

RAPPORT

Eksplosjons- ulykke ved mobil produksjon av bulksprengstoff

Rapport fra prosjektgruppen i DSB som har gjennomgått eksplosjonsulykken i Drevja den 17.12.2013



Utgitt av: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) 2014

ISBN: 978-82-7768-354-6

Grafisk produksjon: Erik Tanche Nilssen AS, Skien



Eksplosjonsulykke ved mobil produksjon av bulksprengstoff

Rapport fra prosjektgruppen i DSB som har gjennomgått
eksplosjonsulykken i Drevja den 17.12.2013

INNHold

01	Sammendrag	5
1.1	Hendelsen som førte til eksplosjon	6
1.2	Godkjenninger, samsvarserklæring og tilvirkningstillatelse.....	6
1.3	Mobil produksjon av sprengstoff med MEMU F-114	7
1.4	Analyse av hendelsen som medførte eksplosjon	7
1.5	Tiltak.....	8
02	Innledning	9
2.1	Mandat og organisering	10
2.2	Bakgrunn.....	10
2.3	Relevant regelverk.....	11
03	Hendelsen som førte til eksplosjon	13
04	Enkelte relevante krav til MEMU og tilvirkning av bulksprengstoff på brukersted	17
4.1	Krav til risikoanalyse og vurdering av fremlagt dokumentasjon.....	18
4.2	Godkjenning av F-114 av Statens vegvesen	19
4.3	Konstruksjon, utførelse og prøving av tanker.....	20
4.4	Transport av UN3375.....	20
4.5	Godkjenning av MEMU F-114 og tilvirkningstillatelse	21
4.6	Krav til vedlikehold av MEMU	21
05	Mobil produksjon av bulksprengstoff med F-114	23
5.1	Kjøretøyhistorikk.....	24
5.2	Produksjon av Riomex SC 7000	24
06	Utgangsstoffer til sprengstoffproduksjon	27
6.1	Teknisk ammoniumnitrat.....	28
6.2	Ammoniumnitrat emulsjon.....	30
6.3	Dieselolje.....	30
6.4	Natriumnitritløsning	31
6.5	Eddiksyreløsning	31
07	Relevante ulykker	33
7.1	Ammoniumnitrat	34
7.2	Brann ved transport av ammoniumnitrat	34

08	Informasjonsinnhenting	37
09	Analyser og vurderinger	41
	9.1 Analyse av årsak til brann	42
	9.2 Analyse av eksplosjonsstedet	42
	9.3 Ladningsberegning basert på skader på bebyggelse	45
	9.4 Ladningsberegning basert på rystelsesmåling	46
	9.5 Analyse av spredningen av fragmenter og vitale funn	47
	9.6 Analyse av bildemateriale, intervjuer og video	52
	9.7 Analyse av energimengden på bilen	53
	9.8 Analyse av kjemikalienes egenskaper på eksplosjonstidspunktet	53
	9.9 Omregning fra TNT-ekvivalenter til mengde ANPP og ANE	54
10	Oppsummering og diskusjon av gjennomførte analyser	55
	10.1 Ladningsstørrelsen.....	56
	10.2 Eksplosjon på bakken	56
	10.3 Initiering av eksplosjonen.....	57
	10.4 Detonasjon i begge tankene	57
	10.5 Trykkbølgens effekt på nære omgivelser	57
11	Tiltak	59
	11.1 Endret praksis ved søknad om tilvirkning av eksplosiv vare ved bruk av MEMU	60
	11.2 Oppfølging av avvik	61
	11.3 Tiltak til utredning	61
12	Vedleggsliste	67
	Vedlegg 1: Notat fra SVV - fv. 78 Arm Ømmervatn - Bergarter i masseutak og deres egenskaper.	69
	Vedlegg 2: Ladningsberegning basert på avstander og skadde objekter	77
	Vedlegg 3: Teknisk notat - Ekvivalent detonerende ladning estimert ut fra målte vibrasjoner	100
	Vedlegg 4: Notat fra FFI - Spregningsulykke i Drevja 17. des 2013	120
	Vedlegg 5: Bildeanalyse fra DSB	130
13	Referanseliste	135

KAPITTEL

01

Sammendrag



1.1

HENDELSEN SOM FØRTE TIL EKSPLOSJON

I forbindelse med sprengningsarbeid i veiprojektet Fv. 78 Arm Ømmervatn ankom Maxam sin mobile enhet for produksjon av bulksprennstoff på brukersted, MEMU F-114 Drevja den 17.12.2013 ca. kl. 12:00 etter 160 km transport fra depotstasjon ved Brønnøy Kalk, Norge. F-114 var lastet med utgangsstoffer til produksjon av bulksprennstoff og hovedkomponentene var ANPP og ANE.

Produksjonen ble satt i gang og ca. kl. 13:00 ble det identifisert brann på høyre side av kjøretøyet front. Etter avsluttet slukkeforsøk ble anleggsområdet og bolighus i nærheten evakuert. Politi og brannvesen ble kontaktet og ankom stedet.

Brannforløpet var på ca. 2,5 time. Det er sannsynlig at det etter ca. 1,5 time brant på bakken og foran på bilen, og at brannen etter ca. 2 timer omsluttet hele bilen og førerhytten var utbrent. De siste 5 minuttene, fra ca. 2 timer og 21 minutt og frem til eksplosjonen ble brannen betydelig intensivert.

Det var store materielle skader på omgivelsene etter eksplosjonen. Ett bolighus brant helt ned, flere bygninger fikk strukturelle skader og ødelagte vinduer og anleggsmaskiner på området ble skadet. Ingen personer ble skadet.

1.2

GODKJENNINGER, SAMSVARSERKLÆRING OG TILVIRKNINGSTILLATELSE

F-114 ble førstegangsgodkjent i henhold til ADR 17. juni 2010 av Statens vegvesen, Risløkka Trafikkstasjon. Etter dette har kjøretøyet gjennomgått periodisk kontroll, siste gang 12. februar 2013. Tankene med tilhørende utstyr er godkjent av DNV i henhold til ADR 11. mai 2010.

For F-114 er godkjenning av MEMU og tilvirkningstillatelse etter eksplosivforskriften gitt samtidig ved DSBs vedtak datert 8. juni 2010. Tillatelsen gjelder for produkter i Riomex-serien.

Ifølge ADR skal UN 3375 være godkjent av vedkommende myndighet. Tanktransport av UN3375 er videre underlagt et særskilt krav om at stoffets egnethet for transport i tank skal være prøvet med en metode som er godkjent av vedkommende myndighet. Maxam har fremlagt dokumentasjon fra BAM på godkjenning av UN 3375 og egnetheten til produktet for transport i tanker. Sporbarheten i dokumentene er ikke tilfredsstillende.

Ifølge bestemmelsene i eksplosivforskriften stilles det konkrete krav til samsvarsvurdering, samsvarserklæring og tilhørende dokumentasjon for eksplosiv vare. BAM har attestert at en prototype av Riomex SC 7000 oppfyller de grunnleggende sikkerhetskravene i direktiv 93/15 EØF som eksplosivforskriften implementerer.

1.3

MOBIL PRODUKSJON AV SPRENGSTOFF MED MEMU F-114

Sprengstoffet Riomex SC 7000 som ble produsert av F-114 er en blanding som består av flere komponenter. Riomex SC 7000 produseres ved at emulsjon (ANE) tilsettes ammoniumnitrat porøse priller (ANPP) og diesel før blandingen sensitiveres. Denne typen bulksprengstoff er kun tiltenkt bruk over jord. Riomex SC 7000 sensitiveres ved kjemisk gassing. Gassingene katalyseres ved at det tilsettes syre ved utløpet av produktpumpen. Kapasiteten til F-114 var på ca. 13 tonn.

1.4

ANALYSE AV HENDELSEN SOM MEDFØRTE EKSPLOSJON

Prosjektgruppen vurderte fortløpende i sitt arbeid hvilken informasjon det var mulig å innhente for å kunne analysere hendelsen på Drevja. Det ble gjennomført tre befaringer, bildemateriell fra hendelsen ble samlet, involverte personer ble intervjuet og sentral dokumentasjon fra Maxam ble innhentet.

Basert på vitneutsagn og bilder er det mest sannsynlig at brannen startet i det elektriske anlegget nede på høyre side av chassiset. Prosjektgruppen vurderer det som sannsynlig at det er en sammenheng mellom feil på det elektriske anlegget og brannen.

På straksbefaringen ble det observert at MEMUen var svært fragmentert, det var ikke dannet et tydelig krater, patronert sprengstoff ble funnet intakt ved salven og nære omgivelser var tilsynelatende lite berørt av trykkbølgen. Prosjektgruppen anser det som mest sannsynlig at de gitte geologiske forholdene på eksplosjonsstedet er hovedforklaringene på at det ikke ble dannet et krater.

Gitt et brannforløp på 2,5 time, med betydelig branneffekt og antatt temperatur på over 1 200 °C anser prosjektgruppen det som mest sannsynlig at ANPP var smeltet og at både ANPP og ANE hadde startet å dekomponere. Det kan ikke utelukkes at detonasjonsegenskapene for kjemikalierne kan ha blitt endret i stor grad da blant annet høy temperatur og eventuell forurensing av organisk materiale øker sensitiviteten.

Prosjektgruppen anser ikke funnene av smeltede aluminiumfragmenter alene som tilstrekkelig bevis på at tankene har smeltet, men det gir en indikasjon på at det har vært en svekkelse i aluminiumen som kan ha medført at tankene revnet. FFI sin simulering av motorblokkens utkast indikerer at en betydelig kraft har kommet fra bakken, svært nær eller delvis under motoren og prosjektgruppen anser det derfor som mest sannsynlig at minst en tank har revnet slik at kjemikalier har rent ned på bakken. Prosjektgruppen vurderer at det ikke er grunnlag for å konkludere eksakt med hensyn til hvordan stoffet var fordelt og plassert på bakken.

Intensjonen med å bruke aluminiumtank har vært å redusere sannsynligheten for at en brann medfører eksplosjon. Hendelsen viser at bruk av aluminiumtank ikke er tilstrekkelig til å forhindre eksplosjon i en MEMU ved brann.

Ladningsberegninger er gjennomført basert på skadeomfanget på bebyggelsen, utkast av motorblokken og registrerte rystelser i grunnen. Det er ikke mulig å konkludere sikkert med tanke på størrelsen på ladningen som gikk av, men prosjektgruppen anser det som sannsynlig at den var i en størrelsesorden som svarer til 500–1 000 kg TNT. Prosjektgruppen har videre vurdert at det ikke er grunnlag for å estimere TNT-ekvivalent mengde av ANPP og ANE som ble omsatt i eksplosjonen da dette vil gi usikre og lite konstruktive tall.

Funn av vitale deler sannsynliggjør at eksplosjonen ikke ble initiert av en eksplosjon i pumpen, vertikal eller horisontal skrue. Utover dette er det svært vanskelig å si hva som initierte eksplosjonen.

FFIs analyse av aluminiumfragmentenes omfang, størrelse og spredning sannsynliggjør at det har vært en detonasjon i begge aluminiumtankene. Samtidig

mener prosjektgruppen det er relativt sikkert at den opprinnelige mengden av både ANPP og ANE som var tilstede før brannen startet, ikke var involvert i en ideell detonasjon, da dette ville representere et mye større eksplosivt potensial enn det som ble observert i Drevja.

Da det til tross for betydelig innsamling av informasjon og analyser utført av kompetente miljøer er vanskelig å skissere et komplett forløp, er det lansert hypoteser for å illustrere eventuelle forløp og hvilke behov det er for spesifikk kunnskap. Hypotesene ivaretar muligheten for at eksplosjonen kan ha skjedd i ANPP- eller i ANE-tanken, og på eller over bakken.

1.5 TILTAK

Etter en ulykke som den på Drevja er det en selvfølge med en grundig evaluering for å vurdere om sikkerheten er god nok ved mobil produksjon av sprengstoff. Den overordnede målsetningen for både myndigheter og bransjen er å minimere risiko for at tilsvarende hendelser skjer igjen. Tiltak som skal øke sikkerheten ved mobil produksjon av sprengstoff ytterlig må vurderes i et helhetlig sikkerhetsperspektiv, og med den erkjennelse at håndtering av eksplosiver og andre farlige stoffer alltid vil være forbundet med risiko.

Prosjektgruppen vurderer generelt risikoen ved mobil produksjon av sprengstoff som akseptabel, til tross for ulykken i Drevja. Men i et brannscenario

mener vi derimot risikoen ikke er tilfredsstillende vurdert. Det kan også være andre scenarioer eller forhold som endrer risikobildet. Ved vurdering av hvilke tiltak som bør utredes har prosjektgruppen derfor hatt som målsetning å se helhetlig på risiko ved mobil produksjon av sprengstoff. Det vil si at vi anbefaler tiltak som skal se på muligheten for ytterlig risikoreduksjon både ved normale betingelser og ved ekstraordinære situasjoner.

Prosjektgruppen i DSB foreslår en tiltakspakke som består av følgende:

- Endret praksis ved søknad om tilvirkning.
- Oppfølging av avvik indentifisert ved dokumenttilsyn.
- Vurdere behov for regelverksendringer.
- Vurdere mulige brannforebyggende- og brannbekjempende- tiltak.
- Vurdere behov for helhetlig vurdering av risiko for mobil produksjon av sprengstoff.
- Innhente spesifikk kunnskap.

Avvik som er identifisert i arbeidet til prosjektgruppen vil bli fulgt opp mot Maxam som etter et ordinært tilsyn. Identifiserte avvik anses å ikke ha en direkte konsekvens for hendelsen.

DSB vil i løpet av 2015 revidere eksplosivforskriften og initiere og ivareta fremdrift i arbeidet med de foreslåtte tiltakene.

KAPITTEL

02

Innledning



2.1

MANDAT OG ORGANISERING

Etter eksplosjonen på Drevja ble det nedsatt en prosjektgruppe i DSB som ble gitt følgende oppdrag:

«Prosjektgruppen har fått i oppdrag å gjøre en selvstendig vurdering av ulykken som fant sted på Drevja 17. desember 2013 for å søke å klarlegge årsaken til brannen i kjøretøy, årsaken til at brannen fikk utvikle seg og hvorfor brannen førte til en eksplosjon.»

Prosjektgruppen skal foreslå eventuelle nødvendige tiltak for å forebygge tilsvarende hendelser, samt identifisere eventuelle brudd på regelverk som forvaltes av DSB.

Prosjektgruppen skal involvere bransjen og identifiserte tiltak bør søkes forankres godt med en samlet bransje. DSB har allerede signalisert ovenfor bransjen at det kan være behov for å gjennomføre fullskalatester. Prosjektgruppen skal anbefale om det er behov for tester og i så fall hvilke.»

Prosjektgruppens konkrete mål var følgende å:

- Gi en detaljert beskrivelse av hendelsesforløpet.
- Gi en beskrivelse av ulykkesstedet og funn som er gjort der.
- Gjøre en vurdering av sprengningseffekt.
- Gjøre en sannsynlighetsvurdering av mulige årsaker.
- Søke å gi en konklusjon.
- Foreslå nødvendige tiltak for å redusere risiko for tilsvarende hendelser.
- Gi innspill til videre utvikling av regelverket.
- Gjennomføre fagdag med leverandørene av eksplosiver.
- Vurdere behov for fullskalatester.
- Identifisere brudd på regelverket.

Avdelingsleder Siri Hagehaugen i enhet for eksplosivitet (EKS) var prosjekteier, og prosjektledere var Gry Haugsnes og Axel Proet-Høst. Prosjektmedlemmer var Olav Jacobsen, Jan Øistein Kristoffersen, Bente Tornsjø, Maria Elisabeth Due-Hansen og Odd Arne Grøvo. Prosjekteier Siri Hagehaugen rapporterte videre til avdelingsdirektør

Torill Tandberg i avdeling for næringsliv, produkter og farlige stoffer (NPF).

Prosjektgruppen hadde mandat til å knytte til seg ekstern kompetanse. Viktige samarbeidspartnere har vært Forsvarets forskningsinstitutt (FFI), Norges Geotekniske Institutt (NGI), Statens vegvesen og Forsvarsbygg. Det har også vært holdt dialogmøte med leverandørene av eksplosiver underveis i prosessen.

2.2

BAKGRUNN

MEMU er en forkortelse for Mobile Explosives Manufacturing Unit eller på norsk mobil enhet for produksjon av sprengstoff.

En MEMU er definert i landtransportforskriften på følgende måte:

«En enhet, eller et kjøretøy påmontert en enhet, for tilvirkning og lading av eksplosiver fra farlig gods som ikke er eksplosiver. Enheten består av diverse tanker, bulkcontainere og prosessutstyr, samt pumper og tilhørende utstyr. En MEMU kan ha spesielle lasterom for emballerte eksplosiver.»

Per i dag er ca. 80 % av alt sprengstoff som brukes i Norge bulksprengstoff, og det forventes en økning i årene som kommer også til mindre sprengningsarbeider. På verdensbasis er det mange ulike måter å produsere og lade bulksprengstoff på. MEMUer brukes til sprengninger både over og under jord. Under jord brukes det primært enheter som blander matrise og gassereagens. Det utvikles kontinuerlig nye og bedre ladeenheter. Over jord brukes det i dag MEMUer til både større og mindre sprengninger. En MEMU beregnet for større sprengninger har typisk en kapasitet på 7–14 tonn og en MEMU beregnet for mindre sprengninger har kapasitet på 1–3 tonn.

Det har tidligere ikke skjedd store ulykker med en MEMU, men utgangsstoffene ammoniumnitrat og ammonium nitrate-fuel oil har vært involvert i en rekke ulykker.

Våren 2013 besluttet DSB å se nærmere på eksplosivforvaltningen med tilvirkning av eksplosjonsfarlig vare på brukersted med mobile tilvirkningsenheter. Det ble etablert en intern arbeidsgruppe som skulle innhente nødvendig informasjon, og komme med anbefalinger om fremtidig regulering og forvaltning av området.

Det ble benyttet konsulentbistand for å utrede følgende:

1. En beskrivelse av teknisk og praktisk utvikling av bulksprengstoff og håndtering på brukersted, og en analyse av fremtidig utvikling.
2. En beskrivelse av selve produksjonsprosessen av emulsjon og bulksprengstoff på brukersted.
3. En beskrivelse av god praksis i bransjen.

Den interne arbeidsgruppen skulle ha levert sin anbefaling innen februar 2014, men på grunn av gjennomgangen av Drevjaulykken ble fristen utsatt i påvente av rapporten fra Drevjaulykken.

2.3

RELEVANT REGELVERK

Lov 14. juni 2001 nr. 20 om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver (brann- og eksplosjonsvernloven) er den sentrale loven som ivaretar sikkerhet og sikring ved håndtering av utgangsstoffer for eksplosiver og tilvirkning av eksplosiver. Loven utdypes av en rekke sentrale forskrifter.

