

Ovennevnte kilometerangivelse gir posisjon for hastighetsskiltet. Stedet hvor hastigheten gjelder fra ligger ca. 500 m lenger fram.

Tog 5781 fikk først beskjed om stopp i innkjør til Lillestrøm stasjon ved forsignalet til innkjørhovedsignalet, som er kombinert med blokksignalet ved Sagdalen Bp (km 18,92).

8.4 Etterprøving av togdata

8.4.1 Togets vekt

En vanlig årsak til redusert bremseeffekt for et tog kan være overlast, dvs. at toget veier vesentlig mer enn det som står oppført i vognopptaket.

Etter ulykken er det foretatt veiinger av flere av vognene i toget uten at det er oppdaget uregelmessigheter av betydning.

- Samlet vekt for de 7 bakerste vognene (dvs. toget uten propanvognene) er veid og bestemt til 375 tonn.
- Propanvognene er selvfølgelig ikke veid i ettertid, men opplasting av propanvognene skjer sannsynligvis med fiskal måleutrustning med god nøyaktighet, og det er begrenset hvor mye tilleggsvolumer vognen har plass til. Det er derfor liten grunn til å tro at disse vognene skulle avvike vesentlig fra den oppgitte vekt på 77 tonn per vogn
- Samlet vognvekt uten tillegg for snø og is blir da 529 tonn mot oppgitt 532 tonn i vognopptak.
- Dagen før ulykkesnatten falt det mye snø. Ifølge Meteorologisk Institutt falt det 15 mm nedbør på Blindern i de siste 24 timer opp til kl 20:00 dagen før ulykkesdagen (dvs. 04.04.00). Vi antar dette er et representativt tall for hele Oslo-området. Snøen gir et vekttillegg på toget. Som øverste grense antar vi at all nedbør fra det foregående døgn blir liggende på et 3 m bredt tog i 180 m lengde. Den totale snømengden gir kun 8 tonn tillegg i vekten, dvs helt ubetydelig.
- Gassvogner som er lastet med flytende gass med temperatur under 0 °C vil i fuktig vær danne et ispanser av kondens fra lufta rundt vognen, som kan bli relativt tykt og utgjøre en betydelig tilleggsvekt. I Stenungsund varmes gassen normalt over frysepunktet under lasting, og så langt vi kan forstå har det for disse vognene ikke vært noen indikasjon på frosset kondens på vognenes ytterside.

Ut fra dette kan man slutte at togets vekt på ulykkesdagen ikke kan ha avveket markert fra den vekt som var oppgitt i vognopptaket.

8.4.2 Togets bremseevne

Bremseprosenten som er oppgitt i vognopptaket stemmer med de data som er oppgitt for brutto togvekt og bremset vekt. Det er ikke indikert fra noen parter etter ulykken at det var feil i togets vognopptak med hensyn til vognenes bremsede status.

Testbremsinger med deler av toget etter ulykken har derimot vist at reell avbremsing for deler av toget (3 skrapvogner litra Ealos) har vært vesentlig dårligere enn hva som kan forventes.

Ved prøvebremsing og bremseveimåling for skrapjernvognene type Ealos ble det målt en bremseveg som tilsvarer en bremseprosent på ca. 60 % for disse vognene i stedet for over 80 % som skulle vært observert ut fra data på vognen. Altså ca. 20 prosentpoeng (eller 25 %) lavere avbremsing. Ved testtidspunkt var det ikke vinterforhold, og bremsene på testtoget var aktivt brukt tidligere på dagen ved testtidspunktet.

Rgps vognen var ikke med i NSB sin bremsevegtest, men har samme bremseutrustning som skrapjernvognene og kan kanskje ha hatt like dårlig avbremsing.

På det aktuelle ulykkestoget var lokets bremser koblet i G, som er spesifisert av JBVs regler. Når loket framføres i bremsegruppe G i hastighe-

ter over 80 km/h gir dette senere bremsevirkning for lokomotivet og noe lengre bremseveg i forhold til de som kan beregnes for toget basert på togets bremseprosent og bremsegruppe P. I tillegg har lokomotivtype El.16 vesentlig lengre tilsettingstid i bremsegruppe G enn det som er spesifisert av Jernbaneverket og UIC. Dette påvirker også bremsevegen. Til sammen kan det utgjøre en bremsevegforlengelse på 50–100 meter for hastigheter opp mot 80–100 km/h.

Vi vil også her nevne den observasjon som ble gjort under retardasjonsmålingene at togets avbremsing ved først fullbrems etter avgang generelt er vesentlig dårligere (ca. 10 %) enn ved etterfølgende tilsvarende oppbremsinger. Flere av vognene i ulykkestoget hadde oppholdt seg i Osloområdet i 4–6 dager før de ble skiftet inn i Gt 5781, og det er ikke sikkert vognenes bremser har blitt særlig aktivt brukt i den perioden.

8.5 Toglok El.16 2215

Loktype El.16 er utstyrt med skivebremser som hovedbremse, samt klossbremser i tillegg for å fjerne rubb som skulle oppstå hvis hjulene låser seg. Skivebremser tåler større utbremsing uten fare for å skade hjulene, men har vist seg å ha visse svakheter om vinteren i situasjoner med fykesnø hvor tilsettingstiden kan bli svært lang. Det som skjer er sannsynligvis at det dannes et tynt islag eller vannfilm på skivene som reduserer bremseeffekten. Ved framføring av skivebremsede tog er lokfører derfor pålagt å anvende bremsen jevnlig under fykesnøforhold. I følge samtaler med lokomotivførere er det sjelden eller aldri noe problemer med forlenget bremseveg pga. fykesnø med godstog framført av El.16.

Trykkluftbremsen på loktype El.16 kan stilles i G, P eller R-posisjon. Lokets bremsede vekt i de tre posisjoner er: G=62 tonn, P=83 tonn og R=125 tonn. Forskjellene i bremset vekt i de ulike posisjonene oppnås delvis med tilsettingstid:

- forskjell mellom G og P,
- forskjell i bremsesylindertrykk R kontra G & P.

Ved bremsegruppe G og P vil bremsene på El.16 gi lavutbremsing med kun 170 kPa trykk i bremsesylinderene ved hastigheter over 55 km/h. Ved instilling i bremsegruppe R, samt alltid ved hastigheter under 55 km/h vil lokomotivets bremsesylindertrykk øke til 320 kPa. Dette er gjort for at lokomotivets bremsekarakteristikk skal passe overens med et tog med tilsvarende bremsegruppeinstilling. Det ovennevnte forhold gjør at selv ved aktivering av nødbrems med El.16 lokomotivet i gruppe G og P vil man kun få lavutbremsing på lokomotivet i hastigheter over 55 km/h.

Når lokomotivet går i bremsegruppe G og P kan man ved bruk av lokomotivets direktebrems øke trykket i lokomotivets bremsesylindere til 320 kPa også for hastigheter over 55 km/h, samt gitt en raskere tilsettingstid for lokets bremser som gikk i bremsegruppe G. Til sammen er det grunn til å tro at dette gi en betydelig tilleggsbremseeffekt under de rådende omstendigheter og gi en bremset vekt tilsvarende bremsegruppe R. For det aktuelle tog ville dette hevet bremseprosenten med bortimot 10 prosentpoeng. Dette kunne vært tilstrekkelig til å unngå sammenstøtet, eller i alle fall gjort det vesentlig mindre alvorlig.

Dette spesielle forholdet på El.16 er lite kjent hos lokomotivførerne og burde vært bekjentgjort bedre. Hvorvidt det i den aktuelle situasjon kunne ha ført til låsing av hjulene på lokomotivet eller termisk overbelastning av lokomotivets bremseklosser er vanskelig å si.

Den automatisk virkende trykkluftbremsen på loktype El.16 har i G-posisjon en lengre tilsettingtid enn det som er spesifisert fra UIC og JBV. I følge opplysninger fra NSB er tilsettingstiden i G-posisjon ca. 35–40 sekunder. Kravet fra UIC og JBV er 18–30 sekunder. Med tanke på at lokomotiv i godstog i følge JBV alltid skal kjøre i bremsegruppe G, og at disse kan framføres i hastigheter opp til 100 km/h synes dette avviket vesentlig.

Loktype El.16 er utrustet med elektrisk motstandsbremse som kan hjelpe til med normal driftsavbremsing for å minske klosslitasje. Den er spesielt hensiktsmessig for å holde togets hastighet konstant uten bruk av trykkluftbremse ved kjøring i moderate fall. Den elektriske bremsen virker kun på lokomotivet og er ingen stoppbrems. På lokomotiv El.16.2215 var den elektriske motstandsbremsen ute av funksjon på ulykkesdagen. Sikkerhetsmessig ansees dette ikke kritisk da motstandsbremsen uansett kobler ut når trykket i lokomotivets bremsesylindre går over et spesifisert lavt trykk. Dvs. motstandsbremsen kobles ut når trykkluftbremsen anvendes.

8.6 Ulykkestogets vogner

8.6.1 Tankvognene i ulykkestoget (Gt 5781)

De to tankvognene med propangass i ulykkestoget var innleid fra VTG av Borealis for transport av kondenserte gasser fra deres anlegg i Stenungsund. Vognene er 4 akslede boggivogner bygget for 20 tonn akseltrykk med et nominelt tankvolum på 110 m^3 og registrert i Tyskland hos DB.

I tabell 3.6 nedenfor er spesifisert en del data for de to vognene i følge DBs besiktningsrapporter:

Vognene er tankvogner uten indre seksjonering som normalt framføres enten tom eller tilnærmet helt lastet er og har derfor lite behov for kontinuerlig regulering av bremset vekt, ei heller ulik avbremsing på de to boggiene. Vognene er derfor utrustet med manuell lastomstiller og kun én bremsesylinder. Av samme grunn er den nominelle avbremsing for en fullastet vogn relativt lav (67,5 %).

8.6.2 Andre vogner og deres bremsekomponenter

Opplysninger fra NSB Gods gir følgende informasjon om type bremsekomponenter på NSBs vogner i ulykkestoget:

Vognene Os 21 76 370 1038–0 og 370 1210–5:

Disse to vognene ble framført tomme og bidro relativt lite både bruttovekt og bremset vekt, og har følgende utrustning:

Styreventil:	KE0a 14»
Lastbremseautomat:	AC3 14»
Bremseetterstiller:	DRV 2A-600H
Forrådsbeholder, volum:	75 l
Hovedledning, emne:	1» damprør

Vognene Rgps 31 76 392 1254–5 og Ealos 82 76 592 7008–2 / 592 7015–7 og 592 7026–4:

Vognene er utrustet med separat utveiiengsventil, lastbremseautomat og bremseetterstiller for hver boggi slik at boggien kan avbremses i forhold til riktig last ved eventuell skjevlasting av vognene. Muligens har bremsesylindrene felles styreventil. Dette er boggivogner utrustet med doble bremseklosser.

Styreventil:	KE1aSL
Lastbremseautomat:	AC2D 12» (mekanisk)
Bremseetterstiller:	DRV 2A-600H
Utveiingsventil:	TP.VK
Forrådsbeholder, volum:	125 l
Hovedledning, emne:	1«, 11/4» damprør

Forøvrig kan nevnes at de norske boggivognene Ealos og Rgps hadde doble bremseklosser som iflg (ref. 1) har lavere bremseeffekt enn enkle klosser. Det er sannsynlig at VTG-vognene hadde samme klossarrangement.

Tabell 3.6 Data for VTG-vogner

Vogn nr:		3380 7912 494–1	3380 7912 055–0
Opprinnelig vognnr.:		2180 076 7651–1	2180 076 7025-8
Byggeår:		1975	1978
Byggeverksted:		Linke-Hofman-Busch GmbH, Salzgitter	Waggon Union GmbH, Netphen 2
Fabrikasjonsnr:		1507	109749
Egenvekt:		33 090 kg	32 490 kg
Bremsetype og sylinderdiam:		KE-GP 16«	KE-GP 16»
Etterstiller:		Ja (DRV 2–600?)	DRV 2–600
Bremset vekt:	Tom G/P	34/37	33/36
	Lastet G/P	50/54	50/54
Lastveksel:		manuell	manuell
Omstillingsvekt G/P:		55/55	55/55
Utvekslingsforhold:	Tom	i=6,61	i=6,3
	Lastet	i=11,2	i=11,2
Siste bremserevisjon:		Br 2, august 98	Br 3, sept 96

Hbikks 21 76 237 6125–1:

Dette er en to-akslet vogn utstyrt med et enkelt bremsesystem.

Styreventil:	KE1aSL
Ventilbærer:	KE nr.1 11/4»
Lastbremseautomat:	AC3D 14» BP
Bremseetterstiller:	DRV 2A-600H
Utveiingsventil:	TP.VK
Forrådsbeholder, volum:	100 l
Hovedledning, emne:	11/4» damprør

8.6.3 *Løps og vedlikeholdshistorikk for de enkelte vogner i tog 5781*

Nedenfor vil vi gi en kort beskrivelse av de siste dagers løp for vognene i tog 5781 før de ble koblet inn i toget, samt kort om vedlikeholdshistorikken til de enkelte vogner.

I følge opplysninger fra NSB Gods var ingen av de norske vognene i ulykkestoget underlagt ÅE, men var holdt i drift på bakgrunn av ikke overskredne revisjonsfrister fra tidligere R1 og R2. Dette synes ikke fullt ut å være tilfelle ut fra den informasjonen som er spesifisert om de enkelte vogner nedenfor.

Bakgrunnen for utdrag av informasjon er som følger:

1. Retardasjonsmålingene antyder at togets første oppbremsing etter avgang viser vesentlig dårligere retardasjon enn etterfølgende bremser. Dette kan skyldes oksyd eller rustsjikt som bygges opp på klosser og hjulbane når vognens bremser ikke benyttes, eller det kan skyldes at bremseetterstillere ikke har rukket å gjøre den nødvendige justering av klossklaring etter henholdsvis lasting/lossing.
2. Nye klosser gir klart dårligere friksjon inntil de har fått fjernet rust og er innbremset til riktig passform.

VTG Propanvogner Kornsjø grense – Mosjøen (3380 7912 055–1 & 3380 7912 494–1)

De to propanvognene fra Stenungsund til Mosjøen ankom Alnabru i tog 45552 fra Gøteborg kl 06:55 tirsdag 04.04.00.

Status med hensyn til klossbytte, ettersyn og vedlikehold er ukjent, men de har neppe hatt klossbytte på Alnabru og bremsing under framføring fra Gøteborg har nok slitt til eventuelle nye klosser.

Siste bremserevisjon, type og utførelsested var som følger:

3380 7912 494–1:	Br2, august 98	ALSTOM LHB GmbH, 38239 Salzgitter
3380 7912 055–1:	Br3, september 96	August G. Koch, 24113 Kiel

Hbikks 2176 237 6125–1 Borgestad – Fauske

Vognen ankom lastet til Alnabru i tog 5372 fra Borgestad 04.04.00.

Status med hensyn til klossbytte, ettersyn og vedlikehold:

99.04.12	Byttet	4 klosser	
99.06.07	Byttet	1 »	
99.09.10	Byttet	4 »	ÅE
99.12.15	Byttet	2 »	

Rgps 3176 392 1254–5 Oslo S – Mo i Rana

Vognen ankom 31.03.00 tom til Alnabru i Gt 5782. 03.04.00 ble den satt til lasting på Oslo S og hentet derfra i lastet tilstand 04.04.00.

Status med hensyn til klossbytte, ettersyn og vedlikehold:

99.10.13	Byttet 32 klosser	(Mangler PE)

Os 2176 370 1210–5 & Os 2176 370 1038–0 Alnabru – Mo i Rana

Vognene ankom tomme til Alnabru i Gt 4554 fra Kornsjø grense 01.04.00. Ble også skiftet tomme inn i Gt 5781 for framføring til Mo i Rana.

Status med hensyn til klossbytte, ettersyn og vedlikehold:

217637012105: (Toakslet vogn)

99.06.28		(PE)
00.02.16	Byttet 1 kloss	(ÅE)

217637010380: (Toakslet vogn)

99.07.05		ÅE
99.11.12	Byttet 2 klosser	
99.11.22	Byttet 3 klosser	

Ealos 8276 592 7008–2 Grefsen – Mo i Rana

Vognen ankom lastet til Alnabru med armeringsjern til Fundia Bygg i Gt 5782 30.03.00. Vognen ble stilt til lossing ved Grefsen stasjon 31.03.00. Etter lossing ble vognen hentet tilbake til Alnabru 31.03.00.

03.04.00 ble vognen sendt til vognverkstedet på Alnabru hvor følgende arbeider ble utført:

– Sveising av tre bufferfester, retting av stigtrinn og bremsekontroll.

Samme dag ble vognen stilt til lasting hos Fundia på Grefsen hvor den ble hentet i lastet tilstand 04.04.00 sammen med 8276 592 7026–4.

Status med hensyn til klossbytte, ettersyn og vedlikehold:

99.06.10	Byttet 32 klosser	
99.11.17	Byttet 32 klosser	
99.12.17		(R1)

Ealos 8276 592 7026–4 Grefsen – Mo i Rana

Vognen ankom tom til Alnabru fra Kornsjø grense over Sarpsborg i Gt 4912 den 30.03.00. 03.04.00 ble vognen sendt til vognverkstedet på Alnabru hvor følgende arbeider ble utført:

– Festet bufferbolter, byttet sikkerhetshåndtak, rettet sikkerhetsjern bremsebom, byttet 6 bremseklosser, rettet og sveiset endevegg, rettet og sveiset stengsel på sidedør.

Samme dag ble vognen stilt til lasting hos Fundia på Grefsen hvor den ble hentet i lastet tilstand 04.04.00 sammen med vogn 8276 592 7008–2.

Status med hensyn til klossbytte, ettersyn og vedlikehold:

99.07.17	Byttet	12 klosser
99.08.18	Byttet	04 »
99.10.06	Byttet	14 »
00.01.07	Byttet	16 »
00.03.17	Byttet	08 »
00.04.03	Byttet	06 »

Ealos 8276 592 7015–7 Brumunddal – Mo i Rana

Vognen ble stilt til lasting på Brumunddal 31.03.00. Derfra ble den hentet i lastet tilstand 03.04.00 i Gt 5277/78 og framført samme dag til Alnabru over Hamar – Elverum i togene 5295/5080 hvor den ankom natten til 04.04.00.

Status med hensyn til klossbytte, ettersyn og vedlikehold:

99.09.10	Byttet	32 klosser
00.01.31	Byttet	32 »

8.7 Kommentarer fra Det Norske Veritas

8.7.1 Generelt angående togets bremseutrustning

En interessant observasjon er at Rgps og Ealos vognene som i følge vognopptaket representerer en vekt på 312 tonn (256 tonn bremset) har identisk bremseutrustning med en mekanisk lastbremseautomat av type AC2D. Av togets totale vekt inkludert lokomotiv representerer disse vognene ca. 50 % av togets bruttovekt inklusive lokomotiv og ca 55 % av bremsede vekt inklusiv lokomotiv. Vognene er boggivogner og er derfor utstyrt med doble bremseklosser som i følge (ref. 1) gir 5–20 % lavere avbremsing i det aktuelle hastighetsområdet.

Lastbremseautomat av type AC2D er en mekanisk type av relativt gammel design. Den har mange ledd og kraftoverføringer både på utveiingssiden og bremsekraftsiden. Slitasje i disse må forventes å gi redusert bremseeffekt.

Rgps vognen er uten dørk (kontainervogn) og lastbremseautomat, bremsestag og balanser ligger åpent til for nedbør og funksjonsevnen kan påvirkes ved isdannelse når vognen ikke er lastet. Lastbremseautomat type AC2D er slik at hvis det kommer vann inn i automaten som fryser til is kan det hindre den i å omstille til lastet posisjon.

Flere av vognene hadde vært i Oslo-området i flere dager, sannsynligvis uten særlig aktiv bruk av bremsene, før de ble skiftet inn i Gt 5781. Det kan ha svekket bremseevnen noe ved første avbremsing.

Hvis vi antar alle Ealos og Rgps vognene har samme bremseevne som de testede Ealos-vognen blir togets oppgitte bremseprosent alt for høy. Hvis vi i tillegg holder lokomotivets bremser utenfor på grunn av bremse i G-posisjon, samt mulighet for innledende isdannelse/vannplaning på skivebremser, blir togets bremseprosent uten lokomotiv ca. 50 %.

Med en innledende hastighet på 100 km/h og bremse i P-posisjon gir dette en bremsevei på 1500–1600 m, altså ikke så langt fra det som ble erfart på Lillestrøm. Hvis det i tillegg har vært en generelt forsinket bremsereaksjon på grunn av eventuell korrosjon, snø, is eller rim på klosser kan det kanskje være nok til å gi så dårlig bremseevne som det som ble erfart med tog 5781 ved Lillestrøm den 5. april i år.

9 Retardasjonsmålinger

9.1 Innledning

Togets bremseevne er viktig for hvilke hastigheter som tillates under ulike stignings- og fallforhold, og er derfor en viktig sikkerhetskritisk informasjon for lokomotivføreren. Bremseprosenten for toget beregnes basert på informasjon om vognenes last og data for bremseutrustningen. I tillegg skal det gjøres en kvalitativ funksjonstest av bremsene

før toget settes i bevegelse. Det gjøres derimot sjelden prøver av bremseevnen på tog eller vogner under kontrollerte forhold som viser hvilken reell bremseevne som oppnås. Fra intervju med NSBs lokomotivførere synes det også som det ofte kan være avvik mellom oppgitt bremseprosent og togets reelle bremseevne.

For å verifisere togenes bremseevne er det i forbindelse med dette oppdraget blitt utført retardasjonsmålinger på en del tilfeldig valgte godstog med følgende formål og forutsetninger:

- Verifisere togets bremseevne og sammenligne reell retardasjon med togets oppgitte bremseprosenter for å se om den oppgitte bremseprosent er et godt og etterprøvbart mål for togets bremseevne. Dette er viktig da den reelle retardasjonsevnen i liten grad måles for godstog eller for rullende materiell i godstog i dag.
- En etterprøving av sammenhengene mellom bremseprosent og retardasjonsevne er gjort med minst to målinger for hvert av 5 ulike godstog. Målingene er utført med minimum forstyrrelse av toggangen ved bruke av et akselerometer montert i lokomotivet.

9.2 Metodebeskrivelse og måleprosedyre

9.2.1 Metodebeskrivelse

Retardasjonen under bremsing er målt ved hjelp av et akselerometer (Sperry Clinometer) som er montert på toget og som måler togets retardasjon relativt til tyngdekraften ved tilsetting av bremser. Erfaringer fra tidligere oppdrag for NSB og Jernbaneverket har vist at målinger med akselerometer gir god nøyaktighet og kan gjennomføres med beskjedne forberedelser og liten påvirkning på togets framførelse.

Metoden gir stor grad av fleksibilitet, og er blant annet ikke avhengig av horisontal trasé for å gi en god måling av togets retardasjonsevne på horisontalt spor, men helningsvinkelen på prøvestrekningen bør være relativt konstant.

9.2.2 Prosedyre for utførelse av retardasjonsmålinger

Målingene er utført på en utvalgt egnet strekning, dvs. en strekning med mest mulig konstant helning for hele toget over hele målestrekningen og uten krappe kurver. For å få lengst mulig måleforløp er det forsøkt å legge målingene til fall, eller unngå stigninger. Helningsdata i form av løfteskjema er skaffet til veie fra JBV RØ og benyttet for å identifisere gunstige teststrekninger.

Forøvrig er målingene utført i henhold til følgende prosedyre:

1. For hvert av testtogene er akselerometret kalibrert, enten ved passiv rulling gjennom nullpunkt (bakover/forover eller omvendt), eller avlesing av akselerasjonsverdien for tog uten ekstern kraftpåvirkning på strekning med kjent helning.
2. Testbremsingen er gjennomført for å måle togets retardasjon i en størst mulig del av hastighetsområdet 100 – 40 km/t, dvs. ved innledning av bremsing bør toget ha så høy hastighet som bane, materiell, togsammensetning og bremseevne tillater begrenset oppad til 100 km/t. Testen er for alle tog innledet med nødbremsaktivering av trykkluftbremsen. En utløsning av bremsene er innledet ved noe forskjellig hastighet for de ulike testbremsingene, men ligger jevnt over i området 60 – 40 km/h. Uansett har toget under langt de fleste testbremsingene stoppet på grunn av bremsenes lange løsetid. De målte retardasjonene i den siste delen av bremseforløpet behøver derfor ikke å være maksimalverdier hvis utløsing av bremsen ikke var påbegynt. For de resultater vi har presentert har det ingen betydning.
3. Selv om JBVs regelverk spesifiserer at lokomotivets trykkluftbrems skal settes i G-posisjon kjører de fleste lokomotivførere med bremsen i P-stilling. For de fleste av togene ble derfor målingene gjort med lokomotivet i bremsegruppe P. Lokomotivets elektrisk brems er holdt utkoblet under retardasjonsmålingene.
4. Retardasjonen under testbremsingene er kontinuerlig plottet i en PC. Kilometerpunkt for testbremsing er notert og begynnende tilsettingstidspunkt er avmerket på retardasjonsplottet og togets retardasjon under testforløpet er plottet.
5. Togets hastighet ved tilsettingstidspunkt og løsetidspunkt for bremsene er notert ut fra lokomotivets hastighetsmåler. Om mulig er også trykket i hovedledning før og etter aktivering av brems, avlest på lokførerens manometer.
6. Aktuelle togdata er notert dvs. tognummer akselantall, toglengde, vekt, bremset vekt og bremseprosent.

9.3 Resultater

Tabell 3.7 oppsummerer inngangsparametre og resultater fra retardasjonsmålingene vi har utført. En full presentasjon av alle måleforløp og kalibreringsdata for testbremsingene er presentert i appendiks C.

9.4 Kommentarer til målinger og resultater

9.4.1 Generelle kommentarer

Bremsenes tilsettingstid er ikke så lett å avlese fra plottene for retardasjon, men den synes å ligge i området mellom 5–10 sekunder for alle tog, noe som er i tråd med spesifikasjonene.

Resultatene viser ingen klar og overbevisende sammenheng mellom oppgitt/beregnet bremseprosent og målte retardasjoner. For et av togene (5791, 25.08.00) er avviket klart sikkerhetskritisk. Omregnet i sammenlignbar bremseprosent tilsvarer de målte retardasjoner for dette tog i størrelsesorden 65–70 % bremser, mens vognopptaket viste 91 % bremser.

Det synes også å være en systematisk lavere retardasjonsverdi for første oppbremsing i forhold til etterfølgende bremsinger. Spesielt er dette klart synlig for de to togene hvor vi målte på aller første oppbremsing etter avgangsstasjon dvs. Gt 5073 og Gt 5709 hvor målingene for første og andre oppbremsing viser en forskjell på 10 % i favør av andre oppbremsing. Det er lite sannsynlig at dette skal være resultat av tilfeldige variasjoner. Også underveis synes det å være slik at etter en sterk oppbremsing øker friksjonen mellom kloss og hjul slik at umiddelbart etterfølgende oppbremsing gir noe høyere retardasjon.

Årsaken til dette fenomen er noe uklar. Blant mulige teorier kan nevnes:

- Forsinket virkning av etterstillerne ved eventuell endring i vognens lasttilstand
- Beleggdannelse (tynt oksydasjonssjikt, eller korrosjon) på hjul og/eller klosser når bremseutrustning ikke er i bruk på en stund som reduserer bremsevirkningen ved første nedbremsing ved at dette må slites av før bremsene tar skikkelig
- Toget har flere vogner med nye bremseklosser
- For Gt 5073 kan det også skyldes forskjell i indre skvalping.

Tabell 3.7 Inngangsdata og resultater fra retardasjonsmålinger på godstog

Tognr:	5073	5791	5252	5054	5709
Måledato:	25.08.00	25.08.00	25.08.00	06.09.00	07.09.00
Togtype:	Flybrensel	CX	VL	Tømmer	VL
Lok:	2xEl.16	El.14	El.14+El.14[1)]	El.16	El.16
Bremsegruppe lok	P	P?	P	P	P
Dynamisk vekt lok:	180	130	260	90	90
Bremset vekt lok	80	90	180	80	80
Toglengde:	335	393	146	350	125
Bruttovekt (vogner):	1350	630	381[3)]	1010	244
Bremset vekt (vogner):	780[2)] (870)	614	273	696	202
Beregnet bremseprosent (vogner):	58[2)] (64)	97	71	68	82
Oppgitt bremseprosent i vognopptak:	58	91	68	68	75
Max tillatt hastighet	80	90	90	80	?
Dynamisk totalvekt tog (inkl lok)	1530	760	641	1100	334
Totalvekt bremset	940[2)] (1030)	704	453	776	282
Bremseprosent totalt	61[2)] (67)	92	70	70	84
Typisk målt retardasjon[4)] (m/s^2); 1. måling	0,49	0,54	0,63	0,62	0,56
2. måling	0,55	0,58	0,63	0,66	0,62
3.måling		0,56			0,65

[1)] Uvirksomt El.lok som gikk med i toget etter virksomt toglok

[2)] Beregnet bremset vekt per vogn er redusert med 10 % i forhold til gjeldende påskrift på vogner etter klage fra lokførere m.m. Tall i parentes er beregnet basert på opprinnelig påskrift på vogn.

[3)] Mottatt vognopptak viser kun vogner for 301 tonn togvekt.

[4)] Oppgitt måleverdi er en beregnet gjennomsnittsverdi i området med tilnærmet konstant retardasjon

Kanskje kan det også være en kombinasjon av ovennevnte faktorer, eller det kan skyldes helt andre årsaker.

9.4.2 Måleusikkerhet

Uten å ha gjort noen beregninger antas absolutt måleusikkerhet å være i størrelsesorden +/– 2 mG og +/– 3 %. Måleusikkerheten utgjøres i hovedsak av kalibreringsusikkerhet og hysterese i inklinometeret, samt mulig effekt av fjæringen på lokomotivet. De relative usikkerhetene mellom forskjellige oppbremsinger på samme tog er vesentlig mindre da de i hovedsak vil utgjøres av hysterese i inklinometer og lokomotivfjærer samt støy og kvantiseringsfeil i målesystemet. De to siste er i størrelsesorden 0,2 mG.

Målingene er generelt utført på strekninger med konstant fall eller stigning. Konstant fall eller stigning tilfører ikke usikkerhet i målingene, men endringer i fall/stigning over togets lengde tilfører usikkerhet. Denne usikkerheten anslås til under 0,5 mG i de foretatte målinger.

Den typiske retardasjonsverdien er beregnet som middelverdien fra det tidspunktet full bremseeffekt er oppnådd til bremseeffekten begynner å stige vesentlig pga. lav hastighet. Tidspunktene er valgt skjønnsmessig og vises av cursorene i de utskriftene i appendiks C.

9.4.3 Kommentarer til de enkelte tog og målinger

Gt 5073: Flybrenseltog (Loenga – Kløfta)

Kalibrering: Problemer med kalibrering av måleinstrumentet før togavgang fra Loenga pga. intern skvalping i toget, men kalibrering foregikk ved fritt løp av toget etter Hanaborg topp før første bremsetest.

- 1. test: Km 16 mellom Hanaborg og Strømmen som også var togets første bremsing etter avgang fra Loenga. Sporets helning er ca. –10,5 promille over hele bremseforløpet inkludert toglengden. Typisk målt retardasjon i platåfasen: 0,49 m/s^2.
- 2. test: Km 24 mellom Lillestrøm og Leirsund. Sporets helning over bremseveien er ca + 1,5 promille. Typisk målt retardasjon i platåfasen: 0,55 m/s^2.

Den først måling er kanskje noe lavere enn forventet, men ingen store avvik. Målingene viser tydelig effekt av skvalping i toget med en amplitude +/–0,10 m/s^2 eller mer. I et tilfelle var avviket i momentanretardasjon oppimot 0,3 m/s^2. Skvalpingen antas ikke å påvirke den gjennomsnittlig retardasjonverdien negativt, men kan ha betydning for trekkraftbehovet, eller øke faren for brudd i togstammen ved kjøring i kraftige stigninger. I verste fall kan det også forårsake kortvarig låsing av hjulene på en vogn.

Gt 5791: Containerexpress (Lindeberg – Hamar)

Kalibrering: Skjedde på Bøn stasjon hvor JBVs løfteskjema viser horisontalt spor; dvs. 0 promille fall/stigning.

- 1. test: Ved km 49 like syd for Hauerseter stasjon. Løfteskjema viser stigning på 2,5 –1,5 promille over bremseveien. Typisk målt retardasjon i platåfasen: 0,54 m/s^2.
- 2. test: Ved km 69 nord for Eidsvoll. Løfteskjema viser stigning på 0,23 promille over bremseveien. Typisk målt retardasjon i platåfasen: 0,58 m/s^2.
- 3. test: Ved km 91 nord for Strandlykkja stasjon. Horisontalt spor. Typisk målt retardasjon: 0,56 m/s^2.

Målingene viser betydelig dårligere retardasjon enn hva togets bremseprosent skulle tilsi.

Målingene gir i seg selv ingen indikasjon på årsaken til den dårlige bremseevnen. Vognopptaket antyder mange vogner med vognvekt på 30 tonn, samt en del andre på 27 og 33 tonn. Mulige årsaksfaktorer blant andre kan være:

- Reell vekt for mange av vognene er større enn den angitt vekt som synes å være basert på avtalevekt og ikke veiing av lasten.
- Lastbremseautomaten på den angjeldende vogntype gir ikke proporsjonaljustering av bremset vekt tilsvarende totalvekt opp til 30 tonn som forutsatt i beregningsprosedyrene.

Gt 5252: Vognlasttog (Hamar – Alnabru)

Kalibrering: På Espa stasjon med passiv rulling gjennom nullpunkt (forover/bakover).

- 1. test: Ved km 70,7 nord for Eidsvoll. Fall på –0,23 promille over bremsevegen. Typisk målt retardasjon i platåfasen: 0,63 m/s^2.
- 2. test: Ved km 48,3 mellom Hauerseter og Jessheim. Fall på –3 promille over bremsevegen. Typisk målt retardasjon i platåfasen: 0,63 m/s^2.

Den målte retardasjon ligger klart over det som kan forventes fra oppgitt bremseprosent.

