



sht

Statens
Havarikommisjon
for Transport

Avgitt februar 2011

RAPPORT

JB 2011/01



RAPPORT OM SAMMENSTØT MELLOM TRIKK OG BUSS VED ILEVOLLEN I TRONDHEIM 5. NOVEMBER 2009



English summary included

Statens havarikommisjon for transport (SHT) har utarbeidet denne rapporten utelukkende i den hensikt å forbedre jernbanesikkerheten. Formålet med undersøkelsene er å identifisere feil og mangler som kan svekke jernbanesikkerheten, enten de er årsaksfaktorer eller ikke, og fremme tilrådinger. Det er ikke havarikommisjonens oppgave å ta stilling til sivilrettslig eller strafferettslig skyld og ansvar. Bruk av denne rapporten til annet enn forebyggende sikkerhetsarbeid bør unngås.

INNHALDSFORTEGNELSE

MELDING OM HAVARIET	3
SAMMENDRAG	4
ENGLISH SUMMARY	5
1. FAKTISKE OPPLYSNINGER	6
1.1 Hendelsesforløp	6
1.2 Hendelsesstedet	7
1.3 Skader	7
1.4 Personellinformasjon	9
1.5 Rullende materiell	9
1.6 Infrastruktur og kjørevei	10
1.7 Trafikkledelse og kommunikasjonskanaler	12
1.8 Været	12
1.9 Lysforhold	12
1.10 Undersøkelsen	13
2. FORETATTE UNDERSØKELSER	13
2.1 Opplysninger fra involvert personale	13
2.2 Tekniske undersøkelser	13
2.3 Gjennomgang av registrerende hastighetsmålerutstyr og datalogger	16
2.4 Organisasjon og ledelse	16
2.5 Medisinske forhold	17
2.6 Brann	17
2.7 Redning / overlevelsesaspekter	17
2.8 Andre opplysninger	17
2.9 Nyttige eller effektive undersøkelsesmetoder	18
2.10 Tilsyn	19
3. ANALYSE	19
3.1 Tekniske og operative forhold	20
4. KONKLUSJON	22
5. GJENNOMFØRTE OG PLANLAGTE TILTAK	24
5.1 Tiltak mot faktisk årsak	24
5.2 Tiltak mot bakenforliggende årsaksforhold	24
REFERANSER	1
VEDLEGG	2

RAPPORT OM

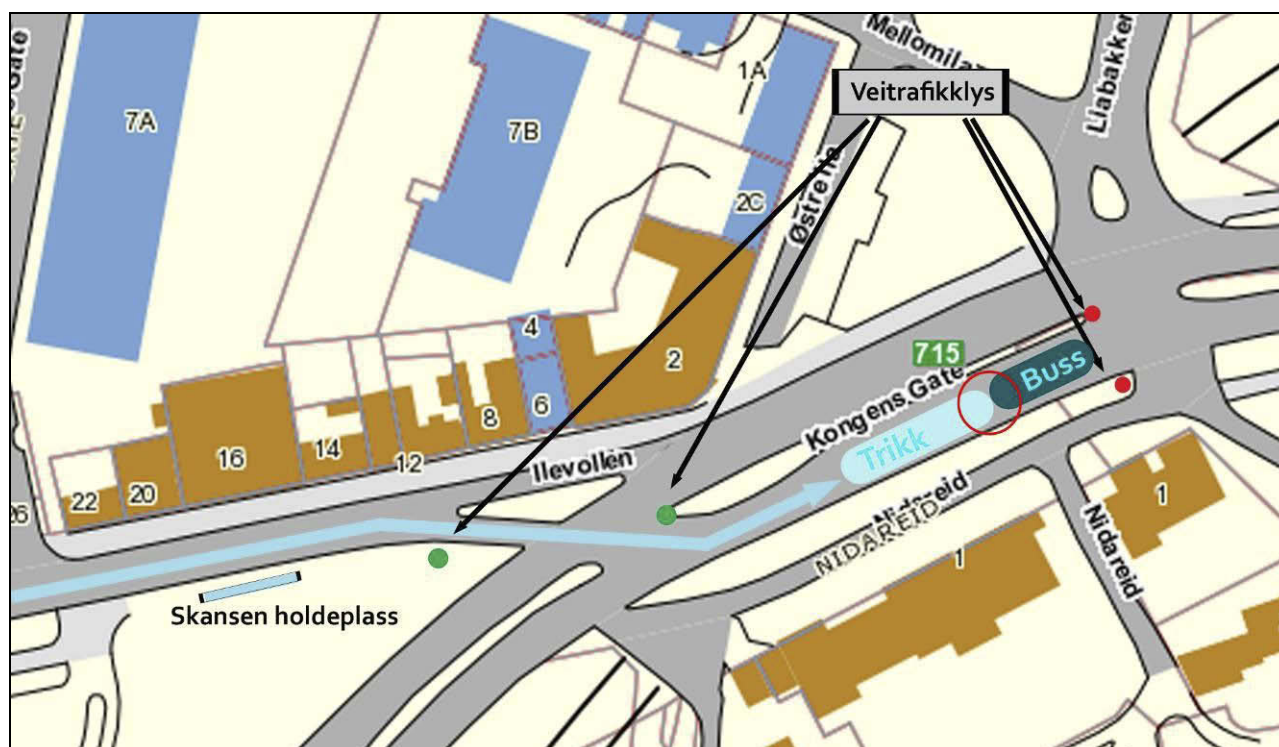
Type hendelse:	Sammenstøt mellom trikk og buss	
Kjøretøy:	Trikk	Buss
Involvert materiell:	Type GT6C	Reg.nr VH10312
Registrering:	Vognnr. 96	Rute nr. 5
Eier:	Veolia Transport Bane AS	Team Trafikk AS
Bruker:	Gråkallbanen	Trondheim kommune
Besetning:	1	1
Passasjerer:	20	25
Havaristed:	Foran veitrafikksignal ved Ila kirke	
Havaritidspunkt:	Torsdag den 05.11.2009, kl. 1747	

MELDING OM HAVARIET

Torsdag den 5. november 2009 kl. 1830 ble vakthavende havariinspektør ved veiavdelingen i SHT varslet fra politiet i Trondheim om sammenstøt mellom en trikk og en buss, hvor fire personer i bussen hadde blitt skadet. Varslet ble videreformidlet til vakthavende havariinspektør ved jernbaneavdelingen. Gråkallbanen meldte ikke fra om hendelsen, så havarikommisjonen måtte ta kontakt for å innhente opplysninger. Politiet hadde på dette tidspunkt tatt beslag i trikken.

To havariinspektører fra SHT rykket ut neste dag og gjennomførte undersøkelser på ulykkesstedet, samt av trikken som var transportert til vognhallen på Munkvoll.

Havarikommisjonen informerte berørte parter i saken om at det ble åpnet undersøkelse i brev av 2. mars 2010.



Figur 1: Stedet i Kongensgate hvor ulykken inntraff er markert med rød ring.

SAMMENDRAG

Torsdag den 05.11.2009, kl. 1747 kjørte en trikk inn i bakparten på en buss som hadde stoppet for rødt lys i veitrafikksignalet ved Ila kirke. Det ble forholdsvis små skader på buss og trikk, men fire personer i bussen ble skadet og kjørt til sykehus. En passasjer ble alvorlig skadet og innlagt på sykehus med bruddskader. Buss-sjåføren pådro seg nakkeskader.

Føreren av trikken opplyste at trikken etter passering av Skansen holdeplass ble kjørt like bak bussen. Foran veitrafikksignalet ved Ila kirke hadde bussen stanset for rødt lys. Trikkeføreren hadde sett at det var rødt lys i veitrafikksignalet, men da det skulle bremses merket føreren at det var glatt og foretok nødbrems. Samtidig ble det ringt med klokken og sandet, men et sammenstøt med bussen var ikke til å unngå.

Havarikommisjonen gjennomførte undersøkelse av trikken mandag den 09.11.2009 sammen med politiet og vognteknisk personell fra NSB. Undersøkelsen viste at automatsikringen for en magnetskinnebrems hadde røket. Trikkens sandingssystem var uvirksomt, og det ble funnet sort belegg på hjulbanene på alle trikkens hjul, (se fig. 8). Trikken hadde ikke ferdskrifer installert.

Teknisk drift i Trondheim kommune påfører magnesiumklorid i bygatene høst og vår for å binde svevestøvet. Trikkeførerne opplever da at skinnene blir glatte. Det skal informeres når utlegging av magnesiumklorid er utført. Havarikommisjonen har hatt bistand fra SINTEF til å utføre testing av hvilken effekt magnesiumklorid har på skinnene. Rapporten konkluderte med at skinnene blir glatte.

Det ble funnet sort belegg på toppen av skinnhodet på trikkeskinnene i bygatene. Dette belegget ble også funnet på trikkehjulene. Laboratorieundersøkelser avdekket at dette oppsto som følge av sammensatte partikler bestående av metalliske mineralske partikler, samt salter.

Det fremmes ingen sikkerhetstilrådinger i denne saken, men rapporten er ment å gi informasjon som kan gjøre trikkeselskaper og veiholdere kjent med problemstillingen knyttet til sprøyting av magnesiumklorid i gater hvor det ligger trikkeskinner.

ENGLISH SUMMARY

Thursday on the 5th of November 2009 around six o'clock a tram crashed into the back of a bus that had stopped for red lights. It was relatively small material damages on the tram and bus, but four persons in the bus were injured and taken to the hospital. One person was seriously injured and was hospitalized due to fractures, and the bus driver suffered from neck injuries.

The driver of the tram has explained that after passing Skansen stop, the tram was driving behind the bus. The bus stopped in front of the red signal by Ila church. The tram driver saw the red signal and attempted to stop the tram. When the tram driver applied the brakes she noticed that it was slippery and performed an emergency brake. At the same time the driver rang the bell and sanded, but did not manage to avoid the collision.

The Accident Investigation Board Norway examined the tram on Monday the 9th of November, together with the police and experts from the Norwegian State Railways (NSB). During the examination it was revealed that the automatic fuse for one of the magnetic brakes was blown. The tram sanding system was also out of function, and it was found a black deposit on all the wheels on the tram (see fig. 8). The tram had not installed a data recorder.

The technical department of Trondheim municipality applies magnesium chloride on the city roads during the autumn and spring to bond dust. It is required that Gråkallbanen is informed when magnesium chloride is applied. The Accident Investigation Board Norway has been assisted by SINTEF (independent research organisation), who performed testing on the effects of magnesium chloride on rails. The result from the testing concluded that the rails get slippery from the application of magnesium chloride.

It was found a black deposit on the top of the rails in the city roads. This deposit was also found on the wheels of the tram. Laboratory tests have revealed that this is a result of composite particles consisting of metallic particles, minerals and salts.

There will not be issued any safety recommendations in this report. The intention of this report is to give information to tram operators and road owners, and give knowledge about challenges connected to spray magnesium chloride in streets with tram tracks.

1. FAKTISKE OPPLYSNINGER

1.1 Hendelsesforløp

Torsdag den 05.11.2009, kl. 1747 kjørte en trikk inn i bakparten på en av Teamtrafikks busser som hadde stoppet for rødt lys i lyskrysset ved Ila kirke. Trikken var i ordinær rute og kjørte i retning fra Lian mot Trondheim sentrum. Bussen var også i ordinær rute og kjørte i samme retning.

Føreren av trikken opplyste at hun passerte Skansen holdeplass uten å stoppe, da det ikke var passasjerer som skulle av eller på. En buss kjørte foran trikken. Bussen hadde et kort stopp ved Skansen holdeplass for å slippe av reisende, passerte deretter veitrafikksignalet i krysset der Ilevollen går sammen med Kongensgate. Sporet går i buktning inn i Kongensgate. Trikkeføreren registrerte grønn pil i veitrafikksignalet og kjørte etter bussen, og så at det var rødt lys i neste veitrafikksignal. Bussen hadde stoppet foran dette signalet. Da hun bremsset merket hun at det var glatt. Hun foretok derfor nødbrems, sandet og ringte med klokken, men sammenstøtet var ikke til å unngå. Bussen ble dyttet framover i sammenstøtet og stanset med en avstand på ca 3 meter foran trikken.

Det ble forholdsvis små skader på buss og trikk, men fire passasjerer i bussen ble skadet og kjørt til sykehus. Den første meldingen gikk ut på at fire personer var lettere skadet og kjørt til sykehus. Etter ny informasjon viste det seg at en av passasjerene i bussen, en eldre dame hadde blitt alvorlig skadet, og innlagt på sykehus med bruddskader.

Redningsarbeidet kom raskt i gang, da politi og redningsmannskapene var på stedet kort tid etter ulykken.

Trikkeføreren opplyste at hun hadde opplevd at det var glatte skinner ved kjøring i byen tidligere samme dag. Det var ikke noe problem med glatte skinner på jernbanestrekningen mellom Ila og Lian. Natten før hadde det blitt påført magnesiumklorid på veibanen i byen. Det er kjent blant trikkeførerne at skinnene blir glatte, og at bremseeffekten for trikkene blir redusert etter at det har blitt påført magnesiumklorid. Dette er tiltak som teknisk drift i Trondheim kommune utfører for å binde svevestøvet som oppstår som følge av biltrafikken i vintersesongen.

1.2 Hendelsesstedet



Figur 2: Viser området hvor hendelsen inntraff. Veitrafikklysene som bussen hadde stanset foran vises foran trikken.

1.3 Skader

1.3.1 Personskader

Fire personer ble skadet i bussen. Tre ble lettere skadet og en person ble alvorlig skadet og fraktet til St. Olavs hospital hvor vedkommende ble lagt inn. Bussjåføren ble skadet og var sykemeldt i lengre tid etter sammenstøtet. Det oppstod ingen skader på personer som befant seg utenfor buss og trikk. Siden bussen var i ferd med å stoppe, hadde en person reist seg fra setet. Denne personen falt overende og ble liggende på gulvet etter sammenstøtet. Dette var personen som ble alvorlig skadet.

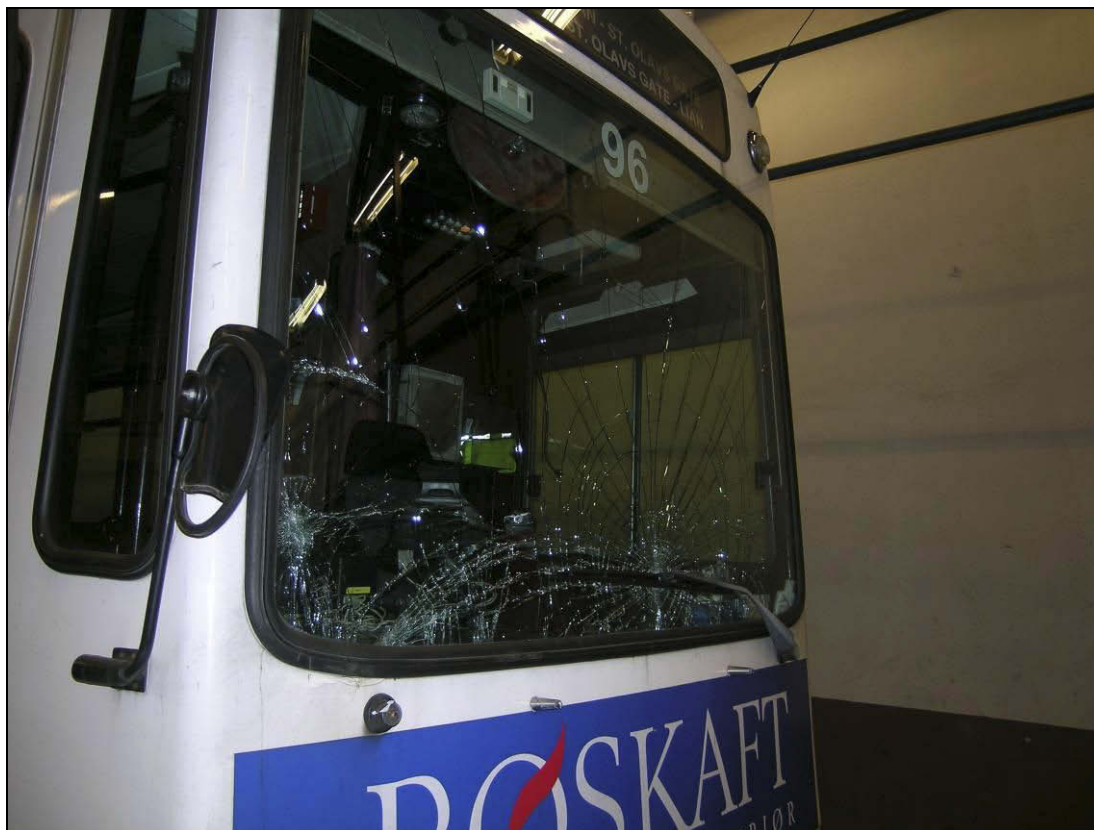
Tabell 1: Personskader i bussen

Skader	Besetning	Passasjerer	Andre
Omkommet			
Alvorlig		1	
Lett	1	2	
Ingen			

1.3.2 Skader på involvert materiell

1.3.2.1 *Trikk*

Det ble kun små karosseriskader i fronten på trikken. En vindusvisker slo i stykker frontruten og falt av. Et utvendig sidespeil ble ødelagt.



Figur 3: Viser skadene på trikken.

1.3.2.2 *Buss*

Det oppstod mindre materielle skader bak på bussen, og den var ute av trafikk i kun seks dager.

1.3.3 Skadebeskrivelse av infrastruktur og kjørevei

Det oppstod ingen skader på infrastruktur og kjørevei. Det er heller ikke kjent at det ble noen miljømessige utslipp etter hendelsen.

Ulykkesstedet var lett tilgjengelig for redningsmannskapene.

1.3.4 Andre skader

Det oppstod ingen andre skader enn de som er beskrevet.

1.4 Personellinformasjon

1.4.1 Trikkefører

Trikkefører, kvinne, 24 år. Kort erfaring som trikkefører. Dette var det tredje ordinære skiftet med passasjerer, som selvstendig fører.

Dato: 03.11.2009	Dato: 04.11.2009	Dato: 05.11.2009
Tjeneste: Fri Var på kurs i Oslo	Tjeneste: 0540 - 1330	Tjeneste: 0940 – 1840 Ulykken inntraff kl. 1747

Trikkeføreren var tilbake i tjeneste den 12.11.2009.

1.4.2 Busssjåføren

Sjåfør, mann, 35 år. Erfaring som buss-sjåfør siden 16.01.2006.

1.5 Rullende materiell

1.5.1 Trikk

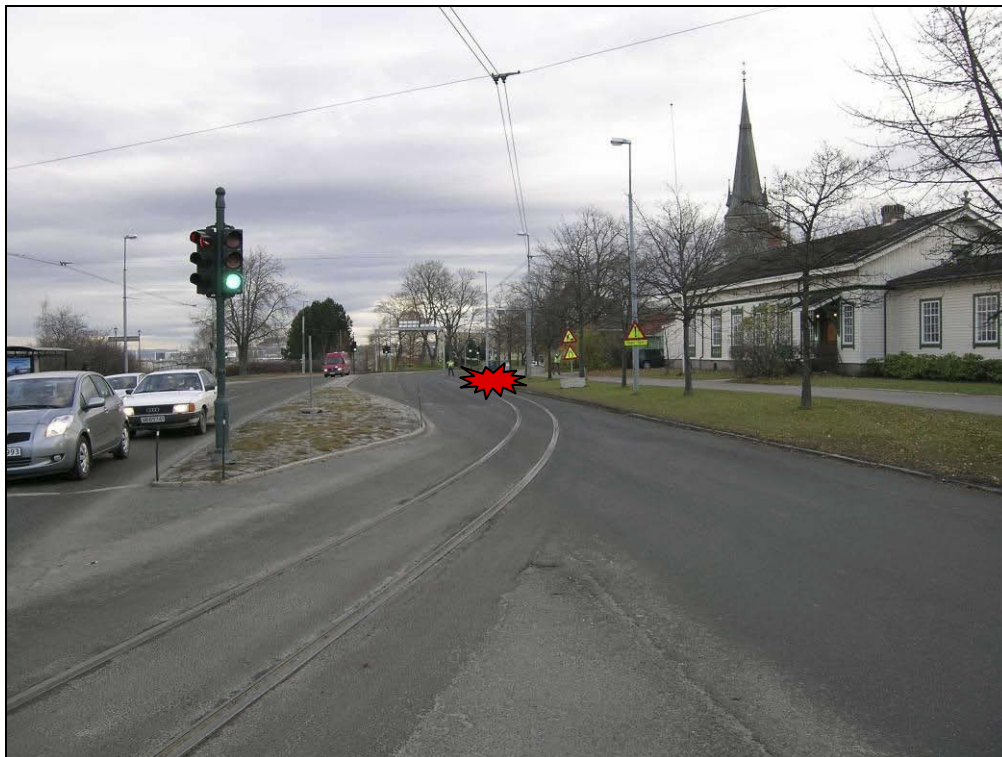
Trikk er type GT6C. Bygget av LHB Siemens i 1984. Egenvekt 27,1 tonn, lengde 19,2 meter, største hastighet 60 km/t. Trikken har ingen ferdsskriver.

1.5.2 Buss

Bussen er type Volvo B 12 BLE 6x2 med Vest Center L, registrert som bybuss standard klasse 1.

Bussen var utrustet med elektronisk fartsskriver, av type Kienzle og hadde videosystem som var utrustet med fire videokameraer. Disse registrerte miljøet innvendig i bussen, og noe utenfor. Videosystemet er koplet opp mot en hardisk av type Verint.

1.6 Infrastruktur og kjørevei



Figur 4: Viser sporet fram mot ulykkesstedet i Kongens gate.

1.6.1 Spor

På ulykkesstedet ligger trikkeskinnene i en trafikkert bygate. Sporet består av trikkeskinner av type SI 60. Sporvidden er 1000 mm. Sporet går i en kurve over veidelet mellom Ilavollen og inn i Kongens gate. Det er flere veitrafikklys i området.

Det var et sort belegg på den venstre skinnen ved ulykkesstedet. Den høyre skinnen var blankslitt. Denne forskjellen er sannsynligvis som følge av at innerhjulet avlastes samtidig som ytterhjulet pålastes ved kjøring gjennom den krappe kurven.

Det lå mye skitt nede i rillesporet på trikkeskinnen (Se figurene 5 og 6), og sporet bar preg av ikke å være rengjort. Dybden på rillesporet var 35 mm på begge skinnene. Flenshøyden på trikkenes hjul varierer fra 19 – 20 mm mellom nye og slitte hjul.

I 2008 ble ledelsen i Gråkallbanen først kjent med at Trondheim bydrift hadde startet med sprøyting av fortynnet magnesiumklorid for å binde svevestøvet i veibanen. På våren 2009 ble det inngått muntlig avtale om at Trondheim bydrift skal varsle trafikksjefen i Gråkallbanen når magnesiumklorid blir sprøytet. Trafikksjefen varsler videre til vakthavende som besørger varsling av vognførerne. Den interne varslingen innen Gråkallbanen har fungert ved alle tilfellene der de har blitt varslet av Trondheim bydrift.

Siste sprøyting forut for hendelsen var utført 04.11.2009 kl. 0400, 1 1/2 døgn forut for ulykken. Dette hadde blitt formidlet til trikkeførerne. Havarikommisjonen har blitt informert om at det senere har vært svikt i rutinene. Trafikksjefen mottok ikke varsel fra Trondheim bydrift angående sprøyting med magnesiumklorid som ble utført natten etter hendelsen.

1.6.2 Belegg på skinner

Ved befarings på Gråkallbanen ble det observert et sort belegg på skinnegangen. SHT har ikke tidligere sett tilsvarende belegg ved sine undersøkelser og ønsket å få fastslått hva belegget var, og om det kunne ha innvirkning på denne hendelsen. Medbrakt karbontape ble presset mot belegget slik at noe sort belegg fulgte med på karbontapen. Det ble tatt 4 prøver fra "samme" sted på skinnegangen. De 3 første prøvene ble tatt den 23. mars 2010 ved hjelp av karbontape, mens siste prøve ble tatt ved avskraping den 7. mai 2010. Belegget lot seg relativt lett løsne fra skinnegangen.

- Prøve 1: Fra skinne etter at magnetskinnebrems var benyttet og hvor skinnene var fuktet med vann.
- Prøve 2: Fra skinne etter sprøyting av magnesiumklorid og normal bremsing uten bruk av magnetskinnebrems.
- Prøve 3: Fra skinne etter sprøyting av magnesiumklorid og bruk av magnetskinnebrems.
- Prøve 4: Belegg skrapet av skinnegangen 7. mai 2010. Fra tørket skinner, 1 dag etter siste sprøyting av magnesiumklorid.

Prøvene på karbontape ble pådampet gull før de ble undersøkt med EDS¹ i SEM² ved Forsvarets laboratorietjeneste, kjemi og materialteknologi ved FLO på Kjeller. Alle 4 prøvene bestod av sammensatte partikler bestående av manganstål, jernoksid (rust), salter og mineraler. Beleggets totale tykkelse ble ikke målt. Rapporten fra undersøkelsen er vedlagt som vedlegg F.

¹ EDS = Energy Dispersive Spectroscopy

² SEM = Scanning Electron Microscope



Figur 5: Venstre skinne med sort belegg.



Figur 6: Høyre skinne, blank og uten sort belegg.

1.6.3 Signalanlegg

Gråkallbanen har signalanlegg på ”jernbanestrekningen” fra Lian til Skansen. På den nedre delen av jernbanestrekningen benyttes kjørestav. I gatene kjører trikken på veitrafikkens lyssignaler.

1.6.4 Strømforsyning

Det er to matestasjoner på banen. En ligger i Bergsligate og mater strekningen St. Olavsgate – Breidablikk, og en ligger på Munkvoll og mater strekningen Breidablikk – Lian. Spenningen på KL-anlegget er 600 volt likespenning, men kan variere mellom 400 – 750 volt, avhengig av forbruk på strekningen, og avstand til matestasjon.