I relasjon til Drevja-ulykken er følgende forskrifter gitt med hjemmel i hhv. brann- og eksplosjonsvernloven, arbeidsmiljøloven og produktkontrollloven relevante:

- Forskrift 1. april 2009 nr. 384 om landtransport av farlig gods (landtransportforskriften).
- Forskrift 20. mai 2009 nr 544 om maskiner (maskinforskriften).
- Forskrift 6. desember 2011 nr. 1357 om utførelse av arbeid.
- Forskrift 8. juni 2009 nr. 602 om håndtering av brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff samt utstyr og anlegg som benyttes ved håndteringen (forskrift om håndtering av farlig stoff).
- Forskrift 26. juni 2002 nr. 922 om håndtering av eksplosjonsfarlig stoff (eksplosivforskriften).
- Forskrift 6. desember 1996 nr. 1127 om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter (internkontrollforskriften).

KAPITTEL

03

Hendelsen som
førte til eksplosjon



HENDELSEN SOM FØRTE TIL EKSPLOSJON

Beskrivelsen av hendelsesforløpet er basert på logger fra brann- og redningsvesenet og politiet, avhør utført av politiet, intervjuer utført av DSB og på bilder tatt av entreprenør, brannvesen, politi og Maxam Norge AS.

Statens vegvesen Region Nord var byggherre for veiprojektet Fv. 78 Arm Ømmervatn – P1304. Johs. J. Syltern AS var hovedentreprenør og sprengningsentreprenør var RockNor AS. Prosjektet var forventet ferdigstilt oktober 2014. Maxam Norge AS (Maxam) var ansvarlig for levering av bulksprengestoff.

I forbindelse med veiprojektet på Fv. 78 var det etablert et brudd for uttak av masse. Den 17.12.2013 ankom Maxams MEMU F-114 ca. klokken 12:00 for å lade salve nr. 50. F-114 ankom etter å ha kjørt 160 km fra Maxams depotstasjon ved Brønnøy Kalk. Etter ankomst forberedte Maxams operatør F-114 for produksjon/pumping. MEMUen sto plassert med bakenden opp mot salven, i en skråning slik at ANPP-tanken stod lavest. Se bilde i figur 2.

Produksjonen startet ca. klokken 12:00. Ved oppstart startes først produksjon, så pumping. Ved produksjon var pumpeoperatør plassert ved det bakerste skapet på kjøretøyets venstre side hvor betjeningskonsoll for produksjonsenheten var. Under produksjon/pumping går motoren og lysene står på. To ansatte fra RockNor var plassert bak kjøretøyet ved salven da brannen ble oppdaget.

Ca. klokken 13:00 koblet kraftuttaket ut av seg selv. Operatøren hørte lyden av «trykkluftslekkasje» og umiddelbart etter stoppet motoren. Operatøren gikk da mot førerhytta og oppdaget hvit/grå røyk som kom ut fra høyre side av kjøretøyets front. Han åpnet førerdøren, slo av tenningen og lukket døren. Deretter gikk operatøren rundt på passasjersiden og slo av hovedstrømbryteren på kjøretøyet. Da operatøren så åpnet passasjerdøren var hytten fylt med svart røyk, og det var synlige flammer innvendig og utvendig. Flammene slo mot ham, gjennom dashbordet helt nede ved gulvet.

De tre på stedet gjorde slukkingsforsøk med pulverapparater fra F-114 og fra andre biler og anleggsmaskiner på området. Innledningsvis ble slukkingsforsøket rettet mot sikringsboksen nede til høyre på dashbordet inne i hytta. Etter hvert ble det gjort forsøk på å få slukket fra utsiden på høyre front.



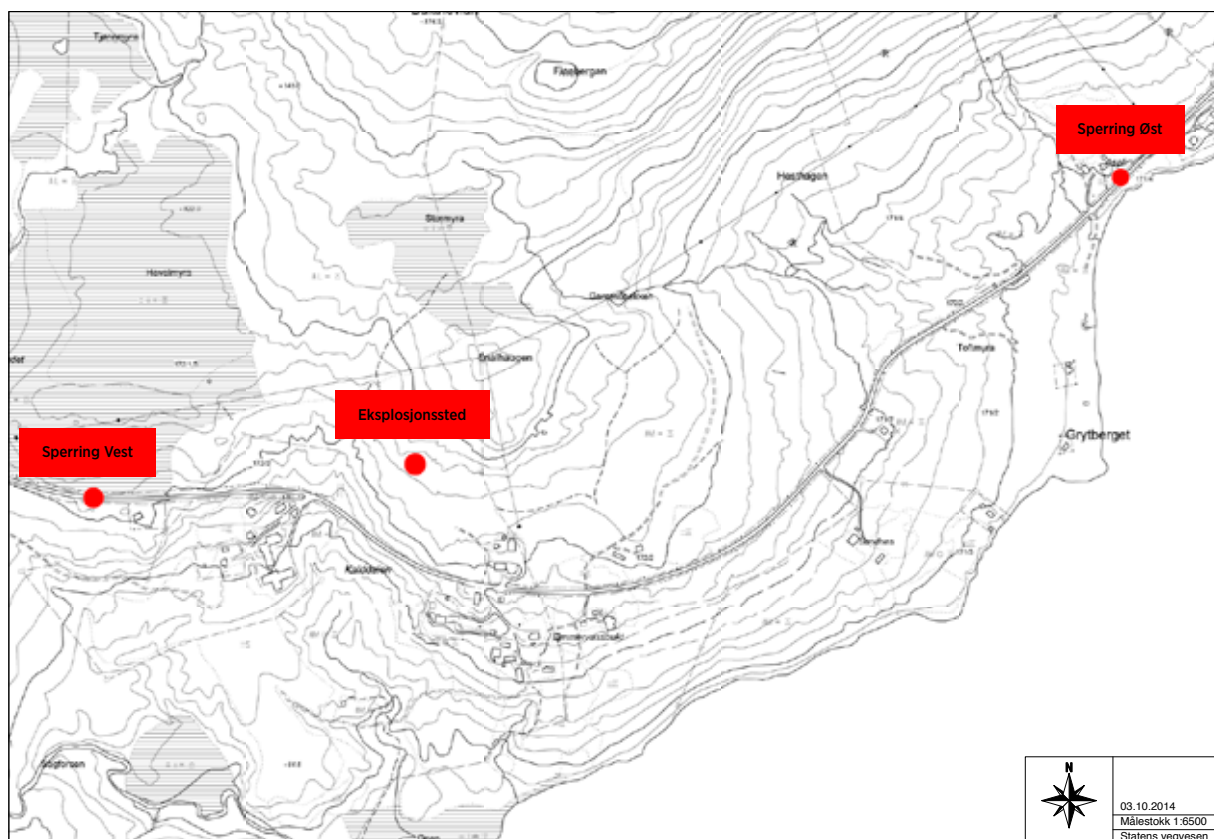
FIGUR 1. Skisse som viser operatørens plassering i forhold til arnested for brannen.



FIGUR 2. Bilde som indikerer brannens arnested.

Da flammene blusset opp igjen og det ikke var flere slukkingsmidler tilgjengelig, ble det besluttet å avbryte slukkingsforsøket og iverksette evakuering. Før operatøren forlot kjøretøyet, utløste han det automatiske slukkeanlegget i motorrommet manuelt. Ca. klokken 13.11 meldte operatøren inn brannen til 110-sentralen, og kort tid etter var alt personell (40 personer) i området evakuert til ca. 500 meter. Veien ble stengt i begge retninger. Privatpersoner innenfor en radius på ca. 500 meter ble forsøkt identifisert og evakuert.

Det pågikk samtidig en dialog mellom Maxams operatør og politiets alarmsentral angående kjemikalierne på bilen. Politiet var også i dialog med DSB om evakueringssoner. Innsatsleder fra politiet ankom ca. klokken 13:40, og brannvesenet ca. klokken 13:50.



FIGUR 3. Oversikt over sperringene i forhold til ekspløsningsstedet.

Klokken 14:21 utvides evakueringssonen til 1 000 meter. Det foreligger opplysninger om at den østlige sperringen til slutt var på ca. 1 000 meter og den vestlige på ca. 500 meter. Den østlige sperringen ble flyttet under brannen på grunn av røyk.

I kartbildet vises plassering av MEMU F-114 samt østlig og vestlig sperring. Ved østlig sperring var innsatsleder fra politiet, brannmannskap, ansatte i Statens vegvesen og Maxams operatør lokalisert, og ved vestlig sperring var politi, ansatte i Statens vegvesen, ansatte fra Johs. J. Syltern og fagleder brann lokalisert.

Brannforløpet varierte i intensitet. Det samme gjorde røykutviklingen. Like før eksplosjonen økte intensiteten betydelig. Etter ca. 2,5 times brann eksploderte F-114 klokken 15:24.

Det var store materielle skader på omgivelsene. Ett bolighus brant helt ned, flere bygninger fikk strukturelle skader og ødelagte vinduer og anleggsmaskiner på området ble skadet. Ingen personer ble skadet. Eksplosjonen ble filmet fra en avstand på ca. 3 km.

Etter eksplosjonen ble området holdt avsperrert til dagen etter. På ettermiddagen den 18.12 gikk representanter fra Maxam og entreprenøren inn i området for å samle patronert sprengstoff og tennere som lå igjen på overflaten. Det som lå nærmest kjøretøyet var noe påvirket av brannen. Mengden eksplosiver som ble samlet inn ble kontrollert opp mot uttak og det som var plassert ut på salva. Alt som var plassert ut ble gjenfunnet.

Den 20.12.2013 ble salve 50 sprenget.

04

Enkelte relevante krav
til MEMU og tilvirk-
ning av bulkspreng-
stoff på brukersted

4.1

KRAV TIL RISIKOANALYSE OG VURDERING AV FREMLAGT DOKUMENTASJON

Brann- og eksplosjonsvernlovens § 19 og § 20 er sentrale bestemmelser for enhver virksomhet som håndterer farlig stoff. Virksomheten skal sørge for at sikkerheten er ivarettatt, og sikkerhetskensyn skal være integrert i alle virksomhetens faser, herunder planlegging, prosjektering, etablering, drift og avvikling.

Risikoen skal være redusert til et nivå som med rimelighet kan oppnås (ALARP-prinsippet). Det vil alltid være en restrisiko forbundet med håndtering av eksplosjonsfarlig stoff som normalt må aksepteres i samfunnet. Et slik akseptabelt nivå vil kunne fastsettes på flere måter, for eksempel i form av et tallfestet nivå for sannsynlighet av en gitt type ulykke og dens konsekvens, eller i form av en kvalitativ beskrivelse. Hva som med rimelighet kan oppnås gir uttrykk for et prinsipp hvor kostnader forbundet med reduksjon av risiko må sammenholdes med den sikkerhetsgevinst som kan oppnås.

Bestemmelsen i eksplosjonsforskriften § 2-2 om krav til virksomheter fastlegger at virksomheten skal kartlegge farer og problemer som kan oppstå ved håndtering av eksplosjonsfarlig stoff, og iverksette kompensierende tiltak. Denne bestemmelsen har et tilsvarende innhold som forskrift om håndtering av farlig stoff § 10.

I internkontrollforskriften § 5 nr. 6 heter det at virksomheten skal kartlegge farer og problemer og på denne bakgrunn vurdere risiko samt utarbeide tilhørende planer og tiltak for å redusere risikoforholdene. Det er krav om at dette skal dokumenteres skriftlig. Kravet om å dokumentere risikovurderinger innenfor virksomheten, og at dette skal resultere i planer og tiltak for å redusere risikoen til et akseptabelt nivå er altså forankret i flere forskrifter.

Risikoforståelse er noe en person, bransje eller virksomhet har, delvis har eller ikke har. Forutsetningene for en god risikoforståelse er at det er gjennomført risikovurdering, at risikoen er erkjent og forsøkt

minimert og at det eksisterer en plan for håndtering av gjenstående risiko. Å oppnå god risikoforståelse i en organisasjon krever tverrfaglige prosesser og god opplæring/øving.

En risikovurdering bør inneholde en systembeskrivelse (hva skal analyseres), fareidentifikasjon samt konsekvens- og sannsynlighetsvurderinger for identifiserte farer. For identifiserte farer bør det implementeres tekniske og organisatoriske tiltak som reduserer faren til et tilfredsstillende nivå, og det bør eventuelt utarbeides beredskapsplaner.

Prosjektgruppen har etterlyst hvilke risikovurderinger Maxam har utarbeidet i forbindelse med prosjektering av og oppstart med bruk av MEMU samt HAZOP-analyse for produksjon på brukersted. I forbindelse med at MEMU F-114 var utsatt for en kollisjon er det også etterlyst en redegjørelse for hvordan Maxam vurderte hvorvidt kollisjonen endret risikobildet.

Ifølge Maxam ble risikovurdering utført, men dette er ikke dokumentert. Prosjektgruppen er av den oppfatning at det ikke foreligger tilstrekkelige dokumenterte risikovurderinger innenfor virksomheten.

Prosjektgruppen har mottatt Maxam Europe sin HAZOP for produksjon på brukersted. HAZOP (hazard and operability) er en kvalitativ metode egnet for å identifisere farer ved prosesser og operasjonsbetingelser, og kan være et supplement til en risikoanalyse. Når farene er identifisert skal det gjøres tiltak som hindrer at disse situasjonene kan oppstå eller skape farlige situasjoner. Dokumentet gir en oversikt over elementene som skal analyseres. Avvik og årsak til avvik er godt dokumentert, men vi stiller spørsmål ved hvordan konsekvenser, sikrings tiltak og korrektive handlinger beskrives i dokumentet og hvordan det er implementert.

Når det gjelder hvorvidt kollisjonen endret risikobildet, er det Maxam sin oppfatning at en fullverdig reparasjon ved et godkjent merkeverksted ikke endret risikobildet og Management of Change-prosedyren til Maxam ble derfor ikke benyttet. Prosjektgruppen mener prinsipielt at en stor reparasjon i det elektriske anlegget på et ADR-kjøretøy bør medføre en ekstra årvåkenhet inntil det er sikkert at reparasjonen er tilfredsstillende utført.

Prosjektgruppen har ikke tatt stilling til hva denne ekstra årvåkenheten bør være.

I etterkant av reparasjonen etter kollisjonen med elgene ble det montert på kufanger. Kufangeren begrenser tilgangen til motorrommet. I denne rapporten blir det ikke argumentert at kufangeren er årsaken til at brannen ikke lot seg slukke. Det prosjektgruppen derimot stiller spørsmål ved er hvorvidt Maxam burde benyttet sin Management of Change-prosedyre ved montering av kufangeren. Prosjektgruppen anser at risikobildet ved en brann i motorrommet er endret når mulighetene til å slukke er endret. Påmontering av nytt utstyr er en endring, og eventuelle behov for kommunikasjon til ansatte om nye risikoforhold, opplæring etc. bør vurderes nøye.

4.2

GODKJENNING AV F-114 AV STATENS VEGVESEN

Landtransportforskriften gjelder for transport av ammoniumnitrat UN1942, emulsjon UN3375 og andre farlige stoffer som er å regne som farlig gods i henhold til FNs anbefalinger for transport av farlig gods. Vedleggene til den europeiske avtalen om veitransport av farlig gods (ADR), som er en integrert del av landtransportforskriften, innførte fra 1. januar 2009 spesifikke bestemmelser for transport av farlig gods på MEMUer. Dette inkluderer bestemmelser for konstruksjon av tanker, bulkcontainere og spesialrom på slike enheter i kapittel 6.12, og bestemmelser om konstruksjon av MEMU kjøretøyer i kapittel 9.

Hensikten med bestemmelsene i ADR er å ivareta sikkerheten ved veitransport av farlig gods. De ulike tekniske krav, konstruksjonsspesifikasjoner mv. i ADR har imidlertid også en positiv effekt for sikkerheten i det øyeblikket det settes i gang med produksjon av bulksprennstoff, altså etter at transporten er avsluttet. Derfor er bestemmelsene i ADR viet oppmerksomhet i prosjektgruppas rapport.

Godkjenning av MEMU kjøretøyer utføres i henhold til ADR 9.1.2 av Statens vegvesen, som utsteder godkjenningsattest i henhold til ADR 9.1.3. For å

få utstedt godkjenningsattest skal kjøretøyenes samsvar verifiseres ved en førstegangskontroll. Deretter er det krav om en årlig teknisk kontroll for å forlenge varigheten på godkjenningsattesten. Denne årlige kontrollen skal omfatte både de relevante bestemmelsene i ADR og de alminnelige tekniske kravene som stilles til kjøretøyer. Det er kun den delen av den årlige kontrollen som omhandler ADR som må foretas av Statens vegvesen. Den øvrige delen av kontrollen kan foretas på verksted som er godkjent av Statens vegvesen for slik kontroll.

MEMU skal oppfylle kravene til relevant basiskjøretøy som angis i kapittel 9.2. Dette omfatter krav til ledninger, hovedstrømbryter, batterier, kretser under konstant spenning, elektriske installasjoner bak førerhuset, bremsøutrustning, blokkeringsfrie bremses, tilleggsbrems, drivstofftanker, motor, eksossystem, brannforebyggende tiltak, drivstoffbaserte tilleggsvarmere, hastighetsbegrenser og tilhengerkopling.

Kapittel 9.8 gjelder spesielle tilleggsbestemmelser vedrørende komplette eller ferdigstilte MEMUer. Her finner man bestemmelser om krav til tanker og bulkcontainere, jording, stabilitet, og støtbeskyttelse. Det er også i dette kapitlet man finner bestemmelsene om automatisk brannslukningsanlegg for motorrommet.

Bestemmelser for brannslukkingsmateriell finnes i ADR 8.1.4. Bestemmelsene angir mengde, type og plassering av håndslukkeapparater som skal finnes på kjøretøyene.

På tredje forsøk ble F-114 førstegangsgodkjent i henhold til ADR den 17. juni 2010 av Statens vegvesen, Risløkka Trafikkstasjon. Da hadde alle avvik på merknadslisten fra 1. gangs visning blitt rettet opp. Etter dette har kjøretøyet gjennomgått periodisk kontroll, siste gang den 12. februar 2013. Forlengelse av ADR godkjenningsattest forutsetter at også ordinær EU-kontroll er gjennomført.

4.3

KONSTRUKSJON, UTFØRELSE OG PRØVING AV TANKER

For konstruksjon, utførelse, prøving av tanker mv, gjelder ADR kapittel 6.12. Kapitlet fastsetter eller henviser til de tekniske konstruksjonskravene for tanker, bulkcontainere og spesielle lasterom for eksplosiver for en MEMU.

Etter ADR 6.8.2.4.5 skal prøver, inspeksjoner og kontroll foretas av den sakkyndige som vedkommende myndighet har godkjent. Ifølge ADR 6.12.3.1.3 og 6.8.2.4.5 skal også nye MEMU-tanker godkjennes av sakkyndige. Denne myndigheten er delegert fra DSB til Det Norske Veritas (DNV).

Ifølge brev fra DNV datert 11. mai 2010 til Maxam er tankene med tilhørende utstyr godkjent etter ADR 2009, 6.12.