Gt 5054: Systemtog med tømmer og flis (Årnes – Alnabru)

Kalibrering: På Rånåsfoss stasjon med passiv rulling gjennom nullpunkt (forover/bakover).

- 1. test: Ved km 33 etter Guttersrud hp. Stigning på 3,4 promille, men deler av toget vil være i horisontalt spor eller mindre stigning i første del av bremsevegen. Typisk retardasjon i platåfasen: 0,62 m/s^2, som kan være 1–2 % for lavt på grunn av ovennevnte forhold.
- 2. test: Ved km 25 mellom Fetsund og Lillestrøm. Horisontalt spor. Typisk målt retardasjon i platåfasen: 0,66 m/s^2.

Den målte retardasjon stemmer bra med oppgitt bremseprosent. Ligger noe i overkant

Gt 5709: Vognlasttog (Alnabru – Kløfta)

Kalibrering ved passiv rulling gjennom nullpunkt (forover/bakover) med lok på Nyland (spor 0).

- 1. test: Ved km 16 mellom Hanaborg og Strømmen som også var togets første bremsing med trykkluftbrems etter avgang fra Loenga. Sporets helning er ca. –10,5 promille over bremsevegen. Typisk målt retardasjon i platåfasen: 0,56 m/s^2.
- 2. test: ATC brems ved km 23 mellom Lillestrøm og Leirsund. Stigning på 1 promille. Typisk målt retardasjon i platåfasen: 0,62 m/s^2.
- 3. test: Ved km 24,5 mellom Lillestrøm og Leirsund. Stigning:1,5 promille. Typisk målt retardasjon i platåfasen: 0,65 m/s^2.

Den målte retardasjonen er noe lav i forhold til togets beregnede og oppgitte bremseprosent.

9.5 Analyse av måleresultatene

9.5.1 Korrelasjon mot forventet retardasjon ut fra oppgitt bremseprosent

Resultater fra første brems

I figur 3.6er resultatene fra retardasjonsmålingene for 1.bremsetest for hvert av togene plottet i et skjema som også viser en forventet sammenheng mellom bremseprosent og bremseevne i m/s^2. Hvis den første fullbrems rent systematisk viser en lavere retardasjon enn for etterfølgende avbremsinger bør man bruke resultatene fra første måling som typiske. I en situasjon som den på Lillestrøm får man bare en sjanse til å stoppe toget og hvis den feiler hjelper det ikke at bremsene deretter er blitt bedre.

Figur 3.6 Retardasjon ved første testbremsing plottet mot togets bremseprosent

For tog 5073 er måleresultatet plottet både mot opprinnelig bremseprosent og ny midlertidig bremseprosent.

Gjennomsnitt fra flere testbremsinger

I figur 3.7 er gjennomsnittsretardasjonen fra 2 eller 3 testbremsinger for hvert av togene plottet i et skjema som også viser en forventet sammenheng mellom bremseprosent og bremseevne i m/s^2. Forskjellen mellom figurene er ikke så veldig stor, men gjennomsnittet av måleresultatene ligger noe høyere enn for første brems.

For tog 5073 er måleresultatet plottet både mot opprinnelig bremseprosent og ny midlertidig bremseprosent.

9.5.2 Forventningsverdi og spredning

Basert på måleresultatene kan det beregnes en gjennomsnittsverdi og prosentvis spredning for målt retardasjon for godstog i forhold til en forventet korrelasjon mellom bremseprosent og retardasjonsevne.

Figur 3.7 Gjennomsnittlig retardasjon plottet mot togets bremseprosent

Tabell 3.8 Målt retardasjon og avvik fra forventet korrelasjon mot togets bremseprosent

Beregnet bremseprosent ut fra vognopptak	Målt retardasjon (m/s2)		Avvik fra forventet korrelasjon (%)	
	Første brems	Gjennomsnitt	Første brems	Gjennomsnitt
61 (67)	0,49	0,52	– 4,3 (–13,8)	1,6 (–8,3)
70	0,62	0,63	6,3	8,1
70	0,63	0,637	8,1	9,3
84	0,563	0,612	–18,8	–11,8
92	0,54	0,56	–28,6	–26,0

Kun 5 godstog er observert, og dette er et relativt lite datamateriale. Tabell 3.8 nedenfor angir observert bremseevne for første testbremsing i forhold til beregnet (oppgitt) bremseprosent, samt prosentvis avvik i forhold til forventet sammenheng mellom bremseprosent og bremseevne.

Hvis vi antar at avvikene fra forventet korrelasjon er normalfordelt (Gauss-fordelt) kan det beregnes gjennomsnittlig avvik fra forventet korrelasjon samt variasjonen i korrelasjonen mellom bremseprosent og avvik i bremseevne fra forventet bremseevne. I tabellen ovenfor er dette gjort for henholdsvis første fullbrems (nødbrems) etter avgang, samt for en gjennomsnittlig avbremsing underveis basert på 2–3 målinger per tog.

Basert på ovennevnte parametre og forutsetninger med hensyn til forventningsverdi og standardavvik kan det beregnes en sannsynlighet for at bremseevnen for toget er for eksempel 50 % dårligere enn hva den beregnede bremseprosent skulle tilsi for henholdsvis første fullbrems (nødbrems) og en tilfeldig fullbrems underveis.

Resultatene er som følger:

Første avbremsing (fullbrems/nødbrems) etter avgang:

Gjennomsnittsverdi:	–7,5 % (–9,3 %)
Standardavvik:	16,0 %
Sannsynlighet for 50 % bremsesvikt:	0,005 (dvs. 5 av 1000 godstog)

Gjennomsnittlig bremseevne:

Gjennomsnittsverdi:	–3,8 % (–5,8 %)
Standardavvik:	15,0 (–14,7) %
Sannsynlighet for 50 % bremsesvikt:	0,001 (dvs. 1 av 1000 godstog)

Den anvendte modell er grov og antall måledata er få. De absolutte verdier av ovennevnte beregninger må derfor ikke tillegges stor vekt. De gjennomførte målingene av retardasjonsevnen for 5 tog som funksjon av bremseprosent antyder dog at det slett ikke er utenkelig at flere tog i løpet av året kan ha mer enn 50 % lavere bremseevne enn forventet basert på oppgitt/beregnet bremseprosent ved første fullbrems (nødbrems) etter avgang.

Grunnlagsdata for denne beregningen er meget lite og resultatet må kun tas som en antydning på at tilfeldig variabilitet kan gi store utslag i bremseevnen til tog, og at sannsynligheten for å erfare en dårlig bremseevne synes vesentlig større på første fullbrems fra avgangsstasjon enn for etterfølgende oppbremsinger.

Dette styrker behovet av å gjøre en prøvebremsing etter avgangsstasjon og underveis hvor det er tatt inn nye vogner, ikke bare for at lokomotivfører skal få verifisert bremseevne og kvaliteten av togets bremser, men også for å skjerpe kvaliteten på togets bremser.

Dette synes å være utilstrekkelig fokusert i Jernbaneverkets regelverk. Selv om prøvebremsing etter avgang er spesifisert i NSBs prosedyrer kan det også her vektlegges bedre.

Dette synes å være utilstrekkelig fokusert i Jernbaneverkets regelverk. Selv om prøvebremsing etter avgang er spesifisert i NSBs prosedyrer kan det også her vektlegges bedre.

10 Uhellsregistreringer og andre hendelser

10.1 Innledning

Bremsesvikt i tog er relativt sjelden årsak til alvorlige ulykker. Dette gjelder både for norske tog og jernbaner, samt internasjonalt. Det forekommer dog ikke helt sjelden at tog passerer signaler, og dårligere bremsevirkning enn beregnet er en viktig årsaksfaktor.

Vi har gått igjennom et internt NSB-notat vedrørende ureglemetert passering av signaler (ref. 9) , samt utskrift av registreringer i uhells-/ avviksda-

Tabell 3.9 Uregelmessige signalpasseringer mars 99 - februar 00

Togslag:	Antall ureglementerte passeringer av signal:	Antall passeringer av innkjørsignal
Alle tog	69	25
Godstog	17	8
Langdistanse persontog	7	0

tabasen Synergi over hendelser med forlenget bremseveg.

Det er relativt få registreringer i Synergi som gir forlenget bremseveg som årsak til passering av stoppsignal for godstog. Antallet synes langt færre enn hva det interne notatet over ureglementerte passeringer av stoppsignal skulle tilsi og Synergi-registreringene synes derfor ufullstendige. Alle passeringer av stoppsignal skyldes dog ikke forlenget bremseveg.

10.2 Uregelmessige passeringer av signal

Et internt NSB-notat (ref. 9) som gjennomgår og systematiserer uregelmessige passeringer av signal i perioden mars -99 til februar 2000 er mottatt. En oppsummering er gitt i tabell 3.9.

Andelen av hendelser med godstog (25 %) er omtrent som godstogenes andel av det totale trafikkarbeid (ca. 25 % av togkm). Hvis man kun sammenligner uregelmessige hendelser i forhold til trafikkarbeidet for de ulike toggrupper er det derfor ingen grunn til å slutte at godstogene relativt sett har hyppigere ureglemeterte signalpasseringer enn andre tog.

En mye større andel av det totale trafikkarbeid for godstog er på fjernstrekningene hvor signaltettheten er mindre enn på de høyt trafikkerte strekningene rundt Oslo hvor mye av persontrafikkarbeidet foregår. Det vil derfor kanskje være mer naturlig å sammenligne med langdistanse persontog enn alle tog generelt. Totalt antall togkm for godstog i registreringsperioden er ca. 50 % større enn togkm for langdistanse persontog, mens antall ureglementerte signalpasseringer er mer enn dobbelt så stort, dvs. 17 mot 7. Dette antyder en viss overrepresentasjon, men datamaterialet er lite. For å få en helt korrekt sammenligning må man se på antall hendelser i forhold til antall restriktive signaler for de ulike togtyper, men dette er et omfattende arbeid og synes ikke formålstjenlig for dette oppdraget.

Hvis vi ser på andelen passeringer av innkjørsignal til stasjon (ref. Lillestrøm) synes forskjellen mer markant. Av totalt 25 registrerte uregelmessige passeringer av innkjørsignal i den aktuelle periode er 8 (32 %) med godstog, mens tilsvarende tall for langdistanse persontog i den aktuelle periode er 0 (0 %). Også her er det få registreringer, men forskjellene er klare. Passering av innkjørsignal i stopp er sannsynligvis også den avvikshendelsen hvor utilstrekkelig retardasjonsevne (bremsesvikt) har størst betydning.

De målinger som er utført av bremseevne på godstog viser store variasjoner mellom målte retardasjoner og det som kan forventes ut fra oppgitt bremseprosent. Det er derfor ikke urimelig om det er noe flere passeringer av innkjørsignal for godstog enn for langdistanse persontog.

10.3 Hendelsesrapporter

Nedenfor er gjort en kort oppsummerende beskrivelse av noen hendelser med bremsesvikt eller lav bremseevne. De fleste av hendelsene er av relativt ny dato, men har også tatt med noe informasjon om en ulykke i 1981 hvor bremsesvikt var årsak til sammenstøt mellom to tog. Forøvrig er hendelsene basert på utskrifter fra Synergi og supplerende informasjon skaffet til veie fra NSB Gods.

10.3.1 Nypan; 26.02.81

Sammenstøt mellom tog 5708 og tog 1727 ved Nypan stasjon. Bremsesvikt i Gt 5708 på vei nedover fra Heimdal mot Nypan (19 promille fall). Ingen alvorlig personskade. Undersøkelser av ulykkestoget viste at et fremmedlegeme hadde tettet hovedledningens slangekobling mellom vogn 2 og 3 slik at toget kun bremset på lokomotivet og de to første vognene.

Det er kontinuerlig og sterk stigning fra Trondheim til Heimdal. Det er derfor mulig og sannsynlig at Gt 5708 ikke hadde benyttet trykkluftbremsen etter avgang før toget kom til det aktuelle fallet.

10.3.2 Alnabru – Oslo S; 21.02.94

Bremsene på lok El16.2215 sviktet da loket gikk som løslok fra Alnabru til Lodalen via Oslo S. Loket passerte Oslo S i ca. 55–60 km/h, og stoppet først ved Elisenberg ca. 3 km vest for Oslo S i Oslotunnelen. Kun parkeringsbremsen virket man var ikke særlig effektiv i fart. Lokomotivets motstandsbremse var utkoblet pga. feil.

Årsaken til bremsesvikten skal ha vært frost i vitale bremsedeler pga. .kondens, og at loket hadde stått hensatt i streng kulde på Kongsvinger i flere dager før turen. Bremsesvikten ble ikke oppdaget før godsvognene var koblet fra på Alnabru.

Dette var det samme loket som gikk i tog 5781 uten at det av den grunn behøver å være noen sammenheng.

10.3.3 Billingstad; 10.09.99

Tog 5804 (CX) fikk ikke stoppet foran hovedsignal 354 UO ved Billingstad stasjon. Signalet ble passert med en loklengde. Lokfører registrerte stopp i forsignal som står 773 m foran ovennevnte signal og tilsatte fullbrems straks. Nødbrems ble senere tatt pga. dårlig retardasjon. Ifølge Synergi rapporten hadde toget meget lav bremseprosent (49 %) ved avgang Drammen. Videre i følge utskrift fra Synergi var dette kjent for lokfører.

Ved avgang Stavanger hadde toget i følge vognopptaket en bremseprosent på 63. En relativt stor andel av togets bremsede vogner ble den aktuelle dagen satt ut i Drammen (Sundland). Av de 13 vognene som ble framført videre fra Sundland til Filipstad hadde 7 avstengt brems. Det synes ikke som lokomotivfører hadde fått nytt oppdatert vognopptak ved avgang Sundland, og basert på data i vognopptaket fra Stavanger er bremseprosenten for toget fra Sundland til Filipstad 47 % med lokomotivets bremser i P-gruppe.

Fra Hvalstad til Billingstad er det i gjennomsnitt ca. 10 promille fall. Toget ble framført på uriktig spor, og den aktuelle forsignalavstanden er i knappeste laget i forhold til de retningslinjer som gjelder. At man under de ovennevnte omstendigheter passerer et stoppsignal med en loklengde kan ikke anses som veldig kritisk.

10.3.4 Lillestrøm; 05.04.00

Gt 5781 kolliderte med tog 5713 på Lillestrøm stasjon etter å ha passert innkjørhovedsignal i stopp pga kraftig forlenget bremseveg. Innkjørhovedsignalet ble passert med mange hundre meter før toget kolliderte med tog 5713 i betydelig hastighet. Fra forsignalet ved Sagdalen Bp og ned til innkjørhovedsignal for Lillestrøm er det et fall på ca. 17 promille.

Hendelsen er under etterforskning av politiet og av den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjonen som har tatt initiativet til denne studien.

10.3.5 Bryn – Loenga; 17.06.00

Ut fra Bryn mot Loenga kjørte Gt 5072 (tomt flybrenseltog) i 30 km/h. Lokfører klarte ikke å holde denne hastigheten nedover bakken. Ved innkjøring Loenga måtte lokfører ta nødbrems for ikke å overskride max hastighet, og han måtte ta fullbrems for å stoppe toget på Loenga. Strekningen har 27 promille fall.

Etter denne hendelsen ble det innledet granskning av togets bremser, og vognenes bremseprosent er midlertidig redusert med ca. 10 % både i tom og lastet tilstand. I lastet tilstand tilsvarer det at bremset vekt er redusert med 6 tonn per vogn.

10.3.6 Dombås – Otta; 27.06.00

Lokfører i Gt 5254 (CX) oppdager etter avgang fra Dombås at han har dårlige bremser på toget. En ATC-test som utføres viser at toget har 44 %, og ikke 79 % bremser som det står i vognopptaket. Ved ny bremseprøve viser det seg at 7 vogner som ligger inne med bremser i vognopptaket ikke bremser. Disse vognene ble avstengt av lokomotivfører. Toget ble deretter framført til Oslo i henhold til tillatt hastighet for den nye bremseprosenten. Toget var relativt langt (596 m), om enn ikke så veldig tungt (729 tonn). Fra Dombås mot Dovre faller linjen med 17 promille.

Toget besto etter avgang fra Dombås av en hovedvognstamme fra Åndalsnes, samt et mindre antall vogner som kom sammen med El-14 lokomotivet fra Trondheim. Fra Åndalsnes til Dombås var toget framført av en Di 8. Blant de 7 vognene som ble påstått å være uten bremser fantes både vogner fra Trondheim (1) og fra Åndalsnes (6), og vognene sto på helt ulike steder i toget. Bremseprosenten for toget med de aktuelle vogner avstengt kan beregnes til 57 %. ATC-testen som ble utført viste betydelig svakere bremsevirkning (44 %).

Etter ankomst Alnabru ble det foretatt ny bremseprøve på alle vognene uten at det ble funnet noen feil med bremsene.

Selv om det ikke skjedde noen ulykke, eller passering av stoppsignal, må denne hendelsen ansees som svært kritisk. Banen sydover fra Dombås har 17 promille fall og en svekking av bremseevnen tilsvarende det som her ble oppdaget vil føre til sterkt forlengede bremseveger.

Tabell 3.10 gir noen relevante tall på effekten av redusert bremseevne i fall:

En betydelig risiko ville oppstått hvis lokomotivføreren med det aktuelle tog hadde framført det som om han hadde 79 % bremser og toget kun hadde en bremseprosent på 44. Tallene ovenfor

Tabell 3.10 Effekt av redusert bremseevne i 17 promille fall

Bremse prosent	Max hastighet i 17 promille (km/h)	Bremseveg fra 90 km/h (m)
79	85	650 – 700
57	70	950 – 1050
44	60	1350 – 1500

viser at det vil være en betydelig fare for sammenstøt med eventuelt motgående tog hvis toget får stoppsignal på en stasjon for kryssing med motgående trafikk. Ekstra risiko vil oppstå hvis togets hastighetsmåler i tillegg viser noe for lav hastighet. Den aktuelle dagen ble heldigvis den lave bremseprosenten oppdaget før det var behov for sterk bremsevirkning. Deretter ble togets hastighet tilpasset bremseevnen og toget ført fram til Alnabru uten ytterligere problemer.

Strekningen Åndalsnes – Dombås har så godt som kontinuerlig stigning med unntak av et kortere parti fra Bottheim til Joramo før Dombås. Med bruk av motstandsbremse på loket er det fullt mulig å kjøre strekningen med relativt minimal bruk av trykkluftbremser. Vognene i toget fra Åndalsnes hadde stått uvirksomme på Åndalsnes fra lørdag morgen til mandag kveld. Bremser på vogner som har stått uvirksomme en stund eller som nylig er opplastet vil kunne vise svekket bremseevne ved første fullbrems.

Gt 5254 er kontainerexpress med fast togstamme. Vognene er stort sett av samme type som i Gt 5791 som ved retardasjonsmålinger 25.08.00 viste en bremseevne som var ca. 25 prosentpoeng lavere enn forventet ut fra oppgitt bremseprosent.

11 Referanser

1. Bremsen für Schienenfahrzeuge; Handbuch Bremstechnische Begriffe und Werte. Knorr Bremse AG. München.
2. Jernbaneverket; Trafikksikkerhetsbestemmelser. JD 345; Togenes sammensetning bremser og kjørehastighet. Oslo 1997.
3. NSB Gods; Sikkerhetsbestemmelser – Produksjon og framføring av godstog. NSB Styringssystem Dok. nr. G-60. Oslo 1998.
4. NSB Gods; Kvalitetskontroll, sikkerhetskontroll og vedlikehold av godsvogner. NSB Styringssystem Dok. nr. G-71. Oslo 2000.
5. Trykk 705, Bremser; Tjenesteskrifter utgitt av Norges Statsbaner Hovedadministrasjonen, Januar 1981.
6. Diverse dokumenter i ringperm mottatt av Henning Brustad, NSB, inklusive utdrag fra Fordonsbeskrivning Lok El.16, Norges Statsbaner; Asea Traction 1984.
7. Samferdselsstatistikk 1998; Norges Offisielle Statistikk C 557; Statistisk sentralbyrå, Oslo 2000.
8. Informasjon fra H E. Grødtlien NSB Gods.
9. NSB Notat; Uregelmessige passeringer av signal, 19.06.00.
10. Trykk 742.1 Del 6; Revisjon av bremser på godsvogner Br0, Br1 og Br2.
11. Deutsche Bahn; Teknische Regeln Fahrzeugzustand, Anhang 7: Güterwagwen, Bremsrevisionen Br2 & Br3 ausführen.

12 Appendiks A: Usikkerhetsanalyse og FMEA for bremsesystem for godstog

Usikkerhetsfaktorer

Funksjonen til flere av komponentene beskrevet i foregående avsnitt kan variere og derved gi en viss variabilitet i den endelige bremseeffekt, f.eks. vil trykket i hovedledningen kunne variere fra den fremre enden av toget til bakerste vogn avhengig av hvor mye lekkasje det er i hovedledningen. I etterfølgende tabell 3.11 er vist de faktorer en har funnet i denne undersøkelsen som kan påvirke togets bremseeffekt i den ene eller andre retning.

Tabell 3.11 Faktorer som kan påvirke togets bremseeffekt

Faktor:	Årsak	Virkning:	Virker på:	Effekt på bremsevirkning på hele toget
Vognenes vekt	Manglende veiing av last kan gjøre at transportører oppgir lavere vekt enn reelle vekt.	Variasjon i virkelig vekt fra oppgitt vekt med fare for overbelastning av vogn og redusert bremseevne for	Aktuell vogn	
Trykk i hovedledning i lok	Utfra sjekkliste for T4 på El.lok fremkommer at akseptabelt avvik er 0,15 bar fra stipulert 5,0 bar	Hjelpeluftbeholderen holdes på et annet trykk enn 5,0 bar: fører til en lavere eller høyere kraft i stempelet enn forutsatt.	Hele toget	
Trykkfall i hovedledning til bakerste vogn	Ifølge opplysninger fra NSB's personell er det ikke uvanlig med et trykkfall i hovedledningen på størrelsesorden 0,3 bar grunnet lekkasjer.	Hjelpeluftbeholderen holdes på et annet trykk enn 5,0 bar: fører til en lavere kraft i stempelet og derved et lavere klossetrykk enn forutsatt.	Bakre delen av toget	
Stivhet til fjær i størstetrykksbegrenseren	Fabrikasjonstoleranse	Utfra trykk 705 vil størstetrykk i bremsesylinderen kunne variere mellom 3,6 og 3,8 bar.	Vogn isolert	Lavere bremsevirkning enn forutsatt. Effekten vil avhenge av antall vogner og antall styreventiler med avvik i størstetrykksbegrenseren
Tap pga. friksjon i mekaniske ledd i trekkstenger og balanser	Tørrgang i bussinger i ledd mellom dragstenger og balanser.	Lavere klossetrykk enn forutsatt.	Hele/ deler av toget	Lavere bremsevirkning enn forutsatt på hele toget på 5–15 %
Avvik i slaglengden til stempelet	Feilfunksjon til etterstiller. Vil etterhvert gi en for stor slaglengde til stempelet.	Lavere kraft i stempelet da stempelfjæren må trykkes sammen mere.	Virker på aktuell vogn.	
Tillsettingstid for bremser	18–30s for G El.16 har angivelig en tilsettingstid større enn 30 s	Full bremsevirkning oppnås senere enn forutsatt	Virker på aktuelt lok-/vogn.	Mindre gjennomsnittlig bremsevirkning på toget.
Lastveksel som stiller inn etter minst belastede aksling (AC2 & AC3)		Ved skjevbelastning av vognen vil ikke bremseeffekten bli bestemt av totallasten, men av lasten på den lavest belastede akslingen.	Virker på aktuell vogn.	Lavere bremsevirkning enn forutsatt. Avviket kan imidlertid variere og er vanskelig å estimere: fra neglisjerbart til noen prosentvis reduksjon på hele toget.

Tabell 3.11 (forts.)

Faktor:	Årsak	Virkning:	Virker på:	Effekt på bremsevirkning på hele toget
Rusten bladfjær til bremseautomat AC2	Korrosjon	Deformasjonen i fjæren blir større og vognen «fremstår» som tyngre.	Virker på aktuell vogn.	Større bremsevirkning enn forutsatt. Avviket er vanskelig å estimere.
Stivhet til fjær i bremsesylinder	Fabrikasjonstoleranse	En større eller mindre del av lufttrykket i bremsesylinderen går med til å overvinne kraften i fjæren.	Vogn isolert.	Sannsynligvis liten effekt, men kan gi høyere eller lavere bremseeffekt
Funksjonssvikt til veieventil	Korrosjon, slitasje, lekkasjer.	Styreventilen får ikke signal om at vognen er lastet og justerer derved ikke opp lufttrykket levert til bremsesylinderen.	Vogn isolert.	Lavere bremseeffekt enn forutsatt. Effekten kan være betydelig på en vogn isolert. Effekten på hele toget vil avhenge av antall vogner i toget og hvor mange som er defekte.

Variabilitet i faktorer

I tabell 3.12 nedenfor er vist antatt variabilitet og usikkerhet i bremseeffekt på grunn av ulike faktorer. I figurene 3.8 og 3.9 er vist resulterende sannsynlighetsfordeling i bremseeffekt for ulike toglengder basert på inngangsdata fra tabell 3.12.

Tabell 3.12 Variabilitet i bremseeffekt pga. ulike faktorer

	Variabilitet i innvirkning på bremseeffekt
Trykk i hovedledning	Normalfordelt omkring nominell verdi med en COV på 3 %. Begrunnelse: Det nominelle trykket i HL er 5 bar. Toleransen til manometer på kjøreventil ser ut til å være ± 0,15 bar.
Trykkfall i HL bakover	Antatt at trykket synker med ca. 0,3 bar til siste vogn i toget og at trykksenkingen er lineæar langs toget. I tillegg er trykksenkingen i hver vogn antatt med en variabilitet: normalfordelt omkring den nominelle trykksenkingen med en COV på 10 %.
Friksjonstap i mekanikk	Antatt rektangelfordelt mellom 85 % og 105 % av nominell verdi. Begrunnelse: Friksjonstapet er blitt estimert til 15 % ± en signifikant variabilitet. I fordelingen ovenfor har en inkludert effekten av en riggingsfaktor på 80 %.
Feilfunksjon av etterstiller	Antatt triangelfordelt mellom 90 % (f=0) og 100 % (f=1) av nominell verdi.
Lastavveing av minst belastede aksling	Antatt rektangelfordelt mellom 90 % og 100 % av nominell verdi. Begrunnelse: veiventiler veier som regel lasten på den lavest belastede akslingen.
Stivhet fjær i sylinder	Antatt normalfordelt med en COV på 2 % kring nominell verdi. Begrunnelse: Stivheten til fjæren vil variere grunnet fabrikasjonstoleranser og muligens litt korrosjon.

Tabell 3.12 (forts.)

	Variabilitet i innvirkning på bremseeffekt
Funskjonssvikt av veieventil	50 % av nominell verdi med P= 0,1 80 % av nominell verdi med P=0,5 100 % av nominell verdi med P=0,4 Begrunnelse: Veieventiler forefaller ikke å være veldig pålitelige. I tilfelle funksjonssvikt vil de indikere for liten last til lastbremseautomaten.
Variasjon i firksjonskoeffisient	Antatt rektangelfordelt mellom 100 % og 110 % av nominell verdi. Begrunnelse: En antar at de bremsetabeller som er utarbeidet er basert på en konservativ antagelse om friksjonskoeffisienten mellom hjul og kloss. En viss variabilitet er forventet.
Hastighet	Antatt rektangelfordeling (av hastigheten) mellom 95 % og 105 % av nominell verdi. Begrunnelse: Hastighetsmålingen i loket har en viss variabilitet grunnet slitasjen av hjulene (endring i diameter) og usikkerheter til måleutstyret
Vognvekt	Antatt rektangelfordelt mellom 80 % og 110 % av nominell verdi. Begrunnelse: Oppgitt last til vogner stemmer ikke alltid med virkelig last. Dette kan virke i begge retninger.

De absolutte verdier som er vist på figur 3.8 og 3.9 bør det ikke legges for mye vekt på, men det er interessant å se forskjellen i spredning på et tog med 10 vogner og et tog med 40 vogner. Hvor det er åpenbart at spredningen i bremseevne blir større for et tog med få vogner enn et med mange vogner.

FMEA-analyse for togbremser

Tabell 3.13 inneholder en feilmode- effektanalyse for tradisjonelle trykkluft togbremser.

Figur 3.8 Sannsynlighetsfordeling av bremseeffekt for et tog på 10 vogner basert på antagelser om variabilitet i faktorer som spesifisert i tabell 3.12

Figur 3.9 Sannsynlighetsfordeling av bremseeffekt for et tog på 40 vogner

Tabell 3.13 Feilmode- effektanalyse for tradisjonelle trykkluft togbremser

Komponent/ Feil	Årsak	Konsekvens – isolert en vogn	Konsekvens – «hele» toget	Mulighet å detektere feil for togfører	Vedlikeholdstiltak
Hovedledning					
Stålrør med kraner					
Tett	Isplugg Forurensing	Umulig å tilsette bremser	Umulig å tilsette bremser på deler av elle hele toget avhengig av hvor HL er tett.	Ingen. Kan detekteres under bremseprøven.	ÅE
Innsnevring	Forurensing Mekanisk skade	Forsinket tilsetning av bremser	Forsinket tilsetning av bremser på deler av eller hele toget. Hvis innsnevringen er stor kan trykkfallet bli for langsomt i deler av hovedledningen slik at bremsene der ikke tilsettes.	Ingen.	ÅE

Tabell 3.13 (forts.)

Komponent/ Feil	Årsak	Konsekvens – isolert en vogn	Konsekvens – «hele» toget	Mulighet å detektere feil for togfører	Vedlikeholdstiltak
Brudd	Mekanisk skade Utmatting ved gjengede skjøtestykker Rust	Toget nødbremser	Toget nødbremser	Toget vil nødbremse før lokfører rekker å gjøre noe	ÅE
Lekkasje	Mekanisk skade Utmatting ved gjengede skjøtestykker Rust		Hvis lekkasjen er så stor at trykket i hovedledningen synker vil den maksimale bremsekraften bli redusert.	Kan detektere trykkfall i hovedledning. Større lekkasjer kan detekteres under bremseprøven	ÅE
Slanger					
Tett	Isplugg Forurensing	Umulig å tilsette bremser	Umulig å tilsette bremser på deler av elle hele toget avhengig av hvor HL er tett.	Ingen. Kan detekteres under bremseprøven.	ÅE
Innsnevring	Forurensing Mekanisk skade	Forsinket tilsetning av bremser	Forsinket tilsetning av bremser på deler av eller hele toget. Hvis innsnevringen er stor kan trykkfallet bli for langsomt i deler av hovedledningen slik at bremsene der ikke tilsettes.	Ingen.	ÅE
Brudd	Mekanisk skade	Toget nødbremser	Toget nødbremser	Toget vil nødbremse før lokfører rekker å gjøre noe	
Lekkasje	Ødelagt pakning Elding/ sprekker/ delaminering etc.		Hvis lekkasjen så stor at trykket i hovedledningen synker vil den maksimale bremsekraften bli redusert.	Kan detektere trykkfall i hovedledning. Større lekkasjer kan detekteres under bremseprøven	ÅE
Trykkluftkomponenter på vogner					
Bremsesylinder					
Lekkasje over stempel	Slitasje	Ingen, forutsatt lekkasjen er begrenset slik at hjelpeluftbeholderen og stempelet kan etterfylles	Ingen, forutsatt lekkasjen er begrenset slik at hjelpeluftbeholderen og stempelet kan etterfylles.	Ingen	16 års revisjon.

Tabell 3.13 (forts.)

Komponent/ Feil	Årsak	Konsekvens – isolert en vogn	Konsekvens – «hele» toget	Mulighet å detektere feil for togfører	Vedlikeholdstiltak
Tett tilløp	Isplugg Forurensing	Umulig å tilsette bremsen	Begrenset	Ingen. Kan detekteres under bremseprøven.	ÅE
Styreventil					
Tetting av inn-vendige kanaler	Forurensing Is	Ingen bremsevirkning		Ingen. Kan detekteres under bremseprøven.	ÅE 16 års revisjon.
Innvendige lekkasjer	Forurensing Elding/ spreking av membraner	Ingen eller feilaktig bremsevirkning		Ingen. Kan detekteres under bremseprøven.	ÅE? 16 års revisjon
Veieventil					
Funksjonssvikt	Slitasje Lekkasje i membran	Ventilen indikerer for lav last slik at bremseeffekten blir for liten	Begrenset, forutsatt kun en ventil svikter.	Ingen	ÅE?
Hjelpeluftbeholder					
Lekkasje	Lekkasje i rørkoblinger.	Ingen, forutsatt lekkasjen er begrenset slik at hjelpeluftbeholderen kan etterfylles	Ingen, forutsatt lekkasjen begrenset slik at trykket i hovedledningen kan opprettholdes.	Kan detektere trykkfall i hovedledning. Større lekkasjer kan detekteres under bremseprøven	ÅE
Mekaniske komponenter på vogner					
Bremseklosser					
	Sprekk	Begrenset effekt da klossetrykket vil bli opprettholdt.			Avgangskontroll? Bremseprøve ÅE
Etterstiller					
Funksjons-svikt	Slitasje, rust, brudd	Redusert klossetrykk eller lenger tilsettingstid?		Ingen	
For lang slaglengde til stempel	Slitasje, rust, brudd Feiljustert ved installasjon	For lang tilsettingstid som kan føre til lavere gjennomsnittlig bremseeffekt. For lave bremseeffekt da fjæren må komprimeres med en større kraft.	Begrenset	Ingen	

Tabell 3.13 (forts.)