1.7 **Trafikkledelse og kommunikasjonskanaler**

1.7.1 Trafikkledelse

Trafikksentralen ligger på Munkvoll og er bemannet med en trafikkstyrer som overvåker hele strekningen. Trafikkleder kommuniserer med vognførerne via lokalt radiosamband, med mobiltelefon som reserve. Ulykken ble umiddelbart meldt inn til trafikkleder som varslet redningsetater og politi.

1.8 **Været**

Opplysninger mottatt fra Meteorologiske institutt viser at det var tørt vær uten nedbør, og temperaturen var ca 0 °C kl. 1800, målt på Voll målestasjon.

1.9 **Lysforhold**

5. november kl. 1747 er det mørkt i Trondheim, men ulykkesstedet og gatekrysset foran er opplyst av veibelysning (se figur 9).

1.10 Undersøkelsen

Havarikommisjonen har valgt å legge hovedfokuset i denne undersøkelsen på påføring av magnesiumklorid der det ligger trikkeskiner. Dette med bakgrunn i ulykkens begrensede skadeomfang, samtaler og gjennomgang av Gråkallbanens omfattende internrapport og oppfølging etter hendelsen.

Det har derfor blitt utført tester med påføring av magnesiumklorid på skinner både i regi av Gråkallbanen, samt tester som SINTEF har utført for havarikommisjonen. Det har vært lagt vekt på å få dokumentert hvorvidt bruk av magnesiumklorid for å forhindre svevestøv kan ha sammenheng med den forlengede bremsevei for trikkene.

SINTEFs mandat:

1. Å finne bremseeffekt mellom skinne og hjul ved tørre og våte forhold, ved bruk av magnesiumklorid under befuktet utlegging,
2. Å antyde hvordan temperaturen virker inn på bremseeffekten.
3. Å antyde hvor lenge virkningen av salt og magnesiumklorid vil vare.

2. FORETATTE UNDERSØKELSER

2.1 Opplysninger fra involvert personale

Det har blitt gjennomført samtaler med personer fra Gråkallbanens ledelse, verksted og operativt personale.

Samtalene har vist at trikkførerene underrettes fra trafikkleder når sprøyting av magnesiumklorid har blitt utført, slik at det skal bli tatt hensyn til at bremseeffekten for trikkene kan være redusert. Videre syntes det å være en allmenn oppfatning at sprøyting av magnesiumklorid gir redusert bremsevirkning.

2.2 Tekniske undersøkelser

2.2.1 Gjennomført av havarikommisjonen

Havarikommisjonen gjennomførte en teknisk kontroll av trikken på verkstedet ved Munkvoll, mandag den 09.11.2010. Kontrollen ble foretatt sammen med politiet og to personer fra NSB, som er spesialister på bremsesystemer i tog.

Frontruten på trikken var knust og en vindusvisker hadde falt av. Det var små karosseriskader i fronten. Alle bremseskiver og bremsebelegg var blanke og uten riper. Det var mye igjen av bremsebelegget på alle klossene.

Trikken var utstyrt med magnetskinnebremses. Det ble oppdaget at noen av magnetskinnebremsene hadde en buet form på kontaktflaten som går mot skinnen, men målene var innenfor de tillatte toleransegrensene.

Avstanden mellom underside av magnetskinnebrems og skinne var varierende på de forskjellige bremseelementene. Et bremseelement hang litt innenfor skinnetoppen. Dette skyldes at justeringsmekanismen hadde løsnet, slik at bremseelementet hang mot den mekaniske sideveisstopperen. Dette forårsaket at elementet landet skjevt sideveis mot skinnen ved bruk. Sikringen for en magnetskinnebrems var defekt, men det er uklart når denne hadde røket.



Figur 7: Viser magnetskinnebrems, buet og med slitt glideflate.



Figur 8: Viser sort belegg på hjulbane. Skivebremsene er blanke og i orden.

Bremseprøver ble foretatt i trikkehallen ved å kjøre med gitt hastighet (ca 20 km/t) der full brems ble satt ved et gitt punkt. Stopplengden ble sammenlignet med to andre vognsett. Det ble ikke funnet markert forskjell i bremselengde. Testresultatene ligger som vedlegg B.

Ved testing av sandstrøpparatet til ulykkestrikken virket ikke dette. Det ble forklart med at toget hadde stått lenge og at det ikke var rørt rundt i sandbeholderne. Det var nok sand i alle fire sandbeholderne, og etter at det ble rørt rundt kom det sand, men noe mindre enn forventet. Det er uklart hvorvidt sandingen virket på ulykkestidspunktet.

Det var et sort belegg på hjulbanen på alle hjulene. Dette var samme type belegg som ble funnet på toppen av trikkeskinnene i bygatene. Prøver av belegget ble sendt til analyse hos FLO laboratorium.

Skinnegangen på, og før ulykkestedet hadde normal slitasje.

2.2.2 Gjennomført av Veolia Transport Bane AS

2.2.2.1 *Bremsetest*

Teknisk avdeling Gråkallbanen gjennomførte den 22. desember 2010 bremsetester av friksjonseffekt ved bruk av magnesiumklorid på skinner. Testen foregikk ved at flytende magnesiumklorid med samme konsentrasjon som Trondheim bydrift benytter, ble påført skinnene for å avdekke om bruk av dette medfører endret friksjon, og dermed økt bremselengde for trikken.

Konklusjon på denne testen var, sitat:

”Påføring av flytende magnesiumklorid øker bremslengden. Test i tørr vognhall har vist at bremselengden for trikken øker med 49,9 % med flytende magnesiumklorid på skinnene og med 22,1 % med tørr magnesiumklorid på skinnene.”

Resultatet fra Gråkallbanens egen friksjonstest ligger i rapporten som vedlegg B.

2.2.2.2 Elektriske målinger

Det ble senere foretatt omfattende målinger av trikkens elektriske komponenter og elektroniske kretser, tilhørende bremsesystemene til trikken. Resultatene fra disse omfattende målingene, samt bremsetester gav ingen påviselige feil som kunne forklare noen årsak til bremsesvikt. Målingene ble utført av ALLTRON Electronics, og rapporten er vedlagt som vedlegg D.

2.2.3 Undersøkelser utført av SINTEF

Havarikommisjonen laget en oppdragsbeskrivelse og kontraherte SINTEF til å undersøke, og utføre tester på hvilken effekt magnesiumklorid har på kontakt mellom trikkens hjul og skinner, med hensyn til trikkens bremseeffekt.

De praktiske bremsetestene ble foretatt natten til 24. mars 2010 og natten til 7. mai 2010 på rettstrekningen ved Ilaparken. Det har blitt utarbeidet en egen rapport på dette som er vedlagt som vedlegg E.

Rapporten fra SINTEF gav følgende konklusjoner:

”Magnesiumklorid ser ut til å gi til dels betydelig lengre bremsestrekninger, særlig for vanlig brems.

Tørket magnesiumklorid ser ut til å gi de lengste bremsestrekningene, altså lengre enn våt magnesiumklorid.

Bruk av magnetskinnebrems reduserer bremselengdene betydelig ved alle føreforhold.

Forskjellen i bremselengder er mindre ved bruk av magnetskinnebrems ved de forskjellige føreforholdene enn ved bruk av vanlig brems.

Én magnetskinnebrems utkoblet ser ikke ut til å ha avgjørende betydning på bremselengden sammenliknet med full magnetskinnebrems.

Temperatures innvirkning ble ikke testet. I samråd med representanter fra SHT ble det enighet om å gjøre forsøk med så like betingelser som praktisk mulig som på ulykkestidspunktet. Derfor var det ingen større temperaturvariasjoner mellom de ulike testene. Magnesiumklorid senker frysetemperaturen betydelig, og det antas at fuktighet i flytende form vil være til stede i de fleste tilfeller der magnesiumklorid er blitt brukt.

Det er vanskelig å si noe om varigheten av utlagt magnesiumklorid ut fra våre forsøk. Det kan likevel være nærliggende å anta at så lenge det finnes et mørkt belegg på skinnene, tilsvarende det vi fikk i våre tester, så er det magnesiumklorid til stede. Magnesiumkloriden vil forsvinne under spyling eller kraftig regnvær.”

2.2.4 Laboratorieundersøkelser hos FLO

Det ble analysert fire forskjellige prøver tatt fra trikkesporet. Resultatet fra undersøkelsen som ble foretatt med EDS i SEM, viste at det sorte belegget som befant seg på toppen av skinnhodet var sammensatt av jernoksid, mineraler og salter. Det er den kjemiske reaksjonen av magnesiumklorid med stålet i skinnen som påvirker stålet slik at det dannes et sort belegget på toppen av skinnhodet. Det dannes også tilsvarende avleiringer på hjulene som vil minske friksjonen, og dermed være med på å gjøre skinnene glattere.

2.3 **Gjennomgang av registrerende hastighetsmålerutstyr og datalogger**

2.3.1 Trikk

Trikken har ingen registreringsenhet. Det er derfor ikke mulig å innhente data på hastighet, og hvordan bremsen har oppført seg i tidsrommet forut for sammenstøtet.

2.3.2 Buss

Bussens ferdskriver registrerer hastigheten hvert sekund. Denne viser at bussen kjørte sakte fram mot veitrafikksignalet før den stoppet.

Bussen hadde fire innvendige videokameraer. Disse viste miljøet innvendig i bussen og noe utvendig. Gjennomgang av disse videoopptakene viste at etter bussen hadde stoppet etter Skansen holdeplass, kjørte bussen sakte videre i 40 sekunder fram mot veitrafikksignalet ved Ila kirke. Dette viste rødt lys, og bussen stoppet. Sekundet etter kjørte trikken inn i bussens bakpart.

2.4 **Organisasjon og ledelse**

Gråkallbanen er et selskap under Veolia Transport Bane AS. Gråkallbanens hovedkontor ligger ved Munkvoll stasjon. Dette er også tilholdssted for verksteder, trikkestall og trafikkledelse. Selskapet disponerer fire trikker.

2.4.1 Varsling

Havarikommisjonen ble ikke varslet om hendelsen, men tok selv kontakt med trafikkleder i Gråkallbanen og ba om opplysninger.

Sikkerhetssjefen i Veolia, som også er sikkerhetsrådgiver i Veolia Transport Bane AS (Gråkallbanen) ringte havarikommisjonen kl. 2133 og beklaget at ulykken ikke hadde blitt varslet, men begrunnet det med at han skulle innhente mer opplysninger og skrive 72-timersrapporten først. Vedkommende har kontor i Narvik.

2.4.2 Love og forskrifter

Veolia Transport Bane AS (Gråkallbanen) skal ha et sikkerhetsstyringssystem som oppfyller kravene i jernbaneloven og tilhørende forskrifter. I denne undersøkelsen har det vært en begrenset gjennomgang relatert for denne hendelsen.

Dokumentasjon i Gråkallbanen som har blitt gjennomgått er:

- Teknisk håndbok
- Kvalitetshåndbok
- Sikkerhetshåndbok
- Driftshåndbok med vedlegg, opplæringsplan og varslingsplan

2.4.3 Kompetansekrav for personale

Gråkallbanen foretar selv opplæring og godkjenning av trikkeførere. Opplæring og kompetansekrav finnes i kap. 8.1 i Personalhåndbok. Denne er generell og beskriver ikke at bremsekurs skal gjennomføres.

Opplæringsplan for vognfører ligger som vedlegg 1. til Driftshåndbok. I delmål 1 er det bl.a. beskrevet: *Eleven skal gjennomgå bremsekurs for GT6C*. Dette er likevel i praksis et kurs som Gråkallbanen har avholdt etter oppkjøring. Kurset kjøres to ganger i året, eller etter behov. Det var ikke gjennomført i dette tilfellet, og fører av ulykkestrikken hadde dermed ikke deltatt i bremsekurs for trikk.

2.5 **Medisinske forhold**

Det har ikke fremkommet opplysninger som har noen betydning for hendelsen.

2.6 **Brann**

Det oppstod ikke brann ved hendelsen.

2.7 **Redning / overlevelsesaspekter**

Ulykken inntraff i en sterkt trafikkert gate inn mot Trondheim sentrum. Redningsmannskaper fra politi, brann og ambulanser var raskt på stedet og tok seg av personene som var skadd etter sammenstøtet.

2.8 **Andre opplysninger**

2.8.1 Andre hendelser

Den 28.03.2009 inntraff det et tilsvarende sammenstøt mellom trikk og buss ved Skansen holdeplass.

Den 07.04.2010 kjørte en trikk inn i personbil og forårsaket en kjedekollisjon som involverte tre personbiler i området rett utenfor Ila kirke.

Disse to hendelsene har ikke blitt undersøkt av havarikommisjonen.

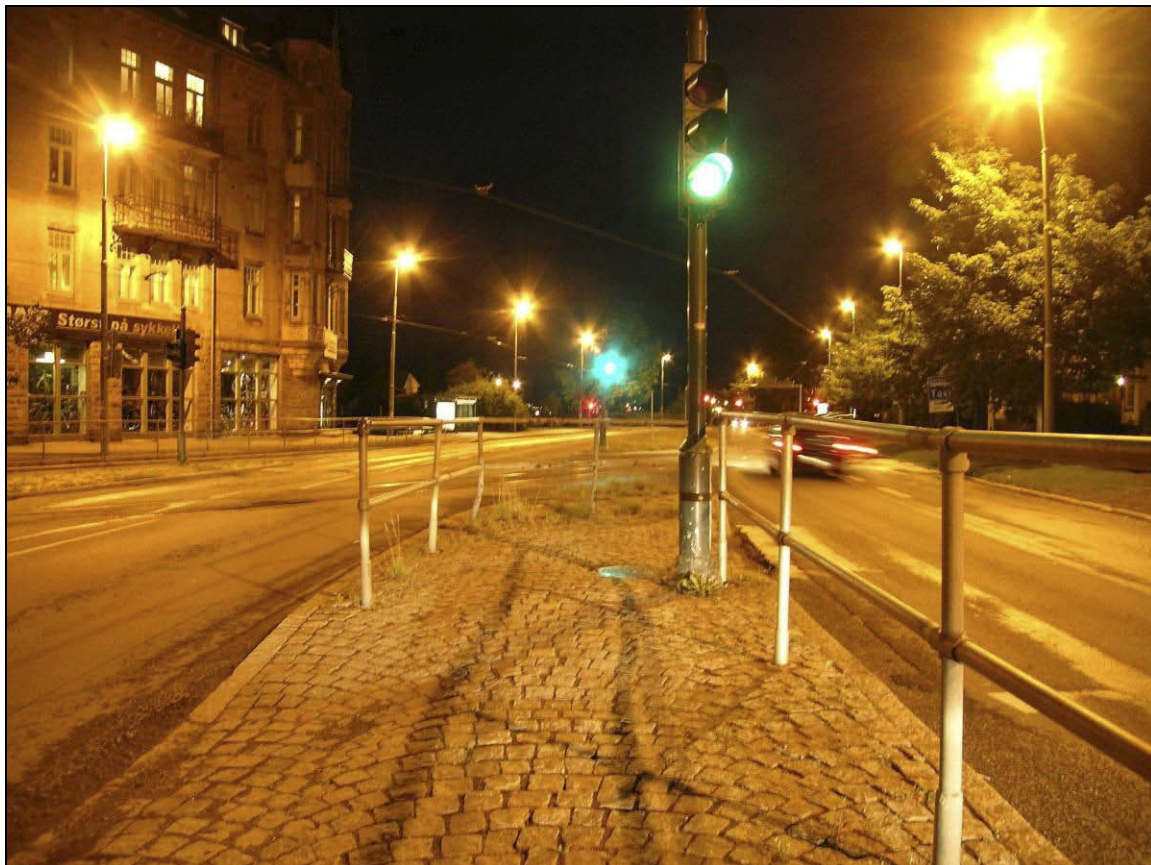
2.8.2 Støvdemping

Trondheim bydrift har de senere årene utført utlegging av magnesiumklorid i bygatene i Trondheim. Dette gjøres i piggdekkseongen på høst og vår for å forebygge støvplager fra biltrafikken. Det legges ut fortynnet magnesiumklorid med sprøytevogn inntil tre

ganger i uken, og de har avtale om at det skal varsles til trafikksentralen i Gråkallbanen når dette gjøres. Det er kjent blant trikkeførerne at skinnene blir glatte etter at magnesiumklorid blir lagt ut, og at bremseeffekten på trikkene dermed kan forringes.

2.8.3 Trafikkllysregulering

Grønnlysintervallet for trafikkklyset i gatekrysset etter Skansen holdeplass var på kun fire sekunder. Dette har Gråkallbanen tatt opp i møte Trondheim bydrift, som etter dette har sørget for at tidsintervallet for grønt lys i dette veitrafikksignalet har blitt forlenget.



Figur 9: Viser veikryss med belysning og trafikksignaler. Trikken kjørte i veibanen til venstre for steinsettingen. (Bildet viser samme lysforhold som var på ulykkestidspunktet.)

2.9 **Nyttige eller effektive undersøkelsesmetoder**

2.9.1 Magnesiumklorids påvirkning på skinner

Havarikommisjonen har hatt bistand fra avdeling for veg- og jernbaneteknikk ved SINTEF Byggforsk for simulering og tekniske forsøk ved bruk av magnesiumklorid, som benyttes til støvdemping i bygatene i Trondheim. De har utarbeidet en rapport, og denne er vedlagt som vedlegg E.

2.9.2 Laborietest av belegget på hjul og skinner

Det ble tatt prøver av det sorte belegget som var på toppen av skinnene. Dette ble sendt til forsvarrets analytiske laboratorium (FLO) for analyse. Denne rapporten er vedlagt som vedlegg F.

2.9.3 Gråkallbanens egen undersøkelse

Havarikommisjonen har gjennomgått Gråkallbanens internrapport og viser til deres tiltak:

- *Må teste og iverksette bedre tiltak ved glatt skinnegang og prioritere dette vår og høst*
- *Må vurdere omfang og innhold i GBs opplæringsplan for VF*
- *Må definere beredskapsgruppe iht. mal fra Veolia Transport Norge samt korrigere uoverensstemmelser i GBs håndbøker ang. varslingsplan*
- *Må vurdere å endre varslingsplan, spesielt iht. TLs ansvar*
- *Må teste magnesiumsulfid (lake) i forhold til innvirkning på bremselengde*

2.10 Tilsyn

Statens jernbanetilsyn har tidligere utarbeidet tre tilsynsrapporter ved Gråkallbanen, og har påpekt avvik, bl.a. på manglende sikkerhetsstyring.

3. ANALYSE

Analysen er gjort på bakgrunn av gjennomførte egne undersøkelser, rapport fra SINTEF og FLO, samt gjennomgang av Gråkallbanens internrapporter.

Gråkallbanens internrapport angående bremsetester med tørket magnesiumklorid på skinnene gav avvikende resultat i forhold til SINTEFs undersøkelse. Det bør her antas at testene inne i trikkehallen sannsynligvis ikke har vært utført under like realistiske forhold med hensyn til påføringsmetode, tørketid, omgivelsestemperatur og “vær og vind”. Dette var avvikende i forhold til de utendørs testene. Disse ble utført med realistisk sprøyting av magnesiumklorid, (med sprøytebil fra Trondheim bydrift) og under tilnærmet samme temperatur som på ulykkesdagen.

Det sorte belegget som ble funnet på skinner og hjul er dannet som følge av den kjemiske reaksjonen som magnesiumklorid har mot stålet i skinnene. Prøvene av det avskrapte belegget på skinnene gir ikke noe kvantitativt bilde for om det var variasjon knyttet til mengde belegg ved de ulike prøvene. Alle 4 prøvene inneholder manganstål, hvorvidt dette samsvarer med stål fra skinner, hjul eller bremsebelegg er ikke fastslått gjennom laborieprøvene. Dersom man sammenligner de tre første prøvene kan det forventes mer materialavvirkning, dvs manganstål/jernoksid, ved bruk av magnetskinnebrems. Magnetskinnebrems var benyttet i forbindelse med prøve 1 og 3.

Videre kunne man forvente at det var større andel magnesium og klorider ved de prøvene hvor det var lagt ut MgCl_2 ³. Dette var tilfelle for prøve 2 og 3. Laborieprøvene indikerer at det er større stålpartikler hvor det er benyttet magnetskinnebrems. Hvorvidt det er flere stålpartikler er ikke entydig.

Prøvene hvor det var fuktet med MgCl_2 (prøve 2 og 3) er ikke entydige med hensyn på utslag av salter. Prøve nr 2 utmerker seg noe ved at Mg/Na ⁴ og Cl ⁵ toppene er dominerende og hvor fuktingen med MgCl_2 synes å slå inn. Heller ikke her er det mulig å

³ Magnesiumklorid

⁴ Magnesium / Natrium

⁵ Klor

være entydig. Siden det var foretatt støvbinding ved bruk av $MgCl_2$ umiddelbart før prøve 4 ble tatt 7. mai er det vanskelig å forklare hvorfor Na/Mg og Cl slår vel så markert ut som i prøve 3. Silisium (Si) går igjen på alle 4 prøver. Dette er fra mineralske partikler fra sandstrøing og / eller fra slitasje av veilegget. Prøve 4 synes å inneholde færre store stålpartikler enn de 3 øvrige prøvene. Manganstål/jernoksid synes også her å være dominerende bidrag i belegget.

Silisiumpartikler og også jernoksid har hardhet som skulle bidra til å øke friksjonen snarere enn å redusere den. Alle tester som SHT har utført, samt også tilbakemeldinger fra operativt personell indikerer at friksjonen er redusert ved bruk av $MgCl_2$. Videre synes det å være fastslått at dette sorte belegget oppstår etter at $MgCl_2$ er benyttet. En mulig mekanisme er at belegget som helhet pakker inn de harde partiklene slik at disse ikke får det friksjonsforbedrende bidraget de kunne hatt. En annen er at belegget løsner og fungerer som rullene i et rullelager mellom skinne og hjul.

Det er kjent at salter påskynder korrosjon og at enhver bruk av salt dermed kan gi jernoksid. Fukt vil i denne sammenhengen ytterligere øke korrosjonstakten og dermed mengden korrosjonsprodukter. $MgCl_2$ er spesielt hygroskopisk og vil dermed bedre kunne oppta og holde på fukt med større mengde korrosjonsprodukter enn andre brukte salter som resultat. Fukten vil i tillegg binde andre lette fraksjoner som finfordelt støv (mineralske partikler) som inngår i belegget. På denne måten kan belegg dannes raskere og i større utstrekning enn ved bruk av andre typer salt.

Havarikommisjonen fremmer ingen sikkerhetstilråding i denne rapporten da SHT ser at Gråkallbanen i samarbeid med Trondheim kommune tar tak i problemstillingen. Rapporten har som formål å gi informasjon og læring til trikkeselskaper og veiholdere i andre byer.

3.1 Tekniske og operative forhold

Havarikommisjonen har avdekket flere avvikende tekniske og operative forhold. Summen av disse kan ha bidratt til at sammenstøtet inntraff.

- Trikkeføreren hadde ikke gjennomgått bremsekurs før vedkommende startet opp som selvstendig trikkefører i ordinær trafikk. Bremsekurset kommer i tillegg til grunnopplæringen og forklarer hvor lang bremsestrekning man trenger ved de ulike hastighetene, samt en teoretisk gjennomgang av trikkens bremsesystemer. Havarikommisjonen mener at opplæringen med bremsekurs må være gjennomført før trikkeførere settes inn i ordinær persontrafikk.
- Under kontroll av trikken ble det oppdaget at et sett med magnetskinnebrems var uvirksomme. Det er uklart om disse hadde vært ute av drift under sammenstøtet, men etter simuleringene med bremseffekt med magnetskinnebrems innkoblet og utkoblet viste det seg at det kun var liten variasjon i bremseffekt med en magnetskinnebrems utkoblet ved lav hastighet.
- Sandingssystemet ble sjekket dagen i forveien. Dette kan ha medført at sandingen har "satt seg" og ikke fungerte som forutsatt på ulykkesdagen. Ved prøving etter ulykken viste det seg at det ikke kom sand fra trikkens sandingsapparat. Først når det hadde blitt rørt rundt i sandbeholderen kom det sand under testingen. Det er

derfor sannsynlig at sand ikke ble tilført selv om trikkeføreren aktiverte sandingsapparatet umiddelbart før sammenstøtet.

- Trikkeføreren kjørte etter bussen forbi veitrafikksignalet inn i Kongensgate. Dette signalet hadde kort grønnlysperiode og trikken var i akselerasjonsfasen for å komme over veikrysset før signalet gikk i stopp. Havarikommisjonen antar at det kan ha vært for kort avstand til bussen som hadde stoppet for rødt lys i det neste signalet, da trikkeføreren innledet bremsingen. Videoopptaket fra bussen viste at trikkens sammenstøt med bussen inntraff ca 1 sekund etter at bussen hadde stoppet. Det indikerer at det ble holdt for kort avstand til bussen.
- Trikkeføreren var nyutdannet. Sammenstøtet skjedde på en av vedkommendes første dagsverk som selvstendig trikkefører. Havarikommisjonen anser at vedkommende ikke hadde opparbeidet tilstrekkelig rutine i jobben som trikkefører til å tilpasse avstand og gi tilstrekkelig sikkerhetsmargin.
- Sammenstøtet skjedde på slutten av trikkeførerens dagsverk. Det er kjent at uhell inntreffer hyppigere på slutten av arbeidstakeres dagsverk. Det er kjent at aktsomhet kan bli noe redusert når man begynner å bli sliten.
- Det var kort grønnlysintervall i lyssignalet før trikken kjørte inn i Kongensgate. Dette, sammen med at føreren måtte ha et sterkt fokus på trafikken i et komplisert gatekryss hvor veien kom inn skrått bak fra høyre, førte til at trikkeføreren måtte ha fokus på mange forhold samtidig som oppmerksomheten også skal være framover.
- Det var mørkt, men et område belyst av veibelysning. Mange gatelys kan være sjenerende sammen med veitrafikklys.
- Undersøkelsen av magnesiumklorids påvirkning på bremseeffekt som ble utført av SINTEF konkluderte med at skinnne ble glatte etter at magnesiumklorid var sprøytet. Bremsseffekten er dokumentert til å være dårligst etter at utlagt magnesiumklorid har tørket, noe som var tilfelle ved tidspunktet for sammenstøtet.