Tanken forfalt til periodisk kontroll i januar 2013. Siste tankkontroll er utført av DNV 7. februar 2013. DNV har opplyst at da denne kontrollen skulle gjennomføres, var tanken ikke rengjort og innvendig inspeksjon kunne derfor ikke gjennomføres. I stedet for en periodisk kontroll ble det derfor gjennomført en mellomliggende kontroll hvor det ikke er krav om noen innvendig inspeksjon. En trykkprøve ble gjennomført i stedet for den tetthetsprøven som normalt kreves ved en mellomliggende kontrollen. Transport av farlig gods i tanker som har forfalt til periodisk kontroll er ikke tillatt. Statens vegvesen fornyet kjøretøyets godkjenningssattest etter ADR 9.1.2.3 selv om hovedkontrollen på tank ikke var utført og det kun var rapportert om en mellomliggende kontroll.

4.4

TRANSPORT AV UN3375

Ifølge ADR 3.1.1, 3.2.1, 3.2 tabell A, under UN 3375, 3.3.1, spesiell bestemmelse nr. 309, siste avsnitt skal UN 3375 bestå testserie 8 i FNs testmanual og godkjennes av vedkommende myndighet. I tillegg krever ADR 4.3.5 TU39 at «Egnetheten for transport i tank må være prøvet. Metoden for å teste denne egnetheten skal godkjennes av vedkommende myndighet. En metode er test 8 (d) i Test Serie 8».

Dette innebærer at stoffet i henhold til SP 309 skal godkjennes etter prøve a), b) og c) i testserie 8 og at egnetheten for transport i tank i henhold til TU39 skal være prøvet på en måte som er akseptabel for vedkommende myndighet.

Maxam har fremlagt «BAM Bescheid Nr. II.3/3440/06» for Maxams «AN/SN Emulsion» som godkjenning av stoffet som UN 3375 og egnetheten til stoffet for transport i tanker. Godkjenningen ble gitt i forbindelse med et navnebytte på emulsjonen. Det tidligere navnet var Dyno Emulsjon. Det fremgår imidlertid ikke av dette dokumentet at emulsjonen har bestått testserie 8 som det vises til i SP 309 og TU39. Det inneholder heller ingen opplysninger som gjør det mulig å identifisere hvilket stoff som faktisk er godkjent. Prosjektgruppen har i ettertid mottatt testrapport for testserie 8 a), b) og c) for emulsjonen fra Tyskland. Emulsjonen har også blitt utsatt for en «modified vented pipe test» (8d) for å demonstrere egnetheten for transport i tank, jf. også brev fra BAM til Maxam datert 16. juli 2014. Det er lite tilfredsstillende sporbarhet mellom mottatt dokumentasjon og navngivning som brukes på emulsjonen i Maxam i dag.

DSB har hittil ikke gitt noen godkjenninger i henhold til SP309 i ADR. Det er heller ikke gitt noe utfyllende nasjonalt regelverk om aksept av andre myndigheters godkjenning. DSB har videre fulgt en praksis om at test av egnethet for transport i tank ikke er nødvendig når stoffet transporteres i tanker av aluminium eller fiberarmert plast. Det er heller ikke gitt generelle nasjonale regler om hvilke testmetode som er akseptabel.

4.5

GODKJENNING AV MEMU F-114 OG TILVIRKNINGSTILLATELSE

I henhold til eksplosivforskriften § 2-7 tredje ledd skal maskin, apparat, beholder, eller annen innretning som er bestemt for håndtering av eksplosiv vare, være godkjent av tilsynsmyndigheten før innretningen markedsføres eller brukes. Bestemmelsen gjelder godkjenning av selve innretningen. Hensikten med bestemmelsen er å ivareta alle krav til sikkerhet for brukere og omgivelser i forbindelse med enhver håndtering av innretning som skal brukes til håndtering av eksplosiv vare.

Da stoffene som blir håndtert i en MEMU blir eksplosive gjennom tilvirkningsprosessen, har praksis vært at både råvarer og halvfabrikata har vært ansett for å være eksplosiv vare, slik at eksplosivforskriftens § 2-7 tredje ledd kommer til anvendelse.

I henhold til eksplosivforskriften § 6-1 må den som vil tilvirke eksplosiv vare ha tillatelse fra sentral tilsynsmyndighet.

For F-114 er godkjenning av MEMU etter eksplosivforskriften § 2-7, både første og tredje ledd, og tilvirkningstillatelse etter eksplosivforskriften § 6-1, gitt samtidig ved DSBs vedtak datert 8. juni 2010. Tillatelsen gjelder for produkter i Riomex-serien.

Som vilkår ble det satt at chassiset skulle være godkjent i henhold til gjeldende krav til chassiset og tilleggskrav for ferdigstilte MEMUer jf. kapittel 9.8 i ADR. Tilvirkningstillatelsen fra DSB er gitt under forutsetning av at truckoperatøren har fått nødvendig opplæring i henhold til virksomhetens instruks. Sikkerhetsinstruksjoner og instruksjoner for operasjon av tilvirknings- og ladeenheter skal følges.

Maxams operatør var innehaver av ADR kompetansebevis med tillegg for eksplosive stoffer og transport i tank. I tillegg har Maxam opplyst at vedkommende operatør har gjennomført intern opplæring.

4.6

KRAV TIL VEDLIKEHOLD AV MEMU

Det foreligger ingen konkrete krav til vedlikehold av kjøretøyer i ADR, men farlig gods skal ikke transporteres dersom utstyret ikke er i orden, ADR 1.4.2.2. Landtransportforskriften krever også i § 5, 3. ledd at eier og bruker av kjøretøy og annet materiell skal holde dette i forsvarlig stand gjennom systematisk tilstandskontroll og vedlikehold. Hva som er et forsvarlig generelt vedlikehold, må avgjøres på bakgrunn av hva produsenten av kjøretøyet / materiellet anser som påkrevet ut fra den bruk som gjøres av utstyret.

MEMU F-114 og tankene har vært igjennom pålagt periodisk godkjenning i regi av Statens vegvesen og DNV. Statens vegvesen skulle ikke ha fornyet kjøretøyet godkjenningssattest etter ADR 9.1.2.3 da hovedkontrollen på tank ikke var utført.

ADR har bestemmelser om bruk av faste tanker for UN 3375 i 4.3.5 TU 39 som har til hensikt å forhindre støkning, opphopning og pakking av stoff. 4.3.3 TU3 krever at tankens innside og alle deler som kan komme i kontakt med stoffet holdes rene. For å kunne oppfylle disse bestemmelsene, samt forbudet mot at fylletrakter og losserør inneholder ferdigblandet stoff under transport, må MEMU-operatørene ha prosedyrer for rengjøring og rensing av utstyret. En slik rengjøring av utstyret er en nødvendig forutsetning for at utstyret skal kunne fungere som forutsatt og påvirker også sikkerheten ved produksjon og lading, selv om reglene er etablert for en sikker transport. Maxam har ikke dokumentert at de har rutine for regelmessig renhold av tankene.

Ifølge Arbeidstilsynets forskrift om utførelse av arbeid § 10-5 første ledd skal arbeidsgiver sørge for at det kun brukes arbeidsutstyr som er i samsvar med forskriftskravene til det aktuelle arbeidsutstyret, og de tekniske kravene i forskrift om maskiner.

F-114 skulle etter nevnte regelverk vedlikeholdes slik at den oppfylte de tekniske kravene som fulgte av maskinforskriften. Det foreligger ingen verifiserbare opplysninger om F-114 sitt eventuelle samsvar med de nevnte tekniske krav på ulykkestidspunktet.

KAPITTEL

05

Mobil produksjon
av bulksprengstoff
med F-114



5.1

KJØRETØYHISTORIKK

MEMU F-114 ble registrert med registrering nr. VF 62363 i Norge i 2010. F-114 hadde chassis av type FH12 8*4 produsert av Volvo i 2004 med chassis nummer A 587997, og var anskaffet av Maxam i 2010. Produksjons/pumpeenheten til F-114 var produsert av Talleres Cobo Hermanos S.L. med serienummer C/0200/06 i 2006. Enheten ble først levert til Maxam UK og i 2010 ble den overdratt til Norge, og montert på enheten F-114.

F-114 ble tatt i bruk i Norge i juni 2010. Etter det har enheten tilbakelagt en strekning i størrelsesorden 220 000 km, levert mer enn 5 300 tonn sprengstoff og motoren har vært i drift i mer enn 6 000 timer.

Den 20.11.2013 var F-114 involvert i en kollisjon med tre elger. Chassiset fikk skader som ble utbedret på autorisert bilverksted, Volvo TTS Bil og Dekksenter AS. Det var skader relatert til hovedlys og kabler på høyre side, karosseriskader og grill. I tillegg ble det påmontert kufanger. Reparasjonen var relativt omfattende og i størrelsesorden 200.000 NOK. Etter reparasjonen utførte F-114 tre forskjellige ladeoppdrag. Under disse ladeoppdragene pumpet F-114 til sammen 26.895 kg uten avvik.



FIGUR 4. Bilde av skade på MEMU F-114 etter elgpåkjørsel.

5.2

PRODUKSJON AV RIOMEX SC 7000

5.2.1 RIOMEX SC 7000

Sprengstoffet Riomex SC 7000 som ble produsert av F-114 er en blanding som består av flere komponenter. Riomex SC 7000 produseres ved at emulsjon (ANE) tilsettes ammoniumnitrat porøse priller (ANPP) og diesel før blandingen sensitiveres. Denne typen bulksprengstoff er kun tiltenkt bruk over jord.

All type emulsjonssprengstoff må sensitiveres. Riomex SC 7000 sensitiveres ved kjemisk gassing. Gassingene katalyseres ved at det tilsettes syre ved utløp av produktpumpen.

I tabellen nedenfor ses en oversikt over mengden av kjemikalier som MEMUen kunne transportere og ta i bruk til produksjon.

KJEMIKALIE	UN	LASTET [KG]
ANPP (NH ₄ NO ₃)	1942	5 000
ANE	3375	8 000
Oksidasjonsmiddel (gassemiddel)		90-100
Syre		90-100
Diesel		450 L

FIGUR 5. Oversikt over kjemikalier i F-114s produksjonsenhet.

Maxam får sin emulsjon, OM12 produsert av Maxam i Sverige. Emulsjonen som var lastet på F-114 før ulykken var produsert i Enköping 20. november og fraktet til depotstasjonen på Brønnøy Kalk i Norge den 21. november.

5.2.2 PRODUKSJONSPROSESS PÅ F-114

ANPP tanken var bygget i aluminium og hadde en kapasitet på 6 600 liter. Det var montert skruer i bunnen av tanken for å transportere ANPP til den vertikale skruen som fører ANPP videre opp til den horisontale mikseskruen. Matrisetanken var også på 6 600 liter og bygget i aluminium. Matrisen pumpes via slange til den horisontale mikseskruen, og er den første tilsatsen i mikseskruen. Prosjektgruppen mener at denne prosessløsningen avviker fra bransjens standard. Den vanligste, og etter prosjektgruppen mening beste løsning er at ANPP mixes med diesel før innblanding i ANE. Dette gir bedre oppsuging av diesel.

Dieseltanken og tanken for gassmiddel var på henholdsvis 430 og 150 liter, begge var i aluminium. Dieseltanken (til produksjon) var festet til chassis bakerst på høyre side (bakenfor matrisetanken, ved siden av og under slangetrommelen). Tanken for gassmiddel var montert på kjøretøyets høyre side innenfor den nest bakerste skapdøren. Under produksjon blir diesel og så gassmiddel tilsatt i den horisontale mikseskruen. Til tross for at gassmiddelet tilsettes i mikseskruen vil gassingene være langsom på grunn av relativt høy pH i blandingen. Uten tilsatt av syre vil denne blandingen nå en romvekt på 1,2 kg/dm³ etter omtrent 45 minutter ved 25 °C. Etter miksing overføres blandingen til en ferdigproduksilo på 275 liter. Produksjonen starter og stopper avhengig av nivå i produksilsiloen.

I et scenario der den horisontale skruen utsettes for varme vil gassingene i emulsjonen starte selv om pH i emulsjonen er høy. Syre er kun en katalysator som tilsettes for å øke gasehastigheten da anvendt ANE har høy pH og det er kalde betingelser. Prosjektgruppens mening er at tilsatsen av gassmiddelet ikke bør gjøres i innløpet av den horisontale skruen. Dette for å forhindre at emulsjonen tilsatt ANPP/diesel gasser før den er i borehullet.

Når operatøren starter med å lade et borehull, starter også vannpumpen og pumpen som doserer syre. Vanntanken på 800 liter var plassert mellom de to store produkttankene. Syretanken på 150 liter var plassert på kjøretøyets høyre side innenfor den bakerste skapdøren.

Kapasiteten til F-114 var på ca. 13 tonn.

5.2.3 SAMSVARSVURDERING

Ifølge bestemmelsene i eksplosivforskriften kapittel 3, samt vedlegg I og II, stilles det konkrete krav til samsvarsvurdering, samsvarserklæring og tilhørende dokumentasjon for eksplosiv vare. De nevnte reglene er en gjennomføring av direktiv 93/15/EØF om markedsføring og kontroll med eksplosiv vare til sivil bruk.

I henhold til eksplosivforskriften § 3-4 første ledd skal et teknisk kontrollorgan attestere at den eksplosive varen er i samsvar med bestemmelsene i direktivet, før den markedsføres.

Prosjektgruppen har mottatt «EF-typeprøvingssertifikat Nr. 0589. EXP. 2443/02» utstedt av BAM den 17. desember 2003. Sertifikatet bekrefter at en prototype av sprengstoffet Emulgit AN RP oppfyller de grunnleggende sikkerhetskrav i vedlegg I i direktiv 93/15/EØF. Prosjektgruppen har videre mottatt første vedlegg til «EF-typeprøvingssertifikat Nr. 0589. EXP. 2443/02» utstedt av BAM den 14. juli 2009 på forespørsel fra Maxam Deutschland GmbH. Dokumentet bekrefter endringer i sertifikat nr. 0589 som gjelder produsentens navn og adresse, som endres fra Westspreng GmbH til Maxam Deutschland GmbH, samt at RIOMEX SC 7000 skal legges til som alternativt handelsnavn for sprengstoffet Emulgit AN RP.

KAPITTEL

06

Utgangsstoffer
til sprengstoff-
produksjon



Kapittelet gir en introduksjon til kjemikalienes fysikalske og kjemiske egenskaper både ved normale betingelser og ved oppvarming.

6.1 TEKNISK AMMONIUMNITRAT

Til produksjon av sprengstoff ble det på MEMU F-114 benyttet en ammoniumnitrat produsert som porøse priller. Denne benevnes ANPP. ANPP er av en spesiell porøs kvalitet (tetthet på 0,8 g/cm³) som egner seg spesielt godt til tilvirkning av sprengstoff. Ved transport er stoffet klassifisert som farlig gods kl 5.1 oksiderende med UN1942. For ammoniumnitrat klassifisert som UN1942 er det krav til maks 0,2 % brennbart materiale. ANs termiske ledningsevne er svært lav og dets varmekapasitet er ganske høy. Det vil si at det må tilføres relativt mye varme for å smelte AN.

Da ANPP består av ren ammoniumnitrat vil de kjemiske egenskapene til ANPP tilsvare de kjemiske egenskapene til AN.

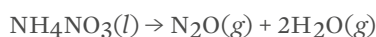
6.1.1 DEKOMPONERING AV AMMONIUMNITRAT

En rekke endringer kan skje med AN ved varmpåvirkning. ANs krystallstruktur endrer seg ved ca. 32 °C og går fra porøse korn til en mer pulverisert form, noe som øker følsomheten. Ammoniumnitrats smeltepunkt er ca. 170 °C.

Allerede fra rundt 80–90 °C kan det starte endoterm dekomponering med ammoniakk og salpetersyre som produkt:



Når temperaturen nærmer seg ANs kokepunkt på 210 °C, blir dekomponeringen en eksoterm prosess med dinitrogenoksid og vann som produkter som gir hvit røyk i form av vanndamp:



Ved ytterligere temperaturstigning akselererer dekomponeringen og giftige nitrogenoksider som viser seg som rødbrune gasser kan dannes. Denne dekomponeringen kan være av eksplosiv karakter.

6.1.2 EKSPLOSJON I AMMONIUMNITRAT

AN kan forårsake en eksplosjon ut fra en av tre mekanismer: oppvarming ved inneslutning, run-away reaksjon eller detonasjon. ANs evne til å detonere er avhengig av mange faktorer som f.eks. de kjemiske og fysiske egenskaper til den formen AN er på, omgivelsene, kontamineringer samt temperatur og trykk.

Når AN er innesluttet og blir oppvarmet, øker dekomponeringshastigheten betraktelig og trykket kan nå så høye nivåer at en eksplosjon forekommer. (4,6,7) I litteraturen er det en bred enighet om at det teoretisk sett er mulig med en eksplosjon i store mengder med ren AN ved brann på grunn av lokal oppvarming og indre kollaps i store samlede mengder. Områdene med høy temperatur og lav densitet har en sensitiverende effekt og kan danne lokal inneslutning og trykkoppbygning som igjen kan føre til eksplosjon. En hurtig trykkstigning, høy nok til å initiere sensitivert smeltet AN, er også teoretisk mulig med den tidligere nevnte indre kollaps i en stor samlet mengde. Flere forsøk har blitt utført med både store og små mengder AN. Mens tester med mindre mengder (gramskala) som oppvarmes hurtig (rapid localized heating tester) har vist evne til å detonere (7c), er det fortsatt ingen tester med større mengder ren AN som har vist evne til detonasjon på grunn av lokalt kollaps i den store samlede mengden. Det viser seg å være særdeles vanskelig å konstruere og reproducere resultater fra slike storskalaforsøk. Til gjengjeld har det vært mulig å få detonasjon i store samlede mengder med tilsats av ulike mindre mengder sensitiverende midler (f.eks. diesel). (4)

En run-away reaksjon i et materiale/stoff skjer når den generelle temperaturøkningen fører til en økning av reaksjonsraten til en reaksjon som er eksoterm (avgir varme), slik at mere varme blir tilført systemet enn det som blir avgitt til omgivelsene. Det vil si, at varmen som produseres fra reaksjonen (her dekomponeringen) er med til å fremme ytterligere dekomponering i tillegg til det som den ytre temperaturen allerede bidrar slik at dekomponeringen «løper løpsk». Dette kan føre til en eksplosjon.

Det refereres ofte til fenomenet deflagrasjon til detonasjon-overgang i eksplosivlære. Som navnet tilsier, er dette et fenomen som opptrer når en deflagrasjon (forbrenning) i et potensielt eksplosivt stoff går over til en detonasjon. Det hersker fortsatt mye usikkerhet om de eksakte mekanismene bak fenomenet, men man antar at både inneslutning og run-away reaksjoner kan føre til en slik overgang.

Flere typer av urenheter kan også øke eksplosjonsfaren til AN under visse forhold. Så lave mengder som 0,2 % organisk materiale f.eks. diesel, cellulose etc. eller metaller som aluminium, kan øke sensitiviteten betraktelig. (8)

6.1.3 RELEVANT FORSKNING PÅ ANs EKSPLOSIVE EGENSKAPER VED BRANN

På grunn av de mange ulykkene i historien der AN har vært involvert, finnes det en stor mengde med publikasjoner der ANs eksplosive egenskaper, spesielt under brann, har blitt undersøkt. De fleste av disse konkluderer med at ammoniumnitrat generelt sett har meget lav sensitivitet og krever kraftig initiering for å kunne detonere. Likevel er det visse forhold og scenarier som ser ut til å øke sannsynligheten for detonasjon, men disse er ofte vanskelige å reproducere. En av årsakene til dette er at en stor andel av disse eksperimentene utføres på liten skala, av både sikkerhetsmessige og praktiske årsaker. De følgende eksemplene representerer forsøk og eksperimenter på stor skala.