Komponent/ Feil	Årsak	Konsekvens – isolert en vogn	Konsekvens – «hele» toget	Mulighet å detektere feil for togfører	Vedlikeholdstiltak
For kort slag-lengde til stempel	Slitasje, rust, brudd	For kort tilsettingstid som kan føre til høyere gjennomsnittlig bremseeffekt.	Begrenset	Ingen	
Lastbremseautomat					
Funksjons-svikt		Feilaktig klossetrykk: som regel er konstruksjonen slik at resultatet blir for lavt klossetrykk.	Begrenset	Ingen	Revisjon 16 år.
Bremsegruppeomstiller					
Funksjons-svikt		Feil tilsettingstid. Som regel fremføres godstog med vognene i P. Hvis omstilleren ikke virker kan det innebære at vognene fremføres i G istedenfor hvilket gir lavere gjennomsnittlig bremseeffekt.	Begrenset	Ingen	ÅE
Dragstenger/Balanser					
Brudd	Mekanisk skade Rust	Tap av bremse.		Ingen. Kan detekteres under bremseprøven.	ÅE
Komponenter på lok					
Kompressor					
				Vil bli detektert ved at trykket i hovedledningen faller.	
Avfukter					
Leverer fuktig luft	Mettet tørkestoff	Isplugg i styreventil etc.	Isplugg i hovedledning.	Ingen	
Oljeutskiller					
				Ingen	
Luftkjøler					
Tett slik at kjøle-luften ikke kommer igjennom			Vil føre til en langsommere etterfylling av hovedluftbeholderen, men dette vil sannsynligvis ha en relativt begrenset effekt.	Ingen	

13 Appendiks B: Intervjureferater

Møte med Asgeir Lie, Jernbaneverket

(Referatet er oppdatert basert på tilbakemelding via e-post fra Asgeir Lie 00.06.08.)

Tid/Sted: 00.06.07, Jernbaneverket, Oslo

Deltakere: Asgeir Lie, Jernbaneverket (JBV), Terje Andersen og Stefan Palm, DNV

Fraværende:

Sak 1: Godkjennelse av materiell: Med «gammelt» materiell forstås materiell godkjent før 1996.01.01 når NSB og JBV ble skilt fra hverandre. Slikt materiell ble godkjent for videre bruk etter denne dato ved et vedtak fattet mellom NSB og Samferdselsdepartementet i forbindelse med delingen av NSB.

Det foreligger en hjemmel i sportilgangsavtalen mellom JBV og NSB for JBV å følge opp godkjenningen av «gammelt» rullende materiell. Erkjennelsen av denne hjemmel er imidlertid relativt ny og den har kommet til anvendelse i form av aksjoner kun få ganger

Sak 2: RIV og RIC godkjent materiell: Rullende materiell som er RIV eller RIC godkjent kan brukes fritt på JBV's nett. JBV kan ikke nekte bruk av slikt materiell og kan heller ikke stille noen egen krav. Dette er regulert i internasjonale konvensjoner.

Sak 3: JBV krav vedrørende bremser: De eneste eksplisitte krav som JBV setter er spesifisert i JD 345 og gjelder krav til bremseprøving av tog og sammenheng mellom bremseprosenter og tillatte hastigheter.

Sak 4: Spesielle krav: NSB sammen med andre nordiske togoperatører stiller en del tilleggskrav, f.eks. krav til at ventiler i bremsesystemet skal fungere ned til –40 °C. At slike krav er oppfylt kontrolleres ikke på RIV/RIC –godkjent materiell. P.g.a lavere designtemperatur må en bruke andre pakkningsmaterialer enn ellers som kan ha en kortere levetid. Revisjonsintervall for bremseventiler er i Norge satt til 12 år.

Sak 5: Krav vedrørende vedlikehold: For nytt materiell vil det forlanges en typeaksept fra JBV. Som grunnlag for denne aksepten skal det også foreligge en vedlikeholdsplan. Prosessen for typeaksept er avklart med Jernbanetilsynet.

Møte med Jan Haagensli & Harald Larsen, NSB Gods

Tid/Sted: 00.06.09, NSB DA-bygget, Oslo S.

Deltakere: Jan Haagensli og Harald Larsen, NSB Gods – Terje Andersen og Stefan Palm, DNV

Fraværende:

Sak 1: Lokomotiver: Eieransvaret for majoriteten av de lokomotivene som benyttes i NSBs godstog ligger hos NSB Gods. Det samme gjør ansvaret for Verkstedet Grorud som er vedlikeholdsbase for NSBs elektriske lokomotiver. NSB Drift & Teknikk som ikke hører til NSB Gods har dog det tekniske ansvar for all drift og vedlikehold av lokomotiver i NSB dvs fastsetter vedlikeholdsintervaller og sjekklister for vedlikehold.

NSBs Bremsekontor ved Henning Brustad har ansvaret for NSBs tekniske krav til bremseutrustning og vedlikehold av denne.

Sak 2: Godsvogner og bremser: NSB Gods har totalansvaret for godsvogner inkludert bremseutrustningen.

NSBs tekniske krav til bremseutrustning på godsvogner samsvarer med UICs krav og er spesifisert i Trykk 705 (kopi mottatt i møtet).

Viktige komponenter i bremseutrustningen for en godsvogn er:

- Hovedledning og koblingsslanger
- Styreventil(er)
- Bremsesylinder
- Lastomstillere og «lastautomater»
- Bremseetterstiller(e)
- Stag og balanser for overføring av bremsekraft fra bremsesylinder til klosser
- Bremseklosser

På norske vogner benyttes så godt som utelukkende KE-styreventiler fra Knorr. Utenlandske vogner kan ha andre typer bremseventiler, men med RIV-merket vogn skal bremsene være kompatible.

Hovedledningstrykket holdes på 5 bar med ettermating fra lokomotiv under framføring. Trykkfall gjennom HL fra lok til bakerste vogn kan være ca 0,2–0,3 bar.

Bremseeffekt aktiveres ved å senke hovedledningstrykket ved å aktivere førerbremseventilen. Fullbrems oppnås ved å senke HL-trykk til 3,5 bar. Med opprinnelig 5 bar i hovedledning og vognenes forrådsbeholder skal da trykket i bremsesylinderen bli ca 3,8 bar, men målinger har vist ned til 3,6 bar. Motkraften til fjæren i bremsesylinderen skal tilsvare ca 0,3 bar trykk. Ved fullbrems vil bremsesylinderen mates fra hovedledningen hvis trykket i en enkelt bremsesylinder pga lekkasje faller under HL-trykket.

Ved nødbrems, dvs full tømming av HL-ledningen, vil ikke trykket i bremsesylinderen og bremsekraften bli noe større enn ved fullbrems.

Elektrisk bremse på lokomotivet vil koble ut når hovedledningstrykket synker til 3,5 bar for å unngå fastbremsing av hjul på lokomotivet. Mang-

lende el-bremse på lokomotivet har derfor ingen, eller helt ubetydelig, betydning for togets bremseveg ved fullbrems eller nødbrems.

En god litteraturreferanse til basisdata for togbremser er:

Bremsen für Schienenfahrzeuge; Handbuch Bremstechnische Begriffe und Werte. Knorr Bremse AG. München.

Sak 3: Vedlikehold av godsvogner: Vedlikeholdssystem for godsvogner og deres bremseutrustning er spesifisert i NSBs styringssystem Dok. Nr G-71, og er oppbygd av følgende aktiviteter:

- Periodisk kontroll: 26 uker (+/– 4 uker)
- Årlig ettersyn: Innført i 1996 og erstatter hovedrevisjoner for vogner som forfaller til ny hovedrevisjon R2. Årlig ettersyn utføres av NSB Gods sine egne vognvisitører i relativt enkle verksteder.
- R1: 300 000 km tilsyn (350 000 km for noen vogntyper)
- Hovedrevisjon R2 hvert 12te år er erstattet av årlig tilsyn, men forfallsdato gjelder for vogner som ikke har forfalt for overgang til årlig tilsyn.

Spesielle tilsynsintervaller gjelder for bremsekomponenter:

- Styreventiler: 16 år
- Bremsesylindre: 12 år (smøres etter 6 år)
- Lastomstillere og «lastautomater»: 12 år
- Bremseetterstillere: 12 år

Revisjon av ovennevnte bremsekomponenter unntatt smøring skjer i eget komponentverksted ved at komponenten tas ut av vognen og erstattes med en nyrevidert komponent av samme type, mens den forfalte komponenten oversendes verkstedet.

Bevegelige punkter i stag og balanser har tradisjonelt ikke blitt gjenstand for forebyggende vedlikehold, men tilstanden er kontrollert på ÅE. Erfaringer og kontrollmålinger blant annet hos SJ har vist betydelige tap i usmurte ledd i mekaniske overføringer og det kan være aktuelt å innføre regelmessig smøring.

Sak 4: Ulykkestoget (5781 natt til 5. april 2000): I oppstillingen nedenfor er vist ulykkestogets sammensetning med vognnr., avsender og mottaksstasjon, lastestatus, brutto vekt, bremset vekt og oppgitt bremseprosent:

- 338079124941 Kogr – Mosjøen L 77 54
- 338079120550 Kogr – Mosjøen L 77 54
- 217623761251 Borges – Fauske L 40 32
- 317639212545 Oslo – Mo i Ran L 78 64
- 217637012105 Alnabr – Mo i R T 13 13
- 217637010380 Alnabr – Mo i R T 13 13
- 827659270082 Grefse – Mo i R L 78 64
- 827659270264 Grefse – Mo i R L 78 64
- 827659270157 Brumu – Mo i R L 78 64

Togdata iflg. vognopptak:

- Lengde (m): 184 m
- Antall aksler: 30
- Brutto vekt (T): 532
- Bremset vekt (T): 422
- Bremseprosent: 77
- Bremsegruppe: P
- Største hastighet: 90 km/t

Testbremsinger med deler av toget (skrapjernvognene) etter ulykken har vist at reell avbremsing for enkelte av vognene har vært inntil 20–25 % dårligere enn hva som kan forventes pga. vognopptakets oppgitte bremseprosent. Det ble også nevnt at en av bremseetterstillerne i ulykkestoget ikke hadde vist noen tegn til nylig bevegelse. Dette kan være årsak til dårlig bremsevirkning.

Et regneark som viser resultater og beregninger fra bremseveimålingene med skrapjernvognene i ulykkestoget er mottatt.

Sak 5: Vedlikeholds- og tilsynshistorikk for ulykkestoget: Politiet har fått oversendt all tilsyns- og vedlikeholdsdokumentasjon for norskeide vogner i ulykkestoget. Gjennom «Undersøkelseskommisjonen» har DNV fått kopi av dette materialet.

Sak 6: Erfarte hendelser med lang bremseveg for godstog: I følge Jan Haagensli hadde NSB Gods i de senere år kun erfart to hendelser hvor godstog har passert stoppsignal pga. unormalt lang bremseveg. Kan sjekkes mot registreringer i Synergi.

Sak 7: Kontaktpersoner:

- NSB Gods vognverksted: Trond Bråthen
- Verkstedet Grorud: Hans Amberg
- Bremseverkstedet: Stein Erik Haslestad
- GDROPS: Jøran Andersen (for intervju med lokomotivførere)

Sak 8: Retardasjonsmålinger på godstog: NSB Gods sa seg villig til å medvirke til utførelse av retardasjonsmålinger på godstog ved bruk av akselerometer for å sjekke sammenheng mellom reell bremseevne og oppgitt bremseprosent.

Møte med NSB Gods Vognverksted Alnabru og Komponentverkstedet Grorud

Tid/Sted: 00.06.29, NSB Gods Vognverkstedet Alnabru og NSB Komponentverkstedet (Bremseloftet) Grorud,

Deltakere: Bengt Holmsen og Oskar Fæster NSB Gods (Vognverkstedet), Geir Midtsundstad

NSB Gods (Komponentverkstedet), Terje Andersen og Stefan Palm, DNV

Fraværende:

Sak 1: Vognverkstedet: Vedlikehold og prøving av godsvogner og deres bremsesystemer ble diskutert på et generelt grunnlag. Følgende tilsynsrutiner eksisterer i dag:

- *Bremseprøve før avgang:* Utføres av skiftekonduktør og inkluderer funksjonstest av bremse.
- *Ankomstkontroll:* Utføres av vognvisitør ved ankomst av fjerngodstog til Alnabru og omfatter visuell kontroll av teknisk løpeverk.
- *Periodisk ettersyn:* Utføres etter 26 uker (+/– 4 uker) og omfatter en kontroll i henhold til sjekkliste i NSB Gods sitt styringssystem (Dok G-71) Ettersynet kan gjøres på driftsspor og er ikke avhengig av verkstedbesøk.
- *Årlig ettersyn:* I 1996 tok NSB Gods i bruk et nytt vedlikeholds- og tilsynssystem for godsvogner hvor vogner som forfalt til hovedrevisjon ble overført til et nytt system med årlig ettersyn i NSB gods sine egne verksteder bemannet med en kombinasjon av vognisitører og verkstedarbeidere. Mange godsvogner er enda ikke overført til det nye vedlikeholdssystemet, men det er nylig vedtatt at alle resterende vogner skla inn i det nye systemet i løpet av 2 år.

Vognvisitørene er den sentrale personellressurs i NSB Gods sitt tilsyn og vedlikehold av godsvogner

Vognverkstedet ble besøkt hvor det ble anledning å ta i øyesyn bremsesystemet montert på en to-akslet godsvogn som var inne for vedlikehold. Det ble gjort følgende observasjoner.

Flesteparten av godsvognene er ennå ikke overført på det nye systemet med årlig ettersyn (ÅE) slik at det fortsatt er vogner i drift som kan ha vært revidert for opp til 12 år siden. Det er lagt planer for å få samtlige vogner over på det nye systemet med ÅE i løpet av en par år.

Bremseklosser står anslagsvis 20 000 km.

Det har vært observert flere tilfeller av funksjonssvikt til etterstillere av typen DRV3 (?).

Det har forekommet brudd på stålrøret i hovedledningen. Spesielt har det vært problemer med de skruekoblinger som brukes der røret ryker i gjengene etter en tid. Problemet ser ut til å være assosiert spesielt med en type røropplegg.

Det ble nevnt av en operatør at en ofte når styreventilen og luftbeholdere dreneres, f.eks. ved prøving i bremseprøveapparatet, finner at det renner ut en del vann.

Det ble kommentert av en operatør at han ved arbeid på hovedledningen så å si aldri har funnet betydelige mengder av vann, forurensing eller lignende i hovedledningen.

A-målet på etterstilleren (som bestemmer slaglengden til stempelet) justeres ikke ved vedlikehold. A-målet ser ut å bli innstillet en gang ved første gangs montasje av etterstilleren.

Ledd i mekanikken var tørre (ikke smurt) på den vogn som be inspisert. Det var ikke mulig å få full klarhet i om leddene smøres regelmessig eller ikke. Inntrykket er at de mesteparten av levetiden går tørre.

Prøve i bremseprøveapparatet gjennomføre på alle vogner som er inne til ÅE. Ved bremseprøven kontrolleres funksjonene til bremsesystemet. Veieventiler funksjonsprøves enkelt på/av ved ÅE, men ikke kalibreringen. *Klossetrykket som oppnås ved ulik belastning av vognen blir aldri målt.*

Anslagsvis 4 % av vognene som sendes utenlands blir satt ut av den utenlandske forvaltning. En oversikt over slike utsett ble overlevert. Av totalt ≈60 utsett i den periode som ble studert var et tilfelle klassifisert som «feil med brems», et tilfelle klassifisert som «tjuvbrems» og et tilfelle klassifisert som «stengte bremser». 22 tilfeller var klassifisert som «utenpåliggende kloss» eller «sprekk i bremsekloss».

Sak 2 Komponentverkstedet: Vedlikehold av bremsekomponenter ble diskutert og komponenter ble demontert i verkstedet. En styreventil og en lastbremseautomat med bremsesylinder, begge siste gangs revidert for ca. 15 år siden ble åpnet i DNV's nærvær. En etterstiller av type DRV revidert sist gang for ca. 4 år siden ble åpnet. En veieventil med ukjent revisjonstid ble åpnet.

Følgende ble observert.

Generelt: Ingen funksjonstester eller registreringer over feilårsaker gjøres av komponenter som kommer inn til revisjon før de blir revidert. Det foreligger ingen statistikk over påliteligheten til disse komponentene.

Samtlige åpnede komponenter unntagen veieventilen ble funnet å være i god orden innvendig, dvs. det var lite med rust, forurensing, vann etc. Pakninger var slitt, men ble bedømt å være funksjonsdyktige fortsatt.

Styreventil: Det er mulig å montere feil type styreventil på en vogn. Festet er likt for alle ventiler slik at de kan forveksles.

Membraner så fortsatt ut til å være hele og uten nevneverdig slitasje.

Etter vedlikehold blir samtlige styreventiler prøvet i et dedikert apparat mhp tider for tilsetting og løsning og maksimalt bremsetrykk. Toleransen til maksimalt bremsetrykk er ± 0,1 bar.

Veieventil: I veieventilen var stålstempelet slitt. Membranen var sprukket og slitt og det var tvilsomt om membranen fortsatt var lufttett. Metalldeler, sannsynligvis fra en brukket spennring, ble funnet. Det ble kommentert at veieventiler ofte ikke virker. Funksjonssvikt gir for lav avbremsing i forhold til vognens vekt.

Lastbremseautomat med bremsesylinder: Det var noen slitasje på metalldeler i lastbremseautomaten. Denne slitasjen ville føre til at automaten vil indikere laver last på vognen enn forutsatt.

Stivheten til fjærene i bremsesylindere blir aldri kontrollert ved prøving eller på noen annen måte.

Etter vedlikehold blir lastbremseautomater justert i henhold til fabrikantens anvisninger. Automatene blir ikke prøvet slik at en kan bestemme om de gir riktig kraft fra sylinderen for en gitt vognvekt.

Bremseetterstillere: Etterstillere blir ikke funksjonsprøvet etter revisjon.

Møte med NSB Teknisk Sektor

Tid/Sted: 00.08.10, NSB Hovedkontor, Prinsens gt.

Deltakere: Terje Ekrann NSB Drift og Teknikk (DTDME), Henning Brustad NSB Bremsekontoret, Sverre Tobiassen NSB Drift og Teknikk (DTDMV), Ingemar Pålsson Undersøkelseskommisjonen, Terje Andersen DNV

Fraværende: Stefan Palm DNV

Sak 1: Organisasjon og ansvar: Eieransvaret for majoriteten av de lokomotivene som benyttes i NSBs godstog ligger hos NSB Gods. Det samme gjør ansvaret for Verkstedet Grorud som er vedlikeholdsbase for NSBs elektriske lokomotiver. NSB Gods har totalansvaret for utførelse av vedlikehold på godsvogner inkludert bremseutrustningen.

NSB Drift & Teknikk som ikke hører til NSB Gods har dog det tekniske ansvar for all drift og vedlikehold av lokomotiver i NSB dvs fastsetter vedlikeholdsintervaller og sjekklister for vedlikehold. NSBs Bremsekontor (Drift & Teknikk) ved Henning Brustad har ansvaret for NSBs tekniske krav til bremseutrustning og vedlikehold av denne.

Sak 2: Loktype El 16: Lokomotivet er et 4-akslet elektrisk universallokomotiv levert av ASEA Traction i perioden 1977–84. Lokomotivet benyttes både i persontog og godstog, men etter anskaffelsen av El18 er andelen godstogkjøring økt.

- Noen tekniske data:
- Timeytelse: 4400 kW
- Trekkraft kont: 209 kN
- Elektrisk bremseytelse: 2400 kW
- Største hastighet: 140 km/h
- Brutto vekt: 80 tonn
- Dynamisk vekt: 90 tonn
- Bremset vekt:

1. G: 62 tonn
2. P: 80 tonn
3. R: 120 tonn

Sak 3: Bremseutrustning på El-16: El 16-loket er utrustet med en konvensjonell togbremse med førerbremseventil type D3a og styreventil KELAK-V5 fra Knorr-Bremse. Lokomotivet har som andre lokomotiv i tillegg en direkte-bremseventil type Zbr. I tillegg har lokomotivet en nødbremsventil som står i direkte forbindelse med den gjennomgående hovedledningen, og som kan aktiveres uavhengig av førerbremseventilen for togbremsen.

Lokomotivet er utrustet med skivebremser som hovedbremse med en bremsesylinder per aksling. Bremseskivene er montert på hjulene, og det er således to skiver per aksling. I tillegg har lokomotivet en lettere klossbrems for å holde hjulbanene rene dvs. fjerning av rubb m.m. Klossbremsene har en bremsesylinder per hjul (Totalt 8).

For å hindre fastbremsing av en eller flere akslinger finnes et glidevern i styringssystemet som påvirker en fastbremsingsventil (en for hver boggi) som løser bremsen i den aktuelle boggi.

Trykkluft forsynes av en Tamrock skruekompressor med kapasitet 2,7 m^3/min. Deretter går lufta igjennom en oljeutskiller og en Hamrin regenererbar adsorpsjonstørke basert på Silicagel.

Lokomotivet har bremsegruppeinnstilling for G, P og R. Skivebremsene har tilnærmet lik friksjonskoeffisient over hele hastighetsområdet. Høy- og lavutbremsing er derfor utført på følgende måte:

- I bremsestilling G eller P aktiveres bremsesylindrene ved bruk av togbremsen med et trykk på 170 kPa ned til en hastighet på 60 km/h. For lavere hastighet økes bremsesylindertrykket til 320 kPa. Dette gir en bremsekarakteristikk tilsvarende den for klossbremser.
- I stilling R aktiveres bremsesylindrene med det høye bremsesylindertrykket over hele hastighetsområdet.

På grunn av skifte mellom høy- og lav utbremsing er hver boggi utrustet med regulerbare lastbremsventiler (RLV-ventiler). Lokomotivtype El.16 har relativt lange tilsettings- og løsetider for bremsene. For bremsegruppe G er tilsettingtiden til fullbrems hele 35–40 s. Dette er en lengre tilsettingstid enn det som er spesifisert av UIC og JBV som krever en

tilsettingstid ved fullbrems på 18–30s for bremsegruppe G.

Også ved aktivering av nødbremsventil vil man kun få lavutbremsing av lokomotivet over ca. 60 km/h hvis bremsegruppestilling G eller P er valgt.

Ved bruk direktebrems kan trykket i bremsesylinderen ved G eller P-stilling økes i hastighetsområdet over ca 60 km/h, men da virker ikke glidevernet.

Lokomotiv Type El.16 er også utrustet med Elbremse som aktiveres fra kjørekontrolleren. Elbremsen er først og fremst tiltenkt hastighetsendringer underveis og holde konstant hastighet i fall.

El-bremsen er ingen stoppbremse og effekten minker med hastigheten. Ved hastigheter under 60 km/t vil den automatisk suppleres av trykkluftbremsen.

Ved fullaktivering av lokomotivets trykkluftbrems vil el-bremsen koble ut for å unngå låsing av hjulene og gliding.

Bremseeffekt aktiveres ved å senke hovedledningstrykket ved å aktivere førerbremseventilen. Fullbrems oppnås ved å senke HL-trykk til 3,5 bar. Ved fullbrems vil bremsesylinderen mates fra hovedledningen hvis trykket i en enkelt bremsesylinder pga. lekkasje faller under HL-trykket.

Ved nødbrems, dvs full tømming av HL-ledningen, vil ikke trykket i bremsesylinderen og bremsekraften bli noe større enn ved fullbrems.

Sak 4: Skivebremser og snøproblemer: På spørsmål uttalte Henning Brustad at med de værforholdene som var ulykkesnatten kunne man ikke utelukke at det var is- og snøproblemer med lokomotivets skivebremser, men skivebremser og vinterproblemer var primært et persontogproblem.

Sak 5: Vedlikehold av lokomotiv type El.16: Vedlikeholdssystem for lokomotiver og deres bremsesystem er basert på Terminettersyn og Revisjoner.

For El.16 er det 5 ulike terminettersyn T1-T5 som forfaller til utførelse basert på lokomotivets km-løp. Km-løpene for de ulike terminettersynene er slik at intervallene for et høyere nummerert terminettersyn alltid er et helt multiplum av km-løpet for T1 slik at sjekkpunkter for et lavere nummerert terminettersyn alltid er inkludert i et høyere (dvs T2 inneholder alle sjekkpunkter i T1 pluss noe tillegg osv.). For hver type terminettersyn er det utarbeidet en sjekkliste med informasjon om hva som skal gjøres og hvor det skal kvitteres for utførelsen av hvert enkelt punkt.

I tillegg til terminettersyn er det revisjoner hver 1,5 mill km eller maksimum hvert 8.år. Ved alle revisjonene gjøres også fullstendig bremserevisjon som innbefatter åpning og innvendig kontroll av alt trykkluftutstyr.

Bremseutrustning på lokomotiv vil derfor ha noe hyppigere revisjoner enn tilsvarende utrustning på vogner.

Sak 6: Ulykkestoget: Togdata iflg. vognopptak:

- Lengde (m): 184 m
- Antall aksler: 30
- Brutto vekt (T): 532
- Bremset vekt (T): 422
- Bremseprosent: 77
- Bremsegruppe: P (lokomotiv i bremsegruppe G)
- Største hastighet: 90 km/t

Etter ulykken er de fleste av vognene i ulykkestoget veid og vekten funnet godt i overenssstemmelse med vognopptaket.

Testbremsinger med deler av toget (skrapjernvognene m.m.) etter ulykken har vist at reell avbremsing for enkelte av vognene har vært inntil 20–25 prosentpoeng dårligere enn hva som kan forventes i forhold til angitt bremset vekt på vognen.

Angående selve bremseforløpet forut for ulykken ble følgende nevnt:

- Det var en viss bremsevirkning under hele forløpet fra utkjør Strømmen stasjon til sammenstøtet på Lillestrøm.
- Bremsevirkningen var tiltakende under bremseforløpet
- Sammenstøtet skjedde med en hastighet på ca 60 km/h
- Netto retardasjonsverdi for strekningen fra Sagdalen Bp til sammenstøtpunktet var ca 0,2 m/s^2.

Sak 7: Vedlikeholds- og tilsynshistorikk for El.16.2215:

Lokomotiv El.16.2215 i ulykkestoget kom rett fra et T-4 terminettersyn. Sjekkliste for T-4 ettersyn ble lovt oversendt.

Sak 8: Vedlikeholdsrutiner for godsvogner bremseutrustning: Opplysninger mottatt og observasjoner gjort i møte med NSBs vognvisitørtjeneste og komponentverkstedet på Grorud ble referert for NSB Drift og teknikk, spesielt med hensyn på manglende etterprøving av reell bremsevirkning (klosstrykkmålinger) og manglende funksjsonskontroll av utrustning før og etter revisjoner. Det var ingen kommentarer til de observasjoner som DNV hadde gjort.

Sak 9: Retardasjonsmålinger på godstog: NSB Teknisk sektor sa seg villig til å medvirke til utførelse av retardasjonsmålinger på godstog ved bruk

av aksellerometer for å sjekke sammenheng mellom reell bremseevne og oppgitt bremseprosent.

DNV etablerer prosedyre for målingene.

Møte med lokomotivførere i NSB

Tid/Sted: 00.09.07 kl. 10:00–13:00; Oslo S., Rom 440

Deltakere: Ove Repål lokfører NSB, Harald M. Sjødalstrand lokfører NSB, Steinar Nordmoen lokfører NSB, Per Kristian Pedersen lokfører NSB, Stefan Palm og Terje Andersen DNV

Fraværende:

Sak 1: Kvalifikasjoner og kompetanse for lokomotivførere som framfører godstog:

Lokomotivførerne går gjennom et opplæringsprogram som lokomotivføreraspiranter. Dette er en blanding av teoretisk utdanning og praktisk kjøreopplæring sammen med en kjørelærer. Ved nyansettelse i dag tar utdannelsen 16 mnd. fra ansettelse til man er autorisert som lokomotivfører. Tidligere tok opplæring og kvalifisering vesentlig lengre tid, og inneholdt en periode på flere år hvor man gikk i tjeneste som lokomotivførerassistent på godstog. Dette gav god mulighet for opplæring og praktisk kjøring med godstog.

I Oslo-området foregår dagens opplæring stort sett på lokaltogsett av Type 69. For å kunne kjøre andre typer tog må man ha typekurs for de ulike materielltyper. Dette kommer i tillegg til de ovennevnte 16 mnd.

Pensum i den teoretiske opplæringen legger stor vekt på togets bremse- og trykkluftsystemer med detaljert gjennomgang av en rekke styreventiler og førerbremseventiler. Lokomotivførerne anser dette som godt dekket i opplæringen. Utdanningen inneholder ingen spesialopplæring hvordan man skal forholde seg ved helt eller delvis bremsesvikt eller spesialkompetanse for framføring av godstog med farlig gods.

Ved oppsett av tjenesteturer tilstrebes det, basert på personalets ønsker, mest mulig blandet tjeneste (dvs blanding av lokaltog, IC-tog, fjerntog, godstog). Rendyrking av togslag for å få bedre spisskompetanse på kjøring av utvalgte togtyper ble ikke vurdert som relevant.

Sak 2: Lokomotivuttak, tilkobling til tog, bremseprøve av tog: Ved uttak av lokomotiv testes SIFA-utrustning og ATC-utrustning samt lokomotivets førerbremseventiler for automatisk virkende brems og direktebrems i begge ender. Ser trykkfall på manometer og hører utblåsning ved løsing. På lok med klosser (for eksempel El.14) vil man gå ut å observere at klossene tilsetter. På lok med skivebremser (El 16, El.18) kan ikke dette observeres og gjøres derfor ikke. Slitasje på bremseklosser sjekkes ved innsett.

De fleste godstog framføres i dag en-bemannede med lokomotivfører alene i toget. Skiftekonduktør assistere ved tilkobling til togstamme samt ved etterfølgende utførelse av bremseprøve. I noen tilfeller er det vognvisitører som utfører bremseprøven, spesielt på utenlandstog mot kontinentet.

Personale fra NSB Gods har ansvar for framdrift i togets forberedelser for avgang, men lokomotivføreren har et klart ansvar for at en bremseprøve blir utført før togets avgang og har ikke lov å kjøre før det er utført. Kvaliteten på utførelsen av bremseprøven er NSB Gods og bremseprøvers ansvar.

Lading av hovedledningen hvis denne er tømt tar vanligvis ca 5–10 min. De ulike steg i en fullstendig bremseprøve er:

- Fylling av hovedledning til 5,0 bar og tetthetstesting av hovedledning
- Refylling og tilsetting av bremser med 0,6 bar trykksenking i hovedledningen
- Visuelt på bremsesylinder og/eller med spark eller slag på klossene sjekke bremsenes tilsetting på hver vogn
- Førerbremseventilen settes i fartsstilling (løsing) og bremseprøver kontrollerer at bremsene på alle vogner med virksom trykkluftbremse løser ut.

Det vil som oftest være bremseprøver som bestemmer hvilken type bremseprøve som gjøres avhengig av om toget vurderes som et nytt tog eller om det kun er lokbytte på en tidligere framført og sammenkoblet togstamme. Hvis lokomotivføreren krever fullstendig bremseprøve vil ingen protestere mot det.

Gjennomslagsprøve utføres ved lokbytte eller ved inntak av vogner i tog. De nye vognene skal ha full bremseprøve.

Normalt vil det være en skiftekonduktør som assisterer lokomotivfører med utførelse av bremseprøven, men såfremt sporet er tilstrekkelig plant kan lokomotivfører også gjennomføre den alene. Det gjøres ved henting av tomme flybrenselvogner på Gardermoen om kvelden.

Kvalifikasjonsbevis for bremseprøvere eksisterer ikke og lokomotivføreren har ingen mulighet for å sjekke at bremseprøveren er kvalifisert?

En fullstendig bremseprøve tar ca. 20–30 minutter avhengig av toglengde. Lokførerne er generelt fornøyd med dagens rutiner for bremseprøving.

Sak 3: Togdata: Før togavgang mottar lokomotivfører vognopptak for toget som inneholder data

over togets lengde (inkl. lok), brutto togvekt, bremset vekt, bremseprosent, største hastighet, opplysninger om eventuelt farlig gods i toget.

NSB Gods er ansvarlig for at disse data er korrekt, og lokomotivføreren vil rutinemessig ikke etterprøve disse data da han ikke har mulighet for det, med unntak for største hastighet pga. aksellast som han kan sjekke fra vognopptaket. Det gjøres nok i en viss utstrekning.

NSB Gods er ansvarlig for å oppdatere togdata (bremseprosent etc) hvis deler av toget skal settes ut underveis eller nye vogner tas inn. Hvis vogner settes ut eller bremser kobles ut på initiativ fra lokomotivfører må han selv sørge for oppdatering av togdata.

Relevante togdata som toglengde, bremseprosent og største hastighet mates inn i ATC-systemet. Som største hastighet hender det man mater inn 10 km/h høyere enn det som er oppgitt i vognopptak av følgende grunner:

- Unngå ATC-oppbremsing ved sliring under dårlige adhesjonsforhold
- Avvikende kalibrering på hastighetsindikator og Teloc (ATC-systemets hastighetsmåler)
- Mer praktisk og økonomisk framføring ved kupert bane ved at man unngår å måtte bremse i lavbrekk kun fordi man går over tillatt hastighet med noen få km.

Det ble presisert at denne praksis ikke betyr at man generelt kjører for fort.

Det står i JBVs trafikksikkerhetsbestemmelser at lokomotiv i godstog skal framføres i bremsegruppe G. Dette skjer relativt sjelden. Lokomotivførerne ser ikke poenget med det all den tid de fleste trekkraftaggregater har elektrisk brems som man oppfordres til å bruke.

Dagens system med omfattende bremsetabeller som angir hvor fort man har lov å kjøre i ulike fall med en gitt bremseprosent fungerer ikke. Disse konsulteres i liten grad eller aldri av lokomotivførerne og has ikke tilgjengelig i førerhuset:

- Tabellene er for vanskelige å slå opp i underveis når man kommer til et angitt fall og bare de færreste husker stignings- og fallforhold langs hele strekningen. Anbefaler svensk system med strekningsvis angivelse i «Linjebok».
- De oppgitte bremseprosenter er upålitelige og kan ikke stoles på derfor må bremsene prøves og hastigheten avpasses skjønnsmessig i forhold til generelle erfaringer og følelsen for togets bremser.

Togvektene kan ofte avvike fra oppgitt togvekt spesielt for tog med flis og tømmer, men forholdene er blitt bedre i det siste. Lokomotivfører kan ikke sjekke togvekt annet enn ved avlesing av strømforbruk ved pådrag.

ATC-funksjonen for å bestemme bremseprosent brukes lite da de fleste ikke kjenner den, eller er opplært til å gjøre den. Brukes i Sverige.

Sak 4: Framføring/bremsing: Prøvebremsing etter avgang fra utgangsstasjon og før kraftige fall gjennomføres og anses viktig for å få følelse med togets bremser. Aktuelle prøvebremsestrekninger etter avgang fra skiftestasjoner, andre avgangsstasjoner eller kraftige fall er ikke skiltet, og det er ikke lagt opp til hjelpemidler for å bedømme resultatet av prøvebremsingen. Det siste ble også vurdert som vanskelig å gjennomføre.