3.1.1 Forhold relatert til sikkerhetsstyring og ledelse

At trikkeføreren ikke hadde gjennomgått bremsekurs før vedkommende startet opp med kjøring i ordinær trafikk var uheldig og må påpekes som manglende sikkerhetsstyring fra ledelsen i Gråkallbanen. Dette er etter hendelsen blitt innført som obligatorisk i grunnopplæringen.

Dobbeltrolle som sikkerhetssjef i Veolia og sikkerhetsrådgiver i Gråkallbanen kan virke uoversiktlig, noe som også viste seg ved at det ikke ble varslet til SHT om denne ulykken. Varslingsplanen har blitt endret og gjort tydeligere etter hendelsen.

3.1.2 Forhold relatert til driftstillatelse og myndighetsgodkjenning

Statens jernbanetilsyn har utarbeidet tre tilsynsrapporter ved Gråkallbanen.

- Rapport nr. 14-98

- Rapport nr. 09-05
- Rapport nr. 09-08

Statens jernbanetilsyn har i disse rapportene bl.a. påpekt avvik angående tilstanden til sporet i gatene. Havarikommisjonen har selv registrert dette, men kan ikke se at dette har hatt betydning for denne hendelsen.

Det er for øvrig pekt på manglende sikkerhetsstyring, noe som kan sies å ha vært tilfelle, da trikkeføreren som var godkjent ikke hadde gjennomført bremsekurs i opplæringen før vedkommende ble satt inn i ordinær trafikk. Dette er noe som Gråkallbanen vil endre gjennom opplæringsplanene.

4. KONKLUSJON

På bakgrunn av opplysningene om at trikkeførerne opplever at sporet blir glatt etter sprøyting av magnesiumklorid, har havarikommisjonen gjennomført en undersøkelse med hovedfokus på hvilken konsekvens dette har for bremseeffekten til trikkene. Dette for å kunne offentliggjøre opplysninger som kan komme andre trikkeoperatører og veiholdere til gode for å forebygge alvorlige hendelser.

SHTs undersøkelse, sammen med forklaring fra operativt personell, indikerer at bruk av $MgCl_2$ gir redusert friksjon mellom toghjul og skinnegang. Trikken i Trondheim vil dermed ha redusert bremsevirkning i de periodene hvor $MgCl_2$ benyttes. Det tyder i tillegg på at denne reduserte bremsevirkningen vil vedvare forholdsvis lenge etter at $MgCl_2$ sist ble påført.

Rapporten fra SINTEF gav følgende konklusjoner etter undersøkelsen som de gjennomførte for SHT.

Magnesiumklorid ser ut til å gi til dels betydelig lengre bremsestreknings, særlig for vanlig brems.

Tørket magnesiumklorid ser ut til å gi de lengste bremsestrekningene, altså lengre enn våt magnesiumklorid.

Bruk av magnetskinnebrems reduserer bremselengdene betydelig ved alle føreforhold.

Forskjellen i bremselengder er mindre ved bruk av magnetskinnebrems ved de forskjellige føreforholdene enn ved bruk av vanlig brems.

Én magnetskinnebrems utkoblet ser ikke ut til å ha avgjørende betydning på bremselengden sammenliknet med full magnetskinnebrems.

Temperatures innvirkning ble ikke testet. I samråd med representanter fra SHT ble det enighet om å gjøre forsøk med så like betingelser som praktisk mulig som på ulykkestidspunktet. Derfor var det ingen større temperaturvariasjoner mellom de ulike testene. Magnesiumklorid senker frysetemperaturen betydelig, og det antas at fuktighet i flytende form vil være til stede i de fleste tilfeller der magnesiumklorid er blitt brukt.

Det er vanskelig å si noe om varigheten av utlagt magnesiumklorid ut fra våre forsøk. Det kan likevel være nærliggende å anta at så lenge det finnes et mørkt belegg på skinnene, tilsvarende det vi fikk i våre tester, så er det magnesiumklorid til stede. Magnesiumkloriden vil forsvinne under spyling eller kraftig regnvær.

Havarikommisjonen har registrert at Gråkallbanen har tatt sammenstøtet på alvor og ser at de har utarbeidet en bra rapport og en gjennomføringsplan etter hendelsen. SHT har derfor lagt størst vekt på å undersøke de spesielle forholdene som oppstår ved at det sprøytes magnesiumklorid på trikkeskinnene.

Havarikommisjonen fremmer ingen sikkerhetstilrådinger i denne rapporten, men vil informere andre trikkeoperatører slik at de blir kjent med problemstillingen ved sprøyting av magnesiumklorid i gater der det ligger trikkeskiner. SHT anmoder trikkeoperatørene å informere veiholdere om problemstillingen.

Havarikommisjonen mener at summen av flere uheldige forhold har bidratt til at dette sammenstøtet skjedde.

- Trikkeføreren hadde liten erfaring og rutine som trikkefører og holdt for liten avstand til bussen foran.
- Ulykken skjedde på slutten av trikkeførerens dagsverk.
- Trikkefører hadde ikke gjennomført bremsekurs.
- Et uoversiktlig trafikkryss, med mye trafikk og mange synsinntrykk. Det har vært flere lignende uhell i samme område.
- Det var mørkt da hendelsen inntraff. Gatekrysset var godt opplyst, men det var mange veitrafikksignaler for trikkeføreren å forholde seg til.
- Kort grønnlysintervall i det første veitrafikksignalet førte til at trikken fulgte tett etter bussen og ikke holdt tilstrekkelig avstand.
- En magnetskinnebrems, samt trikkens sandingssystem kan ha vært ute av funksjon.
- Glatte skinner som følge av tørket magnesiumklorid.

Gråkallbanens egen undersøkelse av ulykken ligger som vedlegg A til denne rapporten, Friksjonstest ligger som vedlegg B, oppfølging av uønsket hendelse ligger som vedlegg C, teknisk rapport om elektriske målinger og bremsetester ligger som vedlegg D, SINTEFs rapport om innvirkning om magnesiumklorid på bremselengder og friksjon for sporvogn ligger som vedlegg E, og rapport om undersøkelse av belegg på skinner ligger som vedlegg F.

5. GJENNOMFØRTE OG PLANLAGTE TILTAK

Havarikommisjonen har mottatt opplysninger fra Gråkallbanen om tiltak som de har planlagt eller gjennomført etter hendelsen. Disse finnes utdypet i deres rapport under vedlegg C:

5.1 Tiltak mot faktisk årsak

- *Granskningsrapporten bekjentgjøres internt for at denne hendelsen kan bidra til en læringseffekt i hele organisasjonen.*
- *GB må vurdere om bremsekurset bør bli obligatorisk under opplæring.*

5.2 Tiltak mot bakenforliggende årsaksforhold

- *Må teste og iverksette bedre tiltak ved glatt skinnegang og prioritere dette vår og høst*
- *Må teste magnesiumklorid (lake) i forhold til innvirkning på bremselengde.*
- *Bør vurdere nedsatt hastighet ved ekstremt glatt skinnegang.*
- *Bør ha grundigere gjennomgang av tilløp og hendelser i ledelsen*
- *Bør øke fokus på rapportering av tilløp til hendelser.*
- *Bør gjennomgå rekrutteringskriterier for å sikre trafikkerfaring.*
- *Bør vurdere å benytte statistikk fra tilsvarende hendelser under opplæring.*
- *Bør vurdere å ha "glattkjøring" under opplæring*
- *Må vurdere omfang og innhold i GBs opplæringsplan for VF*
- *Bør vurdere ansvarsforhold og samarbeid mellom trafikksjef og opplæringsansvarlig ifm. opplæring.*
- *Bør vurdere samarbeidet mellom instruktører/veiledere og trafikksjef/opplæringsansvarlig ifm. opplæring*
- *Bør vurdere om oppfølging av nyutdannede VF er tilstrekkelig*
- *Må definere beredskapsgruppe iht. mal fra Veolia Transport Norge samt korrigere uoverensstemmelser i GBs håndbøker ang. varsling*
- *Må vurdere å endre varslingsplan, spesielt iht. TLs ansvar*

Statens Havarikommisjon for Transport

Lillestrøm, 2. februar 2011

REFERANSER

Gråkallbanens styringssystem og håndbøker.

VEDLEGG

Vedlegg A: Granskningsrapport fra Gråkallbanen, GB 111.09

Vedlegg B: Friksjonstest, GB 111-09

Vedlegg C: Oppfølging av uønsket hendelse, GB 111-09

Vedlegg D: Teknisk rapport LHB vogn 96 etter uhell (Elektriske målinger bremses)

Vedlegg E: Sintef rapport

Vedlegg F: FLO-rapport angående undersøkelse av partikler på skinnegangen

Vedlegg A:

GRANSKNINGSRAPPORT

Sammenstøt sporvogn - buss 05.11.2009.

GB 111-09.



GråkallBanen

GRANSKNINGSRAPPORT

Sammenstøt sporvogn - buss 05.11.2009. GB 111-09.

1 Formål

GB ønsker en gjennomgang av forholdene omkring hendelse 05.11.2009 da sporvogn kjørte inn i en buss bakfra. Sammenstøtet skjedde ved lyskryss v/Ila kirke på vei inn til byen. Hendelsen er en alvorlig jernbanehendelse, og det gjennomføres dermed granskning iht. GBs sikkerhetshåndbok pkt. 8.2.

Granskingens formål er å avklare hendelsesforløp, direkte og bakenforliggende årsaksforhold. Det skal rettes et særskilt fokus mot mulige bakenforliggende årsaksforhold og mulige tiltak overfor disse for å redusere sannsynligheten for at slike hendelser skal kunne inntreffe igjen.

2 Hendelsesforløp

2.1 Før hendelsen

Vognfører:

Dagen før hendelsen hadde VF skift 231, kl. 05.40-13.30. Den aktuelle dagen begynte VF sitt skift kl. 09.40. VF møtte som vanlig for TL 5 min før skiftets begynnelse. TL på tidligvakt opplyser at det ikke var noe unormalt i VFs oppførsel samt at VF var avslappet og i godt humør. VF spiste både frokost og lunsj denne dagen og skiftet varte i utgangspunktet fram til kl. 18.40.

Sporvogn:

Vogn 96 hadde ingen registrerte bremsefeil i avvikssystemet ved tidspunkt for hendelsen. Siste T2-kontroll ble utført iht. frist 10.10.09. Siste T1-kontroll ble utført som vanlig kvelden før uttak, 04.11.09. T1-kontroll inkluderer sjekk av bremseklosser, sandstrøere og magnetbrems. Uttak av vogn 96 ble kvittert ut av første VF på vogna 05.11.09.

Skinnegang:

Skinnegangen har periodevis vært glatt pga. løvfall de siste 3 ukene før hendelsen. Siste sliping av skinnegangen ble utført 23.10.09, kun strekningen Bergsligt-Ila. TL har nesten daglig vært ute for å strø med sand på utsatte områder langs bysporet, siste strøing før hendelsen var 04.11.2009. Trondheim Bydrift kjørte ut lake i Kongensgt. og St. Olavsgt. natt til 04.11.09. GB ble informert om dette pr. SMS og ga melding til alle VF. Hendelsen skjedde i Kongensgt. hvor lake var lagt dagen før.

2.2 Hendelsen

05.11.2009 kl. 17.50. VF med vogn 96 stod bak en buss fra Team Trafikk ved trafikklys på Skansen på vei inn mot byen. Ved grønt lys fulgte sporvognen bak bussen over krysset. VF forklarer at avstanden til bussen på dette tidspunktet økte pga. at bussen har høyere



GråkallBanen

akselerasjon. Etter at bussen var over krysset stanset denne for rødt signal ved trafikkløst ved Ila kirke. VF forklarer at sporvognen på dette tidspunkt befant seg på vei over krysset, og at VF var opptatt av å passe på at annen trafikk ikke var til hinder for sporvognen, men at det likevel ble observert at bussen stanset. Farten over krysset anslås av VF til å være ca. 15 km/t.

Etter krysset flyttet VF fokus over på bussen foran, som sto stille, og nedbremsing ble igangsatt. Først med vanlig brems, deretter sand og magnetbrems i tillegg til denne. VF forklarer at skinnegangen var meget glatt og at farebrems ble brukt da det ikke fungerte tilstrekkelig med allerede iverksatte bremses. VF forklarer videre at magnetbrems hørtes mot skinnegangen idet den ble brukt, men at skinnegangen likevel var for glatt til å klare å stanse i tide. Sporvognen traff deretter bussen bakfra, frontruten på vogn 96 ble knust og bussen fikk en bulk bak. Takst fra Team Trafikk viser ødelagt motorluke samt karosseri. 4 personer som var passasjerer i bussen blir hentet av ambulanse, 3 med lettere skader og 1 med skade i skulder. Sporvognen anslås av VF å ha en hastighet på ca. 5-10 km/t ved tidspunkt for sammenstøt. Dette kan ut fra skadeomfang sammenlignet med lignende hendelser virke som en riktig antakelse.

Etter hendelsen rapporterer VF til TL1 hva som har skjedd. På dette tidspunkt har VF kun oversikt over sine egne passasjerer, og rapporterer ingen skadde. Etter en samtale med bussjåfør på anmodning fra TL1 rapporterer VF til TL1 at det fins skadde passasjerer i bussen og at ambulanse er tilkalt av bussjåfør.

TL1 og TL2 hadde vaktskifte når siste beskjed fra VF kom. Etter å ha varslet teknisk beredskapsvakt dro begge TL ned til skadestedet for å få VF bort fra stedet så fort som mulig. TL1 varslet administrativ vakt og trafikksjef, vaktbytte ble deretter foretatt mellom TL1 og TL2. Sikkerhetsrådgiver ble varslet av trafikksjef etter oppringing fra SHT. På grunn av at varsling ikke har vært god nok på flere områder er alle tidspunkt for varsling oppgitt i eget vedlegg.

På skadestedet ble promilletest av VF utført av politiet før denne ble kjørt tilbake til Munkvoll av TL2. TL1 ble på stedet og fikk godkjenning av politiet til å fjerne sporvognen fra stedet ca. kl. 18.35. TL1 forklarer at magnetbrems på sporvognen ble testet på Nordre Hoem og etter ankomst vognhall Munkvoll, uten at TL1 kunne merke noen nedsatt bremskraft. Det ble imidlertid ikke utført T1-kontroll for å sjekke evt. feil pga. at sporvognen skulle gjennomgå av eksterne myndigheter etter hendelsen. Sporvogn 96 ble innkjørt i vognhall Munkvoll kl. 18.55.

VF ble tatt ut av tjeneste umiddelbart etter hendelsen og hadde samtale med trafikksjef i ca. en og en halv time før det, som en del av evaluering etter slike hendelser, ble kjørt en time med ekstravogn samme kveld. VF ble godkjent for videre tjeneste etter kjøring med to forskjellige instruktører 12.11.2009 kl. 13.45.

Sporvogn 96 hadde kjøreforbud/"reparasjonsforbud" fram til vedlikeholdssjef fikk klarsignal fra SHT og politiet til å reparere frontruten 06.11.2009 kl. 16.00. Sporvognen ble fullstendig frigitt for reparasjon 09.11.2009 kl. 19.30. Kjøreforbud opphevet etter reparasjon av teknisk avdeling 11.11.2009.



GråkallBanen

Til denne rapporten er det innhentet opplysninger fra alle involverte samt alle VF som kjørte sporvogn 96 samme dag.

2.3 Hendelseskategori

Hendelsen er gransket som en alvorlig jernbanehendelse iht. rapportering fra Sikkerhetsrådgiver.

3 Granskningen

3.1 Ansvar

Trafikksjef er ansvarlig for granskningen.

3.2 Ressurser

(NN trafikksjef og personalansvarlig), (NN teknisk ansvarlig), (NN driftsleder elektro), (NN Sikkerhetsrådgiver) og (NN daglig leder og metodisk ansvarlig).

3.3 Involvert personell

Forkortelser: VF = vognfører, TL = trafikkleder

Funksjon:	Arbeidsnummer og navn:
VF	NN
TL1	NN
TL2	NN
Administrativ vakt	NN



Gråkallbanen

3.4 Benyttet materiale

- GBs håndbøker
- Rapporter samt muntlig forklaring fra involvert personell
- Muntlig forklaring fra andre VF som kjørte sporvognen i trafikk samme dag
- Opplæringsprogram
- Dokumentasjon fra GBs avvikssystem
- T1-skjema vogn 96
- Driftsdøgnjournal
- Muntlig forklaring fra ledelsen angående varslings
- Skriftlig korrespondanse med Trondheim bydrift
- Bremsekurs GB
- Rapporter og statistikk fra tidligere sammenstøt

3.5 Granskningsforløp

Trafikksjef innhentet rapporter samt skademelding fra involvert personell 05.11.2009, TL registrerte hendelsen i GBs avvikssystem samme dag. Konsernsjef, Daglig leder, Sikkerhetsrådgiver og Trafikksjef gjennomgikk hendelsen i eget møte 06.11.09 kl. 15.15. Ledergruppen gjennomgikk hendelsen i møte 10.11.2009 kl. 08.30 samt ordinært ledermøte 15.12.2009.

Granskningsrapporten var klar 14.12.2009.

4 Faktisk årsak til hendelsen

Faktisk årsak til hendelsen er at VF holdt for høy fart i forhold til avstand til kjøretøy foran og stopplengde under de faktiske forhold (glatt skinnegang).

4.1 Avstand til kjøretøy foran

Flere forhold innvirker på hva som til enhver tid er sikker avstand:

- Kjøretøyenes hastighet: Tillatt hastighet på stedet er 50 km/t, GB har i sin Driftshåndbok satt ned hastighet på bysporet til 40 km/t. Sporvognen hadde antatt hastighet på 15 km/t i reaksjonsøyeblikket, 5-10 km/t idet vognen traff bussen bakfra. Bussen stod i ro og ventet på grønt signal både i reaksjonsøyeblikket og idet sporvognen traff bakfra.
- Førers reaksjonstid: Statistisk er reaksjonstid antatt å være 1-2 sek. VF har lite erfaring, og reaksjonstid anslås derfor å være 2 sek.
- Kjøretøyenes bremseevne: Avstand fra lyssignal ved Skansen holdeplass til lyssignal ved Ila kirke er 95 m. Avstand fra krysset hvor sporvognen befant seg idet bussen stoppet fram til der bussen sto, er iht. målinger foretatt etter VFs forklaring 35 m. Bussens lengde er 15 m (ref. Team), dvs. avstand bakende buss til front sporvogn idet nedbremsing ble igangsatt var $35\text{m} - 15\text{m} = 20\text{ m}$. Iht. GBs bremsekurs er bremselengden 11 m ved hastighet 15 km/t under normale forhold. I beregningen av bremselengde er det antatt reaksjonstid 2 sek. Dersom det hadde vært normale



Gråkallbanen

føreforhold ville VF ut fra dette klart å stanse sporvognen med fronten 9 m bak bussen. VF var imidlertid klar over at skinnegangen var glatt, og dette anses som liten margin i forhold til kjøretøy foran.

- Vekten på kjøretøy: Sporvogner veier ca. 30 tonn, buss veier ca. 6 tonn. Dette må alltid være i fokus ved vurdering av hva som er forsvarlig avstand til kjøretøy foran. Sammenstøt med sporvogn vil alltid ha større følger for materiell og personer enn "vanlige" kjøretøy pga. høy vekt.
- Førers reaksjon: Når situasjonen først oppsto har VF reagert korrekt. Farebrems ble utløst umiddelbart da VF ble oppmerksom på at sammenstøt kunne inntreffe.
- Skinnegang: Perioden med løvfall var ikke over og kommunen hadde sprøytet sentrum med Magnesiumsulfid (lake) natt til 04.11.09. I kombinasjon medfører disse to forholdene at sporet kan være svært glatt. VF var opplyst om at det kunne være glatt i byen dagen før og samme dag som sammenstøtet skjedde. Dette var VFs siste tur for dagen, og denne var derfor kjent med at forholdene i byen var varierende. Glatt skinnegang anses som mulig bakenforliggende årsaksforhold og er drøftet nedenfor.

5 Mulig bakenforliggende årsaksforhold

5.1 Tekniske forhold

Sporvogn 96:

Mulig bakenforliggende forhold knyttet til sporvognen:

- Tekniske feil
- Tekniske innretninger for å varsle feil
- Bremseeffekt
- Bremseforsterkende tiltak
- Siktforhold i vognen
- Tekniske innretninger for å dokumentere hendelsesforløp

Sporvogn 96 hadde ingen åpne avvik angående bremsesystemet før hendelsen inntraff. T1-kontroll ble utført av TL og utkvittert uten merknader. Denne kontrollen sjekker bl.a. om magnetbremsene fungerer, det er derfor ingen tvil om at disse fungerte da sporvognen ble kjørt ut fra vognhallen 05.11.2009. Det er gjennomført samtaler med alle VF som kjørte vogn 96 samme dag, ingen av disse hadde merket noe uvanlig med bremsesystemet denne dagen. Imidlertid har ingen sjekket sikringene på sporvognen etter utkjøring, da dette dekkes av funksjonstesting av magnetbremsene på T1-kontroll.

GBs sporvogner har ingen varsellamper som indikerer at magnetbrems er koblet ut. Politiet og SHT avdekket etter hendelsen en sikring som var falt ut på sporvognen. Denne sikringen gjaldt magnetbrems på fremre boggie, dvs. at to magneter muligens ikke fungerte idet sammenstøtet skjedde. Dersom sikringen var falt ut før hendelsen ville dette medført at bremsekraft på 8 tonn av 105 tonn falt ut ved iverksettelse av farebrems, dvs. $8/105 = 7,6\%$ svekkelse (ref. GBs bremsekurs). Det stilles likevel spørsmål ved om dette kan tillegges vekt, da funnet ble gjort etter at vognen var fjernet fra skadestedet, kjørt til Munkvoll, stått 4 dager i vognhall samt bremsetestet av politi/SHT. Ved testing utført av SHT i vognhall med og uten



Gråkallbanen

sikringen inne, ble det målt en differanse på 40 cm bremselengde ved en fart på 20 km/t. Denne målingen er ikke gjort med VF som var involvert i hendelsen.

Sand brukes ved glatt underlag og skal forhindre at sporvogn sklir. Dersom vogna allerede sklir er det usikkerhet omkring hvorvidt det fungerer å bruke sand (ref. GBs bremsekurs). Sandstrøerne anses av denne grunn ikke som en bakenforliggende årsak i denne hendelsen og har ikke blitt undersøkt nærmere.

Det er ikke funnet noen indikasjoner på at siktforhold var dårligere enn normalt, ingen fysiske hindringer på stedet. GB har ingen innretninger som sikrer data for å dokumentere hendelsesforløp.

Skinnegang:

Mulig bakenforliggende forhold knyttet til skinnegang:

- Kommunens påføring av lake
- GBs tiltak for å fjerne belegg fra lake/løvfall på skinnegangen
- Informasjon til VF angående forholdene på sporet

Etter en lignende hendelse våren 2009 tok GB kontakt med Trondheim Bydrift med ønske om at lake ikke legges i sporet. Dette på grunnlag av at GBs erfaring er at allerede glatt skinnegang pga. løvfall forverres betraktelig ved lakelegging. Henvendelsene om å stoppe lakelegging ble avvist, men Trondheim Bydrift gikk med på å informere GB ved lakelegging. Det er ikke utført testing på bremselengde med/uten lake eller hvor lenge den evt. har negativ effekt på bremselengden. Det er heller ikke avklart hvilke mottiltak som er virkningsfulle overfor laken. GB er kjent med at SHT ønsker å utføre testing av lakens påvirkning på bremselengden til sporvogn i etterkant av denne hendelsen. Testresultatene vil bli formidlet når disse foreligger.

Belegg på skinnegangen pga. løvfall er et kjent problem hos GB. Få tiltak har blitt iverksatt for å avhjelpe problemet. Sporet er ikke spylt eller slipt på det aktuelle stedet etter at de første rapportene kom om glatt skinnegang på bysporet. Sliping av sporet ble sist utført 23.10.2009 på strekningen Ila-Bergsligt, men resten av bysporet har ikke blitt slipt høsten 2009. Spyling eller sliping anses å ha en kortvarig virkning på maks. en dag, men GB har imidlertid ikke foretatt målinger på virkningen av verken sliping eller spyling.

Strøing av sporet med sand avhjelper problemet med glatt skinnegang midlertidig. TL har vært ute nesten daglig de siste tre ukene for å strø bysporet. Siste strøing av bysporet ble utført 04.11.2009.

Trafikksjef mottok SMS om lakelegging natt til 04.11.2009, TL og alle VF ble informert.

Andre tekniske forhold:

Siktforhold på stedet: Det er ingenting som tyder på at det var dårligere sikt enn normalt på stedet (tåke el.). Krysset VF passerte rett før hendelsen krever imidlertid at VF fokuserer på trafikk foran pga. at neste lyssignal er 45 m etter passering av krysset.

5.2 System/rutiner

GBs systemer og rutiner er beskrevet i GBs håndbøker.



GråkallBanen

Mulige bakenforliggende forhold knyttet til system/rutiner

- Dokumentasjon i GBs styringssystem
- Ledelsesforhold
- Informasjon
- Tillatt hastighet på stedet
- Endret hastighet etter påføring av lake
- Statistikk over tidligere tilsvarende hendelser
- Læring fra tidligere tilsvarende hendelser

Bremsekurs står som et punkt på opplæringsplan. Dette er likevel i praksis et kurs som har blitt avholdt etter oppkjøring. Kurset kjøres to ganger i året, eller etter behov. Instruktører har blitt informert muntlig om at de skal ha spesiell fokus på bremsesystemet under opplæring, men dette er ikke tatt inn i opplæringsplanen.