I rapporten «Explosion Hazards of Ammonium Nitrate Under Fire Exposure» (4) undersøkes ammoniumnitrats eksplosjonsfare ved brann. Her konkluderes det med at ved romtemperatur er AN ekstremt lite sensitivt og en detonasjon krever meget store ladninger og en kraftig eksplosiv donor. Men, ved høyere temperaturer ble det observert at ANs kritiske diameter reduseres betraktelig og derfor dens sensitivitet. Denne observasjonen har også blitt grundig undersøkt i en nyere studie. (5) Likevel, selv ved kraftig inneslutning og høye temperaturer, ble det ikke observert noen detonasjon av ren AN.

AN med forskjellige typer av brensel ble også undersøkt. Her ble detonasjon kun observert ved kraftig inneslutning. De oppvarmede blandingene ble også undersøkt for prosjekttilsensitivitet. Her viste det seg at detonasjon av både ren AN og AN med brensel

var mulig ved temperaturer rundt ANs smeltepunkt. Prosjekttilsensitivitet ble også undersøkt i rapporten «The Sensitivity of Ammonium Nitrate Melts and Solutions To Projectile Impact». (6) Her ble det påvist at ved temperaturer over 260 °C, kan ammoniumnitrat, selv om det ikke er innesluttet, detoneres av prosjektiler over 50 mm i størrelse. Ved disse forholdene ble den kritiske støthastigheten funnet til å være 190 m/s. Både ved lavere temperaturer og med vandige AN løsninger synker prosjekttilsensitiviteten betraktelig. Denne rapporten var én i en serie med rapporter som ble utgitt i en femårsperiode frem til 1982 av «The Department of Mining Engineering at Queen's University» i Canada. (6,7) Her ble en rekke tester utført på både fast og flytende AN for å undersøke dets evne til å detonere under ulike ekstreme forhold.

Hovedkonklusjonen var, at ANs sjokksensitivitet, uansett om den var fast eller flytende, var en direkte funksjon av temperaturen. Jo høyere temperatur og jo lavere densitet, jo større var potensialet for detonasjon fra sjokkpåvirkning. I tillegg ble det også observert at den økte sjokksensitiviteten ved høyere temperaturer var avhengig av mengden AN.

Tilsetningsstoffer eller urenheter kan også ha stor effekt på ANs sensitivitet. (8) Så lave mengder som 0,2 % organisk materiale (f.eks. diesel, cellulose etc.) eller metaller (f. eks. aluminium) kan øke sjokksensitiviteten betraktelig, spesielt ved høye temperaturer. (9) Mengder så lave som 0,1 % med kloridsalter som f. eks. CaCl_2 , NH_4Cl , AlCl_3 og FeCl_3 er også kjent for å øke ANs sensitivitet ved at dekomponeringstemperaturen senkes. (10) I tillegg vil sure betingelser (lav pH) også kunne sensitivisere AN og øke eksplosjonsfaren. (11)

6.2

AMMONIUMNITRAT EMULSJON

Ammoniumnitratemulsjonen (ANE) som ble benyttet på F-114 bestod av en vandig fase med ammoniumnitrat blandet med en oljefase. Det dannes en vaselinaktig blanding ved hjelp av emulgatorer. Emulsjonen er oljekontinuerlig og er dermed ikke blandbar med vann. ANE er klassifisert som kl 5.1 oksiderende. Ved transport er emulsjonen definert som farlig gods med UN3375.

Da en ammoniumnitratemulsjon i hovedsak består av AN, vil en oppvarming i ANE i teorien kunne føre til samme dekomponeringsmønstre som beskrevet i forrige avsnitt. Hvis vannet i ANE får mulighet for å dampe av, vil resultatet kunne bli en ANFO-lignende blanding, noe som vil kunne ha et kraftigere eksplosivt potensial ved brann enn ANPP alene. Det vil si, at oppvarming av ANE, spesielt i innesluttet tilstand (rør o.l.), kan føre til en økt eksplosjonsfare. Hvis AN i denne blandingen i tillegg begynner å dekomponere, «gasser» blandingen seg selv slik at vi får en blanding med lavere densitet og høyere sensitivitet. Som for AN, vil visse kontamineringer kunne gjøre ANE mer sensitivt.

6.2.1 RELEVANTE TESTER AV ANES EKSPLOSIVE EGENSKAPER

En rekke kriterier gitt i regelverket for transport av farlig gods skal oppfylles for at et stoff skal kunne klassifiseres og transporteres under UN3375. For at en emulsjon skal kunne godkjennes må den gjennomgå empiriske tester. Testene er nøye beskrevet i FN's testmanual og undersøker følgende egenskaper:

- Termisk stabilitet.
- Sjokksensitivitet (GAP test).
- Sensitivitet under ekstrem varme og inneslutning (Koenen test).

I tillegg skal stoffets egnethet for tanktransport være dokumentert på en måte som vedkommende myndighet finner akseptabel. Til dette benyttes ofte Modified Vented Pipe Tests (MVPT).

Metoden går grovt sett ut på at stoffet blir brent av i et stålrør med bestemte dimensjoner og tester slik hvilken effekt en langvarig brann under innesluttede, men ventilerte forhold har. En MVPT har også blitt utført på emulsjon i et aluminiumrør. Forsøket viste at ved høye temperaturer smelter aluminiumet og revner. På denne måten hindres en trykkoppbygning ved at emulsjonen renner ut og brenner ut.

Vanligvis viser MVTP med emulsjon en voldsom reaksjon og emulsjonen kastes ut av stålrøret. Diameteren på ventilasjonen har vist seg å ha stor betydning for om det oppstår eksplosjon.

Videre har tre storskalaforsøk undersøkt konsekvensen av en brann når ANE fraktes på henholdsvis ADR godkjente stål- og aluminiumtanker. (2,3) Disse testene har vist at der brann i ståltank fører til oppbygging av trykk, hurtigere dekomponering og til sist en kraftig utblåsning, revner aluminiumstankene på grunn av svekkelsen av aluminium ved temperaturer omkring smeltepunktet. I begge storskalatestene med aluminiumtanker var mellom 25–40 % av emulsjonen ikke omsatt etter at brannen hadde opphørt.

Det er et viktig poeng at de gjennomført storskalatestene var rigget på en måte som ikke nødvendigvis er representativ for en brann i en MEMU. I testene var det direkte kontakt mellom brannen og tanken. Ved brann på en MEMU kan brannen primært være i dekkene og det kan være en plate mellom brannen og tankene.

6.3

DIESELØLJE

F-114 hadde to dieseløljjetanker, den ene var lastebilens drivstofftank og den andre var en del av produksjonsenheten. Dieselølje er et petroleumbasert drivstoff bestående av både mettede hydrokarboner og aromatiske hydrokarboner. Det ble benyttet anleggsgasdiesel og kjøretøydiesel på F-114. Anleggsgasdieselen som ble benyttet på F-114 hadde kokepunkt på 190–370 °C og flammepunkt på 65 °C og er klassifisert som brannfarlig væske. Kjøretøydieselen hadde et flammepunkt på 60 °C.

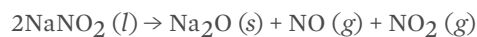
Sikkerhetsdatablad for anleggsdiesel er levert prosjektgruppen.

6.4

NATRIUMNITRITTLØSNING

Natriumnitritt er et fargeløst salt som er klassifisert som oksiderende, giftig og miljøskadelig. Natriumnitritt fungerer som sensitiverende middel ved at det reagerer med AN og danner nitrogengass. Eksplosjonsfaren for natriumnitritt er mye lavere enn for korresponderende nitrater, men sammen med ammoniumsalter, pulverisert metall eller brennbare forbindelser kan det dannes eksplosive blandinger.

Natriumnitritt har et oppgitt smeltepunkt på 280 °C. Ved temperaturer over 320 °C er natriumnitritt ustabil og begynner å dekomponere til natriumoksid, nitrogen(II)oksid og nitrogendioksid.



Sikkerhetsdatabladet for natriumnitritt i sekker a' 25 kg er levert prosjektgruppen. I dette opplyses det blant annet at stoffet er brannfarlig ved kontakt med brennbare stoffer, det må ikke utsettes for varme, at det er uforenelig med oksideringsmidler og at det ikke må lagres med syrer og ammoniumsalter.

Selv om natriumnitritt har de nevnte egenskapene ved høye temperaturer må man her ta høyde for at det er snakk om en 25 % oppløsning som ikke er direkte sammenlignbar med ren natriumnitritt.

6.5

EDDIKSYRELØSNING

Eddiksyre er en karboksylsyre og er en svak syre med kokepunkt mellom 118 og 119 °C. Eddiksyre over 10 % er klassifisert som en etsende og brennbar væske. Eddiksyre benyttet på F-114 har et flammepunkt på 69 °C. Eddiksyren fungerer som en katalysator for sensitiveringen av den produserte sprengstoffblandingen, og bidrar til at ønsket tetthet oppnås.

Sikkerhetsdatablad for eddiksyren på F-114 er levert prosjektgruppen. I dette opplyses det blant annet om at stoffet er uforenelig med oksideringsmidler, varme og flammer skal unngås og at oppvarming kan frigjøre damper som kan bli attent.

KAPITTEL

07

Relevante ulykker



7.1

AMMONIUMNITRAT

AN produseres i store mengder over hele verden. I 2012 var det estimert at produksjonen var på over 57 millioner tonn. Ca. 75 % av denne mengden blir anvendt som gjødsel. En stor del av de resterende 25 % inkluderer sivile eksplosiver som f.eks. ANFO (ammonium nitrate-fuel oil) og emulsjonseksploder som er tryggere alternativer i forhold til andre mer sensitive eksplosiver med samme effekt.

I løpet av de siste par århundre har det vært mange ulykker der AN har vært involvert. En av de første og mest kjente er fabrikkulykken i Oppau, Tyskland i 1921 der en over 4 500 tonns blanding av ammoniumsulfat og ammoniumnitrat eksploderte på grunn av den tids metoder der dynamitt ble brukt for å knuse kaket ammoniumnitrat. Ulykken på havnen i Texas City, USA i 1947, er til dags dato den verste industrielle ulykke som har skjedd i USA. Her lå to skip til kai lastet med henholdsvis 2 280 og 961 tonn med AN i gjødselkvalitet. På den tiden ble AN belagt med en type voks som skulle hindre kaking, noe som forårsaker av fukt. Dette vet vi i dag gjorde AN mere sensitiv. Gjødselen ble i tillegg oppbevart i papirsekker ved relativt høy temperatur, noe som var med på å øke brann- og eksplosjonsfaren. En av de seneste ulykkene skjedde i 2013 i West, Texas, USA

der en brann i en gjødselabrikk førte til eksplosjon. Årsaken til eksplosjonen antas å være at AN høyst sannsynlig ble oppbevart sammen med korn og andre brennbare materialer.

7.2

BRANN VED TRANSPORT AV AMMONIUMNITRAT

De følgende ulykkene har fokus på brann i motordrevne kjøretøy lastet med AN og/eller emulsjon, da dette har mest relevans for ulykken som denne rapporten beskriver. Det finnes ingen tidligere rapporterte ulykker med et MEMU-kjøretøy hverken i inn- eller utland.

Tilvirkning av flytende sprengstoff på brukerstedet har blitt utført i Norge siden 60-tallet. Kun ett uhell har siden den gang blitt rapportert i Norge. Dette var i 1999 da det under driving av Ibestadtunnelen oppstod brann i boreriggen. En transportabel produksjonsenhet stod koblet til riggen. Tunnelen og nærmeste omgivelser ble evakuert i ett døgn, men ingen eksplosjon oppstod. I utlandet, er det rapportert flere ulykker der transport av

ammoniumnitrat og/eller emulsjon har vært involvert. Noen av disse er beskrevet i tabellen under:

HVOR	NÅR	INNHold	FORLØP	SKADEOMFANG
Walden, Canada	1998	18 tonn med ammoniumnitrat-baserte eksplosiver, bl.a. ANFO.	Trekkvogn og semitrailer kjørte inn i en fjellvegg og tok fyr. En intens brann varte i ca. 35 min innen det eksploderte.	To personer med mindre skader. Store skader på omkringliggende eiendommer.
Usmanka, Russland	2004	Ukjent mengde ANE.	Kjøretøyet kjørte av veien, tok fyr og eksploderte.	Kun materielle skader.
Mihaiilesti, Romania	2004	23 tonn med AN gjødsel.	Kjøretøyet kjørte av veien, veltet og tok fyr. Sjåføren prøvde å slukke brannen uten hell. Brannen varte i en time før det eksploderte.	18 døde (sjåføren, 7 brannmenn, 2 journalister og 8 tilskuere) og 13 skadde.
Barracas, Spania	2004	25 tonn AN gjødsel.	Lastebilen kolliderte med en bil, rullet rundt og tok fyr. Ca. 30 min senere eksploderte lastebilen.	2 døde og 5 skadet.
Shengangzhai, Kina	2005	19,5 tonn med AN.	Ukjent.	12 døde og 43 skadet.
Charleville	2014	50 tonn.	Kjøretøyet kjørte av veien og tok fyr. Brannen varte i ca. 1 time innen det eksploderte.	8 skadde.

FIGUR 6. Oversikt over de seneste relevante ulykker som involverer brann i kjøretøy med AN og/eller emulsjon.

Ulykken i Walden er muligens mindre sammenlignbar med ulykken i Drevja da denne bilen inneholdt ferdigblandede ammoniumnitratbaserte eksplosiver, men den er likevel nevnt fordi den er en av de mest veldokumenterte ulykkene som involverer veitransport av denne type kjemikalier.

KAPITTEL

08

Informasjons-
innhenting



INFORMASJONSINNHENTING

Prosjektgruppen vurderte fortløpende i sitt arbeid hvilken informasjon det var mulig å innhente for å kunne analysere hendelsen på Drevja. Følgende initiativ ble iverksatt for å innhente informasjon om hendelsen:

Straksbefaring

Den 19. desember 2013 var politiet, Maxam, entreprenører og DSB på befaring på ulykkesstedet. Hensikten var å få innblikk i hendelsen og konsekvensomfanget.

Bilder, video og vitneutsagn

Det ble tatt store mengder bilder fra da brannen ble oppdaget samt frem til og etter eksplosjonen. Prosjektgruppen har mottatt bilder fra Maxam, brannvesenet, Statens vegvesen og Johs J. Syltern. Prosjektgruppen har gjort skriftlige intervjuer med Maxam, Staten vegvesen, Johs. J. Syltern, politi og brannvesen. All dokumentasjon er delt med politiet og Maxam. Både bilder og intervjuer er analysert for å vurdere om observasjonene kan gi innspill til forløpet. Eksplosjonen ble også filmet fra militæroleiren HV-14 ca. 3 km unna. Denne videoen er også blitt analysert.

Kartlegging av skadeomfang på bebyggelse

Den 24–25. februar 2014 gjennomførte prosjektgruppen befaring på Drevja der hensikten var å kartlegge skader på bebyggelsen. Denne kartleggingen dannet underlag til ladningsberegninger utført av DSB.

Kartlegging av fragmenter

Fra 2–4. juni 2014 gjennomførte Maxam og prosjektgruppen en større befaring. Statens vegvesen og Sivilforsvaret bisto med ressurser, og i tillegg var det innhentet kompetanse fra FFI.

Hensikten med befaringen var å relativt detaljert kartlegge fragmentspredningen. Dette skulle danne et grunnlag for å utføre ladningsberegninger basert på fragmentutkast, identifisere initieringsårsak til eksplosjonen og forstå hvor på kjøretøyet eksplosjonen startet.

Følgende søk etter fragmenter ble organisert:

- Søk etter store deler i en radius på 0–200 meter, da FFI hadde en hypotese om at motorblokken og andre svært tunge deler som sitter lavt på bilen

burde ligge innen denne radiusen. Grunnlag for ladningsberegning og vurdering av hvor på kjøretøyet eksplosjonen har skjedd.

- Søk etter større deler lengre ut, i en radius fra ca. 250–700 meter. Grunnlag for ladningsberegning, benyttet av Maxam.
- Søk etter aluminiumsfragmenter i en radius på ca. 700 meter. Grunnlag for å vurdere om aluminiumstankene smeltet og eksplosjonsforløpet.
- Søk etter vitale deler. Med vitale deler menes spesielt pumper og skruer, men også andre fragmenter som er illustrerende for hva som kan ha skjedd.

Innhenting av underlag fra vibrasjonsmåling

På nærliggende gårdsbruk hadde Multiconsult på vegne av Statens vegvesen montert en måler for å overvåke vibrasjoner fra sprengninger i steinbruddet. Måleren var montert på grunnmur på griseføset. Måleren registrerte vibrasjoner i vertikal retning. Instrumentet lagret vibrasjonsforløp hver gang en forhåndsdefinert triggerverdi ble overskredet.

Pålegg om fremleggelse av dokumentasjon

Maxam har i løpet av arbeidet fått pålegg om å fremlegge en rekke dokumenter. Maxam har fulgt opp alle påleggene.

Annen informasjon

Prosjektet har innhentet informasjon fra geolog i Statens vegvesen. Statens vegvesen har ført tilsyn med verkstedet som reparerte MEMU F-114 etter kollisjon med elgene og det er holdt møte mellom prosjektgruppen og Statens vegvesen for overlevering av informasjon. Volvo ble kontaktet angående mengde aluminium i en Volvo FH-førerhytte.

Dersom prosjektgruppen hadde hatt den kunnskapen vi har i dag og hatt flere ressurser er det selvfølgelig ytterlig informasjon som kunne vært innhentet. Prosjektgruppen tenker da blant annet på grundige metallurgiske og kjemiske analyser av aluminiumfragmentene for med større sikkerhet kunne si noe om det er sannsynlig at tanken var smeltet og om rester av hydrokarboner kunne avgjøre hvilke tank fragmenter stammet fra. Motorblokken kunne også blitt vurdert nærmere for hvilke knusende effekt den var utsatt for. I tillegg kunne det vært gjort et grundigere søk etter kjemikalier i terrenget straks etter eksplosjonen for med større sikkerhet kunne si om kjemikalier var kastet ut. En bedre kartlegging

av vinduskvaliteter ville også økt presisjonsnivået på ladningsberegningen som er basert på skadeomfanget. Sist, men ikke minst, kunne det selvfølgelig også ha blitt utført et enda mer grundig søk etter fragmenter som kunne bidratt til å redusere usikkerhetene i fragmentanalysen. Totalt sett ville dette komplementert informasjonsbildet, men det er usikkert hvorvidt det ville påvirket sannsynlighetsvurderingene og om det i større grad hadde bidratt til en oppklaring av hendelsesforløpet.

KAPITTEL

09

Analyser og
vurderinger



Basert på innhentet informasjon har både prosjektgruppen og eksterne kompetente fagmiljøer utført en del analyser og vurderinger. I de neste avsnittene presenteres de analysene og vurderingen som er utført av prosjektgruppen i DSB med bidrag fra Forsvarsbygg, FFI, NGI og Statens vegvesen.