Hvor man går rett ut i fall fra en stasjon kan det være vanskelig å finne egnet sted for prøvebremsing før man er ute i fallet (for eksempel Dombås). Ved avgang fra Alnabru mot Loenga og Oslo S kan man prøve bremsene før Bryn stasjon.

Den oppsatte rutemessig kjøretid for godstog ble ansett realistisk i forhold til de hastighetsbegrensninger som gjelder for tog og bane, men det kan være vanskelig å ta inn forsinkelser hvis man er forsinket i avgang fra utgangsstasjonen. Kjøring av godstog ble ansett mindre stressende enn kjøring av persontog. Eksempelvis færre stopp og lite stress med korrekt avbremsing for å treffe plattform m.m.

Forsignalavstandene kan være knappe og man begynner om nødvendig nedbremsing med det samme man ser et restriktivt forsignal før signalet passeres. Spesielt ved vanskelig føreforhold er dette viktig. Andre problemer er:

- Hovedsignaler flyttes uten at tilhørende avstandsmarkeringsstolper flyttes tilsvarende
- Manglende vegetasjonskontroll har i løpet av sommeren innskrenket siktavstand og sikttid for enkelte signaler slik at de kun oppdages like før passering (for eksempel Sagdalen Bp)

Lokomotivpersonalet er ikke kjent med hvilke marginer som ligger inne i de tillatte hastigheter ved ulike bremseprosenter og fall.

Lokomotivets hastighetsindikator vurderes å ha en nøyaktighet på +/– 5 %

Ved spørsmål om det hender framføringen av toget påvirkes av hvordan man forventer at signaler skal reagere når man nærmer seg dem ble det generelt kontant benektet, men det ble sagt at det hender man kan gjøre feilslutninger i forhold til signalbilder som vises.

Med hensyn til innvirkning av vær- og føreforhold på togets bremseegenskaper ble det sagt at godstog var minst påvirket og at det kunne være

mye større problemer med skivebremsede persontog.

Problemer med bremsesvikt på grunn av fykesnø og skivebremser på El.16 var ukjent for godstog.

Sak 5: Avvikssituasjoner, problemer m.m. Det vanligste problem med godstogbremser under vinterforhold med snø, is og lave temperaturer er lekkasje og trykkfall i hovedledningen på grunn av lave temperaturer og problemer med å løse bremsene.

Ved bremsing togbremse på El 16 er det normalt lavavbremsing i bremsesylinderne på lokomotivet (170 kPa) ned til hastigheter på omkring 50 km/h. Dette gjelder også ved fullbrems og nødbrems. I en slik situasjon vil bruk av lokomotivets direktebrems øke lokomotivets avbremsing. De intervjuede lokomotivførerne var ikke kjent med dette forholdet, men antar at de i en krisesituasjon antagelig likevel ville prøvd å bruke direktebremsen på lokomotivet. Et utsagn var: «Ville forsøkt å dra i alle håndtak en hadde under en slik situasjon».

Det ble kategorisk benektet at det ofte var problemer med godstogbremser. Følgende avvik som kan forekomme med godstogbremser ble nevnt:

- Tynne klosser
- Sprekte klosser
- Tjuvbremsing
- Lekkasje i styreventil eller bremsesylinder og avstenging av bremser på vogn.

Nye bremseklosser gir dårlig bremsevirkning ved de første oppbremsingene fordi klossene ikke er tilpasset hjuldiameteren (dvs. ligger an kun på visse punkter), samt evt korrosjonsbelegg.

Når det gjaldt hendelsen på Lillestrøm 05.04.2000 ble følgende mulige årsaksfaktorer nevnt:

- Is og snø i systemet pga. løse slanger som ikke er hengt opp i sine blindkoblinger
- Skiftemaskin på Alnabru går ofte hele dagen med alle 4 slanger løse
- Ispropp som ikke stenger systemet ved forsiktig bremsing (0,6 bar trykksenkning) som er foreskrevet for bremseprøve, men som vil løsne og stenge HL ved fullbrems (1,5 barG).

14 Appendiks C: Måling av retardasjon på godstog

Sammendrag:

Målinger av retardasjon under nødbremsing ble utført den 25. august på tog 5079, 5791 og 5252, den 6. september på tog 5054 og den 7. september på tog 5709.

Målingene ble forsøkt utført på strekninger med konstant fall eller stigning. Fall og stigning tilfører ikke usikkerhet i målingene, men endringer i fall/stigning over togets lengde tilfører usikkerhet.

Det ble forsøkt notert hastigheten og det tidspunkt togføreren startet bremsingen. Tidspunktene må betraktes å ha noen få sekunders usikkerhet (2–3). Dette må tas i betraktning dersom tilsettingstiden for bremsene skal vurderes.

En tendens i målingene er at bremseeffekten var mindre under første oppbremsing enn i de etterfølgende.

Det ble målt typiske retardasjoner i området 50 til 67 mG.

1 Sammendrag

Målinger av retardasjon under nødbremsing ble utført den 25. august på tog 5079, 5791 og 5252, den 6. september på tog 5054 og den 7. september på tog 5709.

Målingene ble forsøkt utført på strekninger med konstant fall eller stigning. Fall og stigning tilfører ikke usikkerhet i målingene, men endringer i fall/stigning over togets lengde tilfører usikkerhet.

Det ble forsøkt notert hastigheten og det tidspunkt togføreren startet bremsingen. Tidspunktene må betraktes å ha noen få sekunders usikkerhet (2–3). Dette må tas i betraktning dersom tilsettingstiden for bremsene skal vurderes.

En tendens i målingene er at bremseeffekten var mindre under første oppbremsing enn i de etterfølgende.

Det ble målt typiske retardasjoner i området 50 til 67 mG.

2 Innledning

For å danne seg et bilde av hvordan faktisk bremseevne stemmer med bremseprosenten som gis lokfører, ble DNV RN413 engasjert av DNV RN570 til å måle retardasjoner under nødbremsing av et mindre antall godstog.

3 Målte retardasjoner

Tabell 3.14 Sammendrag av målingene

Tog nr. Lengde Bre.vekt- Bre.gr.	Type Aksler Bru.vekt Brems%	Start brems km/retn.	Stigning (p.mill) +oppover –nedover	Hastigh. km/t b.på/ av = brems på/av.	Start brems kl.	Typisk retar- dasjon (mG)	0-stilling
Målinger på 3 tog utført 25. august 2000							
5073 335m 780t P	Flybrensel 60 1350t 58 %	16nordg	–10.5	77 30b. av 0	09:13:30 09:14:34	50.2	09:13:28 før brems
		24nordg	+ 1.5	80 0	09:26:27 09:27:06	56.0	
5791 393m 614t P	Container 50 630t 91 %	49nordg	+ 1.5	90 0	10:38:57 10:39:51	55.3	Stans på Bøn 10:53:00
		69nordg	+ 0.23	87 b.på 50b. av 0	11:03:30 11:04:01 11:04:22 11:04:43	58.8	
		91nordg	0.00	94 30b. av 0	11:22:05 11:22:48	57.3	
5252 146m 273t P	Vognlast./ tank 24 381t 68 %	70.7sørg	–0.23	90 30 0	13:29:40 13:30:13 13:30:23	64.1	Forover/ bakover trill Espa
		48.3sørg	–3.00	90 40 0	13:52:49 13:53:51 13:54:09	64.3	
Målinger på ett tog 6. september 2000							
5054 350m 698t P	Flis/tømm. 60 1010t 68 %	33sørg	+ 2.5?	82 60b. av 20 0	20:01:00 20:01:26 20:01:33	63.0	Trill forover /bakover Rånåsfoss
		25	+ 0.8?	80 0	20:17:03 20:17:36	66.9	
Målinger på ett tog 7. september 2000							
5709 125m 202t P	Vognlast 244t 75 %	16nordg	–10.5	84b.på 50 0	08:45:54 08:46:21 08:46:41	57.4	Trill forover /bakover bare lok spor 0 Nyland
		ATC nordg.	?	80 0		63.5	
		24.5nord g	+ 1.5	80b. på 60b. av 0	09:07:27 09:07:40 09:08:01	66.3	

4 Grafiske utskrifter

Grafiske utskrifter fra målingene (figur 1–30 i appendiks C til DnVs rapport) er ikke tatt med her. Resultater av målingene fremgår i tabell 3.14.

5 Instrumentering

Det ble benyttet et inklinometer Sperry Clinometer, s.no. 0230002, Gantner ISM-01, s.no 864 måleforsterker og veieprogram versjon VY00601a kjørt på en Compaq LTE Elite 4/75 CX. Systemet ble drevet av 2 stk 12V 7 Ah blyakkumulatorer. Disse ble koblet i serie slik at det ble tilgjengelig 12V til PC, 24 V til ISM-01 m.RS485-converter og +/– 12V til inklinometer. Systemet kunne kjøre uavbrutt i ca. 3 timer på ett sett batterier.

6 Måleusikkerhet

Uten å ha gjort noen beregning antas absolutt måleusikkerhet av retardasjonene å være i størrelsesorden +/– 2 mG og +/– 3 %. Måleusikkerheten utgjøres i hovedsak av kalibreringsusikkerhet og hysterese i inklinometeret, nullstilling ved trilling fremover/bakover samt mulig effekt av fjæringen på lokmotivet. De relative usikkerhetene mellom forskjellige oppbremsinger på samme tog er vesentlig mindre da de i hovedsak vil utgjøres av hysterese i inklinomete og lokomotivfjærer samt støy og kvantiseringsfeil i målesystemet. De to siste er i størelsesorden 0.2 mG.

Målingene ble forsøkt utført på strekninger med konstant fall eller stigning. Fall og stigning tilfører ikke usikkerhet i målingene, men endringer i fall/stigning over togets lengde tilfører usikkerhet. Denne usikkerheten anslås til under 0.5 mG i de foretatte målinger.

Den typiske retardasjonsverdien er beregnet som middelverdien fra det tidspunktet full bremseeffekt er oppnådd og til bremseeffekten begynner å stige vesentlig pga. lav hastighet. Tidspunktene er valgt skjønnsmessig og vises av cursorene i de grafiske utskriftene.

Det ble forsøkt notert hastigheten og det tidspunkt togføreren startet bremsingen. Tidspunktene må betraktes å ha noen få sekunders usikkerhet (2–3).

Vedlegg 4

Sammendrag av NSB BAs bremsetekniske rapport Lillestrømulykken 05.04.2000

Oppsummering av hovedresultater

NSB BAs bremsekontor v/Henning Brustad

1 Konstaterte fakta

- Nødbremsekran og direktebrems ble ikke benyttet på El 16 2215 i forkant av kollisjonen.
- Innstilt maksimalhastighet på 100 km/h i ATC-panelet er 10 km/h høyere enn ulykkestogets lovlige maksimalhastighet.

Det er konstatert brems på følgende materiell:

- El 16 2215: Bremsesylindertrykket har vært minimum 0,6 bar minst 920 meter før kollisjonen.
- Fremste Os-vogn (vogn 5)
- Bakerste Ealos-vogn (vogn 9)

Konstaterte hastigheter for ulykkestoget (korrigert for registreringsfeil og hjuldiameteravvik):

- Kollisjonsøyeblikket: ca. 62 km/h
- 1050 meter før kollisjonen: 90–91 km/h
- Maksimalhastighet i fallet etter Strømmen: 102 km/h

Ulykkestogets hastighetsøkning i fallet etter Strømmen:

- Bestemt maks aks fra hastighetsrull: ca. 0,11 m/s^2
- Tidsvarighet av reg maks aks: ca. 15 sek.
- Utkjørt distanse med maks aks: ca. 400 meter

Ulykkestogets maksimale retardasjon i fallet etter Strømmen: 0,14–0,16 m/s^2

- Kollisjonssted: Spor 7 Lillestrøm stasjon ved ca. km 20,6
- Kollisjonstidspunkt: 05.04.2000 kl 00:57

2 Kartlegging av faktisk bremseevne til rekonstruert ulykkestog

Registrerte avvik av betydning på El 16 2215

- I bremsegruppe G er det konstatert noe lang bremsetilsettingstid ved nødbrems.
- Oppnådd resultat på 45 sek ligger et stykke over kravet på 18–30 sek.
- På grunn av skader og luftlekkasjer var det vanskelig å få et fullstendig bilde av lokomotivets faktiske bremseevne. Det var bare mulig å få målt beleggkreftene ved en aksel, og oppnådd verdi her lå noe lavt i forhold til teoretisk verdi.
- Målt/anslått beleggkraft for loket: = 74 % av teoretisk verdi
- Anslått faktisk bremsevekt for loket i bremsegruppe G: = 50 % av teoretisk verdi

Registrerte avvik av betydning på godsvognene

- Konstatert bremseevne for ulike vogner er gjennomgående noe dårlig i forhold til teoretiske verdier.

Oppnådde gjennomsnittsresultater for samtlige ni vogner i ulykkestoget (antatt identiske verdier for VTG-vogn 1 og 2) er:

- Klosskraft/retarderende bremsekraft = 66 % av teoretisk verdi
- Bremset vekt = 77 % av teoretisk verdi

Ifølge gjennomførte kontrollveiinger veier godsvognene i ulykkestoget til sammen tre tonn mindre enn hva som er angitt i togets vognopptak. (529 tonn, ikke 532).

Kontroll av vognene enkeltvis med datastyrt bremseprøveapparat avslørte mindre luftlekkasjer på fire vogner:

– VTG-vogn 2:	vogn nr. 2:	HL-lekkasje	= 0,18 bar/min
– Rgps-vogn:	vogn nr. 4:	HL-lekkasje	= 0,35 bar/min
		C-lekkasje	= 0,14 bar/min
– Os-vogn 2:	vogn nr. 6:	C-lekkasje	= 0,04 bar/min
– Ealos-vogn 2:	vogn nr. 8:	HL-lekkasje	= 0,20 bar/min

Rekonstruert ulykkestog 2 på Alnabru 27.6 med uoriginalt El 16-lok og to innleide VTG-tankvogner inkluderte to av tre originalvogner med HL-lekkasje. Uansett ble tetthetsprøven gjennomført med godkjent resultat. Konstatert HL-lekkasje var 0,35 bar i løpet av ett minutt.

Resultater for lok og vogner

Dokumenterte faktiske bremsedata for rekonstruert ulykkestog sammenlignet med angitte verdier i vogn opptaket blir:

	Faktisk verdi	Ifølge vognopptak
– Dynamisk masse [tonn]:	619	622
– Bremset vekt [tonn]:	357	484
– Bremseprosent:	57	77

Faktiske bremseevne til rekonstruert ulykkestog (ved 0 promille fall) kan ellers beskrives på følgende måte:

	Faktisk verdi	Teoretisk verdi
– Maksimal retarderende kraft ved fullbrems/nødbrems (lav-utbremset lok i G) [kN]:	319,2	476,5
– Maksimal retardasjon ved fullbrems/nødbrems (lav-utbremset lok i G) [m/s^2]:	0,51	0,77

Ulykkestoget kjørte natt til 5. april strekningen Alnabru-Lillestrøm hvor Hanaborg er høyeste punkt. Lørenskog stasjon ble passert i ca. 30 km/h pga. kjøring i «avvik», og opp mot Hanaborgtoppen akselererte togsettet til ca. 60 km/h ifølge lokfører. Fallet ned mot Strømmen ble brukt til å øke farten ytterligere. Ved passering Strømmen har togets hastighetsmåler i førerrom 2 vist ca. 91 km/h, men pga. unøyaktigheter i hastighetsmåleren og stor hjuldiameter ved aksel 2 (intet unormalt) har togets reelle hastighet vært nærmere 96 km/h. Etter Strømmen er det et langt fall på ca. 17 promille som begynner fra kmp 18,3, og det er her bremsesvikten har skjedd.

Vi kan sette opp følgende kraftbalanse for togsettet i fallet:

F(brems) + F(motstand) – F(fall) = m * a

hvor	F(brems)	= retarderende kraft pga. tilsatt brems
hvor	F(motstand)	= retarderende kraft pga. friksjon og luftmotstand
hvor	F(fall)	= m-dyn * a-fall
hvor	m-dyn	= ulykkestogets dynamiske masse
hvor	a-fall	= g * 17/1000 m/s^2 = 0,167 m/s^2
hvor	a	= ulykkestogets akselerasjon/retardasjon i fallet

Ifølge gjennomført prøvekjøring med rekonstruert ulykkestog 3 (23.10) ble det oppnådd en maksimal akselerasjon på ca. 0,12 m/s^2 ved fremføring av ubremset tog på strekningen Strømmen–Sagdalen bp med utgangshastigheter på inntil 75 km/h. Tilnærmet samme akselerasjon finner vi imidlertid også på hastighetsrullen fra El 16 2215 i ulykkestoget. Antatt tilnærmet samme friksjons- og luftmotstand for ulykkestoget med utgangshastighet 96 km/h ved Strømmen får vi at ulykkestoget har vært uten bremser i første del av fallet ned mot Sagdalen blokkpost (ca. 15 sek tilsvarende en utkjørt distanse på rundt 400 meter).

Retarderende kraft pga. friksjon og rullemotstand kan da bestemmes til ca. 30 kN for ulykkestoget. Denne verdien stemmer brukbart med oppnådde resultater under prøvekjøringen med rekonstruert ulykkestog 1 (22.05) hvor tilsetting av to bremsetrinn ikke ga hastighetsøkning i 17 promille fallet selv med utkoplet brems på El 16-loket og en Ealos-vogn.

Med full bremsetilsetting på ulykkestoget får vi følgende kraftbalanse for ulykkestoget:

F(brems) + F(motstand) – F(fall) = 319,2 + 30 – 103,3 = 245,9 = 619 * a

Ulykkestogets retardasjon i fallet skulle således ha vært: $a = 0{,}39\ m/s^2$

Med en slik retardasjon ville det ikke ha vært noe problem å få stoppet ulykkestoget tidsnok til å unngå kollisjonen på Lillestrøm selv med en utgangshastighet på hele 102 km/h før eventuell bremsetilsetting.Vi skal imidlertid ta i betraktning at det tar noe tid å få tilsatt full brems på togsettet (vogner ca. 5 sek. El 16 2215 i G: ca. 45 sek). Til gjengjeld får vi høy utbremsing på loket når hastigheten underskrider 55 hm/h, og høy lok-utbremsing betyr ca. fordoblet retardasjonskraft i forhold til lav utbremsing.

Med dokumentert faktisk bremseevne intakt på ulykkestoget ved passering Strømmen natt til 5. april ville vi i utgangspunktet heller ikke ha fått noen hastighetsøkning på toget.

Ifølge restveisskive og hastighetsrull fra El 16 2215 oppnådde ulykkestoget en maksimal retardasjon på 0,14–0,16 m/s^2. Antatt ca 30 kN i friksjon og luftmotstand betyr dette en retarderende bremsekraft på 160–172 kN tilsvarende en HL-trykksenkning på 0,90–1,05 bar (bremsetilsetting med fire-fem trinn). Ulykkestoget har således bare operert med 50–54 % av dokumentert faktisk bremseevne hvilket tilsvarer at de fem bakerste vognene i toget har vært helt uten brems.

3 Hovedteorier for manglende bremsekraft på ulykkestoget

3.1 Problemer pga. snø og is

Værforholdene i Oslo 3. og 4. april med kuldegrader og mye snø gjør at vi ikke kan utelukke at snø har kommet inn i enkelte koplingsslanger som ikke har vært forskriftsmessig festet på vognene. Det er også dokumentert at begge Os-vognene har stått på et tomvognspor på Alnabru en tid forut for sammenskiftingen av vognene i ulykkestoget. Slipp-historikken for 4. april viser ellers at sammensetningen av vognstammen på spor 17 før sammenkopling med El 16 2215 har skjedd i tidsrommet 03:25 – 23:??.

Flere forhold taler imidlertid imot mulige teorier med snø og is:

- Ulykkestoget har vært tilnærmet uten bremser i 15 sek. Hvis en ispropp skal kunne forårsake dette, må proppen sitte mellom loket og første vogn. Hvor sannsynlig er det imidlertid at en slik ispropp, etter først å ha blokkert hovedledningen fullstendig i 15 sekunder, slipper ut noe luft tilsvarende en HL-trykksenkning på ca. 0,9–1,0 bar før den igjen tetter hovedledningen helt?
- I forbindelse med statiske måleforsøk med rekonstruert ulykkestog 2 (Alnabru 27.06) simulerte vi koplingsslange-ispropp i forkant av de tre Ealos-vognene. Gjennomførte måleforsøk viste at 1 % åpning bare forsinket nødbremsen ved bakerste Ealos-vogn i fem sekunder. Ved 5 % åpning var bremsetilsettingstiden ved bakerste vogn tilnærmet upåvirket. Dette viser at en koplingsslange må være bortimot helt tett for å hindre bremsetilsetting ved etterfølgende vogner.
- I gjennomførte kontroller på lok- og vogner (koplingsslanger, vannutskillere og forrådsbeholdere) er det ellers funnet svært få tegn på fuktighet i HL-systemet.
- Ispropper lokalt i vognenes styreventiler er også teoretisk mulig, men i og med at minst fem styreventiler i så fall må være blokkert, er denne teorien usannsynlig.
- Snø og is mellom hjul og klosser kan også forekomme, men det virker lite sannsynlig at fullt tilsatte bremser med klosstrykk på 0,5–2,6 tonn i løpet av 400 meter ikke vil gi noen som helst bremseeffekt på vognene. Hele bremsestrekningen fra Strømmen til kollisjonsstedet er ellers ca. 1500 meter lang, og maksimale klosskrefter burde greie å smelte bort mesteparten av eventuell snø og is i løpet av denne strekningen. Registrert hastighet for El 16 2215 i ulykkestoget viste imidlertid ingen markert gradvis retardasjonsøkning i fallet ned mot Lillestrøm.

3.2 Langsom luftlekkasje fra HL-systemet uten nødvendig ettermating

I forbindelse med statiske måleforsøk på rekonstruert ulykkestog-2 (Alnabru 27.06) ble resultatet av gjennom-ført tetthetsprøve en HL-lekkasje på 0,35 bar i løpet av ett minutt. Dette er godkjent resultat, og togbremsen går ikke på som følge av en såpass liten lekkasje. Avstengt ettermating i ca. 15 minutter resulterte i at HL-trykket sank til under 2 bar. Antatt en noe langsommere lekkasjerate videre, tar det likevel ikke mer enn ytterligere 5–10 min før HL-trykket har sunket helt ned til 1 bar. Uten etterfylling av luft til HL-systemet tar det altså ikke mer enn totalt 20–25 minutter før trykket blitt så lavt at resulterende bremseeffekt ved en eventuell nødbrems begynner å bli høyst usikker. Det er ellers en kjensgjerning at El 16-lokene ikke har traksjonssperre eller annen varsling ved lavt HL-trykk.

Med unormalt lavt HL-trykk vil vi kun få bremsetilsetting ved nødbrems. Nødbrems fra HL-trykk på 2 bar gir imidlertid full bremseeffekt. Ved HL-trykk på under 1,5 bar begynner imidlertid problemene. Inne i styre-ventilen er det forholdet mellom HL-trykket og det såkalte A-kammer trykket som avgjør om bremsen på vogna tilsettes eller ikke. Ved svært langsom luftlekkasje vil trykket i HL og A-kammer synke i takt slik at bremsen ikke tilsettes.

Gjennomførte spesialbenkeforsøk med styreventilene fra de tre Ealos-vognene viste at minimum A-kammer trykk som ga bremsetilsetting varierte fra 1,1 til 1,5 bar. Styreventilen som krevde 1,5 bars A-kammer trykk for å tilsette bremsen ga full bremseeffekt (maksimalt C-trykk) ved 1,5 bar og ingen brems overhodet ved 1,4 bar. En tilfeldig valgt nyrevidert styreventil av samme type krevde 1,3 bars A-kammer trykk for å gi brems, og resulterende bremsesylindertrykk var 3,3 bar.

Antatt svært lavt HL- og A-kammer trykk, må altså systemet lades (med førerbremseventilen) før det er mulig å tilsette brems. Problemet er at det tar mye lenger tid å lade opp A-kammeret i styreventilen enn HL-systemet ellers. Gjennomførte ladeforsøk (på vanlig måte) med rekonstruert ulykkestog-1 (Alnabru 21.05) ga følgende resultat for HL:

- Tomme forrådsbeholdere: p(HL) = 0 -> 1,5 bar i løpet av 13 sek
- Etter nødbrems: p(HL) = 0 -> 1,5 bar i løpet av 8 sek

Det er altså bare snakk om sekunder for å lade opp HL-systemet på normal måte. Enda raskere går det også hvis føreren benytter høytrykksløsestøt. Hurtigopplading av HL fra 0 til 5 bar er imidlertid ingen garanti for at vi har høyt nok A-kammer trykk til å få brems ved umiddelbar tilsetting av nødbrems. Gjennomførte benkeforsøk på Grorud 21.11 ga følgende resultat ved hurtigoppfylling med høytrykks løsestøt:

- R-beholder (57 liter): p(R) = 0 -> 5,0 bar i løpet av 27 sek
- A-kammer: p(A) = 0 -> 1,5 bar i løpet av 41–42 sek

Det går altså raskere å øke trykket i den tomme forrådsbeholderen fra 0 til 5 bar enn å øke A-kammer trykket nok til å være sikker på å få brems.

Etter en begrenset hurtigopplading av tilnærmet lufttomt ulykkestog kan resultatet altså ha vært 5 bar i hoved-ledningen og A-kammertykk av størrelsesorden 1,1–1,5 bar. Antar vi eksempelvis 1,2 bars A-kammer trykk for ulike styreventiler, vil umiddelbart tilsatt nødbrems kun ha resultert i brems (C=2,85 bar) på en av tre Ealos-vogner, nemlig den bakerste.

Ved deling av togsettet under brannen på Lillestrøm ble det konstatert noe brems på bakerste Ealos-vogn mens de to andre var helt uten brems.

Lite/manglende luft i hovedledningssystemet vurderes å være den mest sannsynlige årsaken til ulykken. Ulykkesnatten ble toget før avgang fra Alnabru bremseprøvet av en skiftekonduktør, og det var da ingen tvil om at bremsene fungerte selv med en liten HL-trykksenkning (0,5 bar). Toget ble rapportert ferdig bremseprøvet ca kl 00:20. Dokumentert avgangstid fra Alnabru er 00:38, og kollisjonen på Lillestrøm skjedde kl 00:57. Ifølge lokfører ble toget ikke forsøkt bremset før fallet ved Strømmen. Dette betyr en periode på minst 30–35 minutter hvor mesteparten av luften i hovedledningssystemet kan ha lekket langsomt ut. Forutsetningen for dette er imidlertid manglende ettermating av luft. Med innkoplet kompressor vil imidlertid HL-systemet automatisk ettermates såfremt ikke førerbremseventilen er satt i midtstilling, men dette gjøres som regel bare når toget tetthetsprøves. Ifølge lokfører ble det imidlertid ikke gjennomført noen tetthetsprøve på ulykkestoget før avgang Alnabru.

4 Effekt av tilsatt direktebrems på El 16 2215 i ulykkestoget

Direktebremsen på El 16 virker bare på loket, og bremsen er funksjonsmessig helt uavhengig av togbremsen.

Tilsatt direktebrems på El 16 2215 i ulykkestoget ville ha hatt følgende betydning:

- Loket ville ha hatt såkalt høy utbremsing i hele hastighetsområdet hvilket betyr tilnærmet fordoblet retardasjonskraft:
- F-ret: 32.6 -> 67 kN ved hastigheter over 55 km/h.
- Kortere bremsetilsettingstid på loket:
- Direktebremsen skal gi full bremsetilsetting i løpet av 20 sekunder. Dokumentert tilsettingstid ved nødbrems er til sammenligning 45 sek når loket er avbremset i bremsegruppe G.

Gjennomførte bremseveisberegninger for ulykkestoget med bremsekraft tilsvarende en retardasjon på 0,16 m/s^2 i 17-promille fallet ned mot Lillestrøm viser at høy-utbremset lok faktisk ville ha økt tilgjengelig retardasjons-kraft med ca. 20 %. Forskjellen i bremsetilsettingstid er da ikke medregnet.

Med tilsatt direktebrems og økt tilgjengelig retardasjonskraft med ca 34 kN ville ulykkestoget ikke ha unngått kollisjonen på Lillestrøm, men hastigheten i kollisjonsøyeblikket ville ha blitt redusert til ca. 40 km/h.

NSB Bremsekontoret 27.11.2000
Henning Brustad

Vedlegg 5

Vurdering av NSB Bremserapport i forbindelse med togulykken på Lillestrøm stasjon 5. april 2000

1 Mandat av 20. desember 2000 til sivilingeniør Sven A. Eriksson Green Cargo AB

Fra Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjonen ved Kommisjonsleder Vibecke Groth.

Vedr. vurdering av NSB Bremserapport i forbindelse med togulykken på Lillestrøm stasjon 5. april 2000 og muligheten for ispropp som årsak til bremsesvikten.

Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjon etter togulykken på Rørosbanen 4. januar 2000 er også blitt bedt om å undersøke omstendighetene rundt togulykken på Lillestrøm stasjon 5. april 2000. Som følge av bremsesvikt for godstog 5781 i nedoverbakken fra Strømmen til Lillestrøm stasjon kolliderte dette med godstog 5713 som stod i spor 7, og det oppstod en gasslekkasje og en påfølgende brann.

Bremsesystemene i ulykkestoget, lokomotiv El 16–2215 med 9 vogner, er undersøkt på NSBs verksteder under oppsyn og kontroll av medlemmer fra Kommisjonen og/eller polititjenestemenn ved Romerike politidistrikt. Gjennomførte målinger, beregninger og konklusjoner er sammenstilt i en rapport fra NSB Bremsekontoret 27. november 2000 v/Henning Brustad.

Kommisjonen ber Sven A Eriksson ved Green Cargo AB gi en faglig vurdering av NSBs bremserapport. Rapporten viser til at tog 5781 først ikke fikk noen brems etter utkjør Strømmen og deretter hadde redusert, men konstant bremseevne.

Arbeidet skal spesielt omfatte følgende punkter:

- Er rapporten komplett utfra de undersøkelser, målinger, beregninger og konklusjoner eller er der fortsatt åpne problemstillinger som må lukkes?
- Ville ulykken ha skjedd hvis tog 5781 hadde den teoretisk bremseevne og et redusert bremsetrykk?
- Ville ulykken ha skjedd hvis tog 5781 hadde den faktisk bremseevne og et normalt bremsetrykk?
- Hvilken effekt ville bruk av lokomotivets direktebremse gitt for hendelsesforløpet?
- Vurdering og kommentarer til de konklusjoner som gis i NSBs bremserapport.

I tillegg ber kommisjonen Sven A. Eriksson vie muligheten for ispropp i hovedbremseledningen særlig oppmerksomhet. Dette spørsmålet skal vurderes særskilt og på en slik måte at det ikke er noen tvil om en ispropp kan eller ikke kan ha vært årsak til bremsesvikten. Som grunnlag for denne vurdering finnes værdata med temperatur og luftfuktighet samt innhentet informasjon knyttet til sammenkoblingen av vognene til den aktuelle togstamme på Alnabru 4. april i NSB:s sin rapport. Skulle denne informasjon ikke være tilstrekkelig til å vurdere muligheten for ispropp som årsak til bremsesvikten bes om at Sven A. Eriksson omgående foreslår en utvidelse av dette mandat slik at eventuelle fageksperter innen sne og is engasjeres og slik at eventuelle praktiske forsøk gjennomføres.

Det forutsettes at arbeidsomfanget utgjør et ukeverk og at arbeidet er avsluttet innen 8. januar 2001. Arbeidet presenteres i form av en skriftlig rapport til Kommisjonen. Eventuelle forsinkelser eller endringer i arbeidsomfanget må meldes Kommisjonen så snart som overhode mulig. Kommisjonen understreker at tidsperspektivet er viktig.

Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjon er oppdragsgiver og regning sendes til kommisjonens sekretariat ved Jacob F. Bull. Alle henvendelser i anledning oppdraget skal gå mellom Kommisjonen og Sven A. Eriksson, Green Cargo AB. Det forutsettes at Sven A. Eriksson og øvrig personale som kan engasjeres i arbeidet ikke har vært engasjert i forbindelse med ulykken på Lillestrøm og ikke er engasjert i oppdrag for NSB BA eller øvrige parter i den tid arbeidet pågår.

Dersom andre instanser som politi, øvrige kommisjoner eller andre skulle ha spørsmål eller forhold de ønsker avklart gjennom dette oppdraget skal slike forespørsler gå gjennom oppdragsgiver. Kommisjonen ber dem være oppmerksom på at NSBs bremserapport er «Unntatt Offentlighet» og

at denne bes returnert til Kommisjonen etter endt arbeid.

Kommisjonens kontaktperson er Ingemar Pålsson.

2 Vurdering fra sivilingeniör Sven A. Eriksson Green Cargo AB

Inledning

Syftet med värderingen är att genomföra en 3:je partsgranskning av NSBs tekniska rapport «Gjennomførte undersøkelser i forbindelse med Lillestrømulykken» 27.11.2000 av Henning Brustad. Omfattningen specificeras i ett mandat från den Regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjonen etter togulykken på Lillestrøm stasjon 5. April 2000, Oslo 20 desember 2000 / Vibecke Groth.

Mandatet omfattar följande punkter:

- Er rapporten komplett vedr. vedtatte undersøkelser, målinger, beregninger og konklusjoner, eller er der fortsatt noen åpne problemstillinger?
- Ville ulykken ha skjedd hvis tog 5781 hadde teoretisk bremseevne og redusert bremsetrykk?
- Ville ulykken ha skjedd hvis tog 5781 hadde faktisk bremseevne og normalt bremsetrykk?
- Hvilken effekt ville bruk av lokomotivets direktebremse gitt?
- Vurdering og kommentarer til de konklusjoner som gis i rapporten.
- I tillegg ber kommisjonen Sven A Eriksson særlig å vurdere muligheten for om det kan ha vært ispropp i hovedbremseledningen.