Glatt skinnegang er tatt opp i GBs ledermøte som er økende problem, spesielt etter at det ble kjent at lake skulle legges i byen høsten 2009. Dette ble tatt opp etter en henvendelse fra en av fagforeningene hos GB. Sliping eller spyling ble ikke igangsatt pga. at dette anses å ha en kortvarig virkning. Ledelsen burde likevel ha satt i gang testing for å finne bedre tiltak enn det vi har i dag, da dette kun har vært strøing av spor. Sliping av spor ble kun utført på en kort strekning som ble ansett som problematisk.

GBs VF har blitt varslet av TL hver gang det har blitt lagt lake på skinnegangen. Utover dette har det vært såpass mye "hverdagsprat" om problemet at det ikke har blitt sendt ut info i NyNytt om at avstanden må tilpasses kjøretøy foran. Fagforeningen har blitt varslet i svarbrev etter henvendelse til ledermøtet om at god avstand til kjøretøy er det viktigste tiltaket ved glatt føre.

Hastighet på hele bysporet er 40 km/t. GB har ikke gjort ekstra tiltak for å sette ned hastigheten ved glatt skinnegang.

Læring fra tidligere tilsvarende hendelser: To sammenstøt med buss de siste ti år, ett i 2003 og ett i mars 2009.

- Flere paralleller mellom sammenstøtet i mars og dette:
 - Like omgivelser: på bysporet ved Skansen
 - Lik situasjon: glir inn i buss bakfra
 - Like vognførere: unge deltidsførere av samme kjønn med kort VF-erfaring (kanskje også kort trafikkerfaring pga. lite bilkjøring?)
 - Like føreforhold: tørt, kaldt vær og Trondheim Bydrift har nylig påført lake
 - Like VF-opplevelser: ser bussen foran, men klarer ikke stoppe
 - Likt situasjonsbilde: ca. 15-20 km/t i reaksjonsøyeblikket og ca. 5-10 km/t. ved sammenstøt
- Noen paralleller mellom sammenstøtet i 2003 og dette:
 - Liknende omgivelser: på bysporet
 - Liknende situasjon: kjørte inn i buss bakfra
 - Liknende vognførere: deltids vognførere, men av annet kjønn og med lenger erfaring



GråkallBanen

5.3 Opplæring/kompetanse

Mulige bakenforliggende forhold knyttet til opplæring/kompetanse:

- Krav ved rekruttering av VF (alder og reell trafikkerfaring)
- Omfang og innhold i GBs grunnopplæring for VF
- VFs kompetanse for vurdering av bremselengde/bremsing
- VFs kunnskap om gjeldende kjøreforhold
- VFs kunnskap om effekten av løvfall og påføring av lake
- Testing av kandidater under opplæring
- Gjennomføring av GBs bremsekurs
- Rutiner som sikrer bremsetrening etter opplæring
- Rutiner for oppfølging av nyutdannede VF
- Opplæring basert på hendelsesstatistikk fra avviksdatabasen ifm. opplæring av VF
- Kommunikasjon mellom instruktører og veiledere under opplæringen
- Kommunikasjon mellom trafikksjef og opplæringsansvarlig før opplæring

GB har ingen fastsatte rutiner for å sjekke erfaring med bilkjøring under ansettelse. Det er ikke usannsynlig at liten erfaring fra bilkjøring kan ha bidratt til hendelsen, da dette kan ha en utslagsgivende effekt iht. evnen til å vurdere trafikksituasjoner. Involvert VF har også relativt lav alder i forhold til mange av GBs VF, noe som må ses i sammenheng med trafikkerfaring.

Det er heller ikke usannsynlig at liten erfaring som VF har bidratt til hendelsen, noe som medfører at GB bør se på sine opplæringsrutiner. Involvert VF fikk utstedt sertifikat for sporvogn litt over en uke før hendelsen, og hadde kun kjørt 3 skift som VF uten veileder.

Opplæring til VF skal være tilstrekkelig for å forhindre uønskede hendelser og tilløp til disse. Under opplæringen hadde VF flere dager med glatt føre enn det som er vanlig. Som en følge av dette hadde VF ca. 7 timer mer kjøring enn det normale før oppkjøring. GB har ingen rutiner for testing av VFs reaksjon ved glatt skinnegang, med unntak av de situasjonene VF tilfeldigvis kommer opp i under opplæring. Dette kan føre til varierende kunnskapsnivå for nyutdannede VF. Alle VF ble informert om glatt føre før denne hendelsen, men dersom VF ikke har prøvd bremsene ved glatt skinnegang vet denne ikke nok om hva glatt føre innebærer. Involvert VF hadde testet bremsene ved ekstremt glatt skinnegang flere ganger og burde hatt god nok kunnskap til å unngå sammenstøt bakfra.

VF har ikke gjennomført bremsekurs som nevnt ovenfor, i likhet med flere andre VF. Teoretisk gjennomgang av bremsesystemet er gjennomgått iht. opplæringsplan under punktet "operativ brukermanual GT6C." Praktisk gjennomgang av bremsesystemet er nøye gjennomgått iflg. instruktør og VF, dette kommer imidlertid ikke frem av opplæringsplanen.

GB har rutiner for oppfølging av nyutdannede VF innen 6 mnd etter opplæring, dette er en teoretisk gjennomgang av bl.a. opplæringsplanen for å sikre at nødvendig kunnskap formidles under opplæring.

GB bør under opplæring ha større fokus på:

- God sikkerhetsmargin til forankjørende kjøretøy.
- Kjennskap til sporvogn GT6C.
- Reaksjon etter hendelser, vitner må noteres ned for bekreftelse av hendelsesforløp.



Gråkallbanen

- Bedre kommunikasjon mellom instruktører og veiledere samt ærlighet i vurdering av kandidater.

5.4 Holdninger

- Involvert personell: Granskingen har vist at VF har riktige holdninger til sikkerhet generelt og til å benytte denne hendelsen til å lære og bli bedre.
- Ledelsen: Det at det var svært glatt på sporet var kjent for alle. Likevel har vi ikke dokumentasjon på tilløpsrapportering. Få tiltak er satt igang. Dette kan tyde på manglende forståelse for problemet eller manglende engasjement fra ledelsen.
- Sikkerhetskulturen i GB: Ingen har tatt tak i situasjonen og testet løsninger på problemet med glatt skinnegang, dette indikerer manglende forståelse for situasjonen.

6 Varsling

Krav til varsling:

- Ekstern varsling: GB skal varsle jernbanetilsynet og havarikommisjonen om jernbanehendelser, alvorlige jernbanehendelser og jernbaneulykker.
- Intern varsling: Administrativ vakt skal varsle VTNorges konsernsjef om ulykker og forhold som kan få medias oppmerksomhet innen en time.

GBs rutiner for varsling:

- Beskrevet i driftshåndbok og sikkerhetshåndbok
- GB bør i tillegg varsle internt i organisasjonen om forhold som vil få ekstern oppmerksomhet

Faktisk varsling ifm. Hendelsen:

VF varslet TL umiddelbart iht. rutinene basert på sitt overblikk av situasjonen. Meldingen var at det var en mindre påkjørsel uten skadde personer. Basert på dette varslet ikke TL umiddelbart administrativ vakt om hendelsen. Etter at meldingen ble endret til "med personskade" etter samtale med bussjåfør, varslet TL teknisk beredskapsvakt, adm. vakt og trafikksjef. Trafikksjef ble informert om personskade, men administrativ vakt fikk muligens ikke denne opplysningen. Verken administrativ vakt eller TL kan bekrefte hvilke opplysninger som ble gitt. Administrativ vakt varslet ikke konsernsjef på bakgrunn av at han mener han ikke ble informert om personskade, se vedlegg for tidspunkt for varsling i alle ledd. Det kan ikke trekkes noen konklusjon på hva som har skjedd ut fra opplysninger som er innhentet.

SHT ble ikke varslet, disse ringte selv til GB for å få opplysninger etter oppslag i media. Muntlig varsling skal skje straks. Driftshåndbok har tillagt TL alle varslingsoppgaver unntatt konsernledelsen, sikkerhetshåndbok har frist for varsling til konsernledelsen innen en time og har tillagt trafikksjef ansvar for muntlig varsling til SHT. Sikkerhetsrådgiver ble på ledermøte i februar 2009 tillagt ansvaret for varsling (muntlig og skriftlig) til SHT.

Rutiner for varsling iht. sikkerhetshåndbok og driftshåndbok er ikke sammenfallende, noe som i dette tilfellet medførte at SHT og Konsernsjef ikke ble varslet i tide. Dette vil mao. si at ingen av våre håndbøker har rett instruks for varsling.



GråkallBanen

7 Anbefalte tiltak

4.1 Tiltak ovenfor faktisk årsak

- Granskningsrapporten bekjentgjøres internt for at denne hendelsen kan bidra til en læringseffekt i hele organisasjonen.
- GB må vurdere om bremsekurset bør bli obligatorisk under opplæring

4.2 Tiltak ovenfor bakenforliggende årsaksforhold

Følgende tiltak anbefales overfor de dokumenterte mulige bakenforliggende årsaksforhold:

- Må teste og iverksette bedre tiltak ved glatt skinnegang og prioritere dette vår og høst
- Må teste magnesiumsulfid (lake) i forhold til innvirkning på bremselengde
- Bør vurdere nedsatt hastighet ved ekstremt glatt skinnegang
- Bør ha grundigere gjennomgang av tilløp og hendelser i ledelsen
- Bør øke fokus på rapportering av tilløp til hendelser
- Bør gjennomgå rekrutteringskriterier for å sikre trafikkerfaring
- Bør vurdere å benytte statistikk fra tilsvarende hendelser under opplæring
- Bør vurdere å ha "glattkjøring" under opplæring
- Må vurdere omfang og innhold i GBs opplæringsplan for VF
- Bør vurdere ansvarsforhold og samarbeid mellom trafikksjef og opplæringsansvarlig ifm. opplæring
- Bør vurdere samarbeidet mellom instruktører/veiledere og trafikksjef/opplæringsansvarlig ifm. opplæring
- Bør vurdere om oppfølging av nyutdannede VF er tilstrekkelig
- Må definere beredskapsgruppe iht. mal fra Veolia Transport Norge samt korrigere uoverensstemmelser i GBs håndbøker ang. varslingsplan
- Må vurdere å endre varslingsplan, spesielt iht. TLs ansvar

8 Konklusjon

Mest sannsynlig årsak til hendelsen:

Feilvurdering av sikker avstand til kjøretøy foran sett i forhold til bremselengde under gjeldende føreforhold.

Gjennomgangen av de bakenforliggende årsaker til hendelsen har vist at selskapet har forbedringsmuligheter som kan bidra til å redusere sannsynligheten for gjentakelse av tilsvarende hendelser.

Trondheim, 14. desember 2009

NN

Vedlegg B:

Friksjonstest

GB111-09

TEST AV FRIKSJONSEFFEKT VED BRUK AV MAGNESIUMSKLORID

Teknisk avdeling gjennomførte 22. desember en test av effekten påføring av magnesiumsklorid har på skinnene på Gråkallbanen. Testen er en del av oppfølgingen av sammenstøtet 5. november 2009, der en trikk kjørte inn i bakenden på en forankjørende buss.

Test av friksjonseffekt ved bruk av magnesiumsklorid på trikkeskiner		
Dato: 22. des. 2009		Ansvarlig for testen: Vedlikeholdssjef
		Vognfører på testen: Driftsleder
Oppgave: Oppgaven var å avdekke om bruk av magnesiumsklorid på skinnene medfører redusert friksjon og dermed økt bremselengde for trikken.		
Metode: Testen ble gjennomføre etter samme metode som Mantena benyttet da de testet den involverte vognas bremses på oppdrag fra Politiet etter hendelsen. En vogn kjøres på en og samme strekning med lik hastighet frem til et merke for oppbremsing inne i vognhallen. Hastigheten ved bremsetidspunkt er 20 km/t. Det ble gjennomført 5 målinger på tørt spor. Deretter 5 målinger på spor påført flytende magnesiumsklorid. Til slutt ble det gjennomført 5 målinger på spor der magnesiumskloriden hadde tørket i to timer.		
Måleresultater:		
Måling nr:	Situasjon:	Gjennomsnittsmåling:
1	Bremsing på tørt spor	5,33 meter
2	Bremsing på våt magnesiumsklorid	7,99 meter
3	Bremsing på tørr magnesiumsklorid	6,51 meter
Konklusjon: Påføring av flytende magnesiumsklorid øker bremselengden. Test i tørr vognhall har vist at bremselengden for trikken øker med 49,9% med flytende magnesiumsklorid på skinnene og med 22,1% med tørr magnesiumsklorid på skinnene.		

Trondheim 22. desember 2009

Vedlikeholdssjef

Vedlegg C:

Oppfølging av uønsket hendelse GB111-09



GråkallBanen

Oppfølging av uønsket hendelse GB111-09

Etter uønsket hendelse på bysporet 05.11.2009 ble det etter granskningen lagt fram forslag til tiltak. Tiltakene skal vurderes av trafikksjef og vedlikeholdssjef iht. vedtak i ledermøte des. 2009. Trafikksjef er i teksten forkortet TS, Opplæringsansvarlig OA.

1. Tiltak overfor faktisk årsak

1. *Granskningsrapporten bekjentgjøres internt for at denne hendelsen kan bidra til en læringseffekt i hele organisasjonen.* Granskningsrapporten er bekjentgjort internt i januar 2010 ved oppslag i NyNytt.
2. *GB må vurdere om bremsekurset bør bli obligatorisk under opplæring.* Bremsekurset har tidligere vært obligatorisk som felles kurs etter fullført opplæring pga. at vi har ment at fellessamling medfører bedre læringseffekt. Det har likevel vist seg at det har vært vanskelig å samle alle ansatte som mangler kurset for en felles samling. TS og OA har vurdert det dit hen at det er mest fornuftig å gjennomføre bremsekurset i løpet av de første 30 timene under opplæring for å sikre at alle ansatte gjennomfører dette. Dette skal registreres i kompetanseoversikten.

2. Tiltak ovenfor bakenforliggende årsaksforhold

Følgende tiltak anbefales overfor de dokumenterte mulige bakenforliggende årsaksforhold:

3. *Må teste og iverksette bedre tiltak ved glatt skinnegang og prioritere dette vår og høst* Vedlikeholdssjef har bestilt steiner til slipevogn. Vedlikeholdssjef sjekker om det er mulig å låne spyleutstyr til Wille hjullaster for å teste om dette bidrar til reduksjon i glatt skinnegang.
4. *Må teste magnesiumklorid (lake) i forhold til innvirkning på bremselengde.* Magnesiumsulfid er testet i vognhall Munkvoll av teknisk avdeling hos Gråkallbanen. Testing er utført etter samme modell som Mantena brukte rett etter hendelsen. (Se vedlegg)
5. *Bør vurdere nedsatt hastighet ved ekstremt glatt skinnegang.* VF skal i likhet med bilister alltid kjøre etter forholdene. Dersom man setter ned hastigheten ved ekstremt glatt skinnegang vil det være en fare for at man tenker for VF, noe som igjen vil føre til en pasifisering av VFs evne til å vurdere hastigheten ved vanskelige forhold. OA og TS mener at man fortsatt skal varsle alle VF om forhold som man er kjent med vil øke bremselengden, men i utgangspunktet ikke sette ned hastigheten i slike tilfeller.
6. *Bør ha grundigere gjennomgang av tilløp og hendelser i ledelsen* Daglig leder iverksetter tiltak.
7. *Bør øke fokus på rapportering av tilløp til hendelser.* Tatt opp på TL-møte. Alle TL skal registrere tilløp som kommer pr. radio dersom de har mulighet. Grundigere gjennomgang av rapporteringsskjema under opplæring.
8. *Bør gjennomgå rekrutteringskriterier for å sikre trafikkerfaring.* Satt inn spørsmål ang. trafikkerfaring i mal intervju for å sikre at personell faktisk har kjørt bil i de årene de har hatt sertifikat. Aldersgrense økes 1 år, til 21 år iht. krav til lokfører og bussjåfører.
9. *Bør vurdere å benytte statistikk fra tilsvarende hendelser under opplæring.* Forslaget går ut på å framlegge teoretisk gjennomgang av hendelser under opplæring av VF. GB har årlig gjennomgang av hendelser og trender (sikkerhetsrådgiver). I tillegg gjennomgår driftshåndbok med spesielle forhold langs banen og alle veiledere og instruktører gjennomgår dette samtidig som det gjennomføres kjøring. OA og TS mener gjennomgang av hendelser er tilstrekkelig ivarettatt gjennom praksis.
10. *Bør vurdere å ha "glattkjøring" under opplæring*



Det er liten tvil om at glattkjøring vil være fornuftig for alle VF. Dette vil være med på å øke bevisstheten om hvor mye glatt føre nedsetter bremseeffekten i praksis. Gråkallbanen har ikke mulighet til å arrangere glattkjøring på sperret linje, dette medfører at all trafikk vil komme i kontakt med det middelet vi vil spraye på for å få glatt skinnegang dersom glattkjøring skal gjennomføres. Denne risikoen kan medføre tilløp eller hendelser som ellers ikke ville oppstått. Dette forslaget blir ikke gjennomført. OA og TS gjennomfører veileder-/instruktørsamling med fokus på bl.a. bedre gjennomgang av bremsesystemet under opplæring.

11. Må vurdere omfang og innhold i GBs opplæringsplan for VF

OA har utarbeidet en mer detaljert plan som må godkjennes i ledermøtet (se vedlegg)

12. Bør vurdere ansvarsforhold og samarbeid mellom trafikksjef og opplæringsansvarlig ifm. Opplæring. Konklusjon:

Ansvar OA:

- Innkalling og gjennomføring av kurs for begge avdelinger
- Oppfølging av kurs/kompetanse iht. kompetanseoversikt
- Utarbeide opplæringsplaner for trafikkavdeling
- Godkjenning av oppdatering av teoriprøver
- Opplæring av veiledere/instruktører
- Sikre at selskapets ansatte innehar nødvendig kompetanse for de oppgaver de utøver, og at selskapet etterlever kravene i Opplæringsforskriften.
- Dokumentere gjennomført opplæring
- Utarbeide opplæringsplaner for teknisk avdeling
- Oppfølging av veiledere/instruktører teknisk avdeling

Ansvar TS:

- Godkjenning av opplæringsplaner
- Utvelgelse av veiledere/instruktører trafikkavdeling samt evt. ekskludering av disse
- Utarbeide timeplaner VF/TL
- Oppfølging av veiledere/instruktører trafikkavdeling både før og under opplæring
- Oppdatere teoriprøver iht. Driftshåndbok
- Godkjenning av kostnader/bruk av personell

13. Bør vurdere samarbeidet mellom instruktører/veiledere og trafikksjef/opplæringsansvarlig ifm. Opplæring

Instruktører/veiledere kalles inn til samling i løpet av mars for gjennomgang av retningslinjer. Samarbeid OA/TS er regulert som ovenfor. En administrativ dag fast hver tredje uke satt inn i turnus for OA for å sikre bedre kontinuitet.

14. Bør vurdere om oppfølging av nyutdannede VF er tilstrekkelig

Opplæringsplan har de siste årene blitt utvidet uten å utvidet antall timer som brukes. Teori utvides med 1 t, praksis u/passasjerer utvides med 1 t.

15. Må definere beredskapsgruppe iht. mal fra Veolia Transport Norge samt korrigere uoverensstemmelser i GBs håndbøker ang. varsling

Utført i ledermøte desember 2009.

16. Må vurdere å endre varslingsplan, spesielt iht. TLs ansvar

Utført i ledermøte desember 2009.

Trondheim, 04.04.2010

NN
Trafikksjef

Vedlegg D:

**Teknisk rapport LHB vogn 96 etter uhell
(Elektriske målinger bremses)**

ALLTRON Electronics

ALLTRON ELECTRONICS

Org. Nr: 983158692

**Postboks 3331 Hallset
7427 Trondheim.**

Tlf : 72553200

Mob: 90553200

Veolia Transport Bane as
Avd. Gråkallbanen

Att: NN

Trondheim 03092010.

TEKNISK RAPPORT LHB VOGN 96 ETTER UHELL

Jeg viser til befaringsrapport 07042010 og senere inngått skriftlig avtale datert 01062010 vedrørende utarbeidelse av teknisk rapport (elektriske målinger) på vogn 96.

Det er for å bekrefte eller eliminere feil som kan komme og gå i forbindelse med bremsing.

Jeg har nå gjennomført denne kontrollmålingen og verifisert måleresultatene. Dette opp i mot tilgjengelig teknisk dokumentasjon og ved sammenligning av måleresultater foretatt på Gråkallbanens øvrige LHB vogner.

Det er 3 separate bremsesystemer på LHB GT6C sporvogner i Trondheim, og hver av de har overvåkingssystemer som melder fra om feil. Herunder overvåkingssystemer for Knorr Bremse og Siemens tog- og vognstyresystemer. Ved alvorlige feil blir det automatisk utløst kjøresperre og -brems. Definisjoner og virkemåte er beskrevet i vedlegg ”Kopi av LHB Funksjonsbeskrivelse”.

Målinger er utført med Fluke 89/4 DVM, Fluke 289 DVM, Fluke strømtang, Fluke 123 scopemeter, Hameg oscilloscop, Escort LCR-meter, Leader logic-tracer og Metra-Watt isolasjonsmåler (Megger).

Det er med vogn 96 foretatt totalt 7 tekniske prøveturer. Dette i forbindelse med gjennomføring av forskjellige kontrollmålinger.

Følgende målinger er utført:

01: Kontrollmålinger av Siemens strømforsyninger i A - og B-vogn.
Resultat i hht spesifikasjoner og toleranser. Se tabell.

- 02: Kontrollmåling av Siemens togstyreapparat 60v 400hz.
Resultat i hht spesifikasjoner og toleranser.
- 03: Kontrollmåling av Knorr strømforsyninger herunder elektronikk-kort for
signalbearbeiding og glide-/slurevern. Det er utført komplett komponent-kontrollmåling.
Resultat i hht spesifikasjoner og toleranser, og i hht fargekoder på elektronikkomponenter.
- 04: Kontrollmåling av signal fra vektføler plassert i ledd mellom A- og B-vogn.
Resultat i hht spesifikasjoner. Dvs 4.20v ved tom vogn. Målt til 4.17v
- 05: Kontrollmåling av signal fra EP-wandler.
Resultat i hht spesifikasjoner.
- 06: Kontrollmåling av kontaktresistans i hovedkontaktorers kontaktfingre og hjelpekontakter
A- og B-vogn.
Resultat: Noe sotete/brente kontaktfingre for elektrisk brems. I tillegg avdekket 1 -1,5 mm
slitasje i flere solenoiders sentertapper. Må følges opp/ helst byttes da større slitasje kan
føre til overslag -/ coronaeffekt.
Resultat for øvrig i hht spesifikasjoner.
- 07: Kontrollmåling av bremsestrøm med og uten feltsvekning og ved full ankerstrøm, ga
tilnærmete verdier på A-og B-vogn. Signaler ble målt fra T2- og T3- modulers utganger.
Signaler ble logget under tekniske prøveturer.
Resultat i hht spesifikasjoner.
- 08: Under siste tekniske prøvetur og etter flere optimale bremseprøver ble feilkode 75
registrert i B-vogn. Dette tilsier redusert bremsemoment (bremsekraft) i elektrisk brems.
Feilsøking avdekket defekt sikring for formagnetisering. Sikring 1F3 påført 35A.
Etter skifte av sikring ble ny prøvetur foretatt uten feil og feilkode 75.
Måling av formagnetiseringsstrøm avdekket ikke unormalt strømforbruk på A- eller B-
vogn. Sikring kan mest sannsynlig gått etter omfattende stresstest av elbrems.
Resultat i hht spesifikasjoner.

SKINNEBREMSEKONTROLL

- 01: Kontrollmålt induktans i hver enkelt skinnebremsenhet. Dette for å avdekke eventuelle
interne sammenbrenninger av viklinger og dermed redusert effekt.
Resultat: Induktans tilnærmet lik verdi samtlige skinnebremses.
- 02: Kontrollmålt strømforbruk for hver enkelt skinnebremsenhet. Måleverdier lå mellom
20 og 21A .
Resultat: Strømforbruk i hht spesifikasjoner.
- 03: Konferert med Avdelingsleder NN v/ Oslo Sporveier vedrørende vurdering av mekanisk
slitasje skinnebremses. De har lik type skinnebremses på sine vogner fra ca 1983. Når
slitasjen på anleggsflaten når minstemål, blir skinnebremsene delt og slitedelene utbyttet.
Resultat: Målinger av anleggsflatene tilsier normal slitasje.
- 04: Skinnebremseskretser frakoblet og isolasjonsmåling ble utført.

Resultat: Isolasjonsmåling innenfor spesifikasjon.

05: Noe ujevn slitasje på skinnebremses må man regne med i flg. NN. Dette pga ulik slitasje på hjulenes flenser og at det er ulik skinneoverhøyde. Skinnebremses vil da ikke treffe på samme sted på skinnehodet ved aktivering.

Oppsummering: Ingen tekniske feil kan påvises ved kontrollmålinger som er utført.

Vedlegg: Kontrollmålinger Siemens Vognstyreapparat.
Kopi av LHB Funksjonsbeskrivelse.

Ved behov for ytterligere opplysninger kan det gis ved henvendelse til

Alltron Electronics
Pb 3331 Hallset
7427 Trondheim.

NN
Sign.

03092010.

Vedlegg E:

SINTEF RAPPORT:

**Innvirkning av magnesiumklorid på
framføring av skinnegående
transportmidler**

**SINTEF Byggforsk**

Veg- og jernbaneteknikk

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøk: Høgskoleringen 7A
Telefon: 73 59 46 10
Telefaks: 73 59 14 78

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Innvirkning av magnesiumklorid på bremselengder og friksjon for sporvogn

FORFATTER(E)

Kjell Arne Skoglund

OPPDRAGSGIVER(E)

Statens havarikommisjon for transport

RAPPORTNR.	GRADERING	OPPDRAGSGIVERS REF.	
SBF IN F10007	Strengt fortrolig	Henning Johansen, Jernbaneavdelingen	
GRADER. DENNE SIDE	ISBN	PROSJEKTNR.	ANTALL SIDER OG BILAG
Strengt fortrolig		3C0573	23+1
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.)	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.)
SINTEF RAPPORT Magnesiumklorid og skinnfriksjon.doc		Kjell Arne Skoglund	Bjørn Ove Lurfald
ARKIVKODE	DATO	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.)	
3C0573	2010-10-08	Bjørn Ove Lurfald	

SAMMENDRAG

Bakgrunnen for prosjektet er en hendelse med sporvogn i Trondheim 5. november 2009 ca. kl. 1750. Det var da ei sporvogn i østgående retning som kjørte inn i en buss bakfra ved Ila kirke.