Basert på innhentet informasjon om fragmentutkast kunne ytterlige analyser for å beregne ladningsstørrelse ha blitt utført. Dette ville vært et supplement til analysene basert på utkastet av motorblokken, men samtidig er det viktig å presisere at usikkerheten i analysen øker når størrelsen på fragmentet går ned.

Basert på videoopptaket av eksplosjonen kan det også gjøres en ladningsberegning basert på ildkulen som oppstod. Dette sporet er ikke fulgt opp da ladningsberegninger er utført basert på tre andre uavhengige metoder.

9.1 ANALYSE AV ÅRSÅK TIL BRANN

Basert på vitneutsagn og bilder er det mest sannsynlig at brannen startet i det elektriske anlegget nede på høyre side av chassiset. I dette området går det kabler fra høyre frontlykt til sikringskonsoll som er plassert nede til høyre foran i førerhuset. Det var dette området som ble skadet ved elgpåkjørselen. Det faktum at brannbekjempningen ikke lyktes tyder på at arnestedet var vanskelig å lokalisere og ikke var tilgjengelig. Prosjektgruppen vurderer det som sannsynlig at det en sammenheng mellom feil på det elektriske anlegget og brannen, men det er ikke mulig å dokumentere direkte kobling mot skaden eller reparasjonen etter elgpåkjørselen. Statens vegvesen har gjort tilsyn hos verkstedet som utførte reparasjonen og støtter denne vurderingen.

9.2 ANALYSE AV EKSPLOSJONSSTEDET

Ved befaring på eksplosjonsstedet var de viktigste observasjonene at MEMUen var betydelig fragmentert, at det ikke kunne identifiseres et krater, at patronert sprengstoff og tennere lå igjen på salven, at en pukkhaug like på siden av bilen virket uberørt, at det ikke kunne observeres kjemikalier i terrenget og at slangen som ble brukt til å lade borehullene ble funnet i nærheten tilsynelatende intakt.

I følge «Introduction to the technology of explosives, Paul W. Cooper og Stanley R. Kurowski» skal det når en sprengstoffladning går av på overflaten dannes et krater. Størrelsen på krateret avhenger av størrelsen på ladningen. Radius er svært forutsigbar om man kjenner til egenskap for jordart/bergart, sprengstoffets egenskaper, form eller geometrien av ladning, hvor høyt det går av over bakken eller hvor dypt det er nedgravd under bakken. Med tanke på hendelsen i Drevja er det svært få av disse faktorene som er kjent.

Om en ladning går av over bakken vil krateret bli stadig mindre jo høyere det er fra bakken. Når senter for ladningen er tre ganger diameteren for ladningen vil kraterdiameteren være minket til 5 % av det den er i forhold til eksplosjon på overflaten.

Simulering med CONWEP programmet gir som resultat at når 900 kg TNT går av på bakken og underlaget er massiv armert betong eller berg vil det bli ca. 41 cm kraterdybde og ca. 0,9 m³ kratervolum.

Grunnen til at det likevel ikke ble dannet et tydelig krater etter eksplosjonen på Drevja kan ha flere forklaringer.

Geolog i Staten vegvesen tilknyttet veiprojektet har kartlagt de geologiske forholdene på eksplosjonsstedet. Bergarten på stedet der eksplosjonen skjedde er glimmerskifer. Glimmerskifer tåler normalt høyere trykk (er tungsprengt) enn for eksempel gneis. Dette skyldes at bergarten er litt porøs og har den egenskapen at den kan deformeres ved trykk (duktil). Det er geologens oppfatning at en eksplosjon i dagen (på bakken eller 0,5 meter over bakken)

normalt ikke ville påvirke glimmerskifer mer enn å få overflatesprekker (avskalling). Se vedlegg 1 for nærmere analyse.

Generelt kan en si at et sprengstoff med lav brisans har liten knusende effekt i forhold til eksplosiver som TNT. Basert på dette er det sannsynlig at stoffet som eksploderte hadde lav brisans og slik bidro til at det ikke ble dannet et tydelig krater.

At det tilsynelatende ikke oppsto krater kan også indikere at eksplosjonen fant sted over bakken, at det energetiske materialet som eksploderte hadde relativt stor overflate eller at det ble dannet et lite krater som var vanskelig å identifisere.

Et sprengstoffs virkning er svært forskjellig om det er plassert i et borehull, på overflaten med fordemning eller ligger utildekket. Verken tidligere tester eller ulykker har kunnet demonstrere at det ved detonasjon på overflaten har oppstått krater i glimmerskifer.



FIGUR 7. Bilde illustrerer feltet av glimmerskifer.



FIGUR 8. Bilde som viser eksplosjonsstedet før eksplosjonen.



FIGUR 9. Bilde som viser eksplosjonsstedet etter eksplosjonen.

Bildene i figur 8 og 9 illustrerer godt at MEMUen ble betydelig fragmentert og kastet ut av eksplosjonen.

Før eksplosjonen stod MEMUen plassert ca. midt i bildet i figur 9.



FIGUR 10. Bilde som illustrerer trykkbølgens påvirkning av pukkhaugen.

I bildet i figur 8 kan en se en pukkhaug til venstre i bildet, foran og på siden av MEMUen. Ved straksbefaringen den 19.12.2013 ble det vurdert at pukkhaugen var mindre berørt av trykkbølgen enn man skulle kunne forvente. Bilde som er tatt på stedet etter eksplosjonen og gjengitt i figur 10 illustrer det samme selv om det er vanskelig på grunn av usikkerhet i avstanden å gi en eksakte vurdering av påvirkningen.

Patronert sprengstoff, tennere og borehullsplugger som var lagt ut på salven lå igjen, kun det nærmeste var påvirket av brannen. Eksplosivene ble samlet sammen og talt opp mot det som var lagt ut. Regnskapet viste at alt som var plassert på salven ble funnet ved borehullene. Ingen ladede borehull hadde gått av.



FIGUR 11. Bilde som illustrerer hvordan det så ut på salven etter eksplosjonen.

Slangen med ferdig blandet sprengstoff ble funnet tilnærmet intakt ca. 40 meter fra der MEMUen stod. Slangen var totalt 84 meter og bestod av ca. 60 meter 1" armert gummi-slange fra bilen og ut og ca. 24 meter 3/4" ladeslange i plast som føres ned i borehullet. Innholdet i slangen ble sent til LOM (teknisk kontrollorgan) for analyse. Produktets sammensetning ble analysert, sensitiviteten ble testet med UN testserie 3a og 3b og produktets termiske stabilitet ble vurdert. Resultatet var i overensstemmelse med grunnlaget for samsvarserklæringen til sprengstoffet RIOMEX SC 7000.



FIGUR 12. Bilde som viser slangen med innhold.

Det ble ikke observert tydelige rester etter verken ANPP, ANE eller andre kjemikalier nært eksplosjonsstedet.

Bildene i figur 13 og 14 viser at berget er rødfarget. Geolog fra Statens vegvesen sannsynliggjør i dialog at dette må stamme fra hendelsen.



FIGUR 13. Bilde som viser rødfarge på berget.



FIGUR 14. Nærbilde av berg som er farget.

9.3

LADNINGSBEREGNING BASERT PÅ SKADER PÅ BEBYGGELSE

Analysen bygger på estimat på trykk og impuls fra eksplosjonen ut fra vurderinger av skadeomfang på ulike bygg. Dersom man ut fra vurderinger av raseringsnivå kan anslå et trykknivå på en gitt avstand, så er det mulig å beregne ladningsstørrelse

i TNT-ekvivalenter. For å anslå trykknivået er det spesielt vurderingen av andel knuste vinduer pr vegg som er sentralt. Fasadens orientering i vinkel mot eksplosjonsstedet er viktig for å beregne reflektert trykk.

I en slik vurdering kan også trykk-impuls kurver legges til grunn. Det finnes eller kan beregnes slike kurver for ulike glassdimensjoner, glasstykkelser og kvaliteter. Prosjektgruppen har fått støtte fra Forsvarsbygg for å finne frem representative kurver.

Vindusskadene ble kun kartlagt ved å ta bilder. Størrelser på vinduer er ikke målt, og det er ikke innhentet informasjon om vinduskvalitet. Ut ifra bildene som ble tatt kan det skilles grovt mellom store og små vinduer, og for de fleste bygg antas glasskvaliteten å være ikke herdet (gamle vindu).

Bildene er analysert for å finne fasader med flere vinduer av samme type hvor kun noen, men ikke alle er knust. Man er da på grensen av hva vinduene har tålt av trykk og impuls. Areal og kvalitet på vinduene må så vurderes for, ut fra erfaring, å kunne anslå trykk og impuls den konkrete fasaden har vært utsatt for. Sidetrykk på 5 kPa kan i mange tilfeller representere trykknivå der vindusskader oppstår og kan gi knusing av vinduer. Noen ganger må trykket opp i 10 kPa for å oppnå knusing og det kan være fasader som tåler opp mot 15 kPa før 50 % av vinduene knuser.



FIGUR 15. Gult hus – langsida mot sør.

ANALYSER OG VURDERINGER

Vindusskadene på «gult hus» representerer et side-trykk på 5 kPa. Avstanden fra dette huset til eksplosjonsstedet er ca. 210 meter, og refleksjonsvinkelen til den sørlige langveggen er ca. 76 grader. Noen vinduer er knust og noen skjøvet inn. Tilsvarende vurderinger er gjort for en rekke bygninger, og ladning som skal til for å forårsake skadene på de gitte avstandene er beregnet ved bruk av CONWEP og PI-kurver.

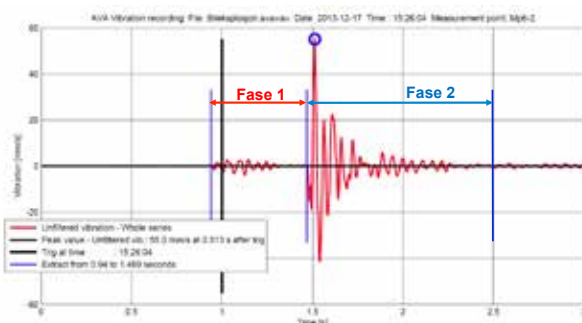
Det er godt sammenfallende resultater og analysen gir holdepunkter for å hevde at eksplosjonen har hatt en effekt på mellom 500 og 1 000 kg TNT.

I vedlegg 2 finnes detaljert oversikt over skadeomfanget og laddningsberegninger som er utført.

9.4 LADNINGSBEREGNING BASERT PÅ RYSTELSESMÅLING

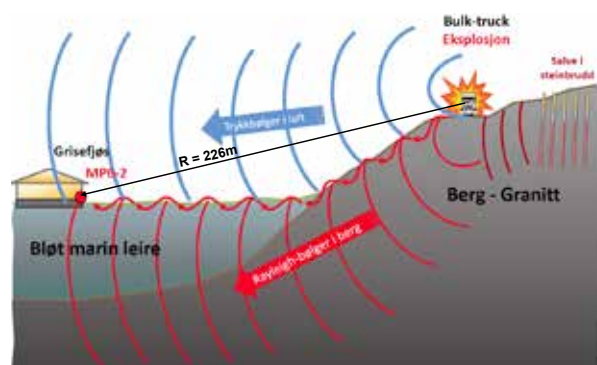
Prosjektgruppen gav Norges Geotekniske Institutt, NGI i oppdrag å tolke vibrasjonsopptaket og gi et best mulig estimat på hvilken mengde sprengstoff, i TNT-ekvivalenter som gikk av under eksplosjonen.

Vibrasjonsforløpet fra eksplosjonen viser tydelig to separate faser – videre benevnt fase 1 og 2. NGIs tolkning er at fase 1 er vibrasjoner som er overført som mekaniske bølger fra eksplosjonen gjennom bakken. Fase 2 er bevegelser som er induisert omkring grunnmuren og direkte i grunnmuren, i det lufttrykket fra eksplosjonen passerer.



FIGUR 16. Registrert vibrasjonsforløp fra eksplosjonen ved Drevja 17.12.2013.

Den delen av vibrasjonsforløpet som skyldes vibrasjoner overført direkte gjennom bakken og den delen som skyldes vibrasjoner som er induisert av lufttrykkstøtet fra eksplosjonen er analysert hver for seg. NGI har også supplert disse to analysene med en enklere analyse av ankomsttidene for de to delene av vibrasjonsforløpet og av det NGI kan se av knuste vinduer på de fotografiene NGI har fått tilsendt. For komplett analyse se vedlegg 3.



FIGUR 17. Situasjon – skjematisk.

Estimatene fra de enkelte metodene er summert opp i tabellen på neste side.

Ut fra en helhetsvurdering av disse analysene konkluderer NGI med at det var en sprengstoffmengde ekvivalent til ca. 750 kg som gikk av i eksplosjonen.

Metoden NGI har benyttet for analyse av de direkteoverførte vibrasjonene har sin styrke i at den er basert på en stedsspesifikk utbredelsesmodell for vibrasjoner i bakken som NGI har etablert på grunnlag av vibrasjonsdata og salvedata fra sprengninger i steinbruddet, omkring eksplosjonsstedet. Svakheten ved metoden er at den avhenger av en koblingsfaktor for å kunne ekvivalere vibrasjoner fra innspente ladninger med en kontakteksplosjon. Variasjon i graden av kontakt og derved størrelsen på koblingsfaktoren kan gi en variasjon i estimert ladning på omkring en faktor to. Denne metoden gir estimert ladning i det nedre sjiktet.

Metoden som baserer seg på trykkstøtindusert vibrasjon går via først å estimere toppverdien av trykkstøtet ved grisefjøset, for så å regne tilbake til hvilken ladning som vil gi et slikt trykkstøt på den aktuelle avstanden. Koblingen mellom trykkstøt

PARAMETER	METODE				
	ESTIMAT	DIREKTE VIBRASJON	TRYKKINDUSERT VIBRASJON INNHOLD	ANKOMSTTIDER	KNUSTE VINDUER
Trykkstøt	Beste estimat	-	4.9 kPa	5.0 kPa	5 kPa
	Yttergrense	-	7.4 kPa		10 kPa
Ladningsstørrelse	Beste estimat	630 kg	775 kg	775 kg	775 kg
	Yttergrense	321 kg	1 700 kg	-	3 570 kg

og vibrasjon er ganske komplisert og er basert på forenklinger og empiriske data. Også her inngår en koblingsfaktor som nok kan endre det estimerte trykket i alle fall med en faktor på 1,5. Betragtningen av de knuste vinduene gir også et estimat på toppverdien av trykkstøtet ved grisefjøset. Det som gir størst variabilitet i ladningsestimater med disse metodene er tilbakeregningen fra trykkstøt ved grisehuset til ladning på eksplosjonsstedet. Denne sammenhengen er ikke-lineær på en slik måte at små variasjoner i estimert trykk gir en mye større variasjon i estimert ladning på den høye siden.

Estimatet av ladningsstørrelsen ut fra ankomsttidene for de to fasene av vibrasjonsforløpet går også via estimat av trykkstøtet ved grisefjøset. Det virker som denne metoden gir en ganske skarp indikasjon av trykket og derved av ladningsstørrelsen.

9.5

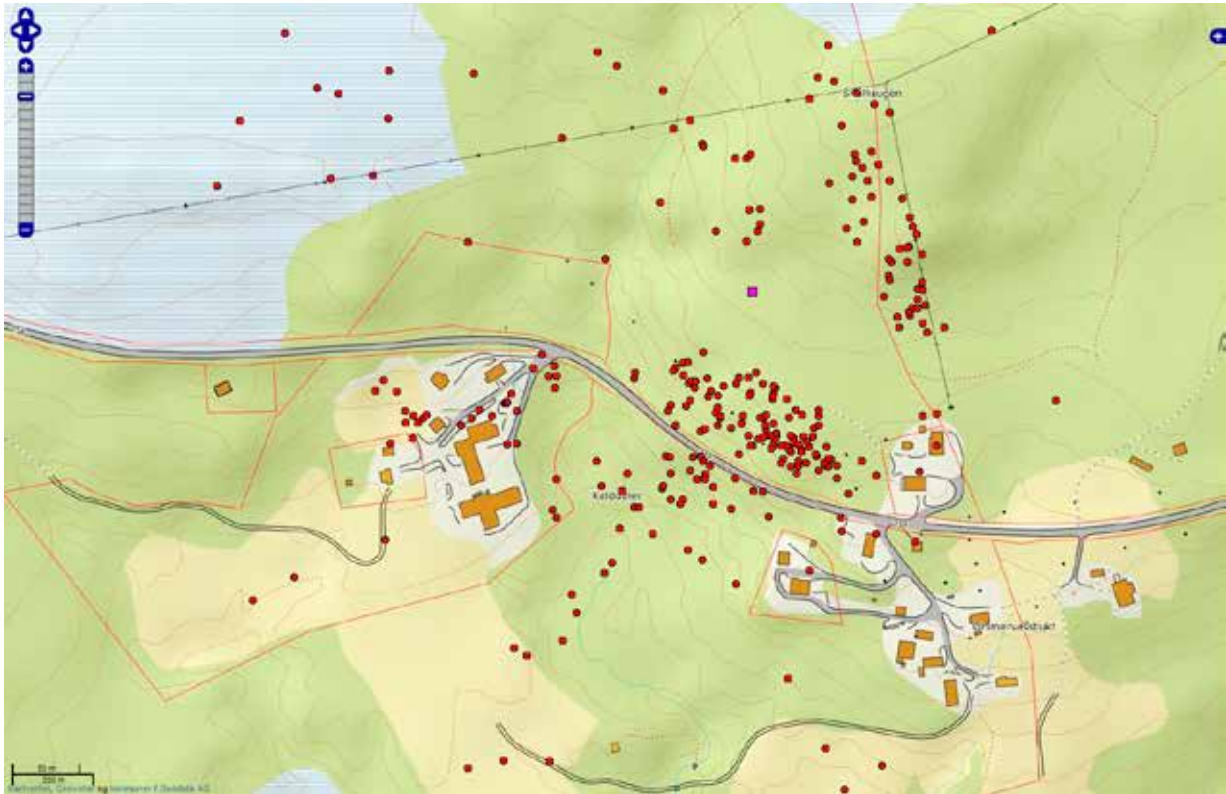
ANALYSE AV SPREDNINGEN AV FRAGMENTER OG VITALE FUNN

Søket etter fragmenter var ressurskrevende, men det ble totalt registrert oppimot 350 fragmenter. Betydelig flere fragmenter ble identifisert i terrenget, men gitt hensikten med befaringen ble ikke alt registrert. Hvert fragment ble registrert med koordinater,

fotografi og vekt. Ingeniør fra Maxam i Spania har vurdert hvor på MEMUen fragmentene stammer fra.

Det ble identifisert fragmenter i en avstand fra ca. 50 meter til 500 meter. Kartet i figuren på neste side viser plott over alle fragmentene. Det er også stor spredning i vekt på fragmentene, fra noen få gram for de minste aluminiumsfragmentene til over 900 kg for motorblokken.