Värdering

Arbetet har utförts med förutsättningen att innehållet i varje deldokument är korrekt och att mätmetoder och beräkningar som använts är rätt utförda eftersom dessa utförts under övervakning av kommisjonen och politiet. Under varje punkt har emellertid använd metod och trovärdigheten i resultaten värderats.

Er rapporten komplett vedr. vedtatte undersøkelser, målinger, beregninger og konklusjoner, eller er der fortsatt noen åpne problemstillinger?

Rapporten har granskats och funnits innehålla alla rimliga undersökningar, mätningar och beräkningar som bör genomföras med avseende på den sannolika olycksorsaken.

Ville ulykken ha skjedd hvis tog 5781 hadde teoretisk bremseevne og redusert bremsetrykk?

Man kan konstatera att medelbromskraften i 17 ‰-fallet ligger på 160 kN. Detta motsvarar den faktiska bromskraften med det reducerade huvudledningstrycket. Skulle bromsande kraft motsvara den korrekt motsvarande bromsvikten kan man räkna med ett tillskott på (77–57)/100*0,86 m/s^2 där 77 resp. 57 är bromstal och 0,86 en omräkningsfaktor. Beräkningen bygger på erfarenhet och praxis under förutsättning att bromssystemet arbetar under normala förutsättningar. Detta skulle ge drygt 100 kN ytterligare bromskraft och från 102 km/h ge en bromsväg på runt 1300 m, vilket teoretiskt skulle kunna förhindra olyckan. *Frågan går emellertid ej att besvara på grund av att beräkningarna ovan innehåller stora osäkerheter eftersom styrventilens funktion vid låga huvudledningstryck inte är definierad.* Av denna anledning är det omöjligt att i efterhand avgöra hur fördelningen av bromskraft hade blivit mellan de olika vagnarna och mellan lastade och tomma vagnar i tog 5781. Detta har nämligen betydelse för hur stor ökad bromskraft man skulle erhålla. Karaktäristiken för hur gjutjärnsblock bromsar för olika blockkrafter innebär att variationer i en stor blockkraft har mindre inverkan på den bromsande kraften än för små blockkrafter. För fordon med låg retardation som befinner sig i stora fall ger små förändringar i bromsförmågan stora förändringar i bromsvägen.

Min bedömning är att kollisionen inte hade undvikits, men att risken för allvarliga materiella skador på tankvagnarna hade reducerats.

Ville ulykken ha skjedd hvis tog 5781 hadde faktisk bremseevne og normalt bremsetrykk?

Den reducering i bromsad vikt som rapporten beskriver skulle om bromsförmågan på tåget i övrigt var i ordning och hastigheten inom tillåtna gränser på sin höjd ha förlängt bromsvägen till en stoppunkt bortom infartsignalet till Lilleström, men inte ha orsakat kollisionen med tåg 5713.

Hvilken effekt ville bruk av lokomotivets direktebremse gitt?

Utgår man från att den bromsande kraften på 160 kN ökas med 67–32,6 kN, vilket motsvarar den ökning som ansättningen av direktbromsen ger, så

kommer hastigheten att vara kring 45 km/h efter 1620 m.med en utgångshastighet av 102 km/h. Bedömningen är att hastigheten vid kollisionspunkten hade reducerats till omkring 45 km/h.

Olycksorsak och ispropp

För att kunna värdera möjligheten för ispropp har materialet i NSBs rapport genomgåtts och även andra möjliga orsaker till svag bromsverkan analyserats tillsammans med körprofilen enligt hastighetsrulle. Tre olika huvudorsaker har värderats, Fall 1, 2 & 3. De alternativa händelseförlopp som skisserats, bygger på informationer som inhämtats ur rapporten och som sedan har värderats, samt vissa klarlägganden från Ingemar Pålsson.

Fall 1
Förutsättning:

Bromsprovet på Alnabru blev inte genomfört på rätt sätt eller inte alls genomfört, Huvudledningen blev inte kopplad mellan lok och första vagn.

Eftersom vagnarna inte blivit laddade och man förutsätter att snabblossningsventilen använts på alla vagnar när de kommit till Alnabru så har ingen vagn bromsen ansatt. Vagnarnas broms kan inte manövreras från loket. Lokets broms och dragkraft fungerar korrekt.

Vid omkring km 12,5 minskar hastigheten ner till strax över 30 km/t i lutningen upp mot Lörenskog. Hastighetsminskningen från 75 km/h till 35 km/h på 1000 m motsvarar en medelretardation på omkring 0,18 m/s^2. Enligt uppgift har föraren inte ansatt bromsen här och ett gångmotstånd på upp mot 50 kN krävs utöver den uppförsbacke tåget befinner sig i om man räknar med en medellutning på +10 ‰ och en tågvikt på 620 ton.

I nerförslutningen på -11 ‰ vid Fjellhamar ökar hastigheten från 60 km/h till 95 km/h på 2000m, vilket motsvarar en acceleration på 0,10 m/s^2. Med ett gångmotstånd på 30–50 kN skulle en acceleration i fallet endast kunna vara möjlig med anbringad dragkraft på loket. Föraren slår av dragkraftspaken i «0»-läge över Strömmen station. När hela tåget kommer ut i 17 ‰:s fallet börjar hastigheten att öka och 100–200 m före forsignalet Sagadalen bp får han se att denna signal visar «vänta stopp». Han lägger omedelbart förarbromsventilen i nödbromsläge från det loss- och laddningsläge den intagit. Endast loket kommer att bromsa med 30–40 kN bromsande kraft.

Hastighetsminskningen från omkring 98 km/h till 78 km/h sker på 1000 m och motsvarar en medelretardation på 0,1358m/s^2. Tågets bromskraft måste först kompensera fallet motsvarande 0,17 m/s^2. Tågets totala bromskraft blir då 0,17m/s2+0,1358 m/s^2=0,31 m/s^2. Med 620 ton tågvikt motsvarar detta en bromsande kraft på 160 kN reducerat för gångmotstånd på 30kN. Detta är helt omöjligt med enbart loket som kan bromsa mellan 30–40 kN.

Fall 1 är därmed ett omöjligt alternativ och slutsatsen är att vagnarnas huvudledning kopplats in och laddats.

Fall 2
Förutsättning:

Bromsprovet på Alnabru blev genomfört på rätt sätt. Huvudledningen blev kopplad mellan lok och första vagn och alla vagnarna laddades. Täthetsprov kan ha utförts rätt, felaktigt eller inte alls. Bromsprovet påbörjades inte förrän uppladdningen var klar.

Bromsprovet utfördes på föreskrivet sätt och meddelades klart kl 00.20.

Fall 2A

Om nu föraren av någon anledning slagit ifrån strömställare kompressor skulle färden mot Lilleström kunnat påbörjas kl 00.38 utan synbarliga problem minst fram till fallet efter Fjellhamar. Trycket i Huvudluftbehållaren sjunker successivt under färden men inte under omkring 5 bar, eftersom motorkontaktorerna/högspänningsbrytaren i annat fall skulle gått i frånläge och lampa «hovedbeholder lavt trykk» skulle ha indikerat vid 6 bar huvudluftbehållar-tryck redan tidigare. Föraren hade fått klara indikationer på att något var fel och kunnat slå till strömställare kompressor. Även om han inte gjort detta hade han strax före Sagdalen bp haft full bromsverkan och olyckan hade inte skett. Vid besiktningen efter olyckan har man med foto konstaterat att strömställaren för kompressor låg i läge «Till». *Fall 2A är därmed inte något realistiskt alternativ.*

Fall 2B

Av någon anledning påbörjade föraren täthetsprovet eller gjorde om täthetsprovet i anslutning till att bromsprovet rapporterades klart ca kl 00.15. Vid avgång kl 00.38 glömmer föraren att avsluta täthetsprovet och färden mot Lilleström tar sin början med förarbromsventilen i spärrat eftermatningsläge. Vid tågets hastighetsreducering in mot avvik i Lörenskog har redan trycket i huvudledningen fallit ner mot 1,5–1 bar och en eller flera vagnar har

börjat bromsa med en lätt blockansättning. Detta vill reducera det tänkta gångmotståndet på 50 kN i fall 1 till mer rimliga värden och står i rimlig proportion till det rapporten redovisat. Föraren har ingen annan indikering i loket än att huvudledningsmanometern visar ett mycket lågt tryck, vilket han inte uppmärksammar. Tågets hastighetsreducering in mot Lörenskog utan ansatt broms kunde kanske gett honom en antydan till att tåget gick lite trögt. Det är svårt att säga om man som förare kan ha känsla för detta.

Han använder dragkraften för accelerera upp till 95 km/h. I 17 ‰:s fallet efter Strömmen börjar hastigheten att öka och 100–200 m innan forsignalen Sagdalen bp får han se att denna signal visar «vänta stopp». Trycket i huvudledningen har sakta sjunkit ytterligare och accelerationen blir 0,11 m/s^2. Föraren upptäcker nu att förarbromsventilen ligger i «mittstilling, drar förarbromsventilens handtag till nödbromsläget och tömmer huvudledningen. Det finns då fortfarande möjlighet att tillsätta mer broms på vagnarna så att en medelretardation på 0,15m/s^2 uppnås. Trycksänkningen går dock relativt långsamt och betydligt långsammare än vid en tömning av huvudledningen från 5 bar. *Olyckan blir ett oundvikligt faktum.*

Fall 3 Ispropp
Förutsättning:

Bromsprovet på Alnabru blev genomfört på rätt sätt. Huvudledningen blev kopplad mellan lok och första vagn och alla vagnarna laddades.

Fall 3A

Ut ifrån Grorud har vid tvättning av loket eller vid rengöring av frontrutorna på något sätt huvudledningsslangen fyllts med vatten. Slangen är normalt upphängd uppåt med en blindkoppling. När bromsprovaren ska koppla mot första vagnen rinner vattnet ut. *Bromsprovaren kan inte undgå att märka detta och någon ispropp kan inte bildas.*

Fall 3B

Mellan vagn 1 och 2 står vatten i lägsta punkten nere vid kopplingsnävarna så att ett vattenlås har bildats. När tåget börjar laddas kommer 5 barstrycket från loket att trycka iväg vatten i huvudledningsrören på vagn 2. Vattendropparna fäster som små droppar och fryser mot rörets ytterkanter. Huvudledningsrörens tvärsnittsarea påverkas minimalt *och vattnet kan inte bilda någon ispropp.*

Fall 3C

Mellan vagn 1 och 2 har tidigare vatten i lägsta punkten nere vid kopplingsnävarna bildat ett vattenlås som har frusit till en ispropp. Detta medför att bromsprovet inte kan genomföras med godkänt resultat och *strider mot huvudförutsättningen i Fall 3.*

Fall 3D

Mellan vagn 1 och 2 har tidigare vatten i lägsta punkten nere vid kopplingsnävarna bildat ett vattenlås som har börjat att frysa till en issörja. Laddningstrycket på 5 bar smetar ut issörjan längs kopplingsslangens innervägg och fryser. Slangens tvärsnittsarea påverkas något mer än vid fall 3B men får i det närmaste minimal inverkan på luftflödet. Efter avgång från Alnabru slits isflagor loss utav slangens rörelse under gång och lägger sig i lägsta punkten i kopplingsnävarna. Vid tömningen av huvudledningen vid Sagadalen far dessa isflagor fram i huvudledningen mot vagn 1 men smulas sönder i mindre bitar och fastnar i huvudledningsrörets väggar. *Dessa kan inte på något avgörande sätt minska tvärsnittsarean till under 5 % av den ursprungliga.*

Fall 3E

Lokets torkanläggning fungerar inte och kompressorn lämnar stora mängder kondensat ut i huvudbehållarsystemet och vidare ut i huvudledningssystemet. Fuktigheten fälls först ut i efterkylaren och sedan vidare i de 4 huvudbehållarna. Risken är mycket liten för att fukt utav större mängder ska sprida sig ut i huvudledningssystemet. På loket har daggpunktsmätning genomförts den 04.04.2000 med en daggtemp på -34°C. *Risken för att loket skulle kunna ha åstadkommit en ispropp ut i huvudledningssystemet bedöms som obefintlig.*

Fall 3F

I någon av de inväxlade vagnarna har det bildats en iskula som kan rulla fram och tillbaka i huvudledningen. Den har inte ställt till några problem varken för tidigare inkommet tåg till Alnabru eller påverkat bromsprovet på tåg 5781. Först när föraren ska nödbromsa vid Sagadalen far kulan mot ett metallsäte med sådan kraft att den fullständigt blockerar tömningen av huvudledningen. *Möjligheten att en iskula ska kunna bildas är i stor sett obefintlig* eftersom fuktighet först kondenserar mot den kallaste ytan, vilket är rörens innerväggar. Isen

byggs på utifrån rörens innerväggar och in mot rörets centrum.

Fall 3G

Någonstans i de främre vagnarna har en isförträngning bildats från ett tidigare ankommet tåg till Alnabru som minskat genomsnittsarean till mindre än 5 % av den ursprungliga. Vid laddning av tåget eller vid bromsprovet har inte detta uppmärksammats som något onormalt av varken förare eller bromsprovare. Innan föraren gjort sin nødbrems vid Sagdalen har hålet helt isat igen. Eftersom föraren överhuvudtaget inte bromsat innan Sagdalen, så har luftflödet för att kompensera luftläckage i huvudledningen varit litet och dessutom har torken lämnat så torr luft att den i stället har *torkat upp isen och gjort tvärsnittsarean större.*

Fall 3H

En eller flera kopplingsslangar har inte varit upphängda i sina hållare utan dragit in snö i kopplingsnäven. När man laddat tåget med 5 bars tryck har snön virvlat iväg in i huvudledningen. Snön har fäst i huvudledningsrörens innervägg eller har smält och därefter fastnat och frusit i huvudledningsrörens innervägg. Mängden smältvatten för en viss volym snö är relativt liten och kan inte orsaka större påverkan på huvudledningens tvärsnittsarea än i fall 3B. *Mängden snö som kan sätta sig på innerväggen kan heller inte menligt påverka huvudledningens tvärsnittsarea.*

Sammanfattning av Fall 3

Sannolikheten att en ispropp skulle kunna uppstå på 0,5–1 tim som fullständigt skulle sätta igen huvudledningen om utgångsprovet är riktigt utfört bedöms som mycket liten. Man kan heller inte finna någon naturlig förklaring till att en ispropp överhuvudtaget kan bildas som kan förorsaka en bremsesvikt i den storleksordning som faktaunderlaget beskriver. Under den tid på 12 år som jag kan överblicka av SJ:s verksamhet inom bromsområdet under högst varierande vinterförhållanden, har det aldrig inträffat bremsesvikt på något godståg som skulle kunna hänföras till ispropp som fullständigt blockerat huvudledningen.

Trolig orsak till reducerad bromsverkan

Med utgångspunkt från rapporten «Gjennomførte undersøkelser i forbindelse med Lillestrømulykken» samt en del klargörande information angående tekniska frågeställningar från Ingemar Pålsson, bedöms *Fall 2B som den sannolikaste orsaken till olyckan på Lilleström*. Lågt huvudledningstryck är den huvudsakliga primärorsaken.

Vurdering og kommentarer til de konklusjoner som gis i rapporten

De värderingar, konklusioner och övriga kommentarer som ges i rapporten överensstämmer i sina huvuddrag med de bedömningar jag gjort.

De internationella UIC-reglerna accepterar att bromsvikter åsätts vagnar genom prov på nya vagnar och att järnvägsförvaltningen måste ha insikt i att vagnens bromsprestanda försämras under en revisionsperiod som också enligt UIC kan vara 6 år. Marginaler ligger normalt i de av varje järnvägsförvaltning framtagna s.k. bromstalstabellerna som ger gränser för vilken största tillåtna hastighet ett tåg får framföras med hänsyn tagen till lutning och bremseprosent i förhållande till signalavstånd.

För järnvägar med någon form av automatisk tågkontroll (ATS/ATC) finns normalt också vissa marginaler mot givna bremseprocent där en av parametrarna är tågets retardationsförmåga.

De i dessa dokument gjorda bedömningar och uträkningar har jag diskuterat med min kollega civilingenjör Lars Fehrlund, som är väl förtrogen med bromssystem inom järnvägen. Dessutom har Rolf Olsson hos Knorr Bremse i Lund kontaktats angående styrventilens funktion vid låga huvudledningstryck. Knorr Bremse är leverantör av de styrventiler som satt på tåget.

Sven A Eriksson
Civilingenjör
Green Cargo AB
SJ bromschef 1988–1998
Nordisk representant i UIC bromsunderkommission 1989-

Vedlegg 6

Propanbrannen på Lillestrøm stasjon Materialtekniske undersøkelser

Det norsk Veritas (DnV) rapport nr. 2000-1147 rev. nr. 01

Rolf Benjamin Johansen, Jochen Buch og Per Olve Tobiassen

Sammendrag

Det Norske Veritas (DNV), Avdeling for materialer og komponenter, har fått i oppdrag av «Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjon etter togulykken på Rørosbanen 4. januar 2000» å undersøke skadene på tankene til vognene som var eksponert for flammene under propanbrannen på Lillestrøm stasjon 5. april 2000.

Undersøkelsen har omfattet feltundersøkelser av vognene samt laboratorieundersøkelser og testing av prøver hentet fra tankene.

Målene for undersøkelsen har vært å kartlegge tankenes tekniske tilstand og om de oppfyller gjeldende krav til teknisk standard og regelverk for transport av propangass:

- Oppfyller propantankene gjeldende krav i det internasjonale regelverket for transport av farlig gods på jernbane (RID)?
- Oppfyller innfestningen av mannlokkene gjeldende krav jf. RID?
- Er det, i henhold til gjeldende regler, godkjent materiale i pakning, bolter og muttere?
- Var det, i henhold til gjeldende regler, godkjent materiale i pluggene på taket av vognen?
- Er konstruksjonen med utenpåliggende muttere godkjent jf. RID?
- Hvor mye svakere har materialet blitt som følge av brannen?
- Er de observerte konsekvensene av skadene rimelige/ som forventet?
- Hvor nær har tankmaterialet vært brudd/ overbelastning?

DnVs rapport har et appendiks A om magnetpulverprøving som ikke er inntatt her. Kommisjonen har heller ikke funnet det hensiktsmessig å ta med 22 bilder fra materialprøver (i teksten henvist til som figur 6.27 til figur 6.49).

1 Innledning

Det Norske Veritas (DNV), Avdeling for materialer og komponenter, har fått i oppdrag av «Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjon etter togulykken på Rørosbanen 4. januar 2000» å undersøke skadene på tankene til vognene som var eksponert for flammene under propanbrannen på Lillestrøm stasjon 5. april 2000.

Undersøkelsen har omfattet feltundersøkelser av vognene samt laboratorieundersøkelser og testing av prøver hentet fra tankene. Førstnevnte undersøkelser ble utført 14. og 15. juni 2000 ved Alna skiftestasjon, mens sistnevnte undersøkelser og testing har blitt utført ved DNVs metallurgiske laboratorium ved Høvik i perioden fra og med uke 25 til og med uke 27.

Målene for undersøkelsen er utarbeidet av DNV i samarbeid med «Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjon etter togulykken på Rørosbanen 4. januar 2000» og Politimesteren på Romerrike. Disse målene har vært å kartlegge tankenes tekniske tilstand og om de oppfyller gjeldende krav til teknisk standard og regelverk for transport av propangass:

- Oppfyller propantankene gjeldende krav i det internasjonale regelverket for transport av farlig gods på jernbane (RID)?
- Oppfyller innfestningen av mannlokkene gjeldende krav jf. RID?
- Er det, i henhold til gjeldende regler, godkjent materiale i pakning, bolter og muttere?
- Var det, i henhold til gjeldende regler, godkjent materiale i pluggene på taket av vognen?
- Er konstruksjonen med utenpåliggende muttere godkjent jf. RID?
- På dette grunnlaget skal, om mulig, følgende vurderinger gjøres:
- Hvor mye svakere har materialet blitt som følge av brannen?

– Er de observerte konsekvensene av skadene rimelige/ som forventet?
– Hvor nær har tankmaterialet vært brudd/ overbelastning?

2 Resultater

2.1 In situ undersøkelser av tankene

Visuell undersøkelse og ikke-destruktiv testing (NDT) vha. magnetpulver ble utført på de to tankene som var eksponert for flammene under brannen på Lillestrøm stasjon 5. april 2000. Disse undersøkelsene ble utført på tankene mens tankvognene stod på sporet ved Alna skiftestasjon i løpet av 14. og 15. juni 2000.

Åpning av mannlukene var kun mulig ved å kutte bolter ved bruk av vinkelsliper eller flammekutter. På grunn av gass og svovelholdig belegg i en av tankene kunne ikke «varmt» verktøy anvendes på denne tanken. Følgelig har kun en av de to mannlukene blitt åpnet. Det har, av samme årsak, også kun blitt kuttet materialprøver fra den tanken som ikke inneholdt gass eller belegg.

De to undersøkte tankvognene stod nærmest lokomotivet i togsettet da kollisjonen inntraff den 5. april 2000. Vognen nærmest lokomotivet kalles her vogn nr. 1, og den etterfølgende vognen i togsettet kalles her vogn nr. 2. Det var vogn nr. 2 som inneholdt gass og belegg da feltundersøkelsene ble gjennomført.

2.1.1 Vogn 1

2.1.1.1 Visuell inspeksjon av tanken på vogn 1

Figur 6.4 til figur 6.6 viser den enden av vogn 1 som har vært eksponert for flammene under brannen. Tre viktige elementer som kommer til syne i disse fotografiene er inntrykkningen rett over mannhullet, utbulingen på toppen av endeflaten og rustranden som omringer den øvre delen av endeflaten, se figur 6.4.

Inntrykkningen er mest sannsynlig en mekanisk skade som oppsto under kollisjonen.

Utbulingen er en skade som enten oppsto under kollisjonen eller under den etterfølgende brannen. Som diskutert i avsnitt 3.1, regnes det som mest sannsynlig at denne utbulingen oppsto under brannen.

Figur 6.7og figur.6.8 viser nærbilder av inntrykkningen observert over mannhullet. Figur 6.8 viser at tankmaterialet har blitt trykket inn ca 1,5 cm i dette området.

Figur 6.9 og figur 6.10 viser topp-pluggen på tanken til vogn 1 før og etter åpning. Ingen pakning ble observert mellom pluggens flens og tankoverflaten.

Figur 6.11 viser et foto av skadene observert ved mannhullet på vogn 1.

To av boltene til mannhull-lokket var skadet. Én var revet av i plan med lokkets overflate, mens den andre var sterkt deformert.

Hengselen til mannhull-lokket og handtaket over mannhullet var sterkt deformert.

Figur 6.12 viser mannhull-lokket etter demontering.

Figur 6.13 og figur 6.14 viser mannhullet etter fjerning av lokket. Mellom kl. 10 og kl. 12 på pakningen rundt mannhullet er en mørk misfarging av pakningen tydelig. Denne misfargingen antyder at lekkasje har funnet sted i dette området. Det misfargede området av pakningen faller sammen med posisjonen til de skadede boltene. Pakningen ble demontert for videre undersøkelse i laboratoriet, se 2.2.1.4.

Figur 6.15 viser skiltet som angir fabrikat og byggeår for vogn 1.

Figur 6.16 viser hvor på tanken to prøver for videre undersøkelse og testing i laboratoriet ble kappet ut. Én prøve (A) ble kuttet fra det området av endeflaten hvor utbulingen ble observert. Dette området ble antatt til å være det området hvor tankmaterialet har vært utsatt for den høyeste temperaturen under brannen, se 3.2. Den andre materialprøven (B) ble tatt ut ved siden av mannhullet. Dette området ble antatt til å ha holdt en lavere temperatur under brannen siden det har vært i kontakt med væske på tankens innside.

Etter utkappingen av materialprøvene ble platetykkelsen i denne endeflaten målt til 16 mm.

En referanseprøve ble kuttet fra den motsatte enden av tanken. Denne enden har ikke vært utsatt for brann.

Figur 6.17 og figur 6.18 viser hvor sistnevnte prøve ble tatt ut.

2.1.1.2 Ikke-destruktiv testing av tanken på vogn 1

Tre områder på tanken til vogn 1 ble testet ved bruk av magnetpulver, se appendiks A.

Figur 6.19 viser områdene som ble testet ikkedestruktivt, nemlig området med sveis rundt mannhullet, området med utbuling og et område i nærheten av inntrykningen.

Ingen sprekker ble detektert i de undersøkte områdene på vogn 1.

2.1.2 Vogn 2

2.1.2.1 Visuell inspeksjon av tanken på vogn 2

Figur 6.20 viser den enden av vogn 2 som har vært eksponert for flammene under brannen.

Figur 6.21 viser et foto av skadene observert ved mannhullet på vogn 2. To av boltene til mannhull-lokket var skadet. Én var revet av i plan med lokkets overflate, mens den andre var tydelig deformert. Handtaket over mannhullet var også tydelig deformert.

Figur 6.22 og figur 6.23 viser topp-pluggen på tanken til vogn 2 før og etter åpning. Ingen pakning ble observert mellom pluggens flens og tankoverflaten.

Figur 6.24 viser skilt som angir fabrikat og byggeår for vogn 2.

2.1.2.2 Ikke-destruktiv testing av tanken på vogn 2

Området med sveis rundt mannhullet på tanken til vogn 2 ble testet ved bruk av magnetpulver, se appendiks A.

Figur 6.25 og figur 6.26 viser bilder av en sprekk (ca. 40 mm lang) som ble detektert i sveis og varmepåvirket sone ved mannhullet i tanken på vogn 2. Sprekkens dybde har ikke blitt målt. Hvorvidt sprekken er gjennomgående har ikke blitt testet i denne undersøkelsen.

Sveisens varmepåvirkede sone representerer svakere områder i materialet. Relativt til sveisens totale lengde, er den observerte sprekken kort. Dette, i tillegg til at ingen plastisk deformasjon kunne observeres i nærheten av sprekken, indikerer at sprekken har eksistert før kollisjonen fant sted.

2.2 Laboratorieundersøkelser

2.2.1 Vogn 1

2.2.1.1 Undersøkelse av tankmaterialet fra vogn 1

Metallografi

Prøver av materialet, kuttet fra det antatt varmeste området av tanken (A), fra referanseområdet på samme endeflate (B) og fra referanse området motsatt endeflate (C), ble slipt og polert ved standard metallografiske metoder før etsing i 2 % Nital.

To seksjoner, orientert vinkelrett i forhold til hverandre, fra hver prøve, A og B, ble undersøkt for å bestemme valseretningen.

Figur 6.27 til figur 6.34 viser mikrostrukturen til prøvene A og B i de to retningene ved forskjellige forstørrelser.

Figur 6.35 og figur 6.36 viser mikrostrukturen til referanseprøven kuttet fra den enden på tanken som ikke har vært utsatt for brann.

Ingen forskjell i mikrostruktur eller tekstur ble observert i de undersøkte tverrsnittene fra prøve A og prøve B. Dette viser at platene anvendt i tankens endeflater er kryssvalset og/eller at stålet har blitt normalisert etter valsing.

Mikrobildene i figur 6.27 til figur 6.36, viser at samtlige prøver har en finkornet ferritt-perlittisk mikrostruktur (nominell ASTM kornstørrelse nr. 10). Mikrobildene med høyest forstørrelse (1000X) viser at hverken sfærodosering av perlitten eller sekundær rekrystallisasjon har funnet sted i noen av prøvene, A, B eller C.

Generelt forbindes sfærodisering av perlitt i stål med temperaturer rundt 700 °C (ref. 2). At dette ikke har funnet sted i de undersøkte materialprøvene viser at temperaturen i tankmaterialet har vært lavere enn ca. 700 °C under brannen.

Rekrystallisasjon finner sted i stål med ferritt-perlittisk mikrostruktur ved temperaturer mellom 500 °C og 700 °C. Rekrystallisasjonstemperaturen avhenger av graden av kaldbearbeiding som stålet har vært utsatt for. Høy grad av kaldbearbeiding gir lavere rekrystallisasjonstemperatur. I følge informasjon fra VTG-Lehnkering AG har hele tanken blitt spenningsglødet etter sammensveising. Spenningsglødningen innebærer at effekten fra en eventuell kaldbearbeiding av stålet reduseres kraftig. Altså forventes en relativt høy rekrystallisasjonstemperatur for tankmaterialet, det vil si oppunder 700 °C. At rekrystallisasjon ikke har funnet sted i de undersøkte materialprøvene viser derfor også at temperaturen i tankmaterialet har vært lavere enn ca. 700 °C under brannen.

Kjemisk sammensetning

Den kjemiske sammensetningen til endeflatens materiale ble bestemt ved spektrometeranalyse av materialprøve A. Resultatet fra denne analysen er i tabell 6.1 sammenlignet med sammensetningen spesifisert for stålene St 52–3 og StE 47. Tanken skal, i følge informasjon fra VTG-Lehnkering AG (ref. 3), være laget av StE 47.

Bortsett fra innholdet av aluminium (Al), som er ca. halvparten av den spesifiserte verdien, oppfyller den kjemiske sammensetningen til den analyserte prøven spesifikasjonene for både St 52–3 og StE 47.

Al tilsettes stål for å desoksidere stålet under produksjon og for å kontrollere kornstørrelsen. Manglende desoksidasjon kan gi porer under utstøping. Stålet er imidlertid fulltettet med sili-

sium (Si) og det er ikke observert at porer har vært et problem i forbindelse med propanbrannen. Vanadium (V) har blitt benyttet for kornforfining av materialet. Den finkornede mikrostrukturen, samt at materialet tilfredsstiller kravene til mekaniske egenskaper for StE 47 (se tabell 6.2), viser derfor at et Al innhold lavere enn det spesifiserte på ingen måte har påvirket det aktuelle skadeforløpet.

Mekanisk testing

Både skårslagsprøving («Charpy V-notch impact toughness»), strekkprøving og hardhetsmålinger har blitt utført for prøvene fra endeflaten eksponert for brann, det vil si materialprøve A og referanseprøve B fra samme endeflate.

Skårslagsprøvingen ble utført med standard 10 X 10 mm prøver ved en temperatur på –20 °C. Oppgitt resultat er middelverdien fra tre (3) prøver.

Hardhetsmålingene ble utført ved bruk av en stasjonær Vickers hardhetsmåler og 10 kgf last (HV10). Oppgitt hardhetsverdi er gjennomsnittet av mist seks (6) målinger.

Alle resultatene er oppsummert i tabell 6.2.

De testede mekaniske egenskapene oppfyller kravene satt til slagseighet, flytegrense og strekkfasthet i spesifikasjonen til StE 47 (DIN nr. 1.8905).

RID (ref. 5) kravene til flytegrense og strekkfasthet, definert i vedlegg 11 punkt 1.2.1.2, er henholdsvis max 460 MPa og max 725 MPa. Resultatene fra strekktestingen viser at flytegrensen til de testede materialprøvene, A og B, ligger henholdsvis 21 og 30 MPa over RIDs maksimalverdi. Disse avvikene ansees som ubetydelige for materialets styrke under brannen.

RIDs krav til slaghetseighet, definert i vedlegg 2 punkt 1275, er minimum 34 J/cm^2. Testverdien for både prøve A og prøve B ligger over kravet fra RID regelverket.

Konvertering av resultatene fra hardhetsmålingene til strekkfasthet, i følge ASTM standard A370, gir 595 MPa og 615 MPa for henholdsvis prøve A og prøve B. Dette viser at hardhetsmålingene

Tabell 6.1 Resultatet spektrometeranalysen sammenlignet med den sammensetningen spesifisert for stålene St 52- 3 og StE 47. Alle verdier i wt%

Element	St 52–3	StE 47	Prøve A
C	max 0,20	max 0,20	0,16
Si	max 0,55	max 0,60	0,30
Mn	max 1,60	1,00–1,70	1,46
P	max 0,035	max 0,030	0,012
S	max 0,035	max 0,025	0,012
Cr		max 0,30	0,07
Mo		max 0,10	0,04
Ni		max 0,80	0,63
Al	min 0,020	min 0,020	0,009
As			0,01
B			< 0,0002
Co			0,02
Cu		max 0,70	0,08
Nb		max 0,05	0,003
Pd			< 0,0007
Sn			0,01
Ti		max 0,03	0,001
V		max 0,20	0,11
W			< 0,006
N		max 0,025	Ikke analysert
Fe	Rest	Rest	Rest

Tabell 6.2 Resultatene fra mekanisk testing av tankmaterialet. Charpy middelverdier i parentes

	Charpy V [J] (-20°C)	Flytegrense ReL [MPa]	Flytegrense ReH [MPa]	Strekkfasthet Rm [MPa]	Hardhet [HV10]	Forlengelse [A5 %]
Prøve A	150–133–115 (133)	481	514	593	177	29,6
Prøve B	118–120–134 (124)	490	526	619	185	28,4
StE 47	39	Min 450		560–730		
RID krav	34 J/cm^2	Max 460		Max 725		

stemmer godt overens med strekkprøvingsverdiene.

Resultatene i tabell 6.2 viser at flytegrensen og strekkfastheten til prøve B ligger i størrelsesorden 4 % høyere enn for prøve A. Dette kan forklares med at prøve A har vært utsatt for en høyere temperatur enn prøve B under brannen, det vil si at materialet i område A har blitt anløpt noe som følge av varmepåvirkningen fra brannen.

2.2.1.2 Undersøkelse av topp-pluggen fra vogn 1

Metallografi

Pluggen ble kuttet i to og snittflaten ble slipt og polert ved standard metallografiske metoder før etsing i 2 % Nital.

Figur 6.37 viser tverrsnittet til pluggen. Den observerte gjengeprofilen er typisk for koniske gjenger. Det vil si gjenger som skal deformeres ved tiltrekning, og derved gi økt tetting. Det er vanlig at bolter og plugger med denne type gjenger anvendes uten pakning.

Relativt store (~ 0,8 mm) oksyd-inneslutninger ble observert i materialet til pluggen. Disse er merket med piler i figur 6.37.

Figur 6.38 viser et bilde av et område med slike oksyder ved høyere forstørrelse.

Generelt representer slike inneslutninger lokale spenningskonsentrasjoner i materialet, og svekker derfor komponentens totale styrke.

Figur 6.39 og figur 6.40 viser mikrostrukturen til topp-pluggens materiale. Disse mikrobildene viser at stålet har ferritt-perlittisk mikrostruktur med nominell ASTM kornstørrelse nr. 8.