Målet for prosjektet var å finne ut om bruken av magnesiumkloridløsning (MgCl_2) til støvdemping kan ha medvirket til redusert friksjon for sporvogna da ulykken skjedde.

SINTEF har gjennomført litteratursøk, bremsetester med sporvogn og analyse av disse for å kartlegge friksjonsforholdene ved fire ulike føreforhold (tørt spor, vått spor, fuktig MgCl_2 og tørket MgCl_2), tre bremsemoder (vanlig bremsing, full magnetskinnebrems og med én magnetskinnebrems utkoblet) og tre hastighetsnivåer (5 km/t, 15 km/t og 30km/t). Det ble utført ca. 110 enkelttester.

En hovedkonklusjon er at bruk av MgCl_2 ser ut til å gi betydelig lengre bremsestrekninger, særlig for vanlig brems. Tørket MgCl_2 ser ut til å gi de lengste bremsestrekningene, altså lengre enn våt MgCl_2 . Å koble ut én av fire magnetskinnebrems ser ikke ut til å ha avgjørende betydning på bremselengden sammenliknet med full magnetskinnebrems. Ut fra våre forsøk er varigheten av utlagt magnesiumklorid usikker, men et mørkt, leiraktig belegg dannet på skinnene der det var brukt MgCl_2 kan være en indikator på at det er MgCl_2 til stede.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Trikkspor	Tram track
GRUPPE 2	Friksjon	Friction
EGENVALGTE	Bremselengde	Braking distance
	Magnesiumklorid	Magnesium chloride

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Innledning	3
1.1	Bakgrunnen for prosjektet	3
1.2	Mål for prosjektet	3
1.3	Aktiviteter i prosjektet	3
2	Litteraturundersøkelse	3
2.1	Generelt	3
2.2	Magnesiumklorid brukt på skinner for skinnegående trafikk	4
2.3	Magnesiumklorid brukt på veg for støvbinding eller for å fjerne snø og is	4
2.4	Hvordan viskositeten til smøremiddel virker inn på friksjonen	5
3	Bremsetester - opplegg og gjennomføring	5
3.1	Generelt	5
3.2	Testområde	6
3.3	Testprogram	7
3.4	Gjennomføring av forsøkene	7
3.5	Data for magnesiumkloriden	9
3.6	Meteorologiske data	10
4	Kort om teori om bremselengde	12
4.1	Teoretisk grunnlag	12
4.2	Praktiske forhold rundt måling av bremselengde	12
4.3	Hastighet når bremsing innledes	13
5	Data fra bremsetestene inkl. diskusjon	13
5.1	Bremsetester gruppert etter føreforhold	13
5.1.1	Vått spor	14
5.1.2	Spor med fuktig magnesiumklorid	15
5.1.3	Tørt spor	16
5.1.4	Tørket magnesiumklorid	17
5.2	Bremsetester gruppert etter bremsemetode	18
5.2.1	Vanlig brems	18
5.2.2	Full magnetskinnebrems	19
5.2.3	En magnetskinnebrems utkoblet	20
5.3	Usikkerheter ved målingene	21
5.3.1	Usikkerhet mtp. sammenliknbare forhold som ved ulykken	21
5.3.2	Usikkerhet i testforholdene	21
5.3.3	Usikkerhet ved målingene - måleunøyaktighet	21
6	Konklusjoner	22
7	Forslag til videre arbeid	22
8	Referanser	22
Vedlegg 1	Produktdatablad for MG-Kombi, magnesiumklorid	24

1 Innledning

1.1 Bakgrunnen for prosjektet

Bakgrunnen for prosjektet er en hendelse med sporvogn i Trondheim 5. november 2009 ca. kl. 1750. Det var da ei sporvogn i østgående retning som kjørte inn i en buss bakfra ved Ila kirke.

Som en del av undersøkelsene ønsker Statens havarikommisjon for transport (SHT), Jernbaneavdelingen, å finne ut om bruken av magnesiumkloridløsning som et ledd i dempningen av svevestøv kan ha medvirket til redusert friksjon for sporvognstrafikken. SHT kontaktet derfor SINTEF Byggforsk, Faggruppe veg- og jernbaneteknikk med tanke på å få utført feltforsøk for å kartlegge friksjonsforholdene ved bruk av magnesiumkloridløsning (MgCl_2 -løsning).

1.2 Mål for prosjektet

Det er avtalt følgende mål for prosjektet:

1. Å finne bremseeffekt mellom skinne og hjul ved tørre og våte forhold, ved bruk av magnesiumklorid under befuktet utlegging.
2. Å antyde hvordan temperaturen virker inn på bremseeffekten.
3. Å antyde hvor lenge virkningen av magnesiumklorid¹ vil vedvare.

1.3 Aktiviteter i prosjektet

Det er gjennomført følgende faglige aktiviteter fra SINTEF sin side:

- Felles møte med SHT og Trondheim Bydrift (Trondheim kommune) 17. mars 2010.
- Litteratursøk og litteraturgjennomgang.
- To feltforsøk med bremsetester for sporvogn natt til hhv. 24. mars og 7. mai 2010.
- Dataanalyser
- Rapportskriving

2 Litteraturundersøkelse

2.1 Generelt

Det er gjennomført et søk etter litteratur på området ved hjelp av søketjenester på internett (Google og Google Scholar) samt tjenester tilgjengelige gjennom SINTEF. Søketermer som har blitt brukt har inkludert "magnesium chloride", "friction", "wheel" og "rail".

Ut fra den relativt omfattende litteraturen som foreligger innen friksjon mellom hjul og skinne er det lite og ingenting å finne som omhandler bruk av magnesiumklorid.

¹ Opprinnelig tekst hadde også med salt her. Dette har etter forståelse med SHT ikke vært tema for undersøkelsene.

2.2 Magnesiumklorid brukt på skinner for skinnegående trafikk

Det er funnet et patent fra USA [1] der det bl.a. er gjort modellforsøk med magnesiumkloridløsning for å øke friksjonen mellom hjul og skinne. Her var det imidlertid blandet inn silika i løsningen, og forsøkene anses lite relevante for vårt formål.

2.3 Magnesiumklorid brukt på veg for støvbinding eller for å fjerne snø og is

Innen vegsektoren er $MgCl_2$ brukt mye enten som støvbinder eller som snø- og isfjerner. Det foreligger relativt omfattende dokumentasjon på effektene av $MgCl_2$ – i noen grad også når det gjelder friksjonsforhold.

Gustafsson [2] rapporterer om 24 % reduksjon i friksjonen mellom hjul og asfalt, men også for 0,5 mm vann på asfalten blir friksjonen redusert med 22 %.

I en større studie utført av Montana Stat University, USA [3], er 14 forskjellige stoffer testet i samband med smelting av snø og is på et vegdekke av betong. Her ser det ut til at friksjonskoeffisienten er ca. 0,5 ved fuktige forhold (vann på betong), mens magnesiumkloriden senker friksjonskoeffisienten til rundt 0,4 ved fuktige forhold, hvilket da skulle tilsi en reduksjon i friksjonen på omkring 20 %. Det poengteres likevel at man ved hjelp av magnesiumklorid senker frysepunktet slik at man får bart dekke ved lavere temperaturer enn 0 °C. Dermed økes friksjonen ved lave temperaturer sammenliknet med isforhold. Målingene er gjort med tribometer og ikke med hjulgående kjøretøy.

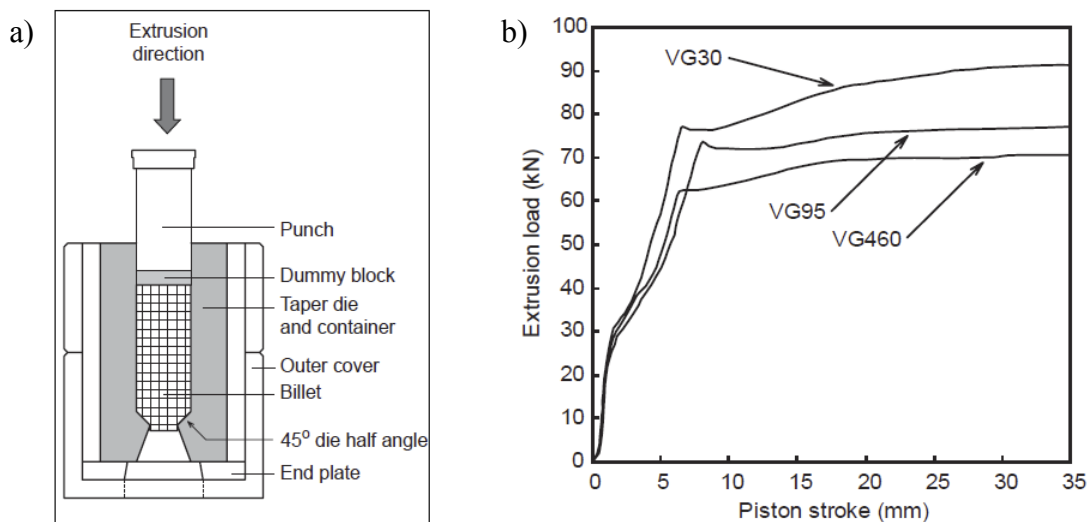
En studie på snø- og isfjerning med magnesiumklorid som viser liten eller ingen endring i friksjonen ble gjort av Oregon Dept. of Transportation [4]. Muligens kan årsaken være forsøksbetingelser, som studien selv antyder, eller at asfaltdekket hadde tilslag med åpen gradering, dvs. stort hulrom. Bakgrunnen for undersøkelsen var likevel en mistanke om redusert friksjon ved bruk av magnesiumklorid.

To norske studier har sett på bruk av tørr natriumklorid ($NaCl$, dvs. vanlig salt) befuktet med henholdsvis magnesiumkloridløsning og med natriumkloridløsning. Den første studien [5, 6] konkluderer med noe økt friksjon ved bruk av magnesiumkloridløsning sammenliknet med bruk av natriumkloridløsning ved lavere temperaturer (under -6 °C), men ellers ingen signifikante forskjeller. Den andre studien [7] antyder derimot noe lavere friksjon ved bruk av magnesiumkloridløsning enn ved bruk av natriumkloridløsning ved lave temperaturer. Det ser ut til at den relative forskjellen i den andre studien i første rekke skyldes at friksjonen ved bruk av natriumkloridløsning går opp enn at friksjonen ved bruk av magnesiumkloridløsning går ned. Dette kan skyldes lokale forhold (spordannelse er nevnt), ev. at vegbanen blir tørrere ved bruk av natriumklorid. Studiene har ingen data for friksjon for fuktige eller tørre forhold uten bruk av salter. Det er også verdt å merke seg at virkningene som rapporteres skyldes en kombinasjon av tørr natriumklorid befuktet med enten natriumkloridløsning eller magnesiumkloridløsning. Det er ikke gjort forsøk med bare magnesiumklorid, og derfor er disse studiene totalt sett mindre relevante for studier av friksjon ved bruk av magnesiumkloridløsning.

2.4 Hvordan viskositeten til smøremiddel virker inn på friksjonen

Det kan være interessant å se på hvordan viskositeten til et smøremiddel mellom to metallflater virker inn på friksjonen mellom de samme metallflatene. Dette vil kunne være relevant i forhold til hjul-skinnefriksjon på jernbane og sporveg.

I en studie av kald metallekstrudering (aluminium) er det gjort noen tester med tre smøreoljer av ulik viskositet og hvordan den virker inn på ekstrusjonskraften [8]. Figur 1 under viser denne sammenhengen.



Figur 1: a) Forsøksoppsett. b) Sammenheng mellom viskositet og ekstrusjonslast. Tallene i kurveforklaringene angir omtrentlig kinematisk viskositet [mm^2/s] ved 40 °C. Fra [8].

Figur 1 viser at en økning i viskositet gir en reduksjon i friksjon, her representert ved ekstrusjonslast.

Den ovennevnte studien er til en viss grad relevant for våre bremseforsøk: Det er metall-mot-metall-kontakt og det er høye spenninger. Ulikhetene er at det er aluminium som brukes, og at det er snakk om plastisk metallforming, noe som ikke skjer i samme grad mellom et jernbanehjul og skinne.

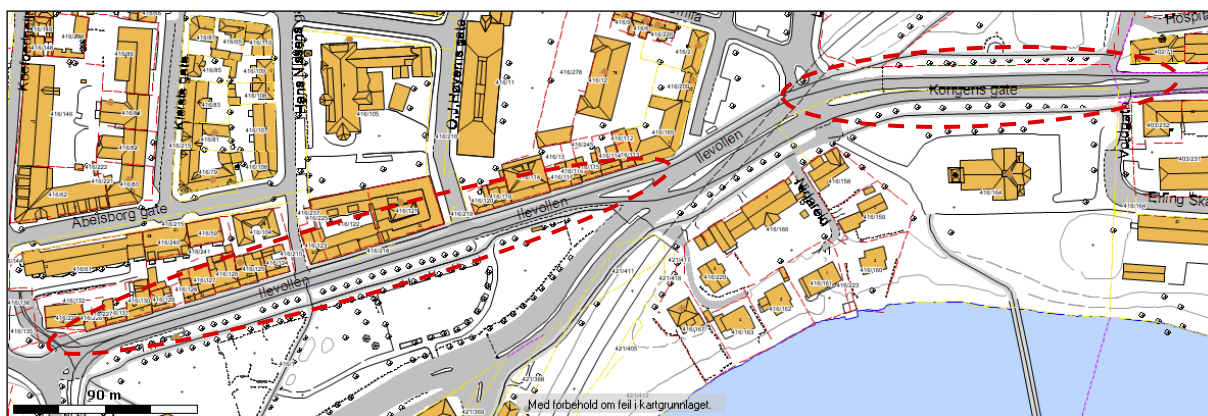
3 Brems tester - opplegg og gjennomføring

3.1 Generelt

Bremsetester, der man prøver å komme så nært opp til den reelle hendelsen som mulig, ansees som den sikreste måten å få klarlagt hvilken innvirkning magnesiumkloridløsningen har hatt på bremseegenskapene på ulykkesdagen. Det ble vurdert å også bruke en enkel, bærbar friksjonsspendel til målingene, men dette ble forkastet fordi den ble vurdert å være vanskelig å stille opp over trikkesskinnene. Pendelen bruker dessuten et gummistykke som friksjonsflate på selve pendelarmen, og det ville derfor ikke blitt metall-mot-metall-kontakt.

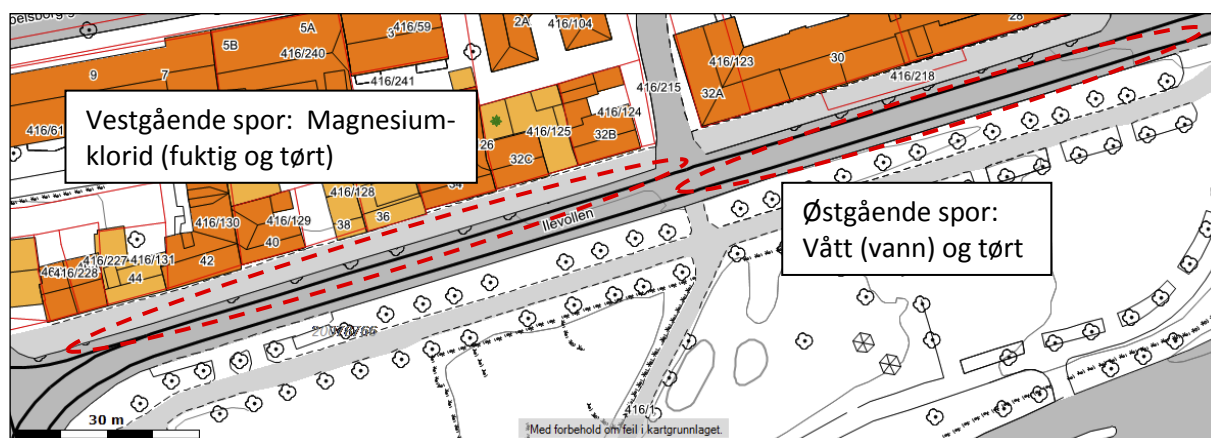
3.2 Testområde

I søket etter et egnet testområde var det to steder som pekte seg ut. Det ene var utenfor Ila kirke, omtrent der ulykken skjedde, og det andre var i Ilevollen, se kartutsnitt i Figur 2. Ved Ila kirke er det mer biltrafikk, sporet har litt stigning/fall, og det er kortere rettstrekning før man påtreffer kurve. Hovedbegrunnelsen for ev. å velge stedet ved Ila kirke var at man da kunne gjøre tester der selve ulykken inntraff. Ilevollen kunne skilte med enklere trafikkforhold (kollektivgate), og ei lengre, tilnærmet horisontal, rettstrekning. Ulempen på Ilevollen er i første rekke at det er tett med boliger på nordsiden av gata, bl.a. med et sykehjem.



Figur 2: Testområde. Området markert til venstre er Ilevollen der testene ble utført. Til høyre er markert det alternative området ved Ila kirke, omtrent der ulykken skjedde. Kartgrunnlag fra Trondheim kommunes nettsider.

En mer detaljert oversikt over bremsestrekningene er gitt i **figur 3**. Vestgående spor ble benyttet til testing med magnesiumkloridløsning (fuktig og tørt), mens østgående spor ble testet i våt og i tørr tilstand.



Figur 3: Oversikt over bremsestrekningene som ble benyttet på Ilevollen. Kartgrunnlag fra Trondheim kommunes nettsider.

3.3 Testprogram

Hensikten med testprogrammet er å kunne måle bremselengder under forhold som er så like som mulig som under ulykken. Med dette vil man kunne slutte hva som vil være en realistisk bremselengde ved de rådende forhold.

Men i tillegg vil det være viktig å få klarlagt hvilke forhold som normalt venter vognførerne ute på sporet. Hva vil være normal bremselengde i de fleste tilfeller? Også ut fra et vitenskapelig synspunkt vil det være viktig å kartlegge hvordan de gjenskapte forholdene på ulykkestidspunktet forholder seg til mer normale tilstander.

Ut fra opplysninger fra Trondheim bydrift, en enhet i Trondheim kommune, ble det natt til 4. november spredd magnesiumkloridløsning på ulykkesstedet av hensyn til støvdempning. Ulykken skjedde som tidligere nevnt på ettermiddagen den 5. nov., og det er rimelig å anta at det var et visst belegg av magnesiumklorid på trikkeskinnene på det tidspunktet. (Det ble ikke lagt ut ytterligere magnesiumklorid natt til 5. nov.)

Trondheim bydrifts rutiner er at det i perioder med behov for støvdempning blir magnesiumklorid lagt ut tre ganger pr. uke, vanligvis natt til mandag, onsdag og fredag. I etterkant av ulykken har Trondheim bydrift lagt ned forbud mot utlegging av magnesiumklorid i gater der det går trikkespor.

Hypotesen som skal testes er derfor om et belegg av magnesiumklorid, eller av andre stoffer som dannes i etterkant og på grunn av magnesiumkloriden, kan innvirke på friksjonsforholdene slik at skinnene blir mer glatte enn det som ellers er påregnelig.

Det ble utarbeidet et prøveprogram der man hadde fire forskjellige føreforhold:

- Spor fuktet med vann (stedlig smeltevann fra snø og is, men også medbrakt vann)
- Spor fuktet med magnesiumkloridløsning (fra opprinnelig tørr tilstand)
- Tørt spor
- Spor fuktet med magnesiumkloridløsning som hadde fått lov til å tørke

Det er noe usikkerhet rundt hastigheten til sporvogna ved ulykkestidspunktet. Derfor ble det også bestemt å utføre testene ved tre ulike, tilsiktede hastigheter: 5, 15 og 30 km/t.

Det er også en viss usikkerhet angående virksam bremseutrustning på sporvogna ved ulykkestidspunktet idet det kan være mulighet for at den ene av fire magnetskinnebrems var uvirksom. Av denne grunn ble det bestemt å teste for tre varianter av bremsing, nemlig vanlig brems, full magnetskinnebrems samt med én magnetskinnebrems på fremre boggi utkoblet.

I kombinasjon gir dette $4 \times 3 \times 3 = 36$ ulike testforhold. I tillegg var det nødvendig å kjøre et visst antall repetisjoner for å få sikre data. Vi beregnet at det kunne bli nødvendig å kjøre 2-3 enkeltforsøk for hvert testforhold. Det viste seg å stemme bra – vi kom ut med ca. 110 enkeltforsøk til sammen.

3.4 Gjennomføring av forsøkene

Forsøkene ble gjennomført i to omganger, natt til onsdag 24. mars og natt til fredag 7. mai 2010. Begge nettene kunne forsøkene starte opp ca. kl. 01, og kunne avsluttes ca. kl 04.

Det ble stilt sporvogn med fører til disposisjon av Gråkallbanen, som er samme operatør som var innblandet i ulykken, og som også er eier av infrastrukturen. Sporvogna var merket nr. 95.

Fra SINTEF stilte to ingeniører og én forsker, og representanter fra SHT observerte også forsøkene.

Trafikksikringsplan og fysisk trafikksikring begge nettene ble besørget av Trafikkvakta, Det FINN's Trafikkhjelp as. Samme firma stilte også med walkie-talkie-samband, noe som var påkrevet av trafikksikringshensyn, men som også kom til god nytte i kommunikasjonen mellom bakkemannskapet og mannskapet på sporvogna.

I tillegg til trafikksikring ble det utarbeidet sikker-jobb-analyse, noe som er standard for denne typen oppdrag ved SINTEF.

Gråkallbanen tok på seg å varsle naboer ved hjelp av utdeling av lapper i posten, mens SINTEF sendte melding til lokalradiostasjonene NRK Trøndelag og RadioAdressa. I tillegg varslet SINTEF telefonisk to sykehjem i nabolaget for å være sikre på at disse ble varslet.

Den første natta ble de to føreforholdene med fuktig spor og med spor fuktet av magnesiumklorid utført. De to resterende føreforholdene ble testet den andre natta. Utlegging av magnesiumkloridløsning den første natta 24. mars ble utført av Trondheim bydrift ca. kl. 0010 i det vestgående sporet nærmest bebyggelsen.

Utlegging av magnesiumkloridløsning for den andre natta var ment å skje på ettermiddag/kveld den. 5. mai for at magnesiumkloridløsningen skulle få tid til å tørke samtidig som det man skulle få noe trafikk over før testing. På denne måten skulle forholdene være mest mulig likt som på ulykkestidspunktet 5. nov. der magnesiumkloridløsningen var blitt spredd natt til 4. november. Løsning ble lagt ut 5. mai ca. kl. 2030, men ble trolig ved en feiltakelse spylt av igjen om morgenen 6. mai (etter opplysninger fra vognfører på Gråkallbanen). Det ble lagt ut ny magnesiumklorid 6. mai ca. kl. 1845. Det ble dermed bare drøyt 5 timer med trafikk og ca. 7,5 timer med tørking før testene på sporet med magnesiumklorid tok til. Flere detaljer vedrørende magnesiumkloriden finnes i kap. 3.5.

Bremsing ble avtalt med vognfører etter en fast prosedyre. Bremsing ble iverksatt på signal fra en av feltingeniørene som hadde tatt oppstilling der bremsingen skulle iverksettes. Signal ble gitt med utstrakt hånd idet snuten på vogna passerte feltingeniøren. Bremselengden ble målt med målebånd fra startpunktet for bremsing og til der snuten på vogna befant seg ved stans. Lengdene ble avrundet til nærmeste desimeter siden det ikke er grunnlag for større nøyaktighet.

Hastigheten til sporvogna ble målt ved hjelp av en 100 Hz GPS datalogger fra Racelogic, nærmere bestemt modell VBOX 3i. Selve loggeren er vist i Figur 4; i tillegg må det kobles til ei antenne – denne var det magnetfeste i, og den lot seg dermed enkelt montere på taket til sporvogna. Strømforsyning var via sigarettengeruttaket til sporvogna. Hastigheten ble ikke avlest i sanntid, men ble tatt ut i ettertid ved hjelp av medfølgende programvare og analysert ved hjelp av MS Excel. Siden det var relativt mye variasjon mellom enkeltmålinger, ble hastigheten tolket gjennom et bevegelig gjennomsnitt av 50 enkeltmålinger, noe som så ut til å kunne fastslå hastigheten med bra nøyaktighet.



Figur 4: Racelogic VBOX 3i, 100 Hz GPS datalogger. Kilde: www.racelogic.co.uk

Hvert enkeltforsøk startet med at ombordpersonalet fikk klarsignal over sambandet fra bakkepersonalet. Vognfører akselererte deretter sporvogna opp til ønsket hastighet ut fra vognas hastighetsmåler og en enklere, fastmontert GPS-måler. Bremsing ble iverksatt og bremselengder målt som tidligere beskrevet. Bakkepersonalet noterte bremselengder og kommuniserte disse så tilbake til ombordpersonalet. Det ble så konferert om måleserien så langt var OK, dvs. med nokså jevne verdier, eller om det måtte tas et ytterligere forsøk med samme forsøksbetingelser. Det ble gjort minimum to enkeltforsøk pr. forsøksbetingelse. Deretter kunne vognfører rygge vogna fra et betjeningspanel i motsatt ende av vogna, og vi var klare til et nytt forsøk. Gjennomsnittlig tidsforbruk mellom to påfølgende forsøk anslås til mellom 3 og 4 minutter, men de raskeste forsøkene (lav hastighet og kort bremselengde) ble unnagjort på omkring 2 minutter.