Som en del av Maxams rapport fra hendelsen har de utført egne analyser etter befaringen og analysert det totale funnet av fragmenter. Selv om langt i fra alt ikke brennbart materiale fra MEMUen er identifisert, viser analysen at i underkant av 3 000 av totalt 9 000 kg ikke brennbart materiale er identifisert. Av de identifiserte fragmentene utgjør aluminiumsfragmentene ca. 30 % basert på antall, men under 5 % av den totale vekten. Resterende fragmenter er i hovedsak stål.



FIGUR 18. Kart med oversikt over funn av fragmenter. Rosa firkant markerer hvor MEMU stod.

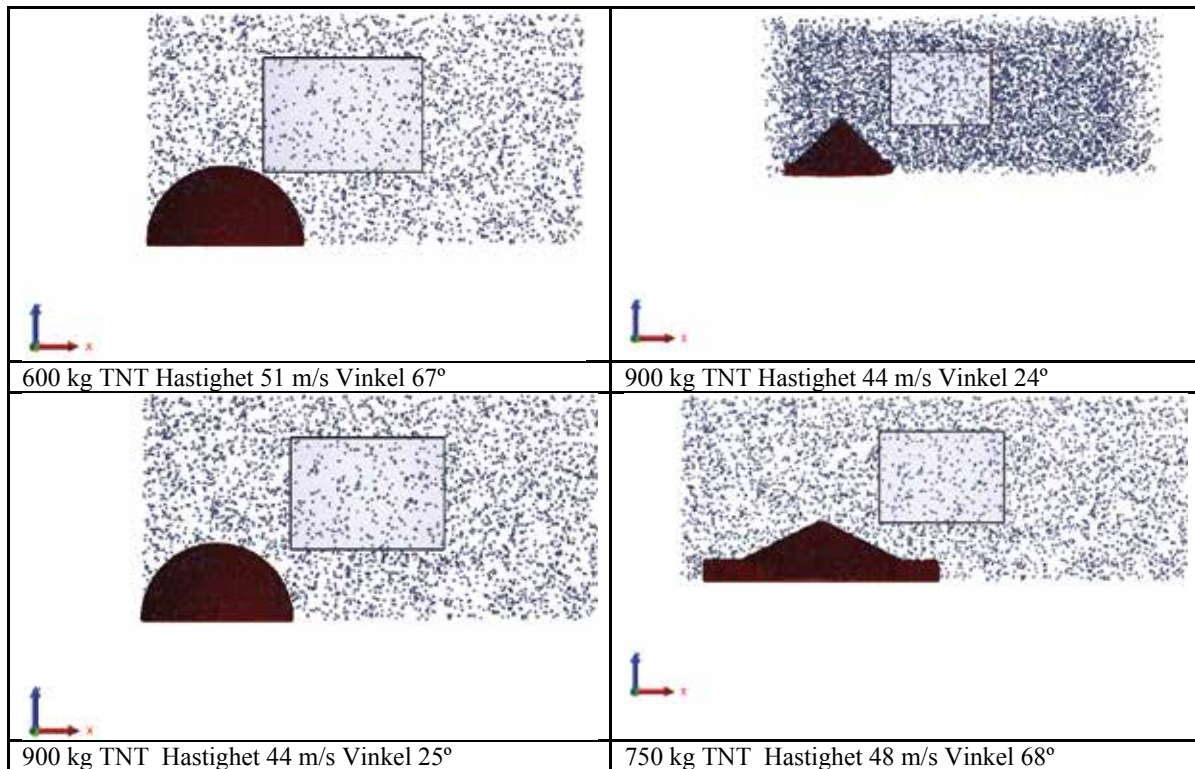
9.5.1 ANALYSE AV MOTORBLOKKENS UTKAST INKLUDERT LADNINGSBEREGNING

Motorblokken ble funnet ca. 200 meter fra eksplosjonsstedet i sørvestlig retning, på et punkt som ligger ca. 30 meter lavere. Utkastet av motorblokken er blitt simulert av FFI med den hensikt å kunne identifisere utgangspunktet til kraften som forårsaket dette utkastet. I vedlegg 4 finnes analysen i sin helhet.

Utgangshastigheten til motorblokken kan i første omgang grovt fastsettes med en enkel ballistisk beregning uten å ta hensyn til luftmotstand (for et slikt legeme vil luftmotstanden ha svært liten påvirkning). Beregningen gir en indikasjon på at motorblokken har blitt kastet ut med en hastighet på minimum 40 m/s.

Simulering av motorblokkens bane ble utført ved at motoren ble modellert som en stiv og homogen blokk med dimensjonene 1,1 m, 0,8 m og 0,5 m (l×h×b) og med en vekt på 900 kg. Motorblokken er plassert ca. 0,5 meter over bakken på kjøretøyet. Avstanden mellom bakre kant av motorblokken og fremre kant av ANPP-tanken er ca. 1,2 m. Sprengstoffet ble modellert som TNT. Det ble til sammen gjort 37 simuleringer med ulike konfigurasjoner av mengde sprengstoff, form på sprengstoffet og sprengstoffets høyde over bakken. I noen tilfeller ble også sprengstoffet liggende under motorblokken.

Figuren under viser fire konfigurasjoner hvor resultatet, i form av sprengstoffmasse, utkasthastighet og utkastvinkel, blir slik at motorblokken ville ha landet på funnstedet.



FIGUR 19. Fire mulige konfigurasjoner som gir løsning for motorblokkens utkast.

FFI presiserer at i simuleringen er det benyttet ideelle fasonger på sprengstoffet og at mer reelle betingelser kunne gitt et annet resultat. En annen konfigurasjon og plassering av sprengstoffet kunne gitt andre mengder. For eksempel ville mindre mengder gi et tilstrekkelig kraftutbytte dersom deler av sprengstoffet var plassert umiddelbart under motorblokken.

Resultatene fra simuleringen sannsynliggjør at posisjonen til ladningen må ha vært svært nær eller delvis under motor, det vil si fra bakken.

FFI estimerer også ladningsstørrelsen som kreves for å gi motorblokken den nødvendige utgangshastigheten og banen, men presiserer at her er det større usikkerhet i resultatet.

Estimert ladningsstørrelse:

- Dersom avstanden mellom motorblokken og ladningen var 0,5–1,0 m er det sannsynlig at mer enn 900 kg TNT gikk av.

- Dersom avstanden er kortere enn 0,5 m vil det være tilstrekkelig med 600 kg TNT.

Ved diskusjon av resultatene med FFI presiseres det at en betydelig mengde må ha gått av på bakken. Dersom det hadde skjedd en detonasjon kun i ANPP-tanken ville motorblokken fått en vinkel mindre enn horisontal og den ville truffet bakken i kort avstand. Dette er heller ikke forenelig med utkastet til delen av girboksen, som er plassert like bak motorblokken, som ble funnet på ca. 430 meter i samme retning som motorblokken.

Det er ikke avgjørende for motorblokkens bane hvor initieringen av detonasjonen skjedde da detonasjonshastigheten er stor i forhold til utgangshastigheten til motorblokken.

9.5.2 ANALYSE AV ALUMINIUMFRAGMENTENES SPREDNING

Det ble gjort relativt mange funn av aluminiumsfragmenter. De varierte i størrelse fra noen få gram til flere kilo for de største. Den videre analysen er forbundet men usikkerhet da mengden innsamlede fragmenter kun utgjør en liten andel av den totale mengden aluminium med opprinnelse fra produksjonstanker, skapdører, førerhuset eller plate under produksjonsenheten.

Funn av små aluminiumsfragment, med typisk vekt på 50 gram og areal ned mot 10 cm², ble funnet inntil ca. 200 meter fra eksplosjonsstedet. For at så små fragment skal ha blitt kastet så langt ut må det, ifølge FFI, ha vært kontakt mellom stoffet som eksploderte og fragmentmaterialet. Det er kun ved kontakt mellom stoffet og materialet at tilstrekkelig høy utgangshastighet for et slik utkast kan oppnås. Utgangshastigheten må ha vært på nærmere 1 000 m/s som tilsvarer Gurney-hastigheten som er ca. 30 % av detonasjons-hastigheten.



FIGUR 20. Små aluminiumsfragmenter, ca. 150 meter østlig retning.



FIGUR 21. Stort aluminiumsfragment, ca. 170 meter østlig retning.

FFIs oppsummering etter befaringen gir et klart inntrykk av at aluminiumfragmenter i stor grad ble funnet bak og til siden for kjøretøyet. De registrerte funnene viser også at de fleste små aluminiumfragmentene er spredt til siden eller bakover. Det ble funnet relativt færre aluminiumfragmenter foran kjøretøyet. Det kan skyldes at førerkabinen og motor har sperret for disse fragmentene. Dette er også en indikasjon på at detonasjonen kan ha startet ganske nær førerkabinen da en detonasjon i en viss avstand fra kabinen trolig ville kastet en del fragmenter fremover. Aluminiumfragmenter som er spredt bakover kan ha kommet fra toppen av fremre tank eller mer sannsynlig fra bakre tank. Analysen kan leses i sin helhet i vedlegg 4.

Det ble funnet relativt få store aluminiumfragmenter. Dette kan være en indikasjon på at det må ha vært detonasjon i begge tankene. Når det er kontakt mellom sprengstoffet og tanken vil det medføre en betydelig splintring. Men ingen av tankene var helt fulle, og øvre del av tanken hadde derfor med sannsynlighet ikke kontakt med sprengstoffet og ble derfor ikke gjenstand for samme splintring som når det er kontakt. Bilde i figur 19 eksemplifiserer dette.

Ved diskusjon om resultatene med FFI presiseres det at dersom det ikke var detonasjon i bakre tank burde det blitt dannet fragmenter på opp mot 2 m². Befaringen identifiserte ingen slike fragmenter, men det kan selvfølgelig ikke utelukkes at de ble oversett.

9.5.3 ANALYSE AV FUNN AV VITALE DELER

Både skruer og pumpen er forbundet med eksplosjonsfare dersom det blir tykkoppbygging som følge av inneslutning. Både produktpumpen, den vertikale transportskruen og den horisontale mikseskruen ble funnet mer eller mindre intakte, og bar ikke preg av at det hadde vært en innvendig eksplosjon.



FIGUR 22. Produktpumpe.



FIGUR 23. Horisontal mikseskrue.

Produktpumpen (ca. 80 kg) ble funnet ca. 330 meter i nordvestlig retning og mixeskrue (ca. 100 kg) ble funnet på ca. 500 meter i sørvestlig retning fra eksplosjonsstedet. Til tross for at produktpumpen i dette tilfellet ikke initierte detonasjonen mener prosjektgruppen det er viktig å påpeke at dekomponering og trykkoppygging i pumpen ved en kraftigere varmpåvirkning potensielt kunne initiert detonasjonen.



FIGUR 24. Del av innmat i den vertikale skruen.



FIGUR 25. Fragment av produksjonsdieseltanken.

Deler av den vertikale transportskruen (ca. 18 kg) ble funnet på ca. 210 meter, også i sørvestlig retning.

Bildet i figur 23 viser et fragment fra produksjonsdieseltanken som er plassert helt bak på MEMUen. Fragmentet virker relativt lite varmpåvirket.

Det ble som sagt identifisert ca. 115 aluminiumfragmenter, ca. 90 kg, som stammer fra tankene, dørene, platen under produksjonsenheten eller førerhuset. Dette er en liten andel av den totale aluminiummengden på MEMUen. Tankene og platen hadde begge godstykkelse på 5 millimeter. Noen av fragmentene fremstod upåvirket av brannen, noen var varmpåvirket og andre var smeltet til aluminiumkaker (totalt 28 stk.). Vurderingen av hvorvidt aluminiumfragmentene var varmpåvirket er gjort av DSBs ingeniører og ingeniør fra Maxam i Spania, det har ikke vært innhentet spesialkompetanse i metallurgi.



FIGUR 26. Smeltet aluminium.

Smeltepunktet for aluminiumlegeringen som benyttes til tanker og kjøretøy ligger i området 600–720°C. Det er vanskelig å si noe sikkert om opprinnelsen til aluminiumkakene, men funnene bekreftet at temperaturen i brannen var over smeltepunktet til aluminium. Prosjektgruppen vurderer det som sannsynlig basert på brannforløpet og funn av fragmenter at aluminiumen i førerhytten og den fremre tanken i større grad er varmpåvirket enn den bakre tanken, produksjonsdieseltanken og hopperen. Varmepåvirkningen vil svekke aluminiumen og øke sannsynligheten for at tankene kan ha revnet som følge av trykkoppbygging på grunn av gassdannelse, belastningen av vekten til stoffet i tanken eller bærende konstruksjoner som svikter slik at for eksempel mikseskruen belaster tankene.

Gjennomførte fullskalatester med brann på ANE-tank i aluminium viser at brannen relativt raskt har svekket tanken slik at den har revnet.

Den endoterme dekomponeringen av AN som starter fra 80–90°C kan ha forsinket svekkelsen av tankene noe, men prosjektgruppen antar at den ytre varmpåvirkningen gitt aluminiums gode varmeledningsevne uansett vil påvirke metallet.

Intensjonen med å bruke aluminiumstank har vært å redusere sannsynligheten for at en brann medfører eksplosjon ved at varmen skal svekke aluminiumstanken slik at den revner og det oppnås trykkavlastning og at stoffet kan renne ut. Hendelsen viser at bruk av aluminiumstank ikke er tilstrekkelig til å forhindre eksplosjon ved brann i en MEMU.



FIGUR 27. Bilde av motorblokken etter at den er gravd opp.

9.6

ANALYSE AV BILDEMATERIALE, INTERVJUER OG VIDEO

I vedlegg 5 har prosjektgruppen sammenstilt bilder vi mener illustrer brannforløpet godt. Hovedfunnene fra analysen er at det med sannsynlighet brant på bakken etter ca. 1,5 time, at brannen etter ca. to timer hadde omsluttet hele kjøretøyet og brent ut førerhytten og at det etter ca. 2 timer og 21 minutter var en betydelig intensivering av brannen fram til eksplosjonstidspunktet. Det er ikke mulig å si noe om hvor lenge det brenner før brannen oppdages. Observasjoner gjort av mannskaper på stedet stemmer godt overens med tolkning av tilgjengelige bilder.

Tolkning av bildematerialet er forbundet med stor usikkerhet og analysen tillegges liten vekt.

FFI sin analyse av videoopptak tatt på ca. 3 km avstand sannsynliggjør at det som observeres i videoen er stålfragmenter på minimum 300 gram som er kastet ut med en utgangshastighet på ca. 700 m/s. Stålfragmentene gløder og gir den karakteristiske effekten som vises på videoen. Det kan ikke være klumper av ANE som kastes ut da ANEs tetthet er for lav til å kunne nå den aktuelle høyden. Fragmenter som kastes ut med en synlig lavere hastighet er tyngre fragmenter og fragmenter som er plassert lengre fra det punkt der detonasjonen startet. Se vedlegg 4.

9.7

ANALYSE AV ENERGIMENGDEN PÅ BILEN

I rapporten fra ulykken med brann i vogntog i Oslofjord-tunnelen utarbeidet av Statens havarikommisjon for transport refereres det til rapporten «Räddningsinsatser i vägtunnelar» der det gis en oversikt over branneffekt relatert til kjøretøystørrelse og forskjellig last. Tall fra rapporten indikerer at branneffekten av en stor lastebil/vogntog er i størrelsesorden 66–202 MW. Variasjonene i branneffekt er et resultat av ulike brannspredninger i kjøretøyet, hvor brannen oppstod og avhengig av typen last.

En dieseltank på 450 liter representerer en branneffekt på ca. 17 MW. Avhengig av total branneffekt på MEMUen (antatt mellom 66–202 MW) representerer en dieseltank på ca. 450 liter en økning på ca. 10–25 %.

Det er også relevant at diesel brenner mer voldsomt enn for eksempel gummi og plast. Den kraftige forbrenningen av diesel vil medføre svært høye temperaturer.

Metallurgisk analyse av stålfragmenter fra eksplosjonen i Walden viste at temperaturen var over ca. 1 100 °C. Tester gjennomført i etterkant for å studere Walden-ulykken viser at en tilsvarende brann har en temperatur på ca. 1 200 °C.



FIGUR 28. Fragment som illustrerer betydelig oppvarming.

Bildet i figur 26 illustrer at det også ved brannen i MEMUen på Drevja må ha vært høye temperaturer. Fragmentet stammer fra rammebjelken og viser at metallet må ha vært varmt og mykt slik at det formet seg rundt stökkene.

9.8

ANALYSE AV KJEMIKALIENES EGENSKAPER PÅ EKSPLOSJONSTIDSPUNKTET

Gitt en langvarig og kraftig brann anser prosjektgruppen det som høyst sannsynlig at ANPP i tanken, til tross for lav termisk ledningsevne og relativt høy varmekapasitet, i alle fall delvis var smeltet og at kjemikalie hadde begynt å dekomponere før eksplosjonen.

I tilfellet på Drevja er det vanskelig å si noe om hvor sensitivt kjemikalie kan ha blitt, hvilken kontaminering som eventuelt var tilstede og hvilken mekanisme som eventuelt forårsaket en eksplosjon i AN. Med relativt stor sikkerhet vil prosjektgruppen anta at detonasjonsegenskapene til kjemikalie var endret.

Det samme vil gjelde for ANE. AN vil begynne å dekomponere og være opphav til samme sensitivisering i ANE som ved ren AN. Forskjellen er at det er både vann og brensel til stede, som begge i ulik grad påvirker hvordan ANEs oppførsel er i forhold til ren AN ved en brann, spesielt med hensyn til varmeledningsevne og densitet. For detonasjonsegenskapene gjelder de samme antagelser for ANE som AN, forskjellene vil ligge i hvilken grad ANE blir sensitivert i forhold til AN.

9.9

OMREGNING FRA TNT- EKVIVALENTER TIL MENGDE ANPP OG ANE

For å kunne kvantifisere den mengde energi som utløses i eksplosjoner, benyttes oftest begrepet TNT-ekvivalenter. Denne metoden sammenligner forholdet mellom effekten av et gitt eksplosiv/eksplosjon med den mengde energi som frigis ved detonerings av TNT som er 4,184 gigajoule per tonn. Det vil si, at hvis en eksplosjon frigir en mengde energi på 4,184 GJ, svarer dette til en eksplosivkraft på ett tonn TNT. For eksplosive forbindelser benytter man også ofte en omregningsfaktor for å kunne sammenligne et bestemt eksplosiv direkte med TNT. Hvis en gitt mengde eksplosiv f.eks. avgir en eksplosivkraft som er 10 ganger mindre enn for samme mengde TNT, vil dette eksplosiv ha en omregningsfaktor for TNT-ekvivalenter på 0,1. På denne måten kan ulike metoder for bestemmelse av eksplosivt utbytte og også forskjellige eksplosiver sammenlignes, da de alle har en felles enhet. For eksplosive utbytter bør man dog ta høyde for at mange av verdiene ofte er estimater og da spesielt hvis metodene ikke er av eksperimentell karakter. Dette gjelder også de tre estimerte eksplosive utbytterne som er bestemt av henholdsvis DSB, NGI og FFI.