Hardhetsmålinger

Hardhetsmålingene ble utført ved bruk av en stasjonær Vickers hardhetsmåler og 10 kgf last (HV10). Hardhetsverdien, som er gjennomsnittet av seks (6) målinger, ble målt til 122 HV10. Konvertering av resultatene fra hardhetsmålingene til strekkfasthet, i følge ASTM standard A370, gir 410 MPa. Altså har denne topp-pluggen en lavere fasthet enn tankmaterialet.

Kjemisk sammensetning

Den kjemiske sammensetningen til topp-pluggens materiale ble bestemt ved bruk av spektrometeranalyse. Resultatet fra denne analysen er gitt i tabell 6.3.

Både tankmaterialet og materialet til denne topp-pluggen har en sammensetning typisk for lavlegerte stål. Et høyere innhold av elementene mangan (Mn), nikkel (Ni) og vanadium (V) gir en forventet høyere flytegrense og strekkfasthet for tankmaterialet enn for pluggens materiale.

2.2.1.3 Undersøkelse av bolter og muttere fra vogn 1

I følge informasjon fra VTG-Lehnkering AG (ref. 3) er boltenes spesifikasjon: 24XM30, Ck35, og spesifisert minimum strekkfasthet er 280 MPa. Strekkfastheten spesifisert av VTG-Lehnkering AG (ref. 3) på 280 MPa ligger langt lavere enn hva som er oppgitt i materialets spesifikasjon (Ck35). Disse to spesifikasjonene stemmer ikke overens med hverandre, og 280 MPa er en meget lav strekkfasthet for stål.

Tabell 6.3 Resultatet fra spektrometeranalysen av materialet til topp-pluggen fra vogn 1 sammenlignet med resultatet fra analysen av tankmaterialet alle verdier i wt%

Element	Tankmateriale: Prøve A	Topp plugg
C	0,16	0,10
Si	0,30	0,23
Mn	1,46	0,55
P	0,012	0,015
S	0,012	0,024
Cr	0,07	0,05
Mo	0,04	0,01
Ni	0,63	0,07
Al	0,009	0,012
As	0,01	0,004
B	< 0,0002	<0,0002
Co	0,02	0,01
Cu	0,08	0,17
Nb	0,003	0,002
Pd	< 0,0007	0,006
Sn	0,01	0,02
Ti	0,001	0,001
V	0,11	0,0009
W	< 0,006	<0,006
Fe	Rest	Rest

Boltenes diameter ble målt til 30 mm og lengden ble målt til 112 mm.

Metallografi

To (2) bolter og én (1) mutter fra innfestningen til mannhullets lokk har blitt undersøkt. Disse er den deformerte bolten, se avsnitt 2.1.1.1 og figur 6.11, og nærmeste intakte bolt og mutter (i urviserens retning).

Prøvene ble kuttet i to og snittflatene ble slipt og polert ved standard metallografiske metoder før etsing i 2 % Nital.

Figur 6.41 til figur 6.46 viser de observerte mikrostrukturene.

Mikrostrukturen til alle disse prøvene viser at de undersøkte boltene og mutteren er som forventet for seigherdet martensittisk stål.

Tabell 6.4 Resultat av hardhetsmålinger og estimert strekkfasthet for undersøkte bolter og mutter

	Hardhet [HV10]	Estimert strekkfasthet [MPa]
Deformert bolt	236	791
Intakt bolt	224	726
Intakt mutter	244	773

Hardhetsmålinger

Hardhetsmålingene ble utført ved bruk av en stasjonær Vickers hardhetsmåler og 10 kgf last (HV10). Oppgitt hardhetsverdi er gjennomsnittet av mist seks (6) målinger. Resultatene fra hardhetsmålingene er konvertert til strekkfasthet i følge ASTM standard A370.

I følge spesifikasjonen for materialet, Ck35, skal, avhengig av varmebehandlingstilstand, strekkfastheten være mellom 550 og 780 MPa. Den estimerte strekkfastheten, basert på hardhetsmålingene, stemmer overens med dette. De testede materialegenskapene er som forventet for denne type material, og ingen feil eller defekter med betydning for de observerte skadene på bolter og muttere har blitt avdekket.

Kjemisk sammensetning

Den kjemiske sammensetningen til boltenes og mutterens materiale ble bestemt ved spektrometeranalyse. Resultatet fra disse analysene er sammenlignet med den spesifiserte sammensetningen i tabell 6.5.

De analyserte prøvene har et lavere innhold av C og et høyere innhold av Cr, enn hva som er spesifisert for materialet Ck35. Disse avvikene regnes som uvesentlige i forbindelse med skadene som har blitt observert på bolter og muttere.

2.2.1.4 Undersøkelse av pakning i mannluken på vogn 1

Pakningen

Pakningen er produsert av Hecker Werke i Tyskland. Typenavnet er WS 3820. Den består av Aramid fiber og uorganisk materiale med kautsjuk som bindemiddel.

Tabell 6.5 Resultatet fra spektrometeranalysen av materialet til bolter og muttere fra vogn 1 sammenlignet med sammensetning spesifisert for Ck35. Alle verdier i wt%

Element	Ck35	Deformert bolt	Intakt bolt	Intakt mutter
C	0,32–0,39	0,24	0,25	0,23
Si	Max 0,40	0,32	0,33	0,23
Mn	0,50–0,80	0,59	0,61	0,67
P	Max 0,035	0,009	0,009	0,009
S	Max 0,035	0,002	0,003	0,019
Cr	Max 0,40	1,05	1,06	0,92
Mo	Max 0,10	0,26	0,26	0,24
Ni	Max 0,40	0,37	0,37	0,13
Al		0,02	0,02	0,02
As		0,004	0,007	0,001
B		<0,0002	<0,0002	<0,0002
Co		0,014	0,016	0,007
Cu		0,09	0,09	0,17
Nb		0,0009	0,003	0,005
Pd		0,006	0,006	0,002
Sn		0,008	0,008	0,013
Ti		0,002	0,002	0,001
V		0,004	0,005	0,008
W		<0,006	<0,01	<0,006
Fe	Rest	Rest	Rest	Rest

I følge opplysninger mottatt fra en leverandør av pakningsmateriell (ref.1), skal pakningen være motstandsdyktig ovenfor:
- Hydrokarboner, olje og løsemidler
- Alkoholer, glykoser, vann og damp opp til 250 °C
- Svake alkaliske blandinger og organiske syrer.

Mens den har begrenset motstandsdyktighet ovenfor:
- Ketoner, estere og kloridløsninger
- Sterke alkaniske løsninger og uorganiske syrer.

Pakningen har en naturlig gasstetthet på 0,5 cm^3/min. I følge pakningsleverandøren representerer dette en så liten naturlig lekkasje at antenning av propan ikke lar seg gjøre.

Visuell undersøkelse

Pakningen var hel og ingen brudd eller sprekker ble funnet. En uniform sammentrykking av pakningen er observert, denne reduserte tykkelsen er mest sannsynlig grunnet trykket fra lokket til mannhullet.

Pakningen ble snittet på langs og på tvers. Det ble funnet en svak misfarging av pakningen på den siden som har vendt mot lokket. Misfargingen ble kun observert i det ytre sjiktet av pakningens tverrsnitt. Misfargingen er meget svak, og skyldes mest sannsynlig rust eller avsetninger fra mannhull-lokket.

Måling av tykkelse

Tykkelsen til pakningen ble målt for å avdekke mulige deformasjoner av pakningen som følge av sammenstøtet.

Tykkelsen av pakningen ble målt i området hvor spor etter lekkasje ble observert, og 10 cm til hver side utover dette «lekasjeområdet». Lekasjeområdet ble målt til å dekke ca 55 ° av pakningens omkrets. Målingene i denne sektoren ble gjort med mellomrom på 10 mm. I tillegg til disse målingene ble også målinger med 45 ° mellomrom utført, se figur 6.1.

Figur 6.1 Tykkelsemåling av pakning. Verdier i mm. Hver ring representerer 0.5 mm. Sektoren der spor etter lekkasje ble observert er også avmerket i figuren

Ingen betydelige variasjoner i pakningens tykkelse ble observert. Den observerte variasjonen kan forklares av ujevnheter i pakningen eller avsetninger på pakningen fra tank eller lokk.

En ubrukt pakning har en tykkelse på 3 mm. Gjennomsnittsverdien for tykkelsen til pakningen ble målt til 2,45 mm. Denne reduksjonen i tykkelse på ca 20 % kan forklares med at pakningen har blitt presset sammen ved lukking og fastsetting av lokket til mannhullet.

Hardhetsmåling

Hardhetmålingene ble utført i henhold til DIN 53505, «Shore-D hardness, 15 sec value».

Hardhetsmålingene ble gjort ved de samme punktene som tykkelsesmålingen. Hardheten til pakningen ble målt for å avdekke mulige «harde soner» som kan følge deformasjon av pakningen.

Den gjennomsnittlige hardheten ble målt til 72. Ingen betydelige variasjoner i hardhet ble avdekket.

2.2.2 Vogn 2

2.2.2.1 Undersøkelse av topp-pluggen fra vogn 2

Metallografi

Pluggen ble kuttet i to og snittflaten ble slipt og polert ved standard metallografiske metoder før etsing i 2 % Nital.

Figur 6.47 viser tverrsnittet til pluggen. Den observerte gjengeprofilen er typisk for koniske gjenger. Det vil si gjenger som skal deformeres ved tiltrekning, og derved gi økt tetting.

Figur 6.48 og figur 6.49 viser mikrostrukturen til topp-pluggens materiale. Disse mikrobildeene viser at materialet er seigherdet martensittisk stål.

Hardhetsmålinger

Hardhetsmålingene ble utført ved bruk av en stasjonær Vickers hardhetsmåler og 10 kgf last (HV10). Hardhetsverdien, som er gjennomsnittet av seks (6) målinger, ble målt til 193 HV10.

2.3 Regelverk for jernbanetransport av farlig gods

2.3.1 Dokumentasjon

Vognene ble bygget i Tyskland i 1975 og 1978, før det internasjonale regelverket for jernbanetransport av farlig gods, RID (ref. 5), trådte i kraft den 1. oktober 1978. Regelverket som ble benyttet i Tyskland på denne tiden var «Technische Regeln Gase»(TRG). Vognene ble konstruert i for å oppfylle sistnevnte regler.

DNV mottok følgende dokumenter fra VTG, via Scandpower, for sammenligning mot TRG:

- Styrke-beregninger fra begge vognprodusenter (Waggon Union, Siegen og Linke-Hoffmann-Busch, Salzgitter) (ref. 3).
- Sertifikater fra TÜV Hannover, som dokumenterer siste utførte besiktelser og trykk-tester (ref. 4).

Dokumentasjonen for tankene tilfredsstiller alle krav til dimensjonering i TRG som de har blitt sjekket mot. Kapitlene i TRG hvor disse kravene er spesifisert, er gitt i tabell 6.6.

I dag må alle tankvogner tilfredsstille RID, uavhengig av produksjonsdato. RID inneholder overgangsbestemmelser for vogner som ble bygget under andre regelverk (RID vedlegg 11 1.8).

I følge de mottatte sertifikatene fra TÜV Hannover (ref. 4), tilfredsstiller de undersøkte vognene gjeldende RID bestemmelser.

2.3.2 Material

Kravene som stilles til tankmaterialer i RID avhenger av kjemien, temperaturen og trykket til innholdet som skal transporteres.

Følgende spesifikasjoner for materialet gjøres i RID bestemmelsene:

- Tanker skal konstrueres og materialvalg skal foretas i henhold til en akseptert trykkbeholderkode (vedlegg 11 1.2).

Tabell 6.6 Sammenligning av dokumentasjon av tank dimensjoner mot TRG

TRG kapitel	Tank deler	Resultat vogn I	Resultat vogn II
221	Sylindriske del av tank	O.k.	O.k.
222	Sfærisk bunn	O.k.	O.k.
223	Mannhull lokk	O.k.	O.k.
225	Mannhull bolter	O.k.	O.k.

- Minimumskrav til flytespenning og strekkfasthet for finkornet stål spesifiseres (vedlegg 11 1.2).
- Materialet skal være «egnet for de laveste og for de høyeste arbeidstemperaturer» (vedlegg 2 C).
- Krav til slagseighet for tankmateriale og sveisesømmer ved laveste arbeidstemperatur og i alle tilfelle –20 °C (vedlegg 2 C).
- Materialtypen spesifiseres: stål, aluminium, aluminiumslegering, kobber eller kobbelegering etc. (vedlegg 2 C).

2.3.3 Mannhull

Mannhullene til de to undersøkte tankvognene er plassert i den sfæriske bunnen, nedenunder senter. Hverken i TRG eller i RID har noen krav til plassering eller utforming av mannhull blitt funnet.

3 Diskusjon

3.1 Deformasjon av tankmaterialet

Den visuelle undersøkelsen av vognene viser at de har blitt skadet i sammenstøtet før brannen tok til. Det området hvor den største deformasjonen av tankmaterialet har blitt observert, er den endeflaten på tanken til vogn 1 som har vært nærmest flammene. Deformasjonen av denne endeflaten består av et inntrykket område over mannluken og et område med utbuling mot toppen av endeflaten (se 2.1.1). Sistnevnte område har blitt viet ekstra oppmerksomhet i denne undersøkelsen, og følgende to hypoteser har blitt foreslått som forklaring på hvorfor tankmaterialet buler utover i dette området:

Hypotese 1: Utbulingen har oppstått i forbindelse med at materialet rett over mannluken ble trykket inn i sammenstøtet. Det vil si at utbulingen er en ren mekanisk skade som har oppstått i kollisjonen.

Ingen observasjoner som gjør at denne hypotesen må forkastes har blitt gjort i løpet av denne undersøkelsen. Det regnes derfor som mulig at utbulingen kan ha oppstått under sammenstøtet. På den annen side har det ikke blitt funnet noen forklaring på at utbuling skal ha akkurat den observerte lokaliseringen. Det vil si at ingen forhold som gjør det mer sannsynlig at utbulingen skal ha oppstått her, fremfor hvor som helst ellers i nærheten av inntrykningen, har blitt funnet.

Hypostese 2: Dette området av endeflaten har blitt utsatt for så høy temperatur og belastning at

materialet har blitt deformert til den observerte utbulingen. Det vil si at denne deformasjonen er et resultat av brannen.

Sistnevnte hypotese forutsetter lokal oppvarming av dette området til temperaturer høyere enn resten av endeflaten. Under kollisjonen sporet vogn 1 av og ble stående med en helning på ca 5° relativt til skinnegangen. Vognene skal ha en fyllingsgrad på 80 % og inneholdt derfor propan i både gass og væskefase ved sammenstøtet. På grunn av helningen etter avsporingen, er det sannsynlig at gassen har samlet seg i det høyeste området av tanken. Gass gir dårligere avkjøling av tankmaterialet enn væske, og derfor regnes lokal oppvarming av området med utbulingen som sannsynlig. Observasjonene gjort under den visuelle inspeksjonen (se 2.1.1), indikerer at utbulingen er lokalisert til et område av tanken hvor tankinnholdet, under brannen, har vært i gassfasen og ikke i væskefasen.

Hypotese 2 forutsetter også at belastningene på tankmaterialet i området som er i kontakt med gass under brannen har vært store nok til å gi plastisk (permanent) deformasjon (utbuling) av materialet. Lokal oppvarming av tankmaterialet i dette området medfører lokal termisk utvidelse av materialet. Oppvarming av gassen i tanken medfører en trykkøkning. Både lokal termisk utvidelse og trykkøkning representerer en økning av de totale belastningene på tankmaterialet i det aktuelle området.

I tillegg til de nevnte bidragene til økt belastning, trykkøkning og lokal termisk utvidelse, vil materialets flytegrense (evne til å motstå plastisk deformasjon) avta med økende temperatur. Figur 6.2 illustrerer variasjonen i flytegrense og strekkfasthet (bruddstyrke) som funksjon av temperaturen for et materiale med betegnelsen St 52–3 (DIN 1.0570). Figuren er basert på testresultater mottatt fra en stålleverandør. Den kjemiske sammensetningen til St 52–3 er sammenlignet med tankmaterialet (StE 460 (DIN 1.8905)) i tabell 6.1. Forskjellene i kjemisk sammensetning mellom de to materialene regnes som ubetydelig med tanke på variasjonene i flytegrense og strekkfasthet med temperatur. Likevel kan de absolutte verdiene som beskriver styrkeegenskapene variere mellom de to materialene.

Figur 6.2 Flytegrense og strekkfasthet som funksjon av temperatur. Illustrasjon basert på testresultater for ST 52- 3 (DIN 1.0570), mottatt fra en stålleverandør

Figur 6.2 illustrerer at flytegrensen til stålet faller med økende temperatur. Merk at flytegrensen avtar raskest med økende temperatur i området fra 450 °C til 750 °C. Merk også at strekkfastheten nærmer seg flytegrensen i øvre del av det samme temperaturintervallet. Dette innebærer at materialets evne til å ta opp deformasjon, før et brudd oppstår, avtar.

En sammenheng mellom tankmaterialets flytegrense, strekkfasthet og temperatur som illustrert i, figur 6.2 styrker Hypotese 2.

Hypotese 2 kan forklare både den observerte utbulingen og plasseringen til denne utbulingen på endeflaten. Sistnevnte forklaring har også støtte i observasjonene gjort under den visuelle inspeksjonen.

På dette grunnlaget regnes Hypotese 2 som mer troverdig enn Hypotese 1.

3.2 Tankmaterialets temperatur under brannen

Resultatene fra den metallografiske undersøkelsen (se 2.2.1.1) viser at hverken rekrystallisasjon eller sfærodisering har funnet sted i materialprøven fra det området som mest sannsynlig har vært utsatt for den høyeste temperaturen under brannen. Dette innebærer at materialet ikke har vært varmere enn 700 °C under brannen.

Resultatene fra mekanisk testing, av prøver fra samme endeflate, viser at prøven fra det området som mest sannsynlig har vært utsatt for den høyeste temperaturen under brannen (området med utbuling) har en varig reduksjon av flytegrense og strekkfasthet. Dette viser at området med utbuling har vært utsatt for en høyere temperatur enn områder lenger ned på samme endeflate.

Med en sammenheng mellom tankmaterialets flytegrense, strekkfasthet og temperatur som illustrert i figur 6.2 vil flytegrensen være tilnærmet halvert ved temperaturer rundt 550 °C, og ved ca. 650 °C er flytegrensen 1/3 av hva den er ved 25 °C. Strekkfastheten avtar enda raskere med en slik sammenheng mellom tankmaterialets flytegrense, strekkfasthet og temperatur.

Det understrekes at figur 6.2 ikke er basert på testdata fra det materialet som faktisk er anvendt for de aktuelle tankene. Testresultater fra sistnevnte materialer er nødvendig for å anslå sannsynligheten for brudd i tankene som følge av oppvarming. Likevel, forutsatt at Hypotese 2 (se 3.1) er riktig, indikerer den observerte utbulingen at forholdene under brannen har vært slik at plastisk deformasjon av tankmaterialet har funnet sted. Dette indikerer videre at en fortsatt oppvarming av tanken kunne ført til brudd i tankmaterialet.

3.3 Topp-pluggene

Laboratorieundersøkelsene av topp-pluggene fra vogn 1 og vogn 2 viser at pluggen fra vogn 1 har ferritt-perlittisk mikrostruktur mens pluggen fra vogn 2 har en martensittisk mikrostruktur.

Mikrostrukturen i sistnevnte plugg omvandles ved temperaturer høyere enn ca. 700 °C. Undersøkelsen av denne pluggen viser derfor at pluggen ikke har vært utsatt for temperaturer over 700 °C.

Mikrostrukturen observert i pluggen fra vogn 1 kan resultere fra to prosesser:

1. Ingen endringer har funnet sted i mikrostrukturen. Det vil si at pluggen har vært levert med en ferritt-perlittisk mikrostruktur, og at den senere ikke har vært utsatt for temperaturer over 700 °C, som tankmaterialet (se 3.2).
2. Endringer har funnet sted i mikrostrukturen. Det vil si at pluggen kan ha vært levert med en mikrostruktur tilsvarende den som ble observert for pluggen til vogn 2, og at den har blitt utsatt for temperaturer over 700 °C. I så fall forventes det at pluggen har opplevd temperaturer i området 700–1300 °C, etterfulgt av langsom avkjøling. I dette temperaturområdet vil materialet gjennomgå en strukturendring, fra ferritt og perlitt til austenitt. En slik omvandling medfører en volumminskning på ca 1 %, hvilket øker sannsynligheten for lekkasje ved pluggen.

Ingen referanseprøve eller informasjon om hvilken tilstand pluggen skal leveres i har vært tilgjengelig for denne undersøkelsen. Ingen sikker konklusjon om hvilket av de to alternativene ovenfor som faktisk har funnet sted, kan derfor trekkes. Et forhold som taler imot punkt 2 ovenfor er at det undersøkte området «A» med utbuling, på grunn av den observerte plastiske deformasjonen, er antatt å ha hatt høyest temperatur under brannen. Dette området har imidlertid hatt en temperatur lavere enn ca. 700 °C.

Den kjemiske sammensetningen til både tankmaterialet og materialet til den analyserte toppluggen, viser at begge materialene er lavlegert stål. Ingen forskjell i disse materialenes termiske utvidelse, med betydning for pluggens tetningsevne, forventes utfra disse resultatene. Lekkasje som følge av forskjell i termisk utvidelseskoeffisient regnes uansett som lite sannsynlig, ettersom utvidelse av materialene vil føre til at pluggen blir større og hullet den sitter i blir mindre.

Forhold som øker sannsynligheten for lekkasje ved topp-pluggene er forhøyet gasstrykk ved høy temperatur kombinert med at materialets styrke reduseres ved høye temperaturer (3.1). Denne kombinasjonen kan føre til deformasjon av pluggen, og dermed redusert tetningsevne. En transformasjon av materialet, som beskrevet i punkt 2 ovenfor, vil også øke sannsynligheten for lekkasje ved topp-pluggene.

Topp-pluggenes plassering, på toppen av tankene under et varmeskjold, gjør at sannsynligheten for at disse utsettes for høye temperaturer under en brann er høyere enn for resten av tanken. Det vil si at plasseringen på toppen av tanken innebærer at pluggene på innsiden av tanken er i kontakt med gass, og ikke væske, noe som gir dårligere avkjøling i brannsituasjoner. Varmeskjoldene hindrer vannspyling direkte på disse områdene ved brann, og gjør dermed avkjøling av pluggene vanskelig. Med tanke på disse forholdene er pluggenes tetningsevne ved høye temperaturer viktig, for å unngå lekkasje i brannsituasjoner.

3.4 Pakningens temperatur under brannen

Spesifisert sikker driftstemperatur og -trykk for pakningen, som oppgitt av leverandør (ref. 1), er gitt i figur 6.3. De heltrukne linjene viser trykk og temperatur pakningen skal tåle over lang tid, mens de stiplede linjene representerer området som pakningen fortsatt skal fungere som spesifisert, men da kun i kort tid. Utenfor de stiplede linjene er de spesifiserte pakningsegenskapene ikke garantert.

Kollisjonen fant sted vinterstid, altså ved en relativt lav temperatur. Da lekkasjen inntraff regnes det derfor som sannsynlig at både temperatur og trykk var innenfor de verdier hvor pakningen skal fungere som spesifisert.

Under lekkasjen ekspanderte sannsynligvis gassen ved lekkasjestedet (mannhull og pakning). Ekspanderende gass avkjøles og temperaturen ved lekkasjestedet kan derfor ha vært lav, anslagsvis ned mot –45 °C. Slike temperaturer skal, ved lavt trykk, ikke være lave nok til å skade pakningen, se figur 6.3.

Etter antenning av gassen vil flammene representere en varmekilde. Ingen brannskader har blitt observert på pakningen, hvilket indikerer at flammene ikke har varmet opp området rundt mannhullet nok til å skade pakningen.

3.5 Kommentar til regelverk

Resultatene fra denne undersøkelsen har blitt sammenlignet med de kravene som er spesifisert i RID regelverket. Det understrekes at dette arbeidet ikke har omfattet en fullstendig gjennomgang av RID regelverket. De følgende kommentarer er gjort med kjennskap kun til de delene av regelverket som har vært gjennomgått for sammenligning av testresultater.

Ingen krav til plassering av mannlokk med hensyn til kollisjonssikkerhet har blitt funnet i RID regelverket.

I lys av de observerte skadene på mannhullets bolter og muttere, samt at lekkasjen mest sannsyn-

Figur 6.3 Spesifisert bruksområde med hensyn til temperatur og trykk (ref. 1). De heltrukne linjene viser maksimalt trykk og temperatur pakningen skal tåle over lang tid, mens de stiplede linjene representerer området som pakningen fortsatt skal fungere som spesifisert, men da kun i kort tid

lig er en konsekvens av disse skadene, anbefales en gjennomgang av gjeldene regelverks krav til kollisjonssikkerhet for tankvogner i jernbanetrafikk. En slik gjennomgang bør vurdere hvorvidt en annen plassering av mannhullene, innfelling av bolter og muttere samt alternative tetningsmekanismer for topp-pluggene medfører redusert risiko ved transport av propan og tilsvarende stoffer.

Minimumskravene til tankmaterial som spesifiseres i RID regelverket vurderes som lite omfattende og lite detaljert sammenlignet med materialkravene som stilles i tilsvarende regelverk for andre applikasjoner.

DNVs regler for kjeler og trykktanker i skip, DNVs regler for gassrørledninger og ASME (American Society og Mechanical Engineers) kode for kjeler og trykktanker er eksempler på regelverk som har langt mer omfattende og detaljerte krav til materialer som skal anvendes i applikasjoner som utsettes for høye trykk og/eller temperaturer, og hvor materialets bruddegenskaper er kritiske for sikkerheten. En gjennomgang av RIDs minimumskrav, med sikte på å finne ut om disse ivaretar sikkerheten på et akseptabelt nivå, anbefales i lys av de observasjoner som har blitt gjort i denne undersøkelsen.

4 Konklusjon

Basert på resultatene fra denne undersøkelsen, gis følgende svar på spørsmålene reist i innledningen:

Oppfyller propantankene gjeldende krav i det internasjonale regelverket for transport av farlig gods på jernbane (RID)?

- Prøvene fra tankmaterialet oppfyller kravene definert av RID, bortsett fra resultatene fra strekktestingen som viser at flytegrensen til de testede materialprøvene ligger 21 til 30 MPa over RIDs maksimalverdi. Disse avvikene ansees som ubetydelige i forbindelse med det undersøkte skadeforløpet.

Oppfyller innfestningen av mannlokkene gjeldende krav jf. RID?

- Ingen krav til innfestningen av mannhullene har blitt funnet i RID.

Er det, i henhold til gjeldende regler, godkjent materiale i pakning, bolter og muttere?

- Ingen krav til materialet i mannhullets lokk, pakning, bolter og muttere har blitt funnet i RID regelverket.

Var det, i henhold til gjeldende regler, godkjent materiale i pluggene på taket av vognen?

- Ingen krav til materialet i pluggene på taket av vognene har blitt funnet i RID regelverket.

Er konstruksjonen med utenpåliggende muttere godkjent jf. RID?

- Ingen krav til plassering av bolter eller muttere har blitt funnet i RID regelverket.

Hvor mye svakere har materialet blitt som følge av brannen?

- Testing og undersøkelse av tankmaterialet etter at brannen er slukket, viser at dette ikke har blitt betydelig svekket av å bli oppvarmet og avkjølt igjen. Den maksimale permanente svekkelsen av strekkfastheten er på ca. 4 % (se 2.2.1.1). Likevel regnes det som sannsynlig at materialets styrke var betydelig redusert mens det var oppvarmet under brannen (se 3.2 og neste punkt).

Hvor nær har tankmaterialet vært brudd/overbelastning?

- Den observerte utbulingen på tanken til vogn nr. 1 er mest sannsynlig et resultat av plastisk deformasjon som følge av høy temperatur og høyt trykk under brannen. Utbulingen indikerer derfor at tankmaterialet har vært overbelastet med hensyn til plastisk deformasjon. Testresultater fra lignende materialer viser at både flytegrense og strekkfasthet avtar betydelig ved opphøyde temperaturer samtidig som forskjellen mellom disse størrelsene blir liten. De nevnte testresultatene indikerer derfor at tankmaterialet vært nær bruddbelastning under brannen.

I tillegg har følgende konklusjoner blitt trukket:

- Boltenes strekkfasthet, som oppgitt i spesifikasjonen for boltenes materiale, stemmer ikke overrens med strekkfastheten spesifisert av VTG-Lehnkering AG (ref. 3). De testede materialegenskapene er som forventet for denne type material, og ingen feil eller defekter med betydning for de observerte skadene på bolter og muttere har blitt avdekket. Heller ingen defekter eller mangler i materialet til disse komponentene, som kan ha forårsaket lekkasjen, har blitt avdekket i de undersøkte prøvene.
- Betydelige skader, som brannskader, brudd, sprekker eller store deformasjoner, har ikke blitt observert på pakningen til mannhullet. Ingen indikasjoner på at pakningen er skyld i lekkasjen har blitt funnet.

- Avriving av bolter, to ved hvert mannhull, regnes, etter ekskludering av andre årsaker, som den mest sannsynlige forklaringen til lekkasjen ved mannhullet på vogn 1.
- Prøver av materialet i pluggene på taket til de to vognene viser at materialet til disse pluggene har forskjellig mikrostruktur. Dette betyr at pluggene mest sannsynlig har vært levert i forskjellige varmebehandlingstilstander.
- Tankmaterialet har ikke vært varmere enn 700 °C under brannen.

Er de observerte konsekvensene av skadene rimelige/ som forventet?

- At boltene har blitt revet av som følge av kollisjonen er som forventet for utenpåliggende bolter med en utsatt plassering.
- Lekkasje som følge av avrevne og deformerte bolter ansees som rimelig.
- Høy lokal temperatur har vært en konsekvens av brannen. Denne høye temperaturen har gitt redusert materialstyrke og økt gasstrykk i tanken. Når kombinasjonen av disse to faktorene blir kritisk, er plastisk deformasjon etterfulgt av et eventuelt brudd forventet. Hvorvidt en slik kritisk kombinasjon nås, avhenger av forholdet mellom oppvarming og avkjøling av tankmaterialet.

5 Referanser

1. Telefax fra Hecker Werke GmbH til DNV, 8 sider (inkl. forside), datert 27.06.2000.
2. ASM Handbook, 1, «Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys», American Society for Metals, 1990.
3. Telefax fra VTG Lehnkering AG til Scandpower, 29 sider (inkl. forside), datert 23.05.2000.
4. Telefax fra Alstrom LHB GmbH til VTG Hamburg, 8 sider (inkl. forside), datert 06.04.2000.
5. RID jernbanetransport av farlig gods, Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern, ISBN 82–07–01997–2, 1998.

6 Figurer

Figur 6.4 Vogn 1. Skadet ende

Figur 6.5 Vogn 1. Skadet ende

Figur 6.6 Vogn 1. Skadet ende

Figur 6.7 Inntrykningen observert over mannhullet. Bildet er rotert 90° mot klokka. Vogn 1

Figur 6.8 Inntrykningen observert over mannhullet. Bildet er rotert 90° mot klokka. Vogn 1

Figur 6.9 Topp-pluggen på vogn 1 før åpning

Figur 6.10 Topp-pluggen på vogn 1 etter åpning

Figur 6.11 Mannhull med lokk. Vogn 1

Figur 6.12 Mannhull-lokket etter demontering. Vogn 1

Figur 6.13 Mannhullet etter fjerning av lokket. Hvitfargen er rester etter NDT undersøkelsen. Vogn 1

Figur 6.14 Mannhullet etter fjerning av lokket. Sorte merker på pakningen (kl. 10 til kl. 12) antyder hvor lekkasje har funnet sted. Vogn 1

Figur 6.15 Skilt på vogn 1 som angir fabrikat og byggeår (1975)

Figur 6.16 Undersøkt område på vogn 1 etter uttak av prøver for testing i laboratoriet. Materialprøve A synes øverst på endeflaten og referanseprøven B synes nederst

Figur 6.17 Område hvor referanseprøve (C) ble tatt ut. Vogn 1

Figur 6.18 Nærbilde av område hvor referanseprøve (C) ble tatt ut. Vogn 1

Figur 6.19 NDT undersøkelse av vogn 1. Hvit kontrastfarge viser undersøkte områder

Figur 6.20 Skadet ende. Vogn 2

Figur 6.21 Skader ved mannhull. Vogn 2

Figur 6.22 Topp plugg før demontering. Vogn 2

Figur 6.23 Topp plugg etter demontering. Vogn 2

Figur 6.24 Skilt som viser fabrikat og byggeår (1978). Vogn 2

Figur 6.25 Posisjon til sprekken detektert under NDT undersøkelsen. Vogn 2. Bildet er rotert 90° mot klokka

Figur 6.26 Nærbilde av sprekken detektert under NDT undersøkelsen. Vogn 2. Bildet er rotert 90° mot klokka

Vedlegg 7

Lillestrømulykken, brannteknisk analyse

Computational Industry Technologies AS (ComputIT)
B.F. Magnussen, T. Evanger, N.I. Lilleheie og T.E. Hals

Sammendrag

Rapporten omfatter en analyse av det aktuelle hendelsesforløpet i forbindelse med brannen som oppstod mellom to propantankvogner ved togkollisjonen på Lillestrøm i april 2000. I tillegg omfatter rapporten en analyse av andre mulige hendelsesforløp.

For den aktuelle ulykken er hovedkonklusjonen at når en sammenholder simuleringer, beregninger og observasjoner og tar i betraktning usikkerheter, er det sannsynlig at flytekapasiteten for beholdermaterialet i det brannutsatte området på fremre vogn ble overskredet etter ca. 2 timers brann. Det var kritisk viktig å nedkjøle tankene med vann, og dette forhindret med stor sannsynlighet en videre utvikling mot katastrofe. Dette var en alvorlig ulykke hvor i hovedtrekk de riktige katastrofehindrende tiltak ble gjort.

Simuleringer av brannsituasjoner med andre vindforhold og større lekkasjerater, viser at dersom ulykken hadde hatt et annet forløp, som i seg selv ikke er usannsynlig, ville flytekapasiteten for fremre vogn sannsynligvis kunne blitt overskredet til dels mye tidligere enn i det virkelige tilfellet. I så fall ville ulykken kunne utviklet seg mot en katastrofe i løpet av relativt kort tid.