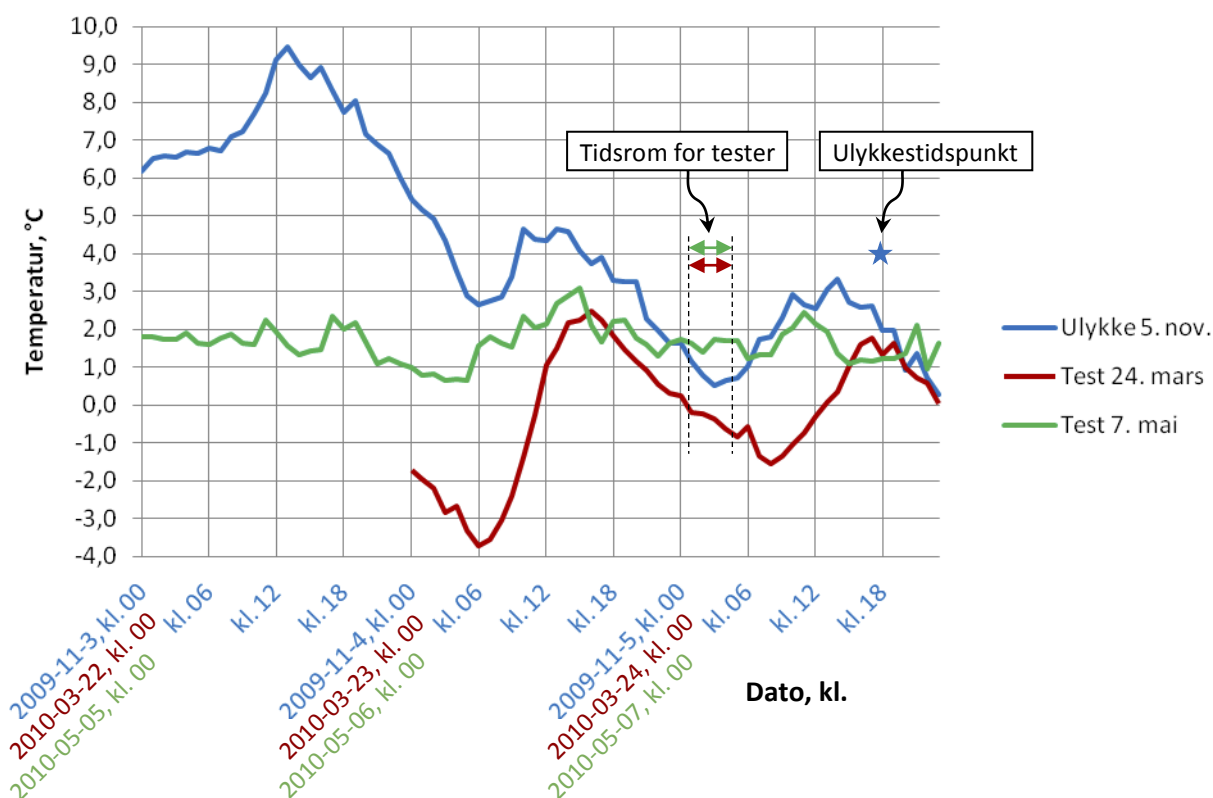
Rekkefølgen på testseriene var følgende: Vått spor (24.03) – Fuktig magnesiumklorid (24.03) – Tørr spor (07.05) – Tørket magnesiumklorid (07.05). Innenfor hver testserie var rekkefølgen ift. bremsemetode: Vanlig brems – Full magnetskinnebrems – Én magnetskinnebrems utkoblet. Innenfor hver bremsemetode igjen var rekkefølgen for de tilsiktede hastighetene: 5 km/t – 15 km/t – 30km/t. Vi begynte altså med vått spor, vanlig brems, 5 km/t.

3.5 Data for magnesiumkloriden

Magnesiumkloriden som benyttes av Trondheim bydrift blir levert av GCRieber Salt AS som ferdig blandet løsning med en tilsiktet konsentrasjon på 20 %, og lagt ut ved hjelp av lastebil påmontert aggregat for utlegging. Løsningens frysetemperatur er $-27,4^{\circ}\text{C}$. Vanligvis blir løsningen lagt ut i 4 m bredde, men for våre forsøk ble bredden begrenset til ca. 2,5 m for å unngå at nabosporet ble forurenset. Mengde som ble lagt ut var 25 g løsning pr. kvadratmeter, noe som også er den vanlige mengden som blir lagt ut for støvdempning. Datablad for magnesiumkloriden finnes i Vedlegg 1.

3.6 Meteorologiske data

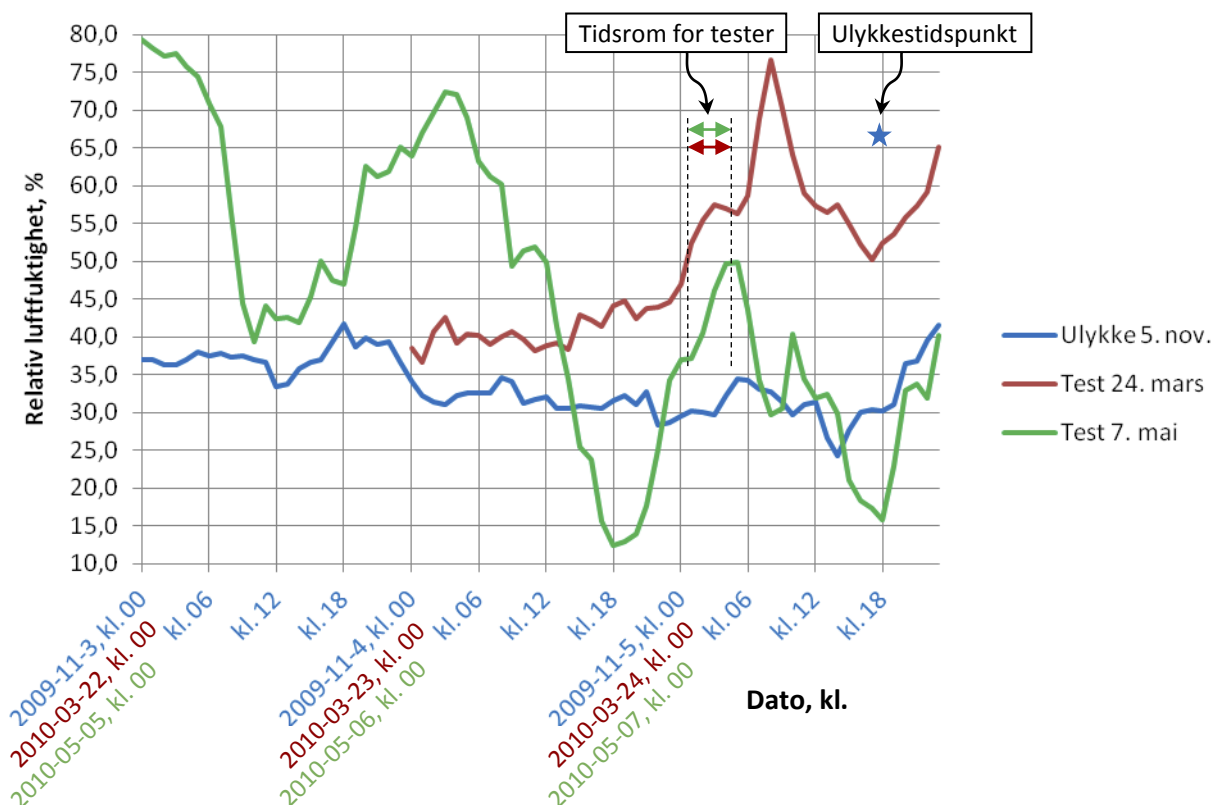
Trondheim kommune, Miljøenheten, har bidratt med meteorologiske data i form av lufttemperatur og luftfuktighet for en lokalt operert klimastasjon på torget i Trondheim. Avstanden fra denne til ulykkesstedet er ca. 1,0 km; avstanden til forsøksfeltet er ca. 1,3 km. Høydekoordinaten er om lag den samme for alle tre stedene – i alle fall i forhold til meteorologiske utslag. Det er derfor antatt at målingene ved Trondheim torg gir et godt bilde av forholdene både på ulykkesstedet og på Ilevollen. Det tas forbehold om måleusikkerhet pga. instrumentoppstilling og ev. kalibrering. En sjekk mot Meteorologisk institutt sin værstasjon på Voll, ca. 3,5 km i luftlinje sørøst for Trondheim torg, viser at målingene ved Trondheim torg virker plausible. Temperaturforløp forut for ulykken og for bremsetestene er gitt i figur 5. Forløp for luftfuktighet er gitt i figur 6.



Figur 5: Temperaturer i tidsrommet før og under ulykken (blå), før og under bremsetester 24. mars (rød) og 7. mai (grønn)

Som man ser av figur 5 var temperaturen ved ulykkestidspunktet ca. 2 °C, som noenlunde tilsvarer temperaturen under testen natt til 7. mai. Under testen natt til 24. mars var temperaturen i snitt ca. -0,5 °C.

Temperaturforholdene var med andre ord nokså like under testene som på selve ulykkestidspunktet. Det at temperaturen den 24. mars var så vidt under frysepunktet var ikke avgjørende idet det ikke ble observert tegn til isdannelse på skinnene. At vannet fortsatt holdt seg flytende kan skyldes varmetransport opp gjennom skinna eller at stoffer i vannet senket frysetemperaturen. For forsøket med magnesiumklorid vil frysepunktet bli senket betydelig slik at moderat frost har liten betydning.



Figur 6: Relativ luftfuktighet i tidsrommet før og under ulykken (blå), før og under brems tester 24. mars (rød) og 7. mai (grønn).

Av figur 6 ser man at den relative luftfuktigheten har holdt seg svært lav over noe tid før selve ulykken, og var på ulykkestidspunktet ca. 30 %. Testen natt til 24. mars hadde en relativ luftfuktighet på rundt 55 %, altså betydelig høyere enn på ulykkestidspunktet. Testene utført 24. mars med vått spor og med fuktig magnesiumklorid er mer som referanser å regne, og det kan derfor sies å være en fordel at luftfuktigheten var mer normal. For testene 7. mai, der den ene forsøksvis var med tørket magnesiumklorid som på ulykkestidspunktet, var den relative luftfuktigheten nærmere verdien da ulykken skjedde – i snitt rundt 40-45 %.

Luftfuktigheten påvirker hvor fuktig sporet blir når det er brukt magnesiumklorid siden denne trekker til seg fuktighet.

4 Kort om teori om bremselengde

4.1 Teoretisk grunnlag

Når et kjøretøy bremses fra en viss hastighet ned til stillstand vil all bevegelsesenergi gå over til bremseenergi i henhold til termodynamikkens første lov om at 'energi ikke kan gå tapt men bare omformes fra en form til en annen'.

Bevegelsesenergi, eller kinetisk energi, er som kjent gitt ved

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{Likn. 1})$$

der m [kg] er massen til kjøretøyet og v [m/s] er hastigheten

Bremseenergi er gitt ved den bremsekraft F [N] som virker mot underlaget over ei strekning s [m] (bremsestrekningen):

$$E_b = F \cdot s = m \cdot r \cdot s \quad (\text{Likn. 2})$$

Bremsekraften F kan skrives som $m \cdot r$, siden bremsekraften må manifestere seg som en retardasjon r av kjøretøyet med dets masse m i henhold til Newtons andre lov ($F = m \cdot a$).

Likningene 1 og 2 må være lik hverandre om all bevegelsesenergi skal gå over til bremseenergi, og ut fra det kan man finne bremselengden s :

$$s = \frac{v^2}{2 \cdot r} \quad (\text{Likn. 3})$$

Bremselengder i bremsetester kan altså teoretisk sett i hht. likn. 3 forventes å være proporsjonal med hastigheten opphøyd i andre potens. I virkeligheten vil ikke r være konstant i hele bremselengden, men vil variere med hastighet og varierende egenskaper til skinnene, samt med bremseutrustning. Likevel, det kan være greit å beskrive bremselengden som en størrelse som er proporsjonal med hastigheten opphøyd i en eller annen potens:

$$s = k \cdot v^b \quad (\text{Likn. 4})$$

der k er en konstant (ideelt sett lik $1/2r$) som er avhengig av oppnåelig retardasjon og b (ideelt sett lik 2) er en konstant som tar vare på den ikkelineære hastighetsavhengigheten.

Regresjonslinjene for bremselengde i kap. 5 er valgt på samme form som i likn. 4. Hvor nær b er 2,0 kan ses på som et mål på hvor stor grad teorien stemmer med praksis.

4.2 Praktiske forhold rundt måling av bremselengde

I tillegg til rent fysiske forhold som virker inn på bremselengden vil også måten bremsene virker, hvordan de blir utløst, og hvordan målingen foregår, ha innvirkning. Beskjed om bremsing kan også gis litt unøyaktig. Fra beskjed gis om bremsing til full brems virker vil det gå noen tideler av et sekund, og på denne tiden vil sporvogna ha kjørt ei viss strekning avhengig av hastigheten.

Spørsmål kan dermed stilles om denne strekningen uten full brems skal regnes med i bremsestrekningen fullt ut. Slik vi i testene har definert bremsestrekning, så er denne strekningen uten full brems regnet med. I kap. 3.4 på s. 8 er det redegjort for prosedyren for måling av bremselengde.

Det kunne vært mulig å prøve å eliminere usikkerheten nevnt over ved hjelp av noen antakelser om reaksjonstid, tilsetningstid for bremsen o.a.. Når det ikke er gjort, er det fordi antakelsene ville vært høyst usikre og variert fra enkelttest til enkelttest. Det ville derfor vært en fare for å introdusere nye usikkerheter, og i verste fall kommet til gale konklusjoner. Dessuten er det grunn til å tro at usikkerheten er størst ved korte bremselengder fordi tidsvinduet uten full brems er relativt sett større enn ved lange bremselengder. De kortere bremselengdene under gode forhold representerer også i seg selv en sikkerhetsmessig sikrere tilstand enn de lengre og behøver dermed ikke samme fokus som bremselengder under de mer usikre forholdene med magnesiumklorid som er temaet for denne studien. Større måleusikkerhet for korte bremselengder kan ev. være et problem for nøyaktigheten ved sammenlikninger, men er neppe et problem i en *rangering* av bremselengder ved ulike forsøksbetingelser.

4.3 Hastighet når bremsing innledes

Måling av bremselengde har liten verdi uten tilhørende måling av den hastigheten man har når bremsingen innledes. For å ha håp om å få nøyaktige hastighetsdata ble det som nevnt i kap. 3.4 brukt GPS. For føreforhold med god friksjon kan man med god nøyaktighet lese av hastigheten ved bremsing idet tid-hastighetskurven får et plutselig og bratt fall. Når friksjonsforholdene er dårlige vil det kunne være vanskeligere å avlese hastigheten nøyaktig siden fallet til kurven er mindre markert. I slike tilfeller har det vært nødvendig å gjøre en antakelse om at bremsing inntreffer når hastigheten faller med mer enn ca. 1 km/t pr. sekund, dvs. en retardasjon på ca. 0,3 m/s². Denne antakelsen virker rimelig ut fra kurveforløpene, og den naturlige retardasjon på grunn av sporvognas grunnmotstand ved rulling uten pådrag vil ikke komme opp i så høye verdier.

5 Data fra bremsetestene inkl. diskusjon

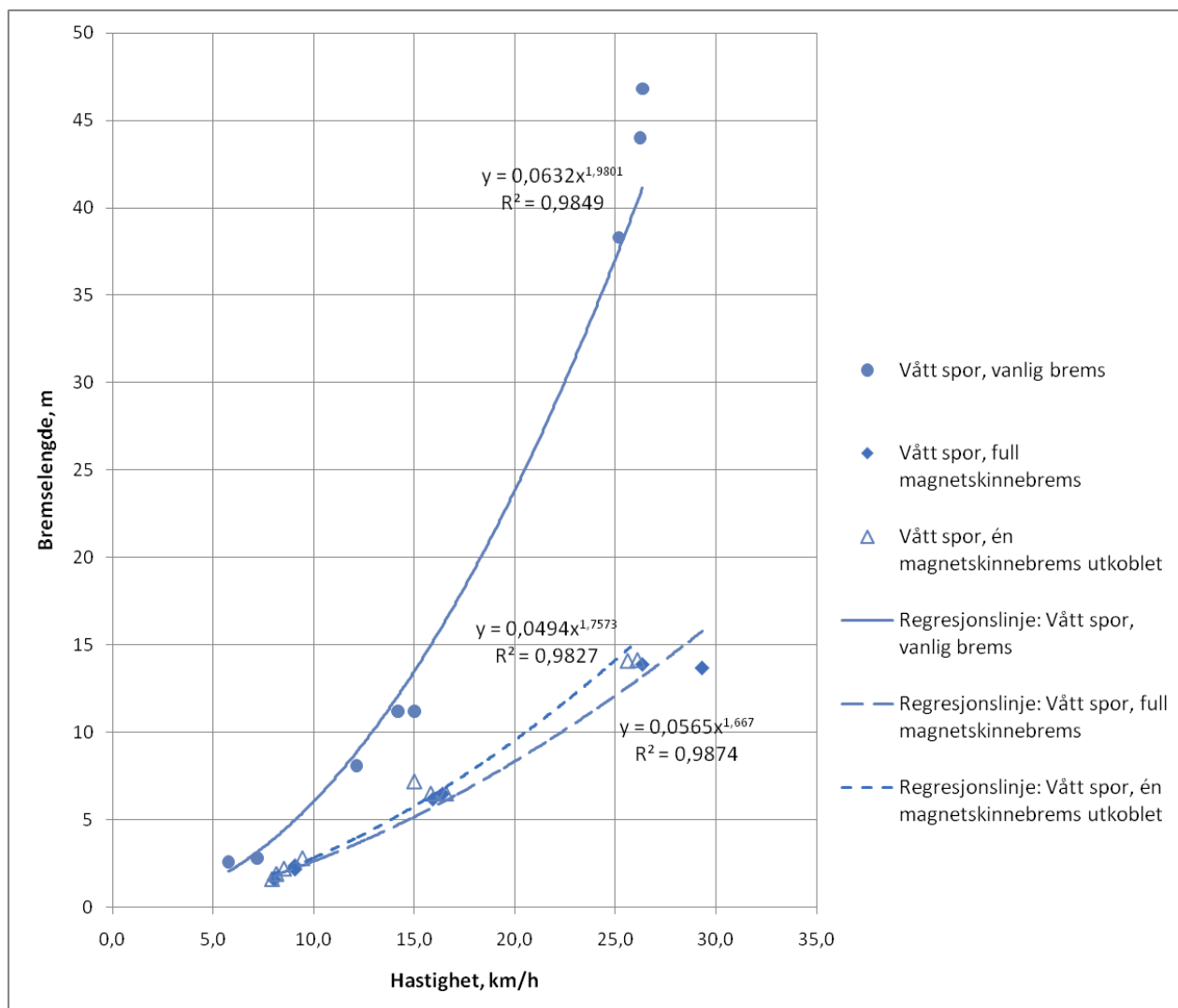
5.1 Bremsetester gruppert etter føreforhold

Et viktig aspekt er å få klarlagt bremselengder ved ulike føreforhold. Bremselengder er presentert som funksjon av hastighet med føreforhold i den rekkefølge testene ble gjort.

Det er også funnet regresjonskurver, der likningene og R²-verdiene er ført opp på diagrammene i tilknytning til de tilhørende kurvene.

5.1.1 Vått spor

Denne testen ble kjørt natt til 24. mars. Sporet var fuktig pga. smeltevann, men under forsøkets gang ble det også vannet med medbrakt vann. Bremselengdene er gitt i figur 7.

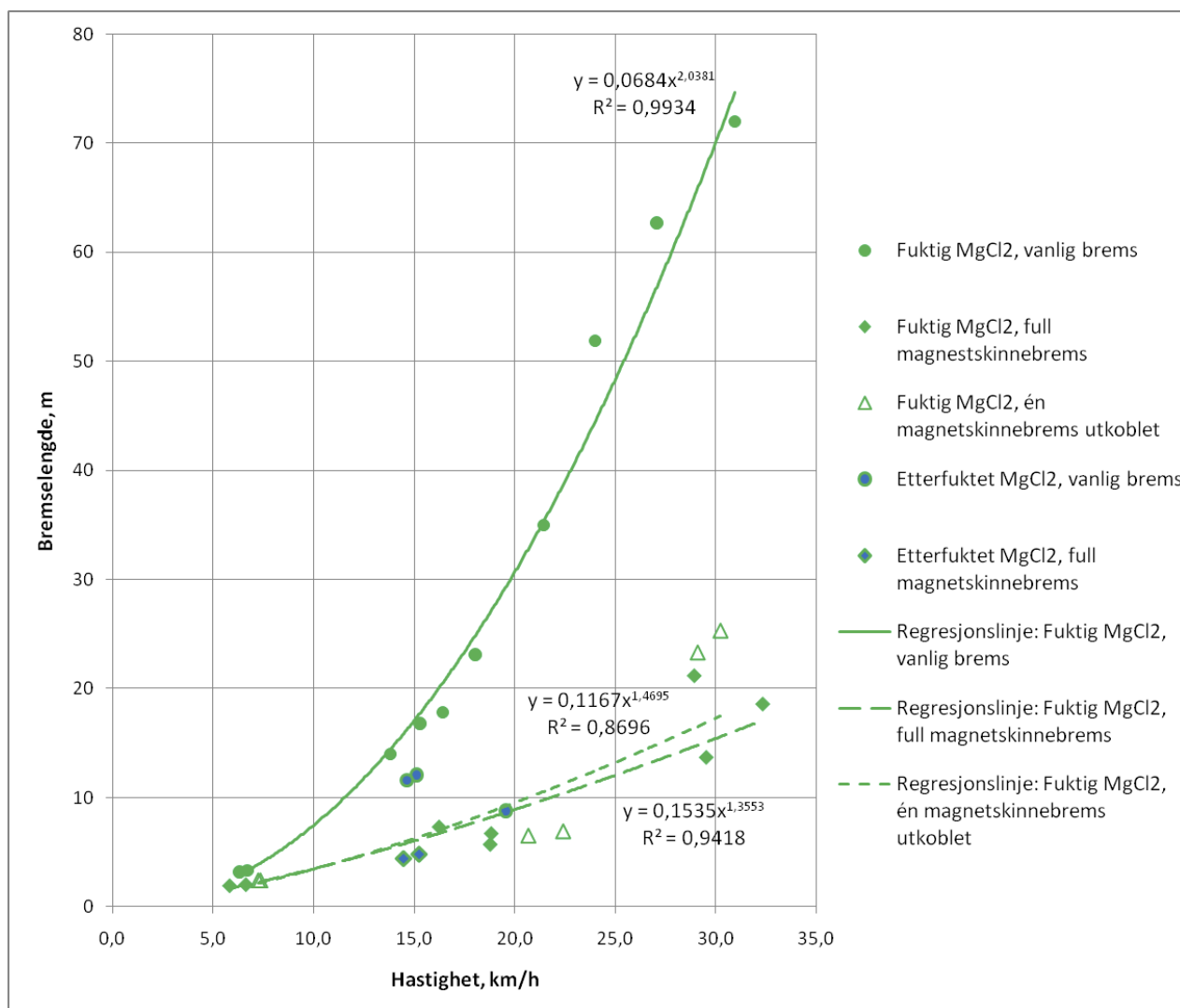


Figur 7: Vått spor. Bremselengder som funksjon av hastighet og bremsemetode.

Vi ser fra figur 7 at magnetskinnebremsen kutter ned bremselengden til ca. en tredjedel. Full magnetskinnebrems gir noe bedre bremsing enn når én av de fire bremsene er utkoblet, men forskjellen er mindre enn man skulle vente.

5.1.2 Spor med fuktig magnesiumklorid

Denne testen ble kjørt natt til 24. mars, fra ca. kl. 0120 – dvs. en drøy time etter utlegging av magnesiumkloridløsning. Etter at det ordinære forsøket var over ble sporet vannet for å fukte magnesiumkloriden, deretter kjørt fem tester med tilsiktet hastighet 15 km/t – tre med vanlig brems og to med full magnetskinnebrems. Bremselengdene er gitt i figur 8.



Figur 8: Spor med fuktig magnesiumklorid, inkludert tester med etterfuktet magnesiumklorid. Bremselengder som funksjon av hastighet og bremsemetode.

Vi ser fra figur 8 at magnetskinnebremsen kutter ned bremselengden til under en fjerdedel for de høyeste hastighetene. Full magnetskinnebrems gir noe bedre bremsing enn når én av de fire bremsene er utkoblet, men forskjellen er mindre enn man skulle vente.