For ulykken i Drevja er det ANPP og ANE som er mest relevant med tanke på å kunne bidra til en eksplosjon. En stor mengde litteratur finnes om hvilke TNT-ekvivalenter ammoniumnitrat svarer til. Det hersker en del usikkerhet omkring de eksakte verdiene da ammoniumnitrats eksplosive potensial

avhenger i stor grad av faktorer som tilgjengelig brennstoff, temperatur, densitet, trykk, kontamineringer m.m.. I den litteraturen vi har hatt til rådighet, rapporteres AN med en omregningsfaktor som spenner fra 0,05–0,60. Dette intervallet representerer AN av forskjellige kvaliteter, ved ulike typer og mengder tilsatser/kontamineringer og ved ulike forhold som bl.a. forskjellig temperatur og trykk. For ren ammoniumnitrat opereres det ofte med et intervall på 0,32–0,57. Det hersker samme tvil om representative omregningsfaktorer for ANE, men intervaller mellom 0,5–0,7 nevnes ofte i rapporter fra industrien. Lavere og høyere verdier enn dette kan finnes i litteraturen, men avhenger av hvilken type emulsjon det er snakk om, om den er gasset og ved hvilke forhold emulsjonen blir undersøkt ved.

Forholdene ved ulykken på Drevja var av unik karakter. Vi vet blant annet lite om hvilken temperatur AN var påvirket av, homogeniteten i stoffet (smeltet, fast form, en blanding av disse osv.), hvilke kontamineringer og inneslutninger som eventuelt var til stede og hvilke mengder av både AN og ANE som var igjen på eksplosjonstidspunktet. Da det både hersker stor tvil omkring omregningsfaktorene i litteraturen og om forholdene i Drevja-ulykken samt at de eksplosivutbytterne vi har til rådighet allerede er estimater, vil en omregning her gi tall med så stor usikkerhet at prosjektgruppen anser dem som lite representative og et for svakt grunnlag for å beregne mengde omsatt ANPP og ANE. Det eneste vi med relativt stor sikkerhet kan si, er at hvis den opprinnelige mengden av både ANPP og ANE som var tilstede før brannen startet hadde vært involvert i en ideell detonasjon, ville dette representere et mye større eksplosivt potensial enn det som ble observert i Drevja.

KAPITTEL

10

Oppsummering
og diskusjon av
gjennomførte
analyser



Ut fra en evaluering av tilgjengelig informasjonen og analyser gjennomført av kompetente fagmiljøer har det dessverre ikke vært mulig å utlede en konkluderende forklaring på hvordan brann- og eksplosjonsforløpet var ved Drevja-ulykken. Men de utførte analysene gir likevel grunnlag for å kunne vurdere hva som med sannsynlighet var forløpet. Dette kapittelet oppsummerer og diskuterer hva prosjektgruppen anser som sannsynlig.

Det som er viktig med tanke på den fremtidige reguleringen av MEMUer er hvorvidt tankene revnet, hvilke kjemikalier som var involvert i detonasjonen og om det var ferdig produsert sprengstoff eller kritisk prosessutstyr som initierte eksplosjonen.

10.1 LADNINGSTØRRELSEN

Ladningen som gikk av var sannsynligvis i størrelsesorden 500–1 000 kg TNT. Tre uavhengige analyser basert på henholdsvis skadeomfang på bebyggelse, utkast av motorblokken og rystelsesmålinger har estimert ladningsstørrelser innenfor dette intervallet.

Prosjektgruppen har vurdert det som lite hensiktsmessig å beregne hvor mange kilo kjemikalier som var involvert i eksplosjonen. Omregningen fra et estimert eksplosivt utbytte i TNT-ekvivalenter til et annet gitt kjemikalie/eksplosiv er avhengig av den omregningsfaktoren som benyttes. Dette er standardiserte tall som avhenger bl.a. av kjemikalies egenskaper (smeltet/fasthomogenitet, forurensinger etc.) og betingelsene i omgivelsene (trykk, temperatur etc.). På grunn av Drevja-ulykkens unike karakter vet vi lite om hva de reelle forholdene var og en omregning vil derfor gi tall med så stor usikkerhet at prosjektgruppen anser dem som lite representative.

Det prosjektgruppen derimot mener er svært sannsynlig er at detonasjonen ikke omfattet den totale mengden ANPP og ANE som var tilgjengelig før brannen startet. Den totale mengden kjemikalier på ca. 13 tonn representerer en betydelig større potensiell eksplosiv kraft enn det observerte skadeomfanget på Drevja representerte. Det ansees også som

sannsynlig at deler av den totale kjemikaliemengden har dekomponert i løpet av brannens varighet og at eksplosjonen har vært av ikke-ideell karakter.

10.2 EKSPLOSJON PÅ BAKKEN

Funn av smeltet og varmpåvirket aluminium som kan stamme fra tankene eller fra førerhytten indikerer at temperaturen i brannen har vært over aluminiums smeltepunkt. Prosjektgruppen vurderer det derfor som mest sannsynlig at i alle fall fremre tank var varmpåvirket i en slik grad at tanken sannsynligvis har revnet som følge av trykkoppbygging i tanken, vekten av kjemikalet og/eller på grunn av kollaps i bærende strukturer. I et slikt scenario må det også antas at kjemikalier har kunnet renne ut fra tanken. Basert på funn av smeltet og varmpåvirket aluminium alene, er det ikke mulig å konkludere med om begge tankene revnet.

FFI sin simulering og analyse av motorblokkens utkast sannsynliggjør at en betydelig mengde kjemikalier detonerte på bakken, og relativt nær motorblokken. Simuleringen av motorblokkens bane sannsynliggjøres av utkastet av girboksen (plasser rett bak motorblokken) som ble funnet på ca. 430 meter i samme retning som motorblokken.

Det har også blitt diskutert om motorblokken kunne fått en tilsvarende bane dersom kraften fra eksplosjonen kom fra et annet utgangspunkt. Dette er lite sannsynlig da motorblokken ville fått en vinkel mindre enn horisontal og truffet bakken i kort avstand dersom eksplosjonen for eksempel hadde skjedd i ANPP- tanken. FFI sine simuleringer viser også at det ikke er sannsynlig at en kraft reflektert fra underlaget kan gi motorblokken sin bane.

Det faktum at det ikke ble dannet et krater taler imot en detonasjon direkte på bakken. Men geologen fra Statens vegvesen mener det på grunn av de geologiske forholdene ikke er umulig at det ikke ble dannet et tydelig krater. På mer generelt nivå er det vanlig å argumentere at manglende krater skyldes eksplosjon over bakken eller en stor overflate på stoffet som eksploderte.

10.3 INITIERING AV EKSPLOSJONEN

Det ble søkt etter vitale deler av prosessutstyret – pumper og skruer. Både den horisontale og vertikale skruen ble funnet, og i tillegg ble produktpumpen identifisert. Ingen av prosesselementene hadde tegn på en innvendig eksplosjon. Prosjektgruppen mener derfor det er usannsynlig at eksplosjonen ble initiert i prosessutstyret.

Utover dette er det vanskelig å sannsynliggjøre hvorvidt eksplosjonen startet i kjemikaliene på bakken eller i en av tankene. Kjemikaliene kan f.eks. ha blitt drevet til detonasjon i en av tankene som følge av oppvarming, smelting dekomponering, sensitivering og eventuelt inneslutning. Dette kan da videre ha indusert en detonasjon av kjemikaliene på bakken.

Selv om det ikke kan utelukkes at en inneslutning av kjemikaliene kan ha ført til eksplosjonen i Drevja, viser de tidligere beskrevne resultater fra litteraturen at det er fullt mulig med en detonasjon av ammoniumnitrat som følge av ulike mengder og typer av forurensninger. Samtidig har AN under dekomponering en evne til å «gasse seg selv», noe som også gir en økning av sensitivitet og dermed sannsynligheten for eksplosjoner. Dette understøtter, at scenarioet utledet fra FFIs beregninger om at kjemikalier må ha gått av på bakken i Drevja ulykken er plausibelt.

10.4 DETONASJON I BEGGE TANKENE

Fragmentbildet bestående av små fragmenter (50 gram, 10 cm²) kastet langt ut (200 meter) og manglende funn av store fragmenter (oppimot 2 m²) sannsynliggjør at begge tankene detonerte. For at små fragmenter skal ha blitt kastet så langt ut, må

det ha vært kontakt mellom stoffet som detonerte og tankveggen. Større fragmenter som ble funnet kan stamme fra deler av tanken der det ikke var kontakt mellom tankveggen og stoffet som detonerte.

I videre diskusjon av sine analyser, vurderer FFI at dersom det ikke var omsetning av innholdet i ANE-tanken ville den fungere som en massiv buffer på grunn av den store massen. Fremre vegg ville blitt kraftig fragmentert, men bakre vegg ville trolig blitt funnet som en svært stor del ikke så langt fra nullpunktet. Det er også FFI sin antagelse at produktpumpen og slangetrommelen ikke ville fått tilstrekkelig utgangshastighet for sitt gitte utkast dersom det ikke var detonasjon i ANE-tanken, men dette er det ikke gjort simuleringer av.

Det har tidligere blitt vurdert at kjemikaliemengden som var tilstede da brannen begynte representerte en større potensiell eksplosiv kraft enn det skadeomfanget på Drevja indikerer. Med andre ord vil det si at betydelige mengder kjemikalier ikke har deltatt direkte i eksplosjonen, men i stedet må ha dekomponert eller blitt kastet ut/rent ut.

10.5 TRYKKBØLGENS EFFEKT PÅ NÆRE OMGIVELSER

Spørsmålet om hvorfor trykkbølgen fra eksplosjonen har hatt så tilsynelatende liten effekt på de helt nære omgivelsene, men større effekt på bolighusene lenger vekk har blitt grundig diskutert. Det er selvfølgelig vanskelig å si helt konkret hvordan sjokkbølgen fra eksplosjonen har utartet seg i dette tilfellet, men det er kjent at omgivelsene har stor effekt på dette. F.eks. kan utforming på tanken, bergoverflatens form og vinkel samt andre omkringliggende objekter påvirke form og retning på sjokkbølgen, spesielt hvis sistnevnte reflekteres i bakken. Dette understreker hvorfor sjokkbølgen fra en bestemt eksplosjon ikke nødvendigvis gir et ensartet skadeomfang.

KAPITTEL

11

Tiltak



Etter en ulykke som den på Drevja er det en selvfølge med en grundig evaluering for å vurdere om sikkerheten er god nok ved mobil produksjon av sprengstoff. Den overordnede målsetningen for både myndigheter og bransjen er å minimere risiko for at tilsvarende hendelser skjer igjen. Tiltak som skal øke sikkerheten ved mobil produksjon av sprengstoff ytterlig må vurderes i et helhetlig sikkerhetsperspektiv, og med den erkjennelse at håndtering av eksplosiver og andre farlige stoffer alltid vil være forbundet med risiko.

Prosjektgruppen vurderer generelt risikoen ved mobil produksjon av sprengstoff som akseptabel, til tross for ulykken i Drevja. Men i et brannscenario mener vi derimot risikoen ikke er tilfredsstillende vurdert. Det kan også være andre scenarioer eller forhold som endrer risikobildet. Ved vurdering av hvilke tiltak som bør utredes har prosjektgruppen derfor hatt som målsetning å se helhetlig på risiko ved mobil produksjon av sprengstoff. Det vil si at vi anbefaler tiltak som skal se på muligheten for ytterlig risikoreduksjon både ved normale betingelser og ved ekstraordinære situasjoner.

Prosjektgruppen i DSB foreslår en tiltakspakke som består av å endre praksis ved søknad om tilvirkning, lukke identifiserte avvik, vurdere behov for regelverksendringer og utarbeide initiativer for å se på brannforebyggende- og brannbekjempende tiltak, gjøre risikovurdering av metoder for mobil produksjon av sprengstoff i et helhetlig perspektiv og innhente kunnskap som er viktig for bedre å forstå risikonivået for de ulike metodene for mobil produksjon.

Det har ikke vært prosjektgruppens mandat å grundig utrede økonomiske, administrative eller andre vesentlige konsekvenser av tiltak som foreslås. Dette må gjøres i det videre arbeidet med tiltak og gjerne i samarbeid med myndigheter i flere land og bransjen.

11.1

ENDRET PRAKSIS VED SØKNAD OM TILVIRKNING AV EKSPLOSIV VARE VED BRUK AV MEMU

Allerede i mai 2013 satte DSB i gang et prosjekt for å få en helhetlig regulering av alle forhold rundt mobil produksjon av sprengstoff. Dette arbeidet ble satt på hold i påvente av oppfølgingen etter ulykken på Drevja.

I juni 2014 endret DSB praksis i forbindelse med søknad om tilvirkningstillatelse. Dette som følge av at direktoratet etter en gjennomgang av regelverket og praksis er kommet til at det ikke er nødvendig med en særskilt godkjenning av selve tilvirkningsenheten etter eksplosivforskriften § 2-7 3. ledd. Direktoratet er av den oppfatning at MEMU er omfattet av maskinforskriften, og at det dermed ikke er nødvendig med noen enkeltgodkjenning, jf. også eksplosivforskriften § 2-7 4. ledd.

Ifølge eksplosivforskriften § 2-11 skal den som søker om tillatelse i henhold til forskriften, gi tilsynsmyndigheten de opplysninger samt fremlegge den dokumentasjon og risikoanalyser, som er nødvendige for å vurdere om tillatelse skal gis. Videre kan det etter samme forskrift § 2-12 annet ledd fastsettes særlige vilkår for å forebygge fare for brann eller eksplosjon eller for at varen kommer på avveie eller i urette hender.

Direktoratet har på denne bakgrunn justert saksbehandlingen av søknader om tilvirkning av eksplosiv vare, i påvente av et nytt regelverk på området.

Følgende opplysninger/dokumentasjon, som anses å ligge innenfor det som kan kreves etter eksplosivforskriften § 6-1 første og annet ledd, må fremlegges i forbindelse med søknad om tilvirkning av eksplosiv vare ved bruk av MEMU.

Grunnleggende krav:

- Dokumentasjon på at enheten er i overensstemmelse med maskinforskriften – samsvarserklæring.

- Dokumentasjon på at kjøretøy/lastbærer er EX III godkjent iht. ADR kap 9.1.2.
- Dokumentasjon på at tanker er godkjent etter ADR kapittel 6.
- Navn på utpekt kompetent person i henhold til eksplosivforskriften § 2-1, og tilfredsstillende politiattest på vedkommende som ikke er eldre enn 3 måneder.
- Opplysninger om hvilke kvalifikasjonskrav virksomheten stiller til operatører av enheten.

Risikoanalyser, prosedyrer, planer:

- Risikoanalyse for tilvirkning på MEMU, derunder for plassering av kjøretøy/enhet på brukersted.
- Prosedyrer på norsk for produksjon og lading av bulksprennstoff.
- Prosedyrer på norsk for vedlikehold, derunder renhold, av enheten.
- Virksomhetens sikringsplan mht. stoffene om bord på enheten iht. ADR 1.10.3.2.
- Opplysninger om hvor eller i hvilket område enheten skal tas i bruk.
- Beredskapsplaner, derunder oversikt over beredskapsutstyr på enheten.

Opplysninger om enheten og eksplosiv vare mv.

- Tegninger over enheten med spesifisering av tankvolum og tankmateriale.
- Handelsnavn og samsvarserklæring for bulksprennstoff som skal tilvirkes.
- Sikkerhetsdatablader for stoffer og stoffblandinger om bord på enheten.
- Flytskjema med beskrivelse av produksjonsprosessen.

Prosjektgruppen anbefaler at DSB innskjerper saksbehandlingen på søknader om mobil tilvirkning. Både nye krav til dokumentasjon/opplysninger og andre krav som gjelder i dagens regelverk vil bli fulgt opp tettere. Avhengig av ressursituasjonen ønsker DSB også i større grad å prioritere tilsyn på området.

11.2 OPPFØLGING AV AVVIK

I forbindelse med oversendelsen av denne rapporten er Maxam bedt om å utarbeide en plan for når og hvordan de skal lukke de avvik som er identifisert. Avvikene er av en slik karakter at det er prosjektgruppens vurdering at de ikke har en direkte konsekvens for hendelsen og vil derfor bli fulgt opp som avvik etter et ordinært tilsyn.

11.3 TILTAK TIL UTREDNING

11.3.1 REGELVERKSENDERINGER

Eksplosivforskriften regulerer tilvirkning av eksplosjonsfarlig vare. Reglene er i utgangspunktet ment å regulere industriell produksjon av eksplosiver på bestemte lokasjoner, og er ikke nødvendigvis godt tilpasset utviklingen innenfor eksplosivbransjen med en stadig større bruk av mobile lade- og tilvirkningsenheter.

Direktoratet ønsker å til enhver tid ha en forvaltning på området som er tilpasset teknisk og praktisk utvikling. Formålet med eksplosivregelverket er at all håndtering av eksplosiv vare skal være sikker for brukere og omgivelser, og at det foreligger en høy grad av sikkerhet for at eksplosivene ikke kommer på avveie eller i urette hender.

I tillegg har det vært et behov for å vurdere forholdet til maskinforskriften og direktoratets praksis med enkeltgodkjenning av MEMU. Bestemmelsene i maskinforskriften representerer etter alt å dømme en begrensning i direktoratets adgang til å gi enkeltgodkjenninger til en maskin.

På denne bakgrunn ble det i mai 2013 igangsatt et prosjekt for å se på regelverket for mobil produksjon av sprennstoff.

Foruten bestemmelser som skal ivareta sikkerhet og sikring i forbindelse med oppbevaring av AN som skal brukes til tilvirkning av bulksprennstoff,

TILTAK

vurderes det å iverksette en rekke endringer i eksplosivforskriften med tanke krav til selve tilvirkningsprosessen, bruk av MEMU og annet produksjonsutstyr.

Bestemmelsene om selve tilvirkningstillatelsen er under vurdering. De ulike aktørenes ansvar bør fremkomme tydeligere i regelverket, og direktoratet ønsker å se på muligheten til å etablere et mer helhetlig ansvar for den som skal tilvirke.

Et fremtidig regelverk på området skal ivareta hensynene til sikkerhet mot uønskede hendelser, sikring av farlige stoffer, og direktoratets behov for oversikt over risiko og sårbarhet i samfunnet.

Konkret er følgende forhold under vurdering for en nærmere regulering:

- Totalansvar for tilvirker.
- Særlige krav til hvilke opplysninger som skal fremlegges og vurderes av DSB i forbindelse med søknad om tilvirkning.
- Spesifikke krav til kvalifikasjoner for personell som skal delta i tilvirkningsprosessen.
- Elektronisk innmelding til DSB av samtlige MEMUer som er i bruk, sammen med navn på operatører som har fått opplæring.
- Bestemmelser om tilvirkers ansvar for et betryggende vedlikehold og renhold av utstyret.
- Overvåking av tilvirkningsprosessen.
- Regler om utleie av MEMU.
- Krav til sikkerhetsavstander.
- Risikoanalyse av plassering av AN på brukerstedet.

11.3.2 KOMMUNIKASJON TIL BRANN- OG REDNINGSVESENET ANGÅENDE AMMONIUMNITRAT

Sikkerhetsdatabladene til både ANPP og ANE kommuniserer en betydelig eksplosjonsfare.