Analysen av konsekvensen av gasslekkasje uten antennelse viser at gassen i det gjeldende tilfellet ville bli raskt uttynnet. Dette forteller oss at flammen sannsynligvis med fordel kunne ha vært slukket.

Beregninger viser at en eksplosjon og ødeleggelse av en eller begge tankene ville ført til en formidabel ildkule med katastrofale konsekvenser.

ComputITs rapport har tre appendikser A–C. Appendiks A er inntatt. Appendiks B «Tidsutvikling av ildkule simulert med Kamelon FireEx» og appendiks C «Kamelon FireEx» har Kommisjonen ikke funnet det hensiktsmessig å innta.

0 Sammendrag

Rapporten omfatter en analyse av det aktuelle hendelsesforløpet i forbindelse med brannen som oppstod mellom to propantankvogner ved togkollisjonen på Lillestrøm i april 2000. I tillegg omfatter rapporten en analyse av andre mulige hendelsesforløp.

Analysen er basert på detaljerte numeriske simuleringer med dataprogrammet Kameleon FireEx (KFX), utviklet ved NTNU/SINTEF av professor Bjørn F. Magnussen og hans medarbeidere.

Hovedkonklusjonen av analysen er at i hovedsak ble de riktige tiltak iverksatt, men under mer ugunstige forhold kunne ulykken ha fått et dramatisk forløp. I det aktuelle tilfelle var lekkasjeraten av propan sannsynligvis ca. 150 g/s, tilsvarende 540 kg/time. Fremre vogn var særlig utsatt fordi den hadde fått en skråstilling som konsekvens av kollisjonen slik at væskenivået i tanken mot brannen ble liggende relativt lavt. Derved oppstod det et stort område i den branneksponerte enden av tanken hvor stålmaterialet ble opphetet, sannsynligvis opp mot ca. 690 °C. Dette førte til en betydelig svekkelse av materialets styrke samtidig med en betydelig trykkstigning inne i tanken.

Når en sammenholder beregninger og observasjoner og tar i betraktning usikkerheter, er det sannsynlig å fanta at flytekapasiteten for beholdermaterialet i det brannutsatte området på fremre vogn ble overskredet etter ca. 2 timers brann.

Overrislingen av tankene med vann som startet etter ca. 2 timer, forhindret utviklingen mot en katastrofe.

Simulering av en rekke alternative situasjoner viser at en var svært heldig. Dersom lekkasjeraten hadde vært større og det hadde blåst sterkere vind, eller at omgivelsestemperaturen hadde vært høyere, ville brudd i tankene ha kunnet finne sted i løpet av ca. en halv time etter antennelse.

Hvis en tank hadde eksplodert ville det ha blitt dannet en ildkule med diameter ca. 200 m som ville ha ført til ekstrem termisk stråling i et område med

500–1000 m utstrekning. Selv om varigheten ville ha vært kort, sannsynligvis av størrelsesorden 10 sekunder, ville konsekvensene ha vært dramatiske. Med stor sannsynlighet ville også den andre tanken ha eksplodert med tilsvarende større omfang på ulykken.

En kan med utgangspunkt i den gjennomførte analyse konkludere med at de katastrofehindrende tiltak som ble iverksatt i hovedsak var riktige, herunder at tankene ble overrislet med vann, at tankene ble tømt, og at befolkningen ble evakuert.

Det er klart at vannoverrislingen ble iverksatt i høy tid, og at den burde ha startet tidligere.

Analysen av konsekvensen av gasslekkasje uten antennelse viser at gassen i det angjeldende tilfellet ville bli raskt uttynnet. Dette forteller oss at flammen sannsynligvis med fordel kunne ha vært slukket.

Det er klart at det ikke er lett under eksisterende ulykkessituasjon å vite hvilke løsninger en skal velge. Med det eksisterende simuleringsverktøy (KFX) vil en imidlertid kunne simulere en rekke alternative situasjoner og på denne bakgrunn utvikle et sett med retningslinjer for forebyggende tiltak og redningsarbeid. Når en tar i betraktning all transport av gass i tankvogner på jernbane og vei som finner sted, og at ulykker med stor sannsynlighet vil skje, vil vi anbefale at det iverksettes prosjekt for å utvikle slike retningslinjer.

1 Introduksjon, bakgrunn

I april 2000 kolliderte to togsett på Lillestrøm stasjonsområde. Det ene togsettet fraktet propan på tankvogner, og ved kollisjonen støtte to tankvogner sammen med propanlekkasje og brann som følge.

Brannen pågikk over flere dager mens det parallelt ble arbeidet med avgrensning av brannkonsekvensene gjennom overrisling av tankene med vann, og avfakling av propanen for å få tømt tankene. Situasjonen ble med rette betraktet som svært alvorlig, og store områder ved Lillestrøm stasjon ble avsperret, og hele befolkningen i området evakuert i flere dager mens brannen pågikk. Tiltakene som ble satt inn og redningsarbeidet var vellykket, tankene ble tømt uten at de kollapset og brøt sammen, og uten at eksplosjon eller en fireball oppstod.

Ulykken kunne imidlertid fått et langt alvorligere utfall, og i etterkant av ulykken ble prosjektet som rapporteres her igangsatt. Formålet med studien er å finne ut hvilke marginer en hadde i ulykken, hvor nært katastrofen en var, betydningen av de eksterne innsatsfaktorer og lignende, samt å gjennomføre en sensitivitetsanalyse for de viktigste parametre i denne sammenhengen. I tillegg til å etablere kunnskap om den aktuelle ulykken og hendelsesforløpet der, er det en viktig del av studien å få frem kunnskap om hvordan utviklingen ville ha vært dersom ulykkesbildet hadde vært litt annerledes, om propanen ikke hadde blitt antent eller lignende, med tanke på å trekke lærdom av hendelsen for bruk i eventuelle senere sammenhenger, opplæring av personell osv.

Katastrofen ble avverget i denne ulykken, men ulykkestilfellet er svært interessant fordi en på basis av observasjoner under og etter brannen sammenholdt med beregninger og simuleringer som blir gjort i studien, vil kunne trekke vidtrekkende konklusjoner med stor grad av sikkerhet. Dette vil kunne være av stor betydning med tanke på bruke ulykken som basis for fremtidig sikkerhetsarbeid.

Prosjektet består i to hoveddeler:

- Modellering og simulering av lekkasje, brannforløp og temperatur- og spenningsutvikling i tankene i den aktuelle ulykken
- Gjennomføring av en sensitivitetsanalyse for å fremskaffe informasjon om konsekvenser av et annerledes ulykkesbilde som for eksempel andre lekkasjerater, andre vindforhold, at propanen ikke blir antent og sprer seg utover et større område som tung gass, av at beholdere revner med fireball som følge og lignende. Alt dette som underlag for videre arbeid med retningslinjer for både forebyggende tiltak og eventuelt senere redningsarbeid

Den foreliggende rapporten sammenfatter resultatene fra begge deler av studien.

2 Generell diskusjon av problemstillingen

Ved kollisjonen ble de to tankvognene som transporterte propan presset mot hverandre slik at det oppsto lekkasje i flensene for mannhullene på de to vognene. Mannhullene var vendt mot hverandre og de ble stående i nær kontakt med hverandre.

Vognene var fylt med propan, og væskenivået i tankene når tankene stod horisontalt nådde en høyde fra bunnen på ca. 2,17 m. Diameteren på tankene var 3,0 m. Dette betyr at når vognene stod horisontalt ville det bare være gass helt øverst i tanken.

Forholdet var at bakre vogn ble stående horisontalt mens fremre vogn fikk en skråstilling på 5° målt i vognens lengderetning, med det høyeste punkt vendt mot bakre vogn. Dette innebærer at

som vist i figur 7.1 at gassområdet strakk seg til like under senterplanet for tanken.

For begge vognene lå imidlertid lekkasjepunktet godt under væskenivået, slik at lekkasjetverrsnittet ble gjennomstrømmet av propan væske.

Omtrent 5 minutter etter sammenstøtet mellom de to vognene ble gassen som lakk ut antent og det oppstod brann mellom vognene. Hvor stor lekkasjemengden i de to flensene til sammen var er ukjent, men vi kan regne med at den var i området 50 g/s til 150 g/s (cfr. kap. 3.1.2 og 3.1.3). Dette er i seg selv en begrenset mengde, men dette tilsvarer imidlertid 2.3 MW til 6.9 MW. Altså en meget betydelig varmeutvikling.

Ved forbrenning av propan med luft utvikles det svært høye temperaturer inne i flammen, med maksimaltemperaturer i området 1700 °C til 1900 °C. Når gass ved slike høye temperaturer berører metallet i tankene blir det overført varme ved såkalt konvektiv varmeoverføring. Den største varmeoverføring til tankene skjer imidlertid ved varmestråling. Denne strålingen kommer fra gasskomponenter som CO_2 og H_2O i flammen, men det største strålingsbidraget kommer imidlertid fra glødende sotpartikler. Sotpartiklene er ansvarlig for det gult lysende i flammer og dannes under selve forbrenningsprosessen. Våre beregninger viser, som vi skal komme tilbake senere i rapporten, at inne i flammen som oppstod mellom vognene har det vært strålingsflukser på over 100 kW pr. m2. Altså over 100 ganger så sterk som strålingen fra solen på en solskinnsdag ved ekvator.

Selv om noe av strålingen dempes før den når beholderne, vil betydelige varmemengder overføres til disse.

Varmeoverføringen fra flammene fra brannen mellom vognene har to konsekvenser. Den ene er at propanen i beholderne varmes opp slik at trykket i beholderne stiger, noe som igjen fører til at materialspenningene i beholderveggene øker. Dette er et faremoment i seg selv fordi beholderne er konstruert for å kunne tåle et bestemt trykk under normale temperaturer. Lekkasjen fra flensene bidrar prinsipielt til at trykket ikke stiger så raskt. Men i dette tilfelle var dette bidraget neglisjerbart. 150 g/s tilsvarer 540 kg/time, mens tankenes totale innhold var ca. 43 tonn hver.

Den andre konsekvensen av varmeoverføringen er at stålmaterialet i tankene varmes opp. Hvis stålmaterialet varmes opp til ca. 500 °C vil styrken reduseres med ca. 55 %, mens ved en temperatur på ca. 700 °C vil styrken i materialet være redusert til i området 20–15 % av den opprinnelige styrke. Et slikt tilfelle kombinert med tilstrekkelig trykkoppbygning inne i beholderen ville kunne få den katastrofale følge at beholderen ville briste, med påfølgende ekstrem brannutvikling.

I dette tilfelle er det materialet i beholderen som befinner seg i gassområdet over væskespeilet som vil være mest utsatt for slik oppvarming. I væskeområdet vil materialtemperaturen holde seg i nærheten av propanvæskens temperatur fordi propanvæsken så effektivt vil føre varmen bort fra veggen og inn i propanen. I gassområdet er imidlertid varmeoverføringen inne i beholderen vesentlig mindre. Gassen er ikke i stand til å føre varmen fra materialet inn i væsken slik at materialtemperaturen stiger inntil ny likevekt mellom tilført og bortført varme oppnås. Dette vil, avhengig av varmeoverføringen fra brannen, føre til temperaturer som indikert.

Som konsekvens av dette er det fremre vogn, den vognen som hadde det laveste væskenivå, som var mest utsatt. Våre observasjoner av vognene etter ulykken viser at en utbuling av beholderen på fremre vogn hadde funnet sted, noe som indikerer at en har vært i faresonen.

Etter ca. 2 timer begynte en å overrisle tankene med vann uten å berøre selve flammene i vesentlig grad. Vannmengden var begrenset, ca. 1600 kg/min. pr. vogn, men en kan regne med at fra dette tidspunkt ble det bortført så mye varme fra tankene gjennom vannet at trykkstigningen opphørte. Muligens falt trykket i tankene etter dette tidspunkt. Eksempelvis vil en temperaturstigning på vannet på ca 1 °C kunne transportere bort 110 kW. Sannsynligvis var varmetilførselen til tanken på fremre vogn av størrelsesorden 300 kW (cfr. senere deler av rapporten).

Hvis en i denne fase hadde slukket brannen ville uforbrent gass ha sluppet ut. Konsekvensen av dette er ikke lett å forutsi. Dette forhold vil imidlertid bli belyst i senere deler av denne studien.

Tankene ble fornuftigvis tømt relativt raskt ved fakling etter tilkopling av tømmeledninger. Generelt er det viktig å ha i mente at tankene var særlig utsatt under denne prosessen på grunn av det synkende væskenivået.

De forhold som vi her har drøftet i en generell form vil bli nærmere belyst i den foreliggende rapporten.

3 Ulykkesscenariet

3.1 Startbetingelser

3.1.1 Propantankenes innhold og dimensjoner

Figur 7.1 viser propantankens dimensjoner og væskenivå.

Figur 7.1 Vognenes geometri og væskenivå

Tankene var fylt med henholdsvis 83.8 m^3 og 85.4 m^3 propan 95. Dette tilsvarer ca. 43 tonn propan i hver av tankene.

Temperaturen i beholderne antas å ha vært 5 °C før kollisjonen. Det tilsvarende trykk er 5.5 bar absolutt, altså 4.5 bar overtrykk.

Propan 95 inneholder typisk 1 % etan (C_2H_6), 95 % propan (C_3H_8), og ca. 1 % pentener (C_5H_{12}).

3.1.2 Inngangsdata for beregningene

Lekkasjearealet fra tankene har vært forsøkt bestemt i ettertid gjennom luftgjennomstrømningsanalyser (ref.1).

Lekkasjenes lokalisering har vært bestemt ved termografiske undersøkelser av de skadde tankene (ref. 2).

Da det er tvil om i hvilken grad det har vært lekkasje under brannen i alle angitte lekkasjepunktene i ref. 1, har vi i samråd med våre oppdragsgivere valgt å konsentrere oss om lekkasjene i forbindelse med mannhullene for de to tankene, og den lokalisering av lekkasjepunktene som ble bestemt i ref. 2. Det var også mellom tankene brannen utviklet seg.

For fremre vogn er det usikkerhet med hensyn til hvor stor del av lekkasjen som kan henvises til flensen på mannhullet, og til lufteplugg på toppen i samme ende som flensen. Som utgangspunkt har vi henført lekkasjearealet til flensen.

Med dette som bakgrunn har vi tatt utgangspunkt i følgende inngangsdata, se tabell 7.1.

Lekkasjepunktene er plassert i toppen av flensen på enden av tankene. Lekkasjen er modellert svakt usymmetrisk slik at flammen bøyer av litt mot høyre sett mot fremre vogn i vindretningen, og det er tatt hensyn til at lekkasjepunktene er noe forskjøvet i høyderetningen for de to tankene.

Tabell 7.1 Inngangsdata for simuleringene

Lekkasjeareal tank fremre vogn	1.22 mm^2
Lekkasjeareal tank bakre vogn	1.9 mm^2
Propan lekkasjerate totalt for tankene	45 g/s
Start temperatur i propantankene	278 K (5 °C)
Start trykk i propantankene	4.5 barg
Vindretning	Parallelt med togakse
Vindhastighet	1.5 m/s 10 meter over bakken (svak vind)

3.1.3 Lekkasjemengden

Lekkasjearealene i ref. 1 ble bestemt ved å måle tilført luft samtidig som trykket i beholderen ble holdt konstant. Trykket i beholderne under testen var typisk i området 1.55 bar absolutt til 1.35 bar absolutt tilsvarende 0.55 bar og 0.35 bar overtrykk, og temperaturen i området 12°C til 21°C.

Lekkasjearealet ble beregnet etter følgende formel:

$$A = \frac{q \cdot \rho_1}{t \cdot \mu(2 \cdot \rho_2 \cdot \Delta p)^{1/2}} \qquad (1)$$

hvor:
q = m^3 luft inn over perioden
ρ_1 = spes. vekt atmosfæreluft
t = tiden av perioden
μ = faktor (pga. lekkasjepunktenes geometri er den valgt til 0,7)
ρ_2 = spes. vekt for «tankluft»
Δp = trykkforskjell mellom tank og atmosfære

Hvis vi innfører massestrømmen, $\dot{m}$ i uttrykket fås:

$$A = \frac{\dot{m}}{\mu(2\rho_2 \cdot \Delta p)^{1/2}} \qquad (2)$$

Ved å omforme dette uttrykket finner vi uttrykket for massestrømmen:

$$\dot{m} = A \cdot \mu(2\rho_2 \cdot \Delta p)^{1/2}$$

eller

$$\dot{m} = A \cdot \mu \cdot \rho_2\left(2 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_2}\right)^{1/2} \qquad (3)$$

Dette er et uttrykk som er gyldig for strømning over en restriksjon.

Lekkasjen i flensen for mannhullene er sannsynligvis forbundet med en relativt kompleks strømning i smale spalter og gjennom små hull. Det er derfor høyst tvilsomt om det anvendte utrykk (1) er gyldig. Vi har derfor valgt å betrakte arealet, A, som en fiktiv størrelse og beregnet massestrømmen, lekkasjemengden $\dot{m}$, ved å benytte uttrykk (3). Altså i prinsipp det samme uttrykk som i (1) og med samme koeffisienter, men med relevante data for flytende propan 95.

Når vi benytter relevante data for tankene (jf. tabell 7.1, Inngangsdata) får vi en samlet lekkasjemengde i spalten mellom de to vognene på:

$$\dot{m}_0 = 45 \text{ g/sek}$$

En ser av uttrykk (3) at lekkasjemengden stiger når trykket i beholderen stiger slik at når for eksempel overtrykket i beholderen dobles, vil lekkasjemengden, $\dot{m}_0$, øke med ca. 40 %.

Problemstillingen kompliseres ytterligere av at lekkasjearealet er bestemt under kald tilstand i ettertid ved et overtrykk i størrelsesorden 10 % av overtrykket i beholderen under brannen. Det vil ikke være urimelig å anta at lekkasjearealet kan ha vært trykkavhengig. Altså større under den aktuelle brannsituasjonen.

Med dette som bakgrunn har vi valgt følgende strategi for beregningene:

Det gjennomføres tre beregningstilfeller for brannen med følgende lekkasjemengder:

Tilfelle A: $\dot{m} = \dot{m}_0 = 45$ g/sek
Tilfelle B: $\dot{m} = 2\dot{m}_0 = 90$ g/sek
Tilfelle C: $\dot{m} = 3\dot{m}_0 = 135$ g/sek

Det mest realistiske brannscenariet fastlegges deretter ved å sammenholde beregningsresultatene med observasjoner under og etter brannen.

Vi har valgt å holde en fast lekkasjerate for propanen på grunn av usikkerheten som er forbundet med fastsettelsen av raten.

3.1.4 Atmosfæriske forhold

Vindforholdene har betydning for flammeutviklingen. Vi har valgt å gjennomføre beregningen med en vindhastighet på 1,5 m/s parallelt med vognene og i retning mot fremre vogn. For øvrig er det antatt 0 °C i omgivelsene.

3.2 Brannutviklingen og materialtemperaturer

3.2.1 Tankveggenes oppvarming

Oppvarmingsproblemstillingen karakteriseres av figur 7.2.

Tankenes yttervegger utveksler varme med omgivelsene, herunder flammen, gjennom stråling og konveksjon. Samtidig transporteres varme inn i propanen gjennom tilsvarende mekanismer.

I væskeområdet er varmeovergangen meget effektiv. Derfor vil beholderens veggtemperatur i dette området alltid ligge i nærheten av propanens temperatur.

I gassområdet er varmeovergangen mindre effektiv slik at beholderveggen kan anta temperaturer som ligger nærmere flammenes temperatur. Derfor er dette området spesielt utsatt under brann.

Figur 7.3 viser veggtemperaturen i gassområdet som funksjon av netto varmefluks på veggens ytterside.

En varmefluks på 50 kW/m^2 gir en veggtemperatur på 525 °C, mens 100 kW/m^2 gir 700 °C. Disse forholdene er inkludert i Kameleon FireEx og ivaretatt i de beregningene som omtales i det følgende.

Figur 7.2 Oppvarmingsproblemstillingen

3.2.2 Brannsimuleringene

Brannsimuleringene utføres med Kameleon FireEx. Dette er et generelt simuleringsprogram for forbrenning, spesielt rettet mot brann. Programsystemet tar utgangspunkt i grunnlikningene for strømning, termodynamikk, varme- og masseoverføring, kjemiske reaksjoner, og inkluderer modeller for fysikalske delprosesser.

Kameleon FireEx kan simulere transient brannutvikling i det tredimensjonale rom, hvor innflytelse av konstruksjoner og konstruksjonselementer kan inkluderes. Programsystemet er utviklet ved NTNU/SINTEF-varmelæremiljøet over en 25 års periode, de siste 5 årene i nært samarbeid med Statoil, Elf, Ruhrgas, Gaz de France og ENI-gruppen (Snam og Agip). Alt ansvar for programsystemet, inklusiv videreutvikling, er nå overtatt av ComputIT. Programmet er omfattende testet og har for øvrig operasjonelle egenskaper som er unik i internasjonal sammenheng (se for øvrig appendiks B).

Med Kameleon FireEx beregner vi både selve brannutviklingen, varmeoverføringen til tankene, og materialtemperaturene i tankveggene.

Det er gjennomført simuleringer for de tre lekkasjetilfellene:

A: $\dot{m}$ = 45 g/s
B: $\dot{m}$ = 90 g/s
C: $\dot{m}$ = 135 g/s

Vind blåser parallelt med toget med retning fra bakre vogn mot fremre vogn.

Figur 7.4 (a, b, c og d) viser resultatene for tilfelle A.

Figur 7.4a viser de maksimale temperaturene i flammen sett inn mot fremre vogn, mens figur 7.4b viser brannen sett fra siden.

Figur 7.4c viser den maksimale strålingsfluksen fra flammen inn mot fremre vogn. Figur 7.4d viser ståltemperaturene i den enden av fremre tank som vender inn mot spalten mellom vognene.

Figurene 7.5 viser tilsvarende for tilfelle B, mens figurene 7.6 viser tilsvarende for tilfelle C.

Figur 7.7 viser «ray-tracing» bilder, dvs bilder som avbilder flammene sett utenfra for de tre beregningstilfellene.

Noen karakteristiske resultater fra beregningene er sammenstilt i tabell 7.2.

Maksimal flammetemperaturer som angitt i tabell 7.2 er hentet fra a og b i figurene 7.4 til 7.6. Maksimal strålingsfluks inn mot fremre vogn er hentet fra c i figurene 7.4 til 7.6, mens maksimal ståltemperatur er hentet fra d i figurene 7.4 til 7.6.

Figur 7.3 Typisk utvikling av veggtemperatur i gassområdet som funksjon av netto varmefluks på en brannbelastet tanks ytterside

Maksimal ståltemperatur slik som det fremkommer her er lavere enn hva som indikeres i fra figur 7.3. Dette skyldes at netto varmefluks er lavere enn den maksimale strålingsfluksen, blant annet på grunn av tilbakestråling fra veggen. Materialtemperaturene som er angitt er de som er fremkommet etter at stasjonære forhold har inntrådt.

En ser også at de høye overflatetemperaturene opptrer i gassområdet for tanken. Under væskenivået er overflatetemperaturene lave og ikke svært avvikende fra væsketemperaturen i beholderne.

Når vi sammenholder beregningsresultatene i figur 7.4 til 7.7 med fotografier av selve brannen, figur 7.8, samt spor på fremre vogn, figur 7.9 og 7.10, synes beregningstilfelle C med lekkasjeraten 135 g/s å gi et brannbilde som samsvarer godt med observasjonene.

Av særlig betydning i dette tilfelle er at det er først ved denne lekkasjemengden at vi beregningsmessig observerer flammer i underkant av tanken.

En må selvsagt ved slike vurderinger ta i betraktning at selv om beregningene med stor sannsynlighet er riktige, vil de alltid være beheftet med unøyaktigheter.

Tabell 7.2 Karakteristiske resultater fra Kameleon FireEx beregningene

Tilfelle	Lekkasjerate (g/s)	Vind (m/s)	Utviklet varme (kW)	Maks flammetemperatur (°C)	Maks strålingsfluks inn mot fremre vogn (kW/m^2)	Maks ståltemperatur tank fremre vogn (°C)
A	45	1.5	2087	1869	77	526
B	90	1.5	4174	1876	107	650
C	135	1.5	6261	1682	130	690

Figur 7.4 Beregningsresultater for tilfelle A, lekkasjerate 45 g/s

Figur 7.5 Beregningsresultater for tilfelle B, lekkasjerate 90 g/s

Figur 7.6 Beregningsresultater for tilfelle C, lekkasjerate 135 g/s

Figur 7.7 Ray-tracing bilder av de beregnede flammene, tilfelle A, B og C

Figur 7.8 Fotografi av brannen

Kilde: Scanpix

Figur 7.9 Fotografi av fremre vogn med merker etter brannen

3.3 Trykkutvikling i tanken

Når propantankene utsettes for brannbelastning fører det til trykkstigning i beholderne dersom trykkavlastningen, dvs utstrømningsraten, ikke er så stor at den dominerer over trykkøkningen som er en følge av varmetilførselen. For den aktuelle situasjonen er utstrømningsraten liten, 45–135 g/s samlet for tankene. Virkningen på trykkstigningen av lekkasjen er derfor liten. Trykknivået som funksjon av tid er av sentral betydning idet kapasiteten til materialet avtar med økende temperatur, dvs. med tiden.

For å beregne trykkforholdene i beholderne er programsystemet PIA samt et spesialutviklet program PRESTEMP, benyttet. PIA er utviklet med utgangspunkt i Kameleon og er basert på samme numeriske modellering og metodikk som Kameleon. PIA er i utgangspunktet utviklet for å simulere trykkavlastning av prosessutstyr som befinner seg i risikoutsatte områder. Fokus for PIA ligger i veggmaterialets oppførsel og påkjenning ved trykkavlastning, idet dette ofte utsettes for svært store påkjenninger gjennom lave innvendige temperaturer som følge av rask trykkavlastning og ekspansjon, og samtidig kraftig utvendig oppvarming ved brann. Både den fluid- og termodynamiske utviklingen for multikomponente hydrokarbonblandinger i prosessutstyret, samt temperatur- og spenningsutvikling i materialveggene inngår i simuleringsmodellen. PIA er utviklet ved NTNU/Sintef Energiforskning AS, og bruksrettighetene ligger hos ComputIT. Programmet har vært anvendt av Sintef i en rekke studier av trykkavlastning, men også for eksempel for analyser av trykkoppbygging i rørledninger og for andre situasjoner. PRESTEMP er utviklet for denne studien og basert på de grunnleggende lover i termodynamikken. Det vekselvirker med den termodynamiske databasen NIST Chemistry WebBook (ref. 3).

I denne studien er trykkforholdene i den mest utsatte beholderen, dvs. på fremre vogn, beregnet. Brannlasten fører til en lokal oppvarming av stålmaterialet i den ene enden av vogna, og en global temperatur og trykkoppbygging i hele fluidet. Lokale temperaturvariasjoner i fluidet er ikke av signifikant betydning for trykkutviklingen i tanken.

Tabell 7.3 viser tilført varme til propantankene beregnet ved hjelp av Kameleon FireEx ved å summere varmeoverføringen over hele tankenes overflate. På grunn av vindforholdene mottar tankene noe forskjellig varme. For tilfelle A og B mottar fremre vogn mindre varme enn bakre vogn, mens i tilfelle C mottar fremre vogn mer varme enn bakre vogn. Dette siste skyldes oppvarming fra flammer på nedre del eller undersiden av fremre vogn i dette tilfellet (cfr. fig. 7.6), og har hatt en signifikant påvirkning på varmeoverføringen.

Tabell 7.3 viser for øvrig at tankene til sammen mottar 6–8.5 % av den utviklede varme. Dette er meget realistiske verdier når en tar i betraktning flammenes størrelse, lokalisering og form.

En kan videre se at tankene mottar noe mindre varme etter at stasjonære forhold har inntrådt enn i begynnelse. Dette har sammenheng med at avstrålingen fra tankene øker med økende materialtemperaturer.

For trykkberegningene har vi lagt til grunn varmeoverføringen ved stasjonære forhold; for tilfelle A 59.7 kW, tilfelle B 92.4 kW, og tilfelle C 280.1 kW, som angitt i tabell 7.3. Vi har lagt de stasjonære varmefluksene til grunn fordi den transiente perioden, dvs. tiden før ståltemperaturen i gassområdet har nådd sin tilnærmede stasjonære tilstand, bare vil være 10–20 minutter.

Resultatene er vist i figur 7.10, der beregnet trykkutviklingen som funksjon av tid er fremstilt for de tre tilfellene.

Sammenhengen mellom temperatur og trykk er vist i figur 7.11.

Tabell 7.3 Beregnet tilført varme til propanbeholderne

Tilfelle	Massestrøm, $\dot{m}$ (g/s)	Utviklet varme (kW)	Tidspkt. (s)	Tilført tank på bakre vogn (kW)	Tilført tank på fremre vogn (kW)	Sum tilført (kW)	% av utviklet varme
A	45	2087	30	99.5	65.7	165.2	7.9
	45	2087	stasjonært	96.0	59.7	155.7	7.5
B	90	4174	30	168.7	102.7	271.4	6.5
	90	4174	stasjonært	157.0	92.4	249.4	6.0
C	135	6261	30	217.3	311.9	529.2	8.5
	135	6261	stasjonært	208.2	280.1	488.3	7.8

Figur 7.10 Beregnet trykkutvikling i propantank fremre vogn som funksjon av tid etter antennelse

Trykket i beholderne vil være bestemt av væsketemperaturen. Lokalt høye materialtemperarturer i gassområdet vil i hovedsak ikke påvirke trykket på annen måte enn gjennom varmeoverføringen.

Brannvann ble tatt i bruk etter omtrent to timer, og det beregnede trykket er da hhv. 6.1 bara, 6.4 bara og 8.7 bara for de tre tilfellene. Dersom ikke brannvann var blitt tatt i bruk ville trykket ha fortsatt å øke. Det beregnede trykknivået etter 4 timer uten bruk av brannvann er 6.8 bara, 7.6 bara, og 13.0 bara hhv. for tilfelle A, B og C. Konsekvenser av dette er diskutert nærmere i kapitel 3.4.3.

3.4 Styrketeknisk analyse

3.4.1 Tankmaterialets styrkeegenskaper

Tankmaterialet betegnet StE47 (BH47) har en flytegrense på 470 N/mm^2.

Flytegrensen er temperaturavhengig og har den egenskap at den avtar med økende temperatur. Dette gjør seg gjeldende først og fremst ved temperaturer over ca. 300 °C.

Figur 7.12 viser flytegrensens variasjon for et typisk stålmateriale tilsvarende det som er benyttet. Vi kjenner ikke eksakt forløpet for det angjeldende materiale, men vi antar at figur 7.12 karakteriserer temperaturavhengigheten godt nok, cfr. appendiks A «An estimation of the state of stress in the Lillestrøm gas tank».

Eksempelvis er flytegrensen sunket til 220 N/mm^2 ved 500 °C, tilsvarende er reduksjon til 47 % av den opprinnelige (ved 20 °C). Ved 700 °C er flytegrensen sunket til ca 85 N/mm^2 tilsvarende 18 % av den opprinnelige.

3.4.2 Tankenes dimensjonering

Tankene er konvensjonelt dimensjonert for å tåle et trykk på 25 bar overtrykk ved normal temperatur, altså med flytegrense for materialet på 470 N/mm^2. Det er på vanlig måte tatt hensyn til sikkerhetsfaktor og svekkelsesfaktor for sveiser.

Tankene består av en sylindrisk del og kuleformede endebunner. For den sylindriske delen

Figur 7.11 Fasekurve for propan

Figur 7.12 Flytegrensens variasjon med materialtemperaturen (typisk)

beregnes strekk-membranspenningene etter følgende uttrykk

$$\sigma = \frac{pD}{2s} (\mathrm{N/mm^2})$$

hvor
p = overtrykket i $\mathrm{N/mm^2}$
D = diameterne i mm
S = veggtykkelsen i mm

Her er D = 3000 mm og s = 12.2 mm.

Beholderens endebunner er utformet som kuleskall med krumningsradius R = 2400 mm. Strekk-membranspenningene i endebunnen beregnes av uttrykket

$$\sigma = \frac{pR}{2s} (\mathrm{N/mm^2})$$

Her er R = 2400 mm og s = 13.1 mm.

Dette er de formler som normalt legges til grunn ved dimensjonering. Endebunnene er noe mer konservativt dimensjonert enn den sylindriske delen, bl.a. for å hensynta spenningene i overgangssonen mellom endebunnen og sylinderdelen.

3.4.3 Tankenes spenningssituasjoner under brannen

Det er tankenes endebunner som er utsatt for den største termiske belastningen fra brannen. Spesielt er det den fremre vogn, altså den tiltede vognen, som er mest utsatt fordi væskenivået er så lavt i den brannutsatte delen. Derfor vil områder av tanken her bli betydelig oppvarmet av brannen.

Det er tre spenningssituasjoner som er av interesse:

- a: spenninger som oppstår på grunn av temperaturgradient gjennom veggmaterialet
- b: spenninger på grunn av lokal termisk ekspansjon i de oppvarmede områder
- c: spenninger på grunn av trykket inne i beholderen

Spenningssituasjonen *a* opptrer først og fremst ved store veggtykkelser. I dette tilfellet vil denne spenningen være av liten relativ betydning da beholderne kan betraktes som tynnveggede.

Spenningssituasjonen b vil under de riktige betingelser kunne føre til bukling av endebunnen.

Spenningssituasjonen c er den normale som er den vanlige dimensjonerende spenning.

Spenningssituasjonene b og c er utførlig drøftet i appendiks A, «An estimation of the state of stress in the Lillestrøm gas tank».