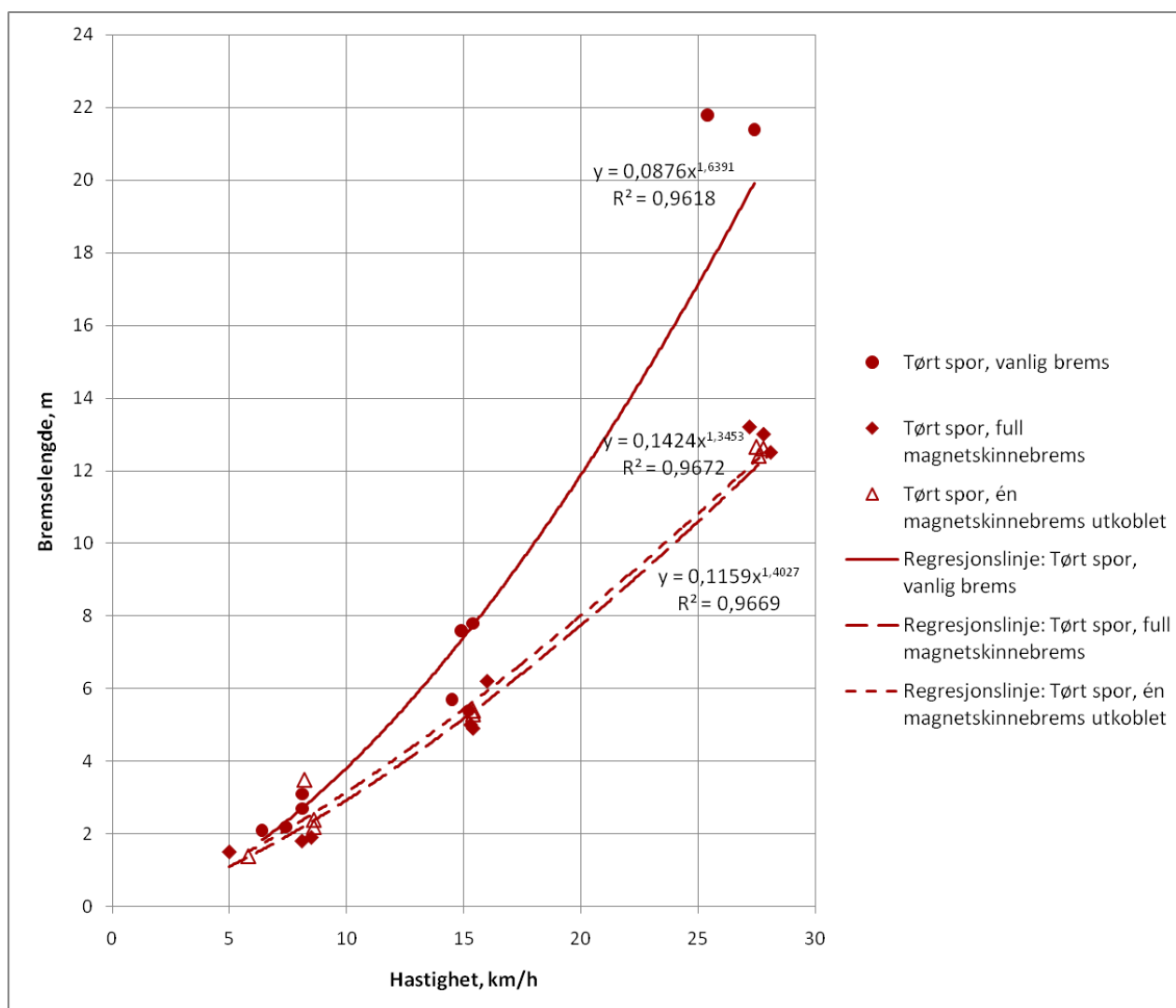
Bremsing med én magnetskinnebrems utkoblet ser ikke ut til å ha noe å si for bremselengden i forhold til full magnetskinnebrems ved moderate hastigheter – forskjellen ser ut til å bli større for hastigheter rundt 30 km/t. Spriket i bremselengde mellom 15 km/t og 30 km/t med én magnetskinnebrems utkoblet er påfallende og gjør at regresjonen har en noe dårligere korrelasjonskoeffisient (R^2). Årsaken til dette er uklart, men én teori kan være at magnetskinnebremsen gir dårligere effekt ved høye hastigheter. En annen kan være at magnesiumkloriden tørket under forsøkets gang og at dette gjorde at bremselengden ble lengre –

tørket magnesiumklorid ser ut til å gi lengre bremselengde enn fuktig, se figur 13. Som et tredje forhold nevnes at utløsning av magnetskinnebrems samtidig utløser sandstrøingsapparatene, noe som gjør at det blir mere sand på skinnene etter hvert som det gjøres flere tester.

På grunn av noe usikkerhet rundt dette med tørking av magnesiumkloriden, ble sporet vannet etter at de planlagte forsøkene var over. Magnesiumkloriden ble dermed noe utvannet, og det som var igjen var godt fuktet. Deretter ble det kjørt fem ekstra tester med tilsiktet hastighet 15 km/t med vanlig brems (tre tester) og med full magnetskinnebrems (to tester), jf. punktene fylt med blått i figur 8. Det ser ut til at bremselengdene blir noe redusert som følge av vanningen – særlig for vanlig brems. Dette skyldes trolig en kombinert effekt av at fuktig magnesiumklorid gir kortere bremselengder enn tørr (jf. kap. 5.2), samt at med mindre magnesiumklorid tenderer sporet mer over til kun å være vått – noe som også gir kortere bremselengder (jf. figur 13).

5.1.3 Tørt spor

Denne testen ble kjørt natt til 7. mai. Bremselengdene er gitt i figur 9.



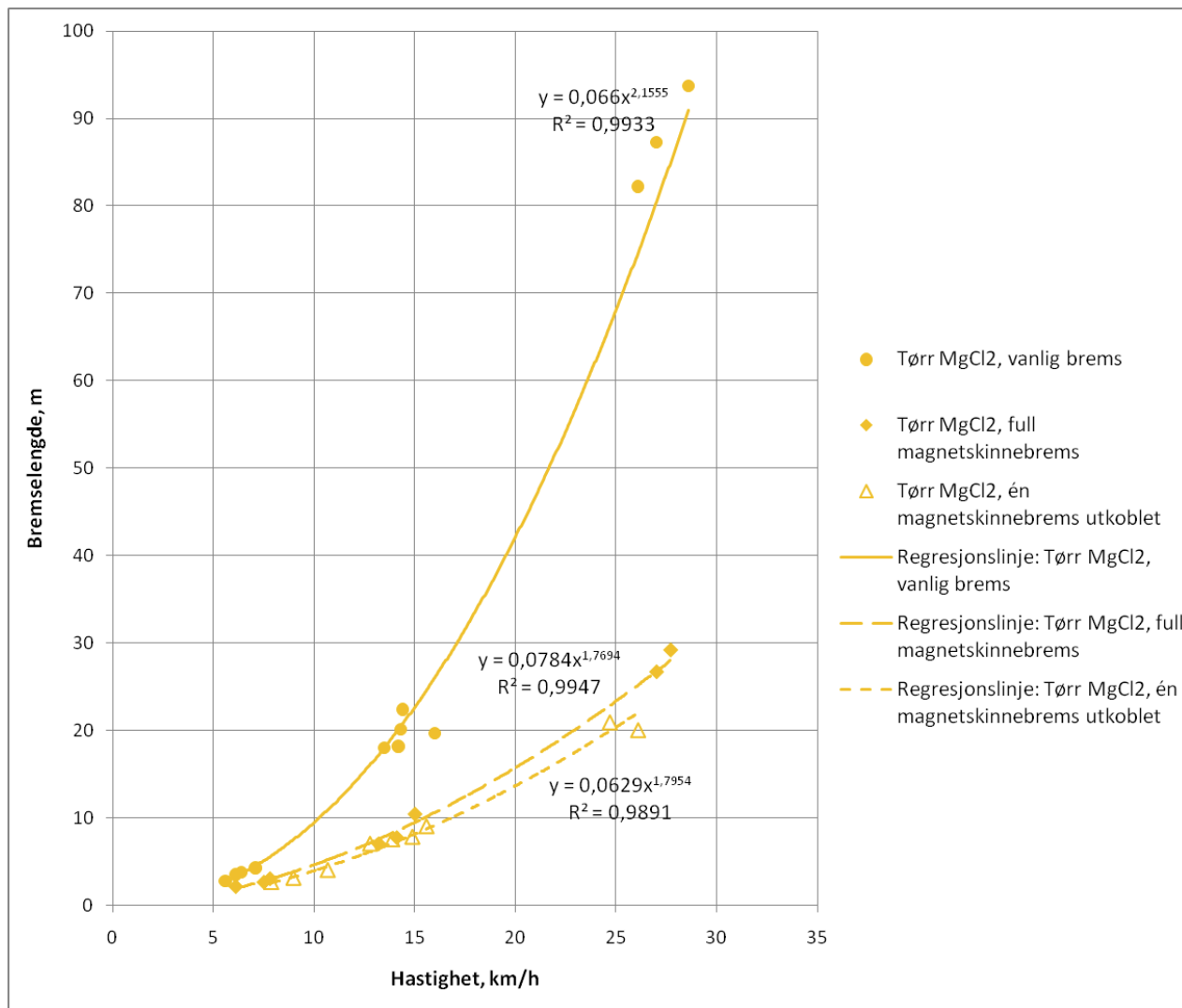
Figur 9: Tørt spor. Bremselengder som funksjon av hastighet og bremsemetode.

Vi ser av figur 9 at magnetskinnebremsen har god virkning, særlig ved høyere hastigheter. Det er liten og ingen forskjell på om det er 3 eller 4 virksomme bremses. Regresjonslinja for vanlig

brems greier ikke helt å fange opp de lengre bremselengdene ved høyere hastigheter – noe som muligens kan skyldes at bremseeffekten er noe dårligere ved høyere hastigheter.

5.1.4 Tørrt magnesiumklorid

Denne testen ble kjørt natt til 7. mai. Bremselengdene er gitt i figur 10.



Figur 10: Tørrt magnesiumklorid. Bremselengder som funksjon av hastighet og bremsemetode.

Vi ser fra figur 10 at magnetskinnebremsen kutter ned bremselengden til under en fjerdedel for de høyeste hastighetene. Full magnetskinnebrems gir noe bedre bremsing enn når én av de fire bremsene er utkoblet, men forskjellen er mindre enn man skulle vente.

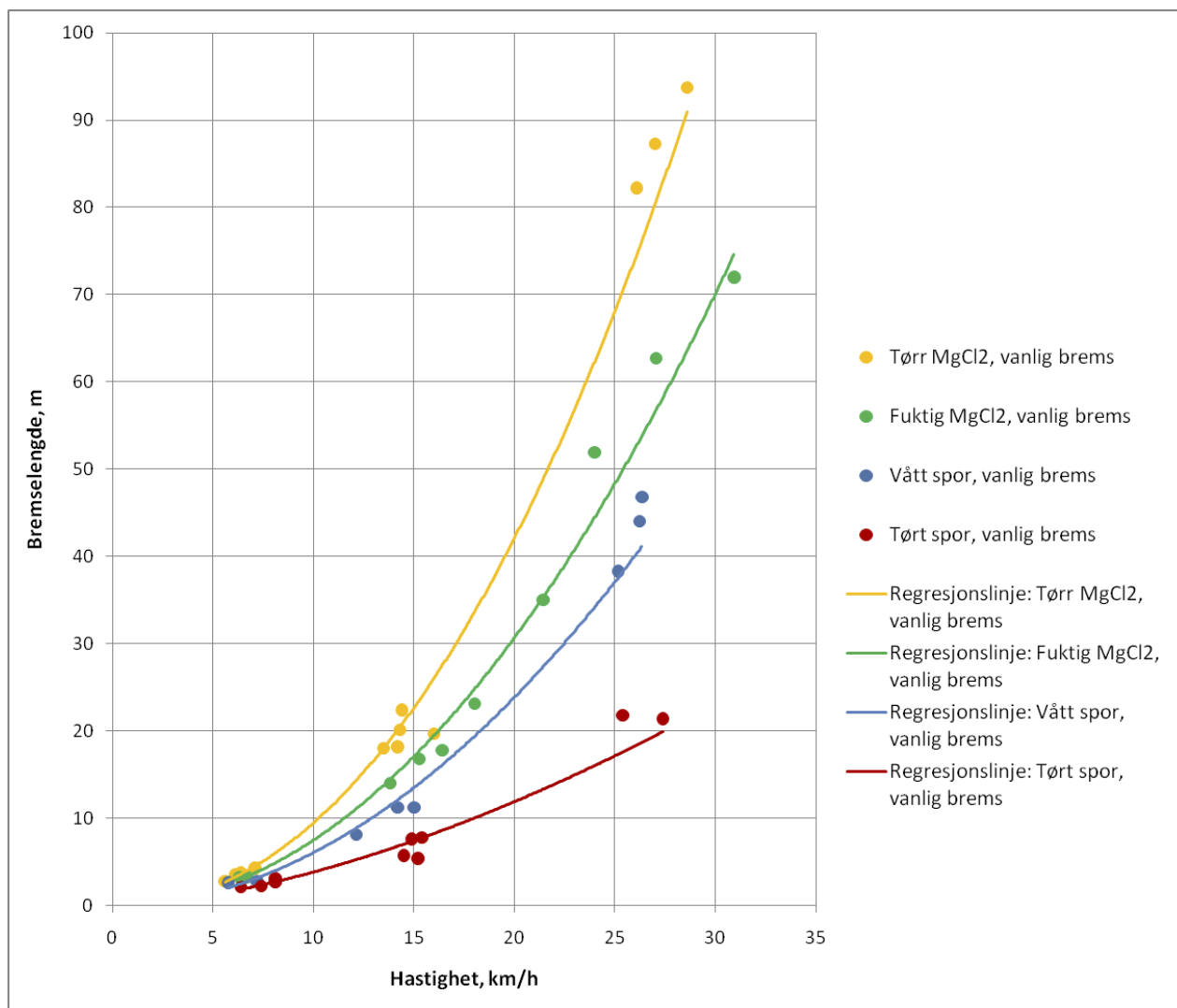
Av alle tester var det disse som ga de lengste bremselengdene, med én enkeltmåling på hele 93,7 m med hastighet før bremsing på 28,6 km/t.

5.2 Bremsetester gruppert etter bremsemetode

Vi skal her se på de samme dataene som i kap. 5.1, men gruppert etter bremsemetode.

5.2.1 Vanlig brems

Bremselengdene er gitt i figur 11.



Figur 11: Vanlig brems. Bremselengder som funksjon av hastighet og føreforhold.

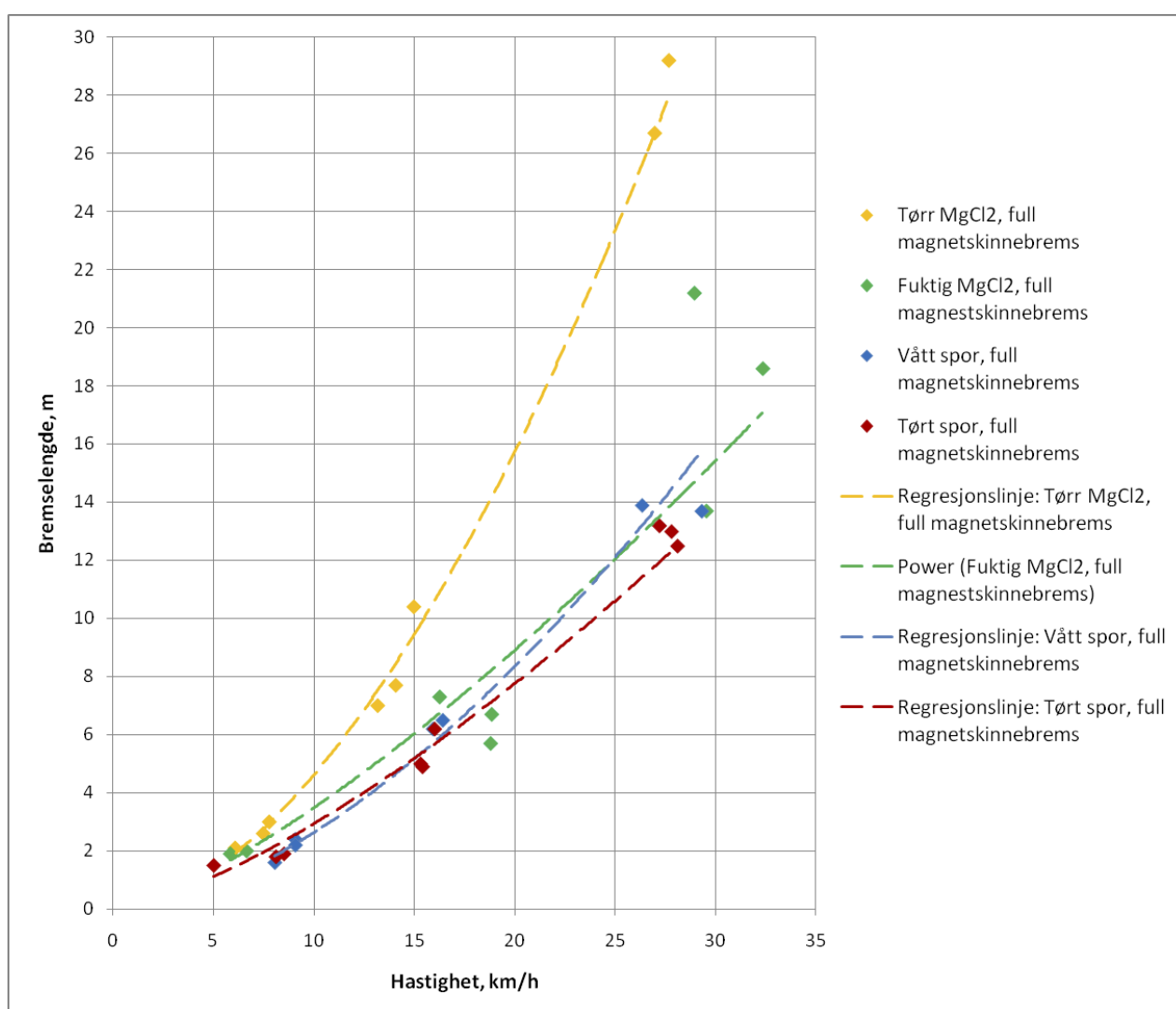
Vi ser fra figur 11 at tørt spor som forventet gir den korteste bremsestrekningen, fulgt av fuktig spor. Når det gjelder virkningen av magnesiumklorid ser det ut til at tørket magnesiumklorid gir markert lengre bremsestrekning enn fuktig magnesiumklorid. Dette er noe overraskende og motsatt av det som gjelder for et tørt spor kontra et som er fuktet med vann.

Årsaken til at magnesiumklorid gir lengre bremsestrekning kan muligens være den økte viskositeten. Vi så i kap. 2.4 at høyere viskositet ga mindre friksjon ved metallekstrudering, noe som trolig skyldes at det blir mindre direkte metall-mot-metall-kontakt. Når magnesiumkloriden tørker øker trolig viskositeten enda mer.

Et annet forhold som virker inn er at det ble dannet et mørkt, litt leiraktig belegg på skinnene der magnesiumkloriden var lagt ut. Dette belegget ble ikke observert på tørre eller vannfuktede skinner. Det krevdes noen overførter før dette belegget ble synlig, og det ble mer synlig jo mer magnesiumkloriden tørket opp. Fuktighet i dette stoffet vil trolig under trykk, som i kontaktpunktet mellom hjul og skinne, gjøre at det dannes et tyktflytende smøremiddel som gir liten mulighet for direkte hjul-skinne-kontakt. Representantene fra SHT som var til stede tok prøver av dette belegget for å få det analysert. Dette belegget ble også observert i etterkant av ulykken 5. november; og det var derfor positivt ut fra et testsynspunkt at våre forsøk greide å gjenskape dette belegget.

5.2.2 Full magnetskinnebrems

Bremselengdene er gitt i figur 12.



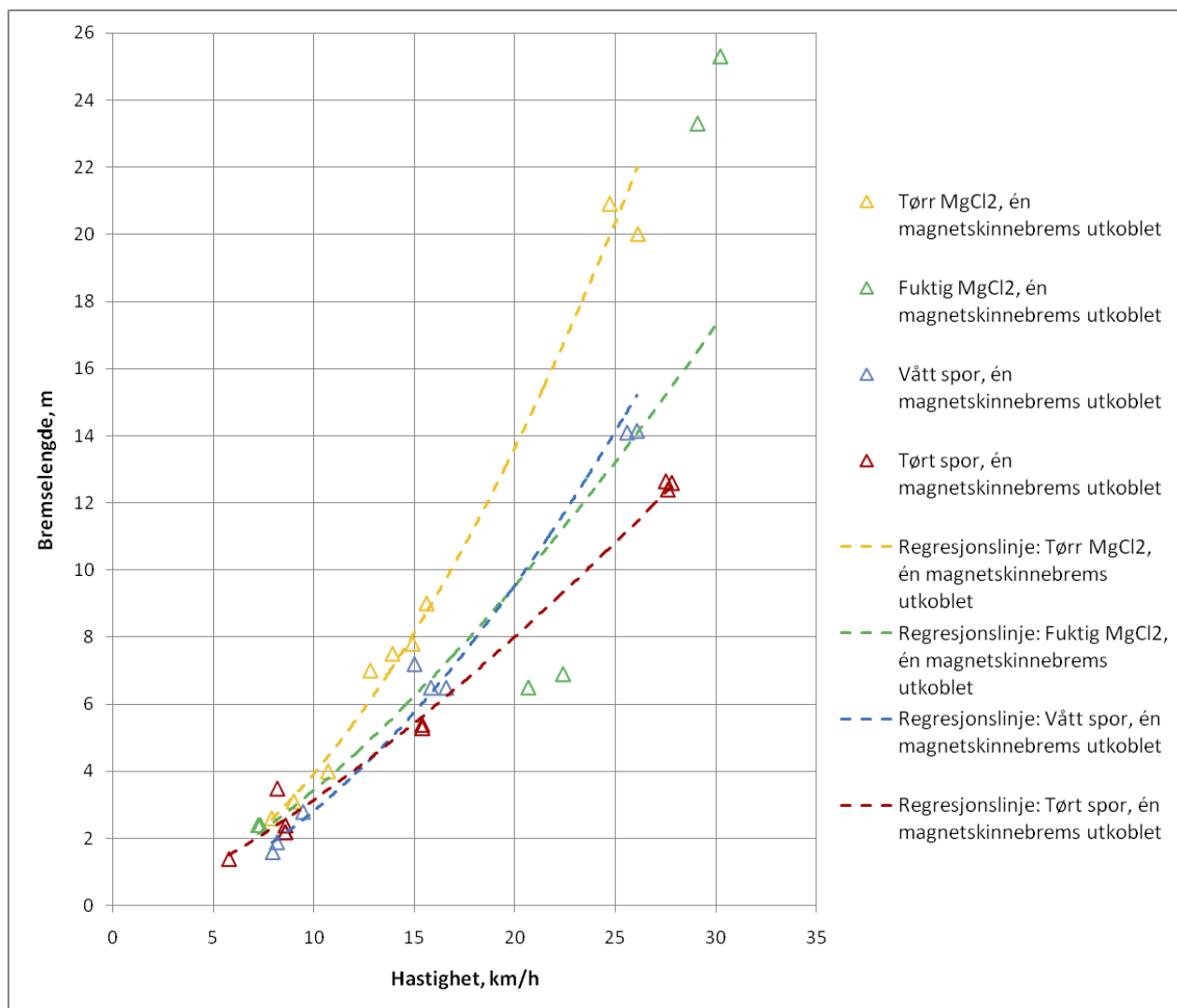
Figur 12: Full magnetskinnebrems. Bremselengder som funksjon av hastighet og føreforhold.

Vi ser fra figur 12 at det er bremselengdene for tørr magnesiumklorid som skiller seg noe ut i negativ retning med bortimot dobling av bremselengde. De andre føreforholdene har overraskende nok mindre å si dersom man bruker full magnetskinnebrems. Et lite forbehold om at

regresjonslinja for fuktig MgCl_2 ikke helt fanger opp de noe lengre bremselengdene ved de høyeste hastighetene.

5.2.3 Én magnetskinnebrems utkoblet

Bremselengdene er gitt i figur 13.



Figur 13: Én magnetskinnebrems utkoblet. Bremselengder som funksjon av hastighet og føreforhold.

Det er vanskelig å trekke entydige konklusjoner ut fra figur 13. Vi ser likevel noe av den samme tendensen som for full magnetskinnebrems, nemlig at tørket MgCl_2 gir lengst bremselengde og at tørt spor gir kortest bremselengde. For vått spor og for fuktig MgCl_2 er det vanskelig å avgjøre hva som gir lengst bremselengde, men det kan se ut som om fuktig MgCl_2 gir lengre bremselengder for høyere hastigheter.

5.3 Usikkerheter ved målingene

Usikkerheten kan deles inn i tre deler: Usikkerhet mtp. sammenliknbare forhold som ved ulykken, usikkerhet i testforholdene, usikkerhet ved målingene (måleunøyaktighet)

5.3.1 Usikkerhet mtp. sammenliknbare forhold som ved ulykken

- Værforhold: Disse var nokså like som ved ulykkestidspunktet, jf. kap. 3.5. Det er rimelig å anta at ev. forskjeller ikke har hatt avgjørende betydning på resultatene.
- Forhold ved sporet: Vanskelig å vite sikkert hvordan friksjonsforholdene var. Dette dekkes gjennom testingen av fire forskjellige føreforhold. Sporet har trolig litt fall på ulykkesstedet, noe som isolert sett vil gi lengre bremsestrekninger enn det vi hadde på teststrekningene våre.
- Trafikale forhold: Det er betydelig mer trafikk på ulykkesstedet enn på teststedet idet også ordinær trafikk går her – hvorav mye gjennomgangstrafikk fra Stavne/Marienburg, Byåsen og Byneset. På teststedet var det kun kollektivtrafikk og lokaltrafikk. Dette kan ha betydning for bortsliting og gjenpåføring av magnesiumklorid på skinnene. Hvordan denne effekten slår ut er vanskelig å si.
- Magnesiumklorid: Vi benyttet samme utleggeraggregat som det som ble brukt i forkant av ulykken, med samme type magnesiumkloridløsning og med samme mengde magnesiumklorid pr. kvadratmeter. Hvorvidt restmengden av magnesiumklorid på ulykkestidspunktet kan sammenliknes med mengden under våre forsøk er vanskelig å si. Vi greide ikke helt å gjenskape effekten av tørket magnesiumklorid i og med at den ikke fikk ligge og tørke i så lang tid som ønsket før forsøkene startet, jf. kap. 3.4. Effekten på resultatene er likevel markant forskjellig fra fuktig magnesiumklorid.

5.3.2 Usikkerhet i testforholdene

- Friksjonsforhold: Var disse jevne under alle tester? Vi har mistanke om at for forsøkene med magnesiumklorid endret friksjonen seg under testingen pga. tørking, og pga. utlagt sand fra sporvognas sandaggregater under bremsing med magnetskinnebrems. Noe av dette er diskutert under resultatpresentasjonene foran.
- Bremseseffekt til sporvogna: Denne ble vurdert å være nokså jevn under testene.
- Reaksjonstid til vognfører og bremsesystem: Kan gi noe utslag, relativt mest på kortere bremselengder. Tror ikke dette gir utslag i forhold til hovedkonklusjonene.