Tabell 7.4 Trykkutvikling og spenningsutvikling i fremre tankvogn som funksjon av tid etter antennelse

Tilfelle	Tid (timer)	Tilført varme (kW)	Maks. temp (°C)	Trykk (bara)	Maks membran Spenning ($\mathrm{N/mm^2}$)	Flyte Kapasitet ved maks temp ($\mathrm{N/mm^2}$)	Kapasitetsutnyttelse %
	0			5.5	41.2		21
A	1	59.7	525	5.8	44.0	200	22
	2			6.1	46.7		23
	3			6.4	49.5		25
	4			6.8	53.1		27
	0			5.5	41.2		38
B	1	92.4	650	5.9	44.9	110	41
	2			6.4	49.5		45
	3			7.0	55.0		50
	4			7.6	60.5		55
	0			5.5	41.2		46
C	1	280.1	690	7.0	55.0	90	61
	2			8.7	70.5		78
	3			10.7	88.9		99
	4			13.0	109.9		122

Konklusjonen av denne analysen er at det er membranspenningene som er kritiske og det er disse som blir lagt til grunn i det følgende.

Tabell 7.4 viser trykk- og spenningsutvikling i tanken på fremre vogn som funksjon av tid etter antennelse. Beregningene er gjennomført for lekkasjerate A: 45 g/s, B: 90 g/s, og C: 135 g/s. Det er lagt til grunn beregnet tilført varme, maksimal beregnet materialtemperatur, samt beregnet propantrykk.

Tabellen viser for øvrig flytekapasiteten bestemt av beregnet maksimal materialtemperatur fra figur 7.12.

Videre vises kapasitetsutnyttelsen, dvs. forholdet mellom den maksimale membranspenningen og flytekapasiteten, angitt i %.

Figur 7.13 fremstiller resultatene grafisk. Vi ser her at lekkasjetilfelle C gir full kapasitetsutnyttelse etter i underkant av 3 timer. Dette er det tilfellet som vi etter en betraktning av de beregnede flammebilder har vurdert som det mest sannsynlige.

Sammenholdes dette med figur 7.14 som viser et bilde av fremre tank med en utbuling i det aktuelle området, en indikasjon på at flytegrensen har vært overskredet, underbygger dette en konklusjon om at brannutviklingen har vært i nærheten av den som er simulert i tilfelle C. Muligens har utstrømningsraten vært noe større.

Selv om en tar i betraktning at det i denne analysen er gjort beregninger av et meget komplekst fenomen, og at det derfor vil hefte usikkerhet ved beregningsresultatene, underbygges analysen en konklusjon om at situasjonen har vært meget alvorlig.

Det er viktig å ta i betraktning ved en videre vurdering at i første fase etter en utbuling vil en få en spenningsreduksjon fordi krumningsradien i det aktuelle området reduseres. Dette vil forsinke den videre utvikling, men situasjonen var alvorlig og vannavkjølingen startet i høy tid.

Figur 7.13 Flytekapasitetsutnyttelse i % som funksjon av tid etter antennelse

3.5 Konklusjon

På basis av det ovenstående konkluderes følgende:

1. Med stor sannsynlighet har det vært en brannutvikling i nærhet av den som er simulert i tilfelle C, med en lekkasjerate på 135 g/s, eller kanskje noe høyere.
2. Når vi sammenholder beregninger og observasjoner og tar i betraktning usikkerheter, er det sannsynlig å anta at flytekapasiteten for beholdermaterialet i det brannutsatte området på fremre vogn ble overskredet etter ca. 2 timers brann.
3. Det var kritisk viktig å nedkjøle tankene med vann, og dette forhindret med stor sannsynlighet en videre utvikling mot katastrofe.
4. Dette var en alvorlig ulykke hvor i hovedtrekk de riktige katastrofehindrende tiltak ble iverksatt.

4 Analyse av alternative hendelsesforløp

4.1 Alternative hendelsesforløp

I det følgende har en analysert konsekvenser av en rekke alternative hendelsesforløp. Disse grupperes i tre problemområder:

1. Brannbelastning på vognene under andre ytre forhold, dvs forskjellige vindforhold, forskjellige lekkasjerater og ved annen initialtilstand i tankene.

Figur 7.14 Fotografi av den mest utsatte endebunnen for tank på fremre vogn

2. Spredning av ikke antent gass under forskjellige vindforhold, og eventuell antennelse på et senere tidspunkt.
3. Fullstendig brudd på en beholder med momentant utslipp av all propan fra en tank, antennelse og dannelse av en såkalt «fireball».

4.2 Brannbelastning på fremre tankvogn ved andre vær- og lekkasjeforhold

4.2.1 Brannbelastning på fremre vogn

For problemområde 1 ovenfor er følgende alternative ulykkesscenarier definert:

Scenario D: som tilfelle C, dvs samlet lekkasjerate 135 g/s og vind 1.5 m/s, men med starttemperatur 20 °C i tankene

Scenario E: lekkasjerate 135 g/s, vind 15 m/s langs togvognene mot fremre vogn

Scenario F: lekkasjerate 1350 g/s, vind 1.5 m/s langs togvognene mot fremre vogn

Scenario G: lekkasjerate 1350 g/s, men vind 15 m/s langs togvognene mot fremre vogn

Alle brannene er simulert med Kameleon FireEx som beskrevet i kapitel 3.2.2, og resultatene er fremstilt på samme måte.

For scenario D er samme brann som for tilfelle C benyttet, mens det er de indre forhold i tanken som er endret. For beskrivelse av selve brannforløpet, avbildning av brannforløp, plott av beregningsresultater etc, henvises til figurene 7.6a-7.6d, samt 7.7c i kapitel 3.2.2.

Figurene 7.15 og 7.16 viser resultater for scenario E.

Figur 7.15a, b og c viser hhv. de maksimale temperaturene i flammen sett inn mot fremre vogn, den maksimale strålingsfluksen fra flammen inn på endebunnen på fremre vogn, og ståltemperaturene i den samme enden av fremre tank (som vender inn mot spalten mellom vognene). Figur 7.16 viser beregningsresultater sett fra siden slik at belastningen på sylinderdelen av fremre tank vises. Her er vist konsentrasjonen av propan som volumprosent, flammetemperatur, ståltemperatur, og maksimal strålingsfluks inn mot de viste flater. Der konsentrasjon av uforbrent propan vises på plottene indikerer dette at det ikke brenner i særlig grad i disse områdene og brannen er lokalisert på andre steder, og følgelig vil ikke disse områder være de mest utsatte med tanke på strålingsbelastning.

Figurene 7.17 og 7.18 viser tilsvarende som ovenfor for scenario F. Figurene 7.19 og 7.20 viser tilsvarende resultater for scenario G.

Figur 7.21 viser «ray-tracing» bilder, dvs bilder som avbilder flammene sett utenfra for de tre scenariene E, F og G.

For scenario E som er samme situasjon som C, men med sterkere vind (15 m/s langs vogna i retning fremover), ser en at flammen legger seg ned langs fremre vogn og følger denne fremover, figur 7.15 og 7.16. Det ligger også en flammetunge i nedre kant av vogna bakover. Maksimalverdiene for strålingsfluks og ståltemperatur er litt lavere enn for tilfelle C, men den tilførte varmen er pga. flammens form og beliggenhet, betydelig større, 788 kW mot 280 kW.

Scenario F omhandler en lekkasjerate som er 10 ganger så stor som i basistilfellet, og liten vind, 1.5 m/s. Av figurene 7.17 og 7.18 kan en se at mellom vognene brenner det i mindre grad enn for de foregående tilfellene pga. høye propankonsentrasjoner og lite innblanding av luft i dette området. Dette fører også til at endebunnen er mindre utsatt mhp stråling og får også lavere ståltemperatur enn i tilfelle C. Imidlertid er denne flammen betydelig større, og strålingen både på oversiden og langs siden av sylinderdelen av tanken er betydelig større enn for tilfelle C. Flammen stiger dels rundt og opp pga. oppdriftskrefter kombinert med liten vind, og ligger dels på nederste del av beholderen lengst bort fra lekkasjepunktet. Den beregnede maksimale ståltemperaturen finner vi på sylinderdelen av tanken, i gassområdet rett nedenfor strålingsskjoldet. Strålingsskjoldet har for dette tilfellet en positiv virkning ved at strålingen til øvre del av tanken reduseres. Den tilførte varmemengden er imidlertid svært mye større enn for tilfelle C, 4610 kW mot 280 kW, og mye av varmen overføres i væskeområdet.

Scenario G er som scenario F, men med større vindhastighet, 15 m/s. Sammenliknet med scenario F brenner det her bedre mellom tankene, sannsynligvis på grunn av bedre innblanding av luft. Samtidig legger flammen seg langs sylinderdelen av tanken i hele dens lengde pga. den sterke vinden, og lite av flammen stiger opp. Den totale varmemengden som overføres til beholderen er 5439 kW, altså nesten 20 % mer enn med liten vind. Høyeste beregnede ståltemperatur er også her på sylinderdelen av tanken i gassområdet rett nedenfor strålingsskjoldet.

Tabell 7.5 viser en sammenstilling av resultater fra Kameleon FireEx beregningene etter at stasjonære forhold har innstilt seg. Tabell 7.6 gir en oversikt over beregnet varmemengde tilført beholderne.

Tallene i parentes i tabell 7.5 angir varmefluks og temperatur på den sylindriske delen av fremre vogn. De øvrige strålingsflukser og materialtemperaturer refererer til endebunnen på tanken på fremre vogn.

Figur 7.15 Beregningsresultater for endebunnen tilfelle E, 135 g/s, vind 15 m/s

Figur 7.16 Beregningsresultater sett fra siden av fremre vogn tilfelle E, 135 g/s, vind 15 m/s

a

b

c

Figur 7.17 Beregningsresultater for endebunnen tilfelle F, 1350 g/s, vind 1.5 m/s

Figur 7.18 Beregningsresultater sett fra siden av fremre vogn tilfelle F, 1350 g/s, vind 1.5 m/s

a

b

c

Figur 7.19 Beregningsresultater for endebunnen tilfelle G, 1350 g/s, vind 15 m/s

Figur 7.20 Beregningsresultater sett fra siden av fremre vogn tilfelle G, 1350 g/s, vind 15 m/s

Scenario E

Scenario F

Scenario G

Figur 7.21 Ray-tracing bilder av de beregnede flammene, scenario E, F og G

Tabell 7.5 Karakteristiske resultater fra Kameleon FireEx beregningene

Scenario	Lekkasje-rate (g/s)	Vind (m/s)	Utviklet varme (kW)	Maks flamme-temperatur (°C)	Maks strålingsfluks inn mot fremre vogn (kW/m^2)	Maks ståltempera-tur tank fremre vogn (°C)
D	135	1.5	6261	1682	130	690
E	135	15	6261	1817	109	658
F	1350	1.5	62610	1708	101 (203)	541 (582)
G	1350	15	62610	1843	118 (229)	646 (731)

Tabell 7.6 Beregnet tilført varme til propanbeholderne

Tilfelle	Masse strøm, $\dot{m}$ (g/s)	Utviklet varme (kW)	Tidspkt. (s)	Tilført tank på bakre vogn (kW)	Tilført tank på fremre vogn (kW)	Sum tilført (kW)	% av utviklet varme
D	135	6261	Stasjonært	208	280	488	7.8
E	135	6261	stasjonært	338	788	1126	18.0
F	1350	62610	stasjonært	426	4610	5036	8.0
G	1350	62610	stasjonært	875	5439	6314	10.1

4.2.2 Trykk- og spenningsutvikling i fremre tank

I figur 7.23 er trykkutviklingen i fremre tank fremstilt som funksjon av tid etter antennelse. Likeledes er i tabell 7.7 gitt beregnet trykk og spenningsutvikling i fremre tank som funksjon av tid etter antennelse. Alle beregninger er utført på samme måte som beskrevet i kapitel 3.3 og 3.4 med inngangsdata som gitt i tabell 7.6.

Tallene i parentes i tabell 7.7 angir verdier knyttet til den sylindriske delen av fremre vogn. De øvrige verdiene refererer til endebunnen på tanken på fremre vogn.

Tabell 7.7 viser også flytekapasiteten bestemt av beregnet maksimal materialtemperatur på basis av figur 7.12. Videre vises kapasitetsutnyttelsen, dvs. forholdet mellom den maksimale membranspenningen og flytekapasiteten, angitt i %.

Av tabell 7.7 fremgår at for scenariene F og G er den sylindriske delen av fremre tank den mest utsatte. Her er de høyste ståltemperaturene beregnet og her er også dimensjoneringen noe svakere. For de øvrige scenariene er det endebunnen på fremre vogn på den siden hvor lekkasjen er, som er mest utsatt.

Figur 7.22 fremstiller resultatene grafisk.

For scenariene D og E vil flytekapasiteten ha blitt overskredet etter ca. 90 minutter, altså ca. 30 minutter før vannoverrislingen startet.

For scenariene F og G ville flytekapasiteten ha blitt overskredet etter hhv. ca 15 minutter og ca. 5 minutter. I virkeligheten ville kapasitetsoverskridelsen forsinkes sannsynligvis med ca. 10 minutter på grunn av transientene i temperaturutviklingen for stålmaterialet i gassområdet (cfr. kapitel 3.3).

Brudd vil inntreffe ved en høyere spenning enn flytespenningen. En kan regne med at brudd ville ha inntrådt innen ca. 20 minutter for scenario G. Dette er i samvar med internasjonale erfaringer. Det er vanskelig å tenke seg at en kunne ha forhindret katastrofe hvis scenario F eller G hadde opptrådt.

Figur 7.22 Flytekapasitetsutnyttelse i % som funksjon av tid etter antennelse

Figur 7.23 Beregnet trykkutvikling i propantank fremre vogn som funksjon av tid etter antennelse

Tabell 7.7 Trykkutvikling og spenningsutvikling i fremre tankvogn som funksjon av tid etter antennelse

Tilfelle	Tid (minutter)	Tilført varme (kW)	Maks. temp (°C)	Trykk (bara)	Maks membran spenning (N/mm^2)	Flyte kapasitet ved maks temp (N/mm^2)	Kapasitets-utnyttelse %
D	0			8.3	66.9		74
	30	280	690	9.3	76.0	90	84
	60			10.2	84.3		94
	90			11.3	94.3		105
	120			12.4	104.4		116
	150			13.6	115.4		128
	180			14.9	127.3		141
E	0			5.5	41.2		39
	30	788	658	7.6	60.5	105	58
	60			10.2	84.3		80
	90			13.3	112.7		107
	120			16.9	145.6		139
F	0			5.5	41.2		22
	15	4610	541	13.2	111.8 (150.1)	185	60 (97)
	30		(582)	25.6	225.3 (302.6)	(155)	122 (195)
G	0			5.5	41.2		46
	15	5439	646	15.1	129.2 (173.4)	115	112 (231)
	30		(730)	30.4	269.3 (361.6)	(75)	234 (482)

Figur 7.24 Beregnet konsentrasjon av propan i området rundt toget for scenario H

4.3 Spredning av ikke antent gass med eventuelt senere antennelse

For problemområde 2 i kapitel 4.1 er følgende alternative ulykkesscenarier definert:

Scenario H: spredning av gass uten at gassen antennes. Som tilfelle C, dvs samlet lekkasjerate 135 g/s og vind 1.5 m/s. Vind i retning mot stasjonsbygningene

Scenario I: som H, men vindstille forhold

Scenario J: antennelse av scenario I etter ca. 3.5 timer

Alle simuleringene er gjennomført med Kameleon FireEx.

Figur 7.24 viser konsentrasjonen av propan rundt vognene og mot selve stasjonsområdet. Vinden blåser i retning av stasjonsbygningene, og gassen tynnes relativt fort ut som det også fremgår av figur 7.24. Generelt vil gassen tynnes mere ut med sterkere vind. Ved stasjonsbygningene er det beregnet gasskonsentrasjoner på 0.1 %–1 % av nedre flammegrense, noe som er altfor lavt til at gassen vil kunne brenne her. Nedre flammegrense (LEL) tilsvarer en propankonsentrasjon på 2.1 vol %.

Beregnede konsentrasjoner som tilsvarer nedre flammegrense eller større finnes bare i en kjegleformet sektor nedstrøms lekkasjepunktet i en utstrekning i lengderetning på ca. 30 m. Konsentrasjoner tilsvarende 20 % av LEL kan observeres ca 50–60 m nedtrøms lekkasjepunktet.

I figur 7.25 er vist de tilsvarende resultater for scenario I. Her er det vindstille og gassen sprer seg mer rundt lekkasjepunktet i alle retninger avhengig av høydeforskjeller i terrenget. Konsentrasjoner i området rundt LEL finnes for dette tilfellet i et noe større område, omtrent 60 m i utstrekning langs togvognene. Dette skyldes at gassen ikke tynnes ut i samme grad som for scenario H. Det er imidlertid viktig å merke seg at brennbare konsentrasjoner bare finnes i et tynt sjikt ned mot bakken, størrelsesorden 10 cm i området inntil vognene.

Gassen som har spredd seg i terrenget rundt toget i det vindstille tilfellet over en periode på ca. 3.5 timer, er i scenario J antent i forkant av fremre vogn. For at gassen i det hele tatt skal

Figur 7.25 Beregnet konsentrasjon av propan i området rundt toget for scenario I

kunne brenne, må antennelsen skje i nærheten av vognene der gasskonsentrasjonen er høy nok. I løpet av svært få sekunder er den brennbare gassen oppbrent, og det innstiller seg en stasjonær flamme lik den for tilfelle C. Figur 7.26 viser gasskonsentrasjonene i området før antennelse, mens figur 7.27 viser tilsvarende en god stund etter at en brannen har stabilisert seg som tilfelle C. Den lokale, transiente, svært kortvarige brannen vil sannsynligvis ikke representere noen fare for vognene eller områdene rundt vognene, med mindre personer hadde oppholdt seg i sonen nært vognene.

Ut fra scenariene H, I, og J kan følgende konklusjoner trekkes:

- Uantent gass fra en lekkasje på 135 g/s vil tynnes fort ut og antakelig ikke representere noen stor risiko med tanke på antennelse og brannutvikling i områdene rundt lekkasjen
- Dette betyr også at det sannsynligvis ville vært fordelaktig i den gitte situasjonen å slukke brannen og latt gassen strømme ut med den raten som eksisterte, mens de nødvendige tømmingstiltak ble iverksatt.

4.4 Fullstendig brudd på en beholder, fireball

Ved brudd på en tank vil gassen i løpet av meget kort tid, tilnærmet momentant, strømme ut. Utstrømningen vil både være i form av gas og væske. På grunn av det høye trykket i tanken, anslagsvis i området 15 bar, og tilsvarende høye temperaturer vil det skje en momentan fordampning av en del av væsken.

Dette vil føre til en effektiv blanding mellom luft og brensel. Ved antennelse vil en såkalt «fireball», ildkule, utvikle seg. Under utviklingen vil ildkulen bevirke en intens varmestråling.

I det følgende vises beregninger for ildkulen både ved hjelp av empiriske formler (ref. 4) og simuleringer med Kameleon FireEx.

Figur 7.26 Gasskonsentrasjoner før antennelse, scenario J

Figur 7.27 Gasskonsentrasjoner etter antennelse, scenario J

4.4.1 Karakteristika for ildkule beregnet med empiriske formler

Ref. 4 gir følgende empiriske formler for ildkulen:

Maksimaldiameter: $D_{maks} = 6.48M^{0.325}$ (m)
Der M (kg) er masse av opprinnelig brennbart materiale.
Varighet for ildkulen: $t = 0.825M^{0.26}$ (s)

Stråling fra ildkulen: $\dot{q}_r = \tau E F_{21}$

Hvor
τ = atmosfærens transmissivitet
$E = \sigma T^4$ = stråling fra sort legeme (kW/m^2)
eller

$$E = \frac{M \Delta H_R F_{rad}}{\pi D^2 t}$$

E er den gjennomsnittlige strålkingsfluks på ildkulens overflate under varigheten
F_{rad} = andelen av utviklet varme som utstråles

$$F_{21} = \frac{D^2}{4x^2}$$

hvor
x er avstand (m) fra senter i ildkula til objekt

Vi setter inn følgende verdier for vårt tilfelle:

M = 43000 kg (en tank)
ΔH_R = 46350 kJ/kg

Transmissiviteten, τ, er avhengig av luftfuktigheten, temperaturen på det utstrålende legeme, og aborberende partikler i atmosfæren. Vi antar:

τ = 0.65
F_{rad} = 0.25

Dette gir:

D_{max} = 208 m
t = 13.2 s
E = 278 kW/m^2
Dette tilsvarer en overflatetemperatur for ildkulen

T = 1488 K = 1215 °C

Hvis en inkluderer transmissiviteten i overflatefluksen får en tilsynelatende overflatefluks

E_f = 181 kW/m^2,

og tilsvarende overflatetemperatur

T_f = 1336 K = 1063 °C.

Strålingsfluksen som funksjon av avstanden fra sentrum i ildkulen, x, blir da

$q = 2.0\ 10^6/x^2$ (kW/m^2)

Dette gir følgende strålingsverdier:

x = 300 m q_{str} = 22.2 kW/m^2
x = 400 m q_{str} = 12.5 kW/m^2
x = 500 m q_{str} = 8.0 kW/m^2

4.4.2 Idkuledannelse simulert med Kameleon FireEx

Det ble i simuleringene forutsatt at all propanen fra den ene tanken strømmet ut i løpet av 1 sekund.

Figurene 7.28, 7.29 og 7.30 viser ildkulens utvikling etter 5, 7, og 10 sekunder fra start på utslippet. Figurene viser ildkulens utvikling og stigning. Vi konstaterer at ildkulens diameter etter 7 sekunder er ca. 200 m sett ovenfra, altså omtrent det samme som gitt av formelen i kap. 4.4.1. Strålingsplottet i figurene viser strålingsnivået ved bakkenivå ved gitt tidspunkt. Vi beregner generelt noe lavere stråling enn hva formelen gir. Strålingen fra ildkulen er avhengig særlig av sotfordelingen på utsiden av ildkulen, altså av den tilsynelatende overflatetemperaturen. Dette kan variere med startbetingelsene, dvs. med utstrømningsforholdene fra beholderen. En kan derfor ikke eksakt fastlegge strålingsnivået på bakkenivået. Men en kan med sikkerhet fastslå at en slik ildkule vil frembringe en ekstremt høy varmestråling.

Det synes også som ildkulen brenner ut omtrent som etter formlene, dvs. etter ca. 10 sekunder.

I appendiks B er det gitt plott av resultater ved flere tidsnivå som angir hvordan ildkulen utvikler seg over tid.

4.4.3 Konklusjoner vedr. ildkulen

Både formler og de numeriske simuleringene viser at det vil utvikles en formidabel ildkule hvis beholderen skulle eksplodere. En slik ildkule ville ha katastrofale virkninger for et betydelig område med utstrekning av størrelsesorden 1000 m.

Hvis begge beholderne skulle eksplodere, noe som ville være sannsynlig hvis den ene eksploderer, ville ulykkesomfanget være tilsvarende større.

5 Hovedkonklusjoner

1. Med stor sannsynlighet har det vært en brannutvikling i nærhet av den som er simulert i tilfelle C, med en lekkasjerate på 135 g/s, eller kanskje noe høyere.
2. Når vi sammenholder beregninger og observasjoner og tar i betraktning usikkerheter, er det sannsynlig å anta at flytekapasiteten for beholdermaterialet i det brannutsatte området på fremre vogn ble overskredet etter ca. 2 timers brann.
3. Det var kritisk viktig å nedkjøle tankene med vann, og dette forhindret med stor sannsynlighet en videre utvikling mot katastrofe.
4. Dette var en alvorlig ulykke hvor i hovedtrekk de riktige katastrofehindrende tiltak ble iverksatt.
5. Studien av alternative ulykkesscenarier viser at ulykken kunne ha fått et annet og mer omfattende og dramatisk omfang hvis lekkasjeraten hadde vært noe større og/eller hvis det hadde blåst sterkere vind langs vognene.
6. Simuleringene som ble utført for å studere konsekvensene av utstrømning av uantent propan, viser at uttynningen ville være meget kraftig slik at en sannsynligvis kan se bort fra eventuell eksplosjonsfare med tilhørende alvorlige konsekvenser.

Figur 7.28

Figur 7.29

7. I det aktuelle tilfelle viser gasspredningsberegningene at det sannsynligvis hadde vært fordelaktig å slukke brannen mens de nødvendige tømmingstiltak ble iverksatt.
8. Studien viser også at det er svært viktig å komme i gang med vannoverrisling, og at dette bør starte helst i løpet av den første halvtimen etter antennelse.
9. Hvis brannen hadde vært betydelig større enn i det aktuelle tilfelle er det tvilsomt om det ville være forsvarlig å starte vannoverrisling, eventeult slukning, da faren for eksplosjon og ildkuledannelse ville vært betydelig.
10. Analyse av ildkuleproblemstillingen viser at eksplosjon av en eller begge tankene ville ført til dannelse av en ildkule med katastrofale konsekvenser.
11. Det foreslås at det igangsettes et prosjekt hvor en med utgangspunkt i Kameleon FireEx simulerer en rekke forskjellige alternative hendelsesforløp for gasslekkasjer ved ulykker under transport av propan eller liknende på jernbane eller vei, for å fremskaffe et bredt underlag for å kunne treffe de riktige tiltak når ulykker av denne art inntreffer.

Figur 7.30

6 Referanser

1. «Bestemmelse av lekkasjeareal av 2 stk skadde propantanker på jernbanevogner», Rapport nr 23141-RT-0001-E02, Kjelforeningen Norsk Energi.
2. «Lekkasjeevaluering av skadde jernbanevogner for gasstransport»,Termek AS.
3. NIST Standard Reference Database 69 – February 2000 Release: NIST Chemistry WebBook (National Institute of Standard and Technology, USA).
4. «Guidelines for chemical process quantitative risk analysis», Center for chemical process safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1989.

7 Appendiks A: Styrketeknisk analyse av propanbeholderen

An estimation of the state of stress in the Lillestrøm gas tank

Dr.ing. Thor Erik Hals
Trondheim 09.08.2000

Introduction

A first order stress condition for the tank at low temperature, will consist of membrane stresses in large portions of the tank.

However, the edge conditions between the cylindrical shell and the elliptical end element, will give size to bending in a narrow edge zone. The additional bending stresses, superimposed on the membrane state, will give the criterion for determining the shell thickness in a normal working condition.

Membrane stresses due to inner pressure on end element

From photographs on the Lillestrøm location, it is seen that a local bulb is formed in the state of maximum fire temperature.

The final displacement of the bulb top (δ_{max}) and the diameter ($2\ s_o$) at the bulb's bottom seem to be, respectively

$$\delta_{max} = 40 \text{ mm} \quad (2.1)$$
$$2\ s_o = 450 \text{ mm} \quad (2.2)$$

The shape of the shell area around the bulb will be taken as a spherical form, having an approximate radius

$$r_o = 2400 \text{ mm} \quad (2.3)$$

In a state of membrane stress equilibrium, one has the stresses

$$\sigma_\varphi = \sigma_\theta \cdot \frac{p \cdot r_0}{2 \cdot h} \quad (2.4)$$

where
p = effective internal gas pressure
r_o = approximate radius
h = shell thickness

In the following computations it will be assumed that p = 4, 6, 8 bar may be referred to temperature values
T = 600, 700, 800 °C respectively.

When h = 13 mm and
r_o = 2400 mm
are inserted into Eq (2.4), one obtains

$$\sigma_\varphi = \sigma_\theta = p(\text{N/mm}^2) \cdot \frac{2400}{2 \cdot 13} = 92{,}3p(\text{N/mm}^2) \quad (2.5)$$

The results from Eq (2.5) are shown in the second entry of table 7.8.

Values of residual steel strength, according to fig 7.31, are given in the third entry of table 7.8. The last entry of table 7.8 yields the ratio *strength/actual stress* for increasing pressure and temperature.

Membrane stresses due to gradient temperature strains

Description of temperature, Young's modulus and thermal expansions coefficient

The temperature at a distance s from the bottom centre of the bulb, may be formulated

$$T_s = T_o + (T_{max} - T_o) \cdot e^{\ln\left(\frac{T_{so} - T_o}{T_{max} - T_o}\right)\left(\frac{s}{s_o}\right)^2} \quad (3.1)$$

The various temperatures in Eq (3.1) are shown in fig. 3.32.
Young's modulus is expressed as

$$E_T = 2.1 \cdot 10^5 (1 - 0{,}396 \cdot T_s/600\ °C)\ \text{N/mm}^2 \quad (3.2)$$

and the thermal expansion coefficient is taken in a similar form

$$\alpha_T = 1.1 \cdot 10^5 (1 + 0{,}364 \cdot T_s/600\ °C)\ 1/°C \quad (3.3)$$

In the following computations the limit temperature values will be taken as follows, see fig. 7.32.

$$T_{max} = 600\ °C \text{ at } s = 0$$
$$T_{so} = 400\ °C \text{ at } s = s_o = 225 \text{ mm} \quad (3.4)$$
$$T_o = 5\ °C \text{ at } s = \infty$$

Edge displacement due to temperature T_s

The temperature displacement parallel to the tangent plane at the top of the bulb, will be

Tabell 7.8 Tentative comparison between strength and actual stress

	P = 4 bar T ≈ 600 °C	P = 6 bar T ≈ 700 °C	P = 8 bar T ≈ 800 °C
$\sigma_\varphi = \sigma_\theta$ Eq. (2.5)	36,9 N/mm^2	55,4 N/ mm^2	73,8 N/ mm^2
Residual steel strength, see fig. 2.1	150 N/mm^2	83,3 N/mm^2	55,6 N/mm^2
Strength/actual stress	4,07	1,50	0,75

Figur 7.31 Residual steel strength

Figur 7.32 Temperature field of eq. (3.1). s=0 refers to bottom centre of bulb.

$$\Delta = \int_{s=0}^{s} \alpha_T T_s ds \qquad (3.5)$$

To obtain an axi-symmeteric problem, a slight tactical change of the computational model will be made. I.e. the deformed bulb is assumed to be located at the original top of the ellipsoidal shell element. Eq. (3.5) then yields, when upper integral limit is s = 1500 mm

$$\Delta_1 = \int_{0}^{1500} \alpha_T \cdot T_s \cdot ds = 2{,}65 \text{ mm} \qquad (3.6)$$

See fig. 7.33.

From the Geckeler theory for spherical shells, one now finds a homogeneous shell solution from two edge conditions at $\varphi = \pi/2$:

(i) $\delta_{nom} + \Delta_1 = 0$ (3.7)

(ii) $V_{nom} = 0$

The displacement δ and the rotation V are connected with a shell state of edge forces at $\varphi = \varphi_0$ this leads to

(i) $$\frac{a\lambda \cdot \sin\varphi_0}{E.h} \cdot (-g_3(0) \cdot C_1 + g_4(0) \cdot C_2) = -\Delta_1$$

(ii) $$\frac{2\lambda^2}{E.h} \cdot (g_2(0) \cdot C_1 - g_1(0) \cdot C_2) = -O$$

The various mathematical quantities are defined in fig. 7.34, part B and part C.

C_1 and C_2 in (i) and (ii) are constants of integration. Young's modulus, E, and Poisson's number, n, entering the Geckeler theory, will be given the low temperature values.

$$E = 2{,}1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \qquad (3.8)$$
$$\nu = 0{,}3$$

The values in Eq (3.8) are chosen due to the fact that the edge zone is located at a considerable distance from the heated area of the bulb.

(ii) leads to

$$C_2 = 0 \qquad (3.9)$$

as $g_2(0)=0$ and $g_1(0)=1$

(i) then gives the value for C_1 when $g_3(0)=1$ is inserted:

Figur 7.33 Deformed shell shape at the edge. Δ_1: edge displacement due to gradient temperature T_s.

Figur 7.34 Cylindrical and spherical shell theory

$$C_1 = \frac{Eh}{a\lambda \cdot \sin\varphi_0} \cdot \Delta_1 \qquad (3.10)$$

Finally, the membrane forces N_φ and N_θ are found from fig. 7.34:

$$N_\varphi = \frac{1}{\tan\varphi} \cdot (-g_1(t)) \cdot \frac{Eh}{a\lambda \cdot \sin\varphi_0} \cdot \Delta_1$$

$$N_\theta = \lambda \cdot (-g_3(t)) \cdot \frac{Eh}{a\lambda \cdot \sin\varphi_0} \cdot \Delta_1 \qquad (3.11)$$

These forces have, in general, significant values close to the shell edge. However, the real bulb location referred to the axis, is at some angle

$$\varphi_{bulb} \approx 70° = 1{,}22 \text{ rad} \qquad (3.12)$$

This means that the argument *t* in the g-functions has values of special interest form zero to

$$t = \lambda(\varphi_o - \varphi_{bulb}) = \lambda(\pi/2 - 1{,}22) = \lambda \cdot 0{,}35 \text{ rad} \qquad (3.13)$$

The λ-quantity obtains the value:

$$\lambda = \sqrt{\frac{2400}{13}} \cdot \sqrt[4]{3(1-\upsilon^2)} = 17{,}465 \qquad (3.14)$$

The N_φ- and N_θ- forces in Eq (3.11) are divided by h=13 mm. One thus obtains the membrane stresses $\sigma_{\varphi T}$ and $\sigma_{\theta T}$ due to gradient temperature

$$\sigma_{\varphi T} = -E \cdot 2{,}65 \cdot \frac{1}{2400 \cdot 17.465} \cdot \frac{g_1(t)}{\tan\varphi}$$

$$\sigma_{\theta T} = -E \cdot \frac{1}{2400} \cdot 2{,}65 \cdot g_3(t) \qquad (3.15)$$

Tabell 7.9 Stresses due to gradient temperature T_s

σ =	t =	$\sigma_{\varphi T}$ N/mm²	$\sigma_{\theta T}$ N/mm²
π/2	0	0	-110
1,4	3,0	0,11	4,60
1,3	4,7	-0,0005	0,95
1,22	6,1	-0,011	-0,201

The interesting variations for φ and t will now be

$$\varphi \sim \frac{\pi}{2} \rightarrow 1{,}22 rad \qquad (3.16)$$

$$t \sim o \rightarrow 6{,}11$$

The stresses in Eq (3.15) are listed in table 7.9.

Conclusions

The membrane stresses $\sigma_{\varphi T}$ and $\sigma_{\theta T}$ in table 7.9 have insignificant numerical values, compared to the σ_φ- and σ_θ-stresses in table 7.8. Thus, the inner pressure p is definitely of major significance, when the shell structure's safety is to be estimated.

The factors of safety from table 7.8 (strength/actual stress) show that the dangerous case exists, when the pressure p has a value between 6 and 8 bar.

This means that the approximate temperature interval from 700 °C to 800 °C is critical for the shell structure.