5.3.3 Usikkerhet ved målingene - måleunøyaktighet

- Start bremsing: Kan noen ganger være vanskelig å detektere ut fra GPS-målinger av hastighet, dvs. hastighet ved start bremsing kan være unøyaktig (brukte som definisjon at bremsing inntreffer når hastigheten begynner å falle med ca. 1 km/t pr sekund dvs. retardasjonen er ca. 0,3 m/s²)
- Bremsested: Kan være vanskelig å treffe helt nøyaktig ift. bremsested, dermed kan bremselengder bli noe feil.
- GPS-målinger av hastighet: Det er relativt mye variasjon mellom enkeltmålinger. Derfor ble hastigheten tolket gjennom et bevegelig gjennomsnitt av 50 enkeltmålinger, noe som så ut til å kunne fastslå hastigheten med bra nøyaktighet.

6 Konklusjoner

Følgende konklusjoner kan trekkes fra det arbeidet som er gjort

- Magnesiumklorid ser ut til å gi til dels betydelig lengre bremsestrekninger, særlig for vanlig brems.
- Tørket magnesiumklorid ser ut til å gi de lengste bremsestrekningene, altså lengre enn våt magnesiumklorid.
- Bruk av magnetskinnebrems reduserer bremselengdene betydelig ved alle føreforhold.
- Forskjellen i bremselengder er mindre ved bruk av magnetskinnebrems ved de forskjellige føreforholdene enn ved bruk av vanlig brems.
- En magnetskinnebrems utkoblet ser ikke ut til å ha avgjørende betydning på bremselengden sammenliknet med full magnetskinnebrems.
- Temperaturens innvirkning ble ikke testet. I samråd med representanter fra SHT ble det enighet om å gjøre forsøk med så like betingelser som praktisk mulig som på ulykkestidspunktet. Derfor var det ingen større temperaturvariasjoner mellom de ulike testene. Magnesiumklorid senker frysetemperaturen betydelig, og det antas at fuktighet i flytende form vil være til stede i de fleste tilfeller der magnesiumklorid er blitt brukt.
- Det er vanskelig å si noe om varigheten av utlagt magnesiumklorid ut fra våre forsøk. Det kan likevel være nærliggende å anta at så lenge det finnes et mørkt belegg på skinnene, tilsvarende det vi fikk i våre tester, så er det magnesiumklorid til stede. Magnesiumkloriden vil forsvinne under spyling eller kraftig regnvær.

7 Forslag til videre arbeid

Vi har følgende forslag til videre arbeid:

- Publisering av arbeidet (etter at rapporten er frigitt): Populærvitenskapelig i et egnet forum (seminar, tidsskrift, o.a.) og ev. vitenskapelig (konferanse, vitenskapelig tidsskrift)
- Langtidstesting av magnesiumklorid. Hvor lenge tar det før magnesiumkloriden er blitt slitt bort av trafikken – forutsatt tørre værforhold?
- Hva er effekten på friksjonsforholdene ved bruk av andre stoffer som kalsium magnesium acetat (CMA), natriumklorid, sukkerstoffer o.a.?
- Bør det utarbeides et regelverk i form av krav til testing av friksjonsforhold for sporvogn som går i gater der det brukes stoffer til støvbinding og/eller snøsmelting? Med de resultatene som her foreligger er dette noe SINTEF anbefaler å gjøre.

8 Referanser

1. Nohejl, T.C., *Method of improving the coefficient of friction between contacting metal surfaces and article produced thereby*, Application no. 2 787 967, U.S.P. Office, Editor. 1957, National Alluminate Corporation: USA. p. 5.
2. Gustafsson, M., *Dust binding: Practical trials in Sweden*, in *Air Quality Alongside Motorways*. 2009: Rotterdam, The Netherlands.

3. Xianming Shi, e.a., *Evaluation of Alternative Anti-icing and Deicing Compounds Using Sodium Chloride and Magnesium Chloride as Baseline Deicers - Phase I*. 2009, Western Transportation Institute, Montana State University: Denver. p. 292.
4. Martinez, F.C. and R.A. Poecker, *Evaluation of Deicer Applications on Open Graded Pavements*. 2006, Oregon Department of Transportation: Salem, Oregon, USA.
5. Vaa, T., *Forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo. Sesongene 2001/2002 – 2004/2005. Sluttrapport*. 2005, Statens vegvesen Vegdirektoratet Teknologidivisjonen: Oslo.
6. Vaa, T. *Norwegian Experience with Use of Magnesium Chloride*. in *Sixth International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology*. 2004. Spokane, Washington, USA: Transportation Research Board.
7. Vaa, T., *Forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning på Gjøvik / Toten. Sesongen 2004/2005*. 2005, Statens vegvesen Vegdirektoratet Teknologidivisjonen: Oslo.
8. Syahrullail, S., et al., *The Effect of Lubricant Viscosity in Cold Forward Plane Strain Extrusion Test*. European Journal of Scientific Research, 2009. **38**(4): p. 545-555.

Vedlegg 1
Produktdatablad for MG-Kombi, magnesiumklorid
PRODUKTDATABLAD

Versjon: MG-Kombi 060224


MG-Kombi, magnesiumklorid

Utarbeidet:	24. februar 2006/KSH	
Produkt:	Mg-Kombi, magnesiumklorid	
Kvalitet:	Magnesiumklorid ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)	
Anvendelse:	Støvbinding på grusveier om sommeren og tining av snø/is om vinteren.	

Produkttegniskaper:	1. Støvbinding: Hurtig virkning, god langtidseffekt		2.
	Snø og is tining: Effektiv også ved lave temperaturer (-25 °C)		

Kjemiske normalverdier:	$MgCl_2$	47,0 %	Pb	0,1 ppm
	$CaCl_2$	2,10 %	As	0,1 ppm
	KCl	0,20 %	Cd	0,01 ppm
	NaCl	0,50 %	Hg	0,1 ppm
	$CaSO_4$	0,02 %	H_2O	Opp til 100%
	$MgSO_4$	0,1 %		
	Fe	10 ppm	E535	0,00000 %

Siktefraksjon:	Flak	0,3 - 0,8mm		

Fysikalske data:	Kokepunkt:		Bulktetthet:	800-900kg/dm ³
	Smeltepunkt:	117 °C	pH i løsning:	ca 5-8 (20° C)
	Spesifikk vekt:	1,604g/cm ³	Farve:	Hvit

Koder / Varenummer:	EAN 1:	7038490025053
	EC-NR:	2320-94-6
	CAS NR:	7791-18-6
	EPD (KK)	
	NKL:	

Emballasje:	Enhet : sekk	1000kg og 25kg
	Pall:Engangspall	40stk pr pall a 25 kg

Referanse	Dead Sea Works Ltd, Deusa International GmbH, NEDMAG Industries.
------------------	--

Lagring:	Lagres tørt. Kan også lagres ute hvis sekkene blir godt tildekket mot fuktighet og sollys.
-----------------	--

Ved spørsmål, kontakt: GC Rieber Salt AS, Tlf.: 23 03 50 90, Fax: 22 19 77 07, e-Mail: salt.oslo@gcrieber.no

Tilhørende HMS Datablad: MG.Kombi, Magnesiumklorid - 060223

Vedlegg F:

FLO RAPPORT:

**Undersøkelse av partikler fra
skinnegangen**



Forsvarets laboratorietjeneste

Analytisk laboratorium

Kjemi og materialteknologi

FLO/V/LHK

Oppdragsgiver		Teknisk Rapport												
SHT v/ Kåre Halvorsen														
Gjenpart		Oppdragsgivers referanse Utkast 22/9-10												
Tittel														
Undersøkelse av partikler fra skinnegangen til Gråkallbanen														
Rapportnr	Dato for mottak av oppdrag	Dato for utgivelse												
100921.01	2010-09-17													
Jobbnr / Prøvenr	Antall sider	Antall vedlegg												
M-10-244	5	-												
Utarbeidet av	Verifisert av	Sjef Analytisk laboratorium												
Marianne E Andreassen	Øyvind Frigaard	Tor Arne Gustavsen												
Innledning														
Forsvarets laboratorietjeneste, kjemi og materialteknologi, mottok fire partikkelprøver fra skinnegangen til Gråkallbanen. Oppdragsgiver ønsket å få verifisert partiklene med EDS i SEM. Prøvene ble merket: <table><tr><td>M-10-244-1</td><td>Sporet etter mg. sk. b. brukt</td><td>"Vann"</td></tr><tr><td>M-10-244-2</td><td>Sporet etter normal brems</td><td>"MgCl₂"</td></tr><tr><td>M-10-244-3</td><td>Sporet etter mg. sk. br. Brukt</td><td>"MgCl₂"</td></tr><tr><td>M-10-244-4</td><td colspan="2">Sort belegg skrap av skinnegang. Gråkallbanen 7/5-2010.</td></tr></table> Partiklene festet på karbontape ble pådampet gull for nærmere undersøkelser med EDS i SEM.			M-10-244-1	Sporet etter mg. sk. b. brukt	"Vann"	M-10-244-2	Sporet etter normal brems	"MgCl ₂ "	M-10-244-3	Sporet etter mg. sk. br. Brukt	"MgCl ₂ "	M-10-244-4	Sort belegg skrap av skinnegang. Gråkallbanen 7/5-2010.	
M-10-244-1	Sporet etter mg. sk. b. brukt	"Vann"												
M-10-244-2	Sporet etter normal brems	"MgCl ₂ "												
M-10-244-3	Sporet etter mg. sk. br. Brukt	"MgCl ₂ "												
M-10-244-4	Sort belegg skrap av skinnegang. Gråkallbanen 7/5-2010.													
Resultat														
Representative bilder i SEM (BEI) med tilhørende EDS spekter av observerte partikler er vist i Figur 1 til og med Figur 4. Lyse områdene består av mangan stål og de grå områdene består av salter og mineraler.														
Konklusjon														
Det ble observert sammensatte partikler bestående av manganstål, mineraler og salter i alle fire prøvene.														

Utdrag av rapporten må ikke gjengis uten skriftlig godkjenning fra Analytisk laboratorium.

Postadresse :

FLO/V/LHK Analytisk laboratorium
Postboks 10
N-2027 KJELLER

Vareadresse

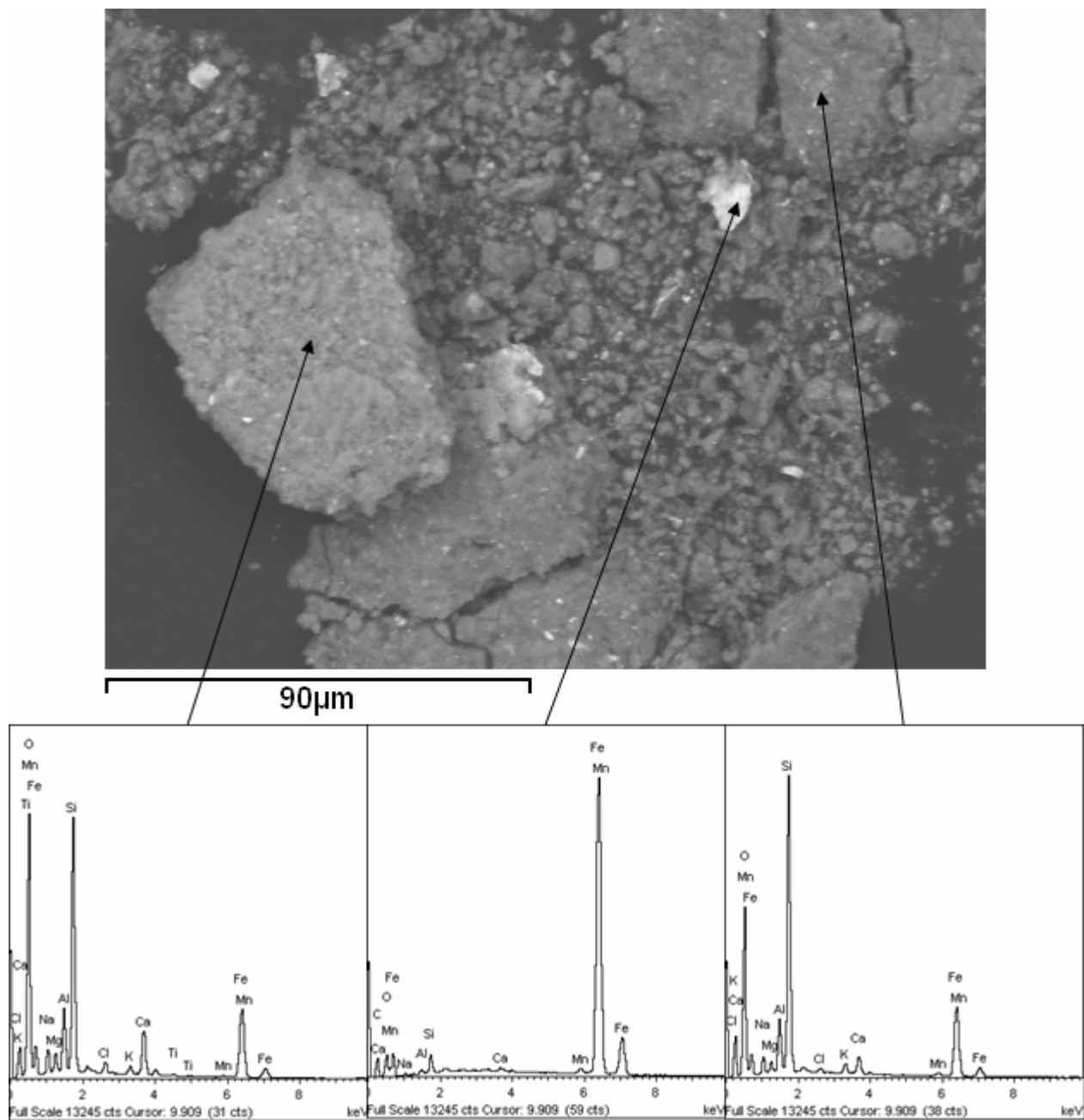
FLO/V/LHK Analytisk laboratorium
Fetveien 80-84
N-2027 KJELLER

Telefon :

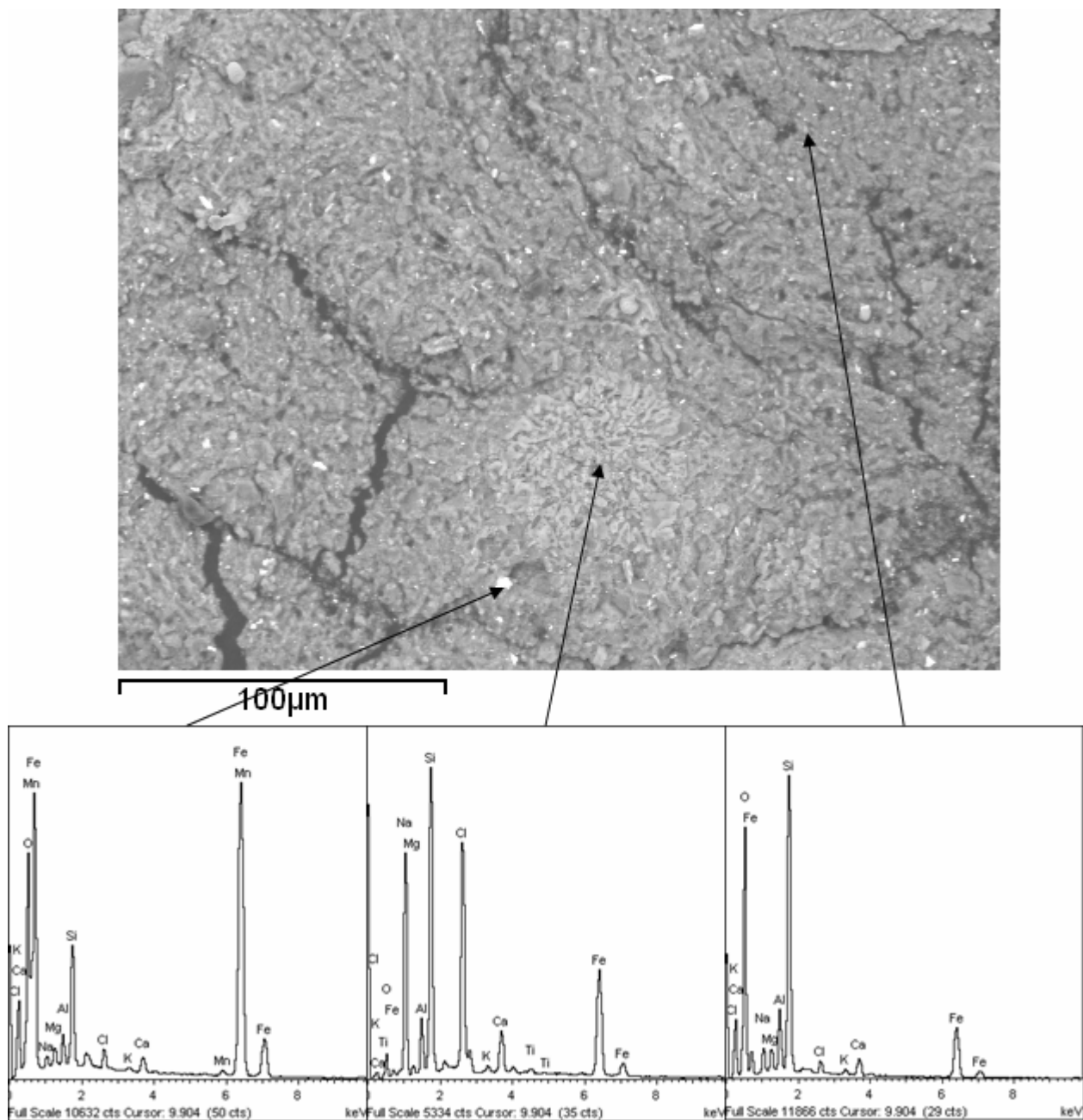
+47 63 80 87 41
Mil: 505 8741

Telefax :

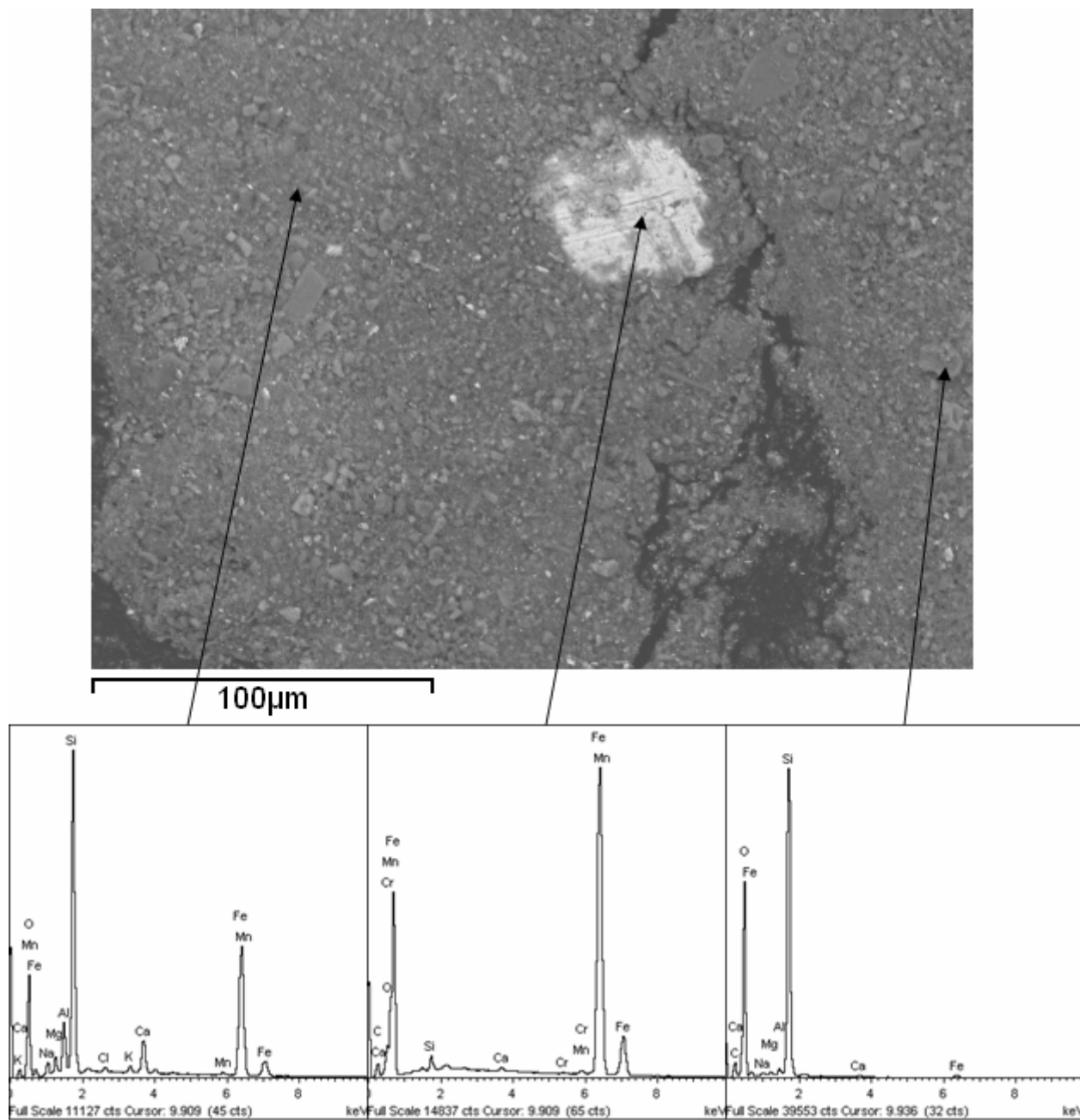
+ 47 63 80 87 58
Mil: 505 8758



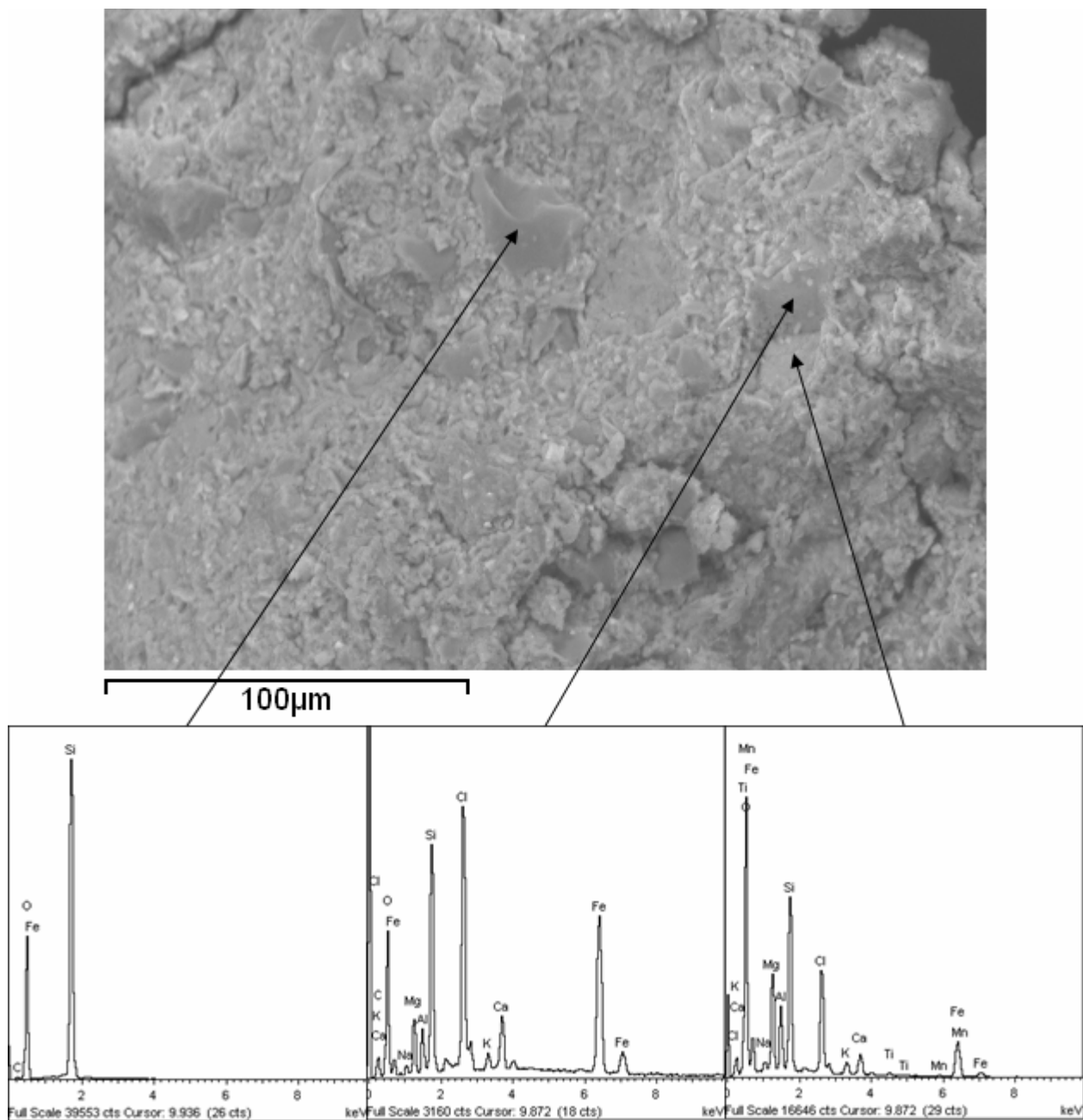
Figur 1 Representativt bilde i SEM (BEI) med tilhørende EDS spekter av partikler fra prøve M-10-244-1.



Figur 2 Representativt bilde i SEM (BEI) med tilhørende EDS spekter av partikler fra prøve M-10-244-2.



Figur 3 Representativt bilde i SEM (BEI) med tilhørende EDS spekter av partikler fra prøve M-10-244-3.



Figur 4 Representativt bilde i SEM (BEI) med tilhørende EDS spekter av partikler fra prøve M-10-244-4.