I sikkerhetsdatabladet til ANPP presiseres det at stoffet har oksiderende egenskaper, at det kan avgi giftig gasser ved oppvarming og at oppvarming i en lukket beholder eller i lukket rom kan føre til eksplosjon. Brannmannskaper rådes til å slukke med store mengder vann, ikke bruke kjemiske brannslukkingsmidler eller forsøk på å dempe brannen med damp eller sand. Det anbefales at beholder kjøles med vann. Viktigheten av å unngå kontaminering fra enhver

kilde, inkludert metaller, støv og organisk materiale presiseres også.

I emulsjonens sikkerhetsdatablad presiseres viktigheten av å holde matrisen borte fra brennbart materiale da emulsjonen kan bli eksplosiv om den er blandet med brennbart materiale. Brannmannskaper rådes videre til å bruke vann for å kjøle ned tanker, beholdere og reservoarer i nærheten av brannens varmekilde. Det informeres også om at farlige forbrenningsprodukter som karbonmonoksid, karbondioksid og nitrose gasser kan dannes. I sammensetningsopplysningene i sikkerhetsdatabladet oppgis AN som hovedingrediens. For denne komponenten benyttes faresetning R9 – eksplosiv når mikset med brennbare materialer.

Prosjektgruppen anbefaler at det straks iverksettes tiltak for å informere brann- og redningsvesenet om eksplosjonsfaren ved brann i ammoniumnitrat, og at dette bør være kommunisert innen tredje kvartal 2015.

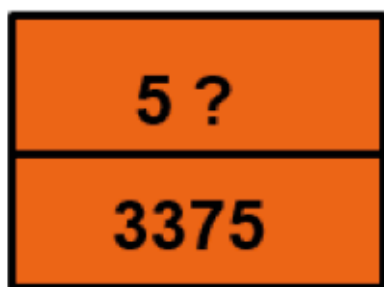
11.3.3 VURDERE FAREMERKINGEN TIL AMMONIUMNITRAT

Det anbefales at muligheten til å endre faremerkingen til ammoniumnitrat vurderes. Med ammoniumnitrat mener prosjektgruppen UN1942, UN3375, UN2067 og UN2426.

Faremerkingen på selve kjøretøy består av fareseddel og øvrige kjøretøyskilt. I tillegg skal de skriftlige instruksene til sjåfør følge med transporten. Det er 13 forskjellige fareklasser der hver fareklasse har sin fareseddel som skal synliggjøre faren ved det bestemte kjemikalie. Fareseddel for kl 5.1 oksiderende er illustrert i figur 27. Det oransje kjøretøyskiltet har to felt – et øvre til farenummer og et nedre til UN-nummer. Farenummeret bygges opp av 2–3 siffer som sammen skal kommunisere stoffets farer. Transportuhellskortet er ment å gi utfyllende informasjon som sjåfør av kjøretøyet kan formidle ved uhell.



FIGUR 29. Fareseddel for kl 5.1.



FIGUR 30. Illustrasjon kjøretøyskilt.

For UN 1942 er det pålagt å benytte fareseddel som illustrert i figur 29 og farenummer 50 som også indikerer at stoffet har oksiderende effekt (brannfremmende effekt). De skriftlige instruksene til sjåfør kommuniserer følgende: «fare for voldsom reaksjon, antennelse og eksplosjon ved kontakt med brennbare eller brannfarlige stoffer». Det gis ingen tilleggsveiledning utover det.

Når faremerkingen skal vurderes bør grunnlaget for klassifisering, hva som eventuelt kan kommuniseres via farenummer og som et minimum hva som eventuelt bør kommuniseres i transportuhellskoret vurderes. Da klassifisering og faremerking er basert på internasjonalt regelverk er det ikke mulig å gjøre nasjonal faremerking.

Det anbefales at DSB i løpet av 2015 initierer en prosess for å løfte problemstillingen i relevante internasjonale fora.

11.3.4 UTREDE BRANNFØREBYGGENDE- OG BRANNBEKJEMPENDE TILTAK

Brannforebyggende tiltak vil redusere sannsynlighet for at en brann får utvikle seg uavhengig av hva som er kilde til brannen.

Prosjektgruppen anbefaler at det gjøres en gjennomgang av kravene til elektriske anlegg i landtransportforskriften (gjelder for eksplosiv og tank-kjøretøyer) for å vurdere om de gir god nok sikkerhet. Områder som spesielt må vurderes er om det bør innføres krav til reparasjoner og modifikasjoner i elektriske installasjoner på ADR-kjøretøy.

I kjøretøy der det er spesielt kritisk å unngå brann bør unødige tennkilder fjernes og kilder som kan eskalere brann bør unngås eller plasseres langt fra mulige arnested for brann.

Tidlig identifisering av brann er også en kritisk faktor. Under transport vil sjåføren/operatøren tidlig registrere et branntilløp i motor eller elektrisk anlegg. Ved produksjon står operatøren bak på bilen uten mulighet til å oppdage brannen. Brannen vil bli identifisert tidligere dersom det monteres brannalarm som gir signal i styreskapet, eventuelt at det er vakt på bilen ved produksjon.

Mulighet for effektiv brannbekjempelse er viktig for å redusere risikoen for at brannen ender i en eksplosjon. I tillegg til det automatiske brannslukkingsanlegget i motorrommet og krav til brannslukkingsapparat på kjøretøyet anbefaler prosjektgruppen at ytterlige tiltak vurderes. Prosjektgruppen anbefaler at det sees bredt på alternative slukkemetoder for brann i hjul/bremser, elektrisk anlegg og i motor/drivstoff. Både slukkemiddel og tilgang til arnested må vurderes.

Det anbefales at DSB i løpet av 2015 initierer en prosess for å løfte problemstillingen i relevante internasjonale fora.

11.3.5 BEHOV FOR HELHETLIG VURDERING AV RISIKO VED MOBIL PRODUKSJON AV SPRENGSTOFF

Håndtering av ferdige eksplosiver er velregulert. Med det mener vi blant annet at enhver håndteringsform er strengt regulert gjennom krav om tillatelser og det stilles strenge kompetansekrav ved bergsprengning. Reguleringen er basert på god og detaljert kunnskap om risiko ved håndtering av ferdige eksplosiver. DSB har som nevnt tidligere erkjent at dagens regulering av eksplosjonsfarlig stoff ikke er utarbeidet med tanke på mobil produksjon av bulksprengstoff. Intensjonen til DSB er å revidere regelverket slik at forvaltningen av mobil produksjonen av bulksprengstoff blir risikobasert. For å oppnå en risikobasert forvaltning er det behov for en helhetlig vurdering av risiko for mobil produksjon av sprengstoff.

Med helhetlig vurdering av risiko mener prosjektgruppen at risiko bør vurderes både i hele håndteringskjeden og dersom det oppstår ekstraordinære situasjoner som for eksempel brann. Vurderingen bør også ivareta kompleksiteten at de ulike metodene brukes på et gitt brukersted utfra ulike motiv.

Prosjektgruppen antar at de ulike metodene representerer ulik risiko, og at denne forskjellen potensielt påvirkes i stor grad av risikoen ved brann. Den ulike risikoen vil eventuelt føre til ulik regulering og ulike krav om risikoreducerende tiltak.

Ut i fra en svært forenklet risikovurdering kan en si at bulksprengstoff generelt har lavere risiko enn ferdige eksplosiver. Prosjektgruppen ønsker at utviklingen i bruk av mobil produksjon av sprengstoff fortsetter, men anbefaler at metodene risikovurderes ytterlig i et helhetlig perspektiv.

Risikoen ved mobil produksjon av sprengstoff kan være en funksjon av risiko ved transport av utgangsstoffene, oppbevaring av utgangsstoffene i depotstasjoner, hvilke kjemikalier som inngår i produksjonen, selve produksjonen på brukersted og produksjonsutstyret og forhold ved selve brukerstedet. Risiko for at eksplosiver eller utgangsstoffer for eksplosiver kommer på avveie bør også ivaretas. Det blir i det videre arbeidet viktig å vurdere hvordan de ulike faktorene bør vektlegges.

Prosjektgruppen anbefaler derfor at DSB initierer et prosjekt der det gjennomføres en helhetlig vurdering av risiko for mobil produksjon av sprengstoff. Prosjektet bør ha representanter fra myndigheter (gjerne nordisk), eksplosivbransjen og forskning (gjerne internasjonalt).

Resultatet fra en slik vurdering vil danne grunnlag for en risikobasert forvaltning av mobil produksjon av sprengstoff, og vurdere om det er mulig å sette kriterier for akseptabel risiko. Vurderingen, og ikke minst arbeidet som vil ligge bak vil forhåpentligvis også gi en enda bedre forståelse av risiko ved mobil produksjon av bulksprengstoff, identifisere eventuelle farer som per i dag ikke er identifisert eller redusert til et nivå som med rimelighet kan oppnås og gi innspill til risikoreducerende tiltak for allerede kjente farer. Det bør også kunne bli et verktøy for virksomhetene når de skal gjøre sine risikovurderinger for eksisterende og nye metoder, og ta stilling til hvilket risikonivå de ønsker å operere på og hvilke tiltak som da må gjøres.

11.3.6 BEHOV FOR SPESIFIKK KUNNSKAP

Spesielt i forbindelse med brann i en MEMU mener prosjektgruppen det er behov for spesifikk kunnskap for å kunne vurdere risikonivå.

En god del informasjon finnes allerede om ammoniumnitrats oppførsel under brann, men disse har generelt et fokus på lagring og brannrisiko av AN av gjødselkvalitet eller som ferdig sprengstoff (ANFO). Når det kommer til transport av AN og ANE og da spesielt i forbindelse med kjøretøy av MEMU typen, er det et dårligere empirisk grunnlag å utføre risikovurderinger på.

Prosjektgruppen anbefaler derfor at det i første fase av det nye prosjektet defineres hvilken kunnskap som bør innhentes for å kunne utføre en bedre risikobasert vurdering, men prosjektgruppen ser for seg at følgende områder kan være relevante:

- Undersøke egenskaper som f.eks. dekomponeringshastighet og sensitivering for ANPP og ANE under et brannforløp og hvilke parametere som påvirker disse (f.eks. tid, temperatur, kontamineringer, inneslutning o.l.).
- Undersøke hvilken effekt en brann har på egenskapene til priller i store kvanta og om priller i

- aluminiumstank er forsvarlig med tanke på brann.
- Hva er de direkte effektene på aluminiumtankene på en MEMU ved brann. Hvor fort svekkes de, hvor revner de osv.
 - Undersøke mulige årsaker til detonasjon ved brann i ANPP og ANE hver for seg og ved samlagring (run-away, prosjektiler, smeltet metall, kollaps etc.).
 - Undersøke om ANE-lag på tankvegg (dårlig rengjøring) i et brannforløp kan føre til detonasjon og om dette kan initieres av en annen detonasjon.
 - Storskalatest av MEMU-truck der hele forløpet overvåkes (temperatur inne i tanker, brannutvikling osv.)
 - Storskalatester med ANPP og ANE som undersøker egenskapene til forskjellige typer av tanker og tankmaterialer ved brann
 - Undersøke om konstruksjon på tanken eller kjemikalie sine egenskaper i tanken kan medføre rettet ladning.
 - Undersøke virkningen av trykkbølgen ved eksplosjon i ammoniumnitrat i på nære omgivelser, inkludert krater.

Prosjektgruppen anbefaler at prosjektgruppen som etableres for å gjøre en helhetlig vurdering av risiko ved mobil produksjon også i mer detalj prøver å skissere hvilke kunnskapsbehov som eksisterer og hvordan gap eventuelt kan dekket. Eventuelle kostnader til testing i mindre eller full skala vil bli kartlagt i første del av prosjektet.

Vedleggsliste

VEDLEGGSLISTE

Vedlegg 1: Notat fra SVV – Fv. 78 Arm Ømmervatn – Bergarter i masseuttak og deres egenskaper.

Vedlegg 2: Analyse fra DSB – Ladningsberegninger basert på avstander og skadde objekter.

Vedlegg 3: Teknisk notat – Ekvivalent detonerende ladning estimert ut fra målte vibrasjoner.

Vedlegg 4: Notat fra FFI – Sprengningsulykke i Drevja 17. des 2013.

Vedlegg 5: Bildeanalyse fra DSB.

VEDLEGG 1: NOTAT FRA SVV – FV. 78 ARM ØMMERVATN – BERGARTER I MASSEUTTAK OG DERES EGENSKAPER



Statens vegvesen

Notat-1

Til: Gry Haugsnes, DSB
Frå: Mikael Bergman, SVV
Kopi: Rainer Smedseng, SVV

Sakshandsamar/innvalsnr:
Mikael Bergman - 95419715

Oppdrag:	Fv. 78 arm Ømmervatn – Bergarter i masseuttak og dess egenskaper		Dok. nr. i Sveis:	
Oppdragsgiver:	Direktoratet for Samfunnsikkerhet og Beredskap		Dato: 2014-10-15	
Planfase:	Byggefase	Arkivkode:	Ant. vedlegg:	
Kommune:	Vefsn kommune	Vegnr.:	Fv. 254	HP: 01 Km: 4,000-4,700
UTM 33 ref.:	EUREF 89		Geoteknisk kategori:	
Utarbeidet av:	Mikael Bergman	Sign.:	<i>Mikael Bergman</i>	
Kontrollert av:	Per Nyberg	Sign.:		

FV. 78 arm Ømmervatn – Bergarter i masseuttak og dess egenskaper.

Innledning

På oppdrag fra Direktoratet for Samfunnsikkerhet og Beredskap (DSB) er det gjort en oppsummering av bergartstyper i masseuttaket og dess egenskaper i prosjekt Fv78 arm Ømmervatn.

Bakgrunnen til dette, er eksplosjonen av slurrybil den 17. desember 2013. Ved befaring av DSB etter ulykken vært det observert porøse steiner liggende spredt ut i omliggende terreng.

Befaringen av stedet ble utført den 25. september 2014 av ingeniørgeolog Mikael Bergman.

Geologi

I forkant av ulykken ble det gjort en befaring av stedet den 10. september 2013, for å evaluere berget i området. Dette ble gjort i og med avdekking av løsmasser ned til fjelloverflate. Fra denne befaringen ble det notert en svakhetsone i form av skifer og marmor, som gikk tvers igjennom masseuttaket. Skisse fra befaringen kan ses i vedlegg 2. Denne sonen hadde en bredde på opp imot 30 meter. Resterende masseuttak var i form av bergarten granitt.

Fra befaring den 25. september 2014 ble det notert at svakhetssonene var i form av bergarten glimmerskifer med innslag av både kvarts, pyroksen og amfibol mineraler.

Bergartenes egenskaper

I masseuttaket var det hovedsakelig bergarter i form av granitt og glimmerskifer. I tillegg finnes det kvarts.

Postadresse
Statens vegvesen
Region vest
Askedalen 4
6863 Leikanger

Telefon: 02030
Telefaks: 57 65 59 86
firmapost-vest@vegvesen.no

Org.nr: 971032081

Kontoradresse
Askedalen 4
6863 LEIKANGER

Fakturaadresse
Statens vegvesen
Regnskap
Båtsfjordveien 18
9815 VADSØ
Telefon: 78 94 15 50
Telefaks: 78 95 33 52

Granitt er en magmatisk bergart, som dannes fra størknet magma. Bergarten danner oftest større og mer rundkornete krystaller. Den er i tillegg litt porøs. Granitt er en sprø bergart og er relativt lettsprengt. Granitt har en densitet på $2\,760\text{ kg/m}^3$. Granitt består av mestedels kvarts og feltspat og har en smeltepunkt på ca. $1\,400\text{ °C}$.

Glimmerskifer er en sedimentær/metamorf bergart som dannes fra leire som utsettes for trøkk og/ eller varme. Bergarten danner oftest finkornete mer flate krystaller, som klyves lett langs skifrihetsplaten. Bergarten er mer porøs en granitt. Beroende på hvordan bergarten er dannet kan den være alt fra lite porøs til svært porøs. Glimmerskifer er en duktil bergart og er relativt tungsprengt. I og med at glimmerskifer består mestedels av glimmer (biotitt og/eller muskovitt), som er mineraler med lav hardhet, skapes det lett avskalinger. Det kan i noen tilfelle til og med ripes eller knuses med hendene. Glimmerskifer har en densitet på $2\,800\text{ kg/m}^3$. Glimmerskifer består av over 50% glimmer som har en smeltepunkt på ca. $1\,200\text{ °C}$.

Kvarts/Kvartsitt er et mineral men også i seg en bergart bestående av 90-100% kvarts. Kvarts er et hardt mineral som har en høy smeltepunkt på $1\,650\text{ °C}$. Kvarts er et mineral som klarer av store trøkk og er derfor tungsprengt. Kvarts/kvartsitt har en densitet på $2\,800\text{ kg/m}^3$.

Sprut fra eksplosjon

Fra eksplosjonen ble flere steiner slengt lang i lufta. DSB legger frem spørsmål om trykket fra eksplosjonen kan ha sprekket opp omkring liggende berg som senere ble sendt i luften.

I og med at eksplosjonen utspelte seg i dagen (over terreng) har trykket ikke påvirket berget under, mer en at det kan ha sprukket opp overflaten litt. Denne då sprenging av berg trenger innspenning for å sprengte det ut.

Rundt slurrybilen ved ulykken vart det liggende stein/pukk, se foto 1 i vedlegg 1. Disse steinene er trulig de steinene som vart flyet i lufta og som truffet nærliggende byggen. Steinene hadde forskjellige størrelser og form, i og med at det vart arbeid i alle led i masseuttaket som bestod av både granitt og glimmerskifer.

Ulykkens påvirkning på berget

Ulykken startet med brann fra slurrybilen. Varmen som skapes ved brann er opp mot 900 °C . Ved langvarig påvirkning av slike høge temperaturer gjør den bindingen mellom kornene i glimmerskifer svakere (som har en smeltepunkt på ca. ca. $1\,200\text{ °C}$). Dette bidrar til økt porositet og på den måten, trenger seg varmen lengre inn i berget. Resultatet blir en mer porøs og svakere berg.

Konklusjon

Masseuttaket består av glimmerskifer og granitt. Der ulykken skjedde var det underliggende berg i form av glimmerskifer. Eksplosjonen skjedde ute i dagen og har ikke påvirket kring liggende fast berg. Ved siden av slurrybilen ved ulykka vart det lagret stein/pukk. Di vart utsatt for høy varme som i sin tur har gjort dem svakere. Det er trulig disse som vart slynget i lufta ved eksplosjonen og som truffet nærliggende byggen.

Mikael Bergman

Ingeniørgeolog, Mikael Bergman
Mosjøen den 15. oktober 2014.

Vedlegg

- 1 – Fotoen
- 2 – Skissert bergartsgrense 2013-09-10
- 3 – Skissert bergartsgrense 2013-10-09



Foto 1: Slurrybil før eksplosjon den 17. desember 2013. Bilde mottatt fra DSB.



Foto 2: Bilde visende fjellparti rett bak der eksplosjonen skjedde. Bilde tatt av DSB den 18. desember 2013.

FOTO

Fv. 78 arm Ømmervatn

Vedlegg 1 - Foto

Statens vegvesen - Region nord - Fv78 Halsøya-Leirosen, Prosjektavdelingen

VEDLEGG



Foto 3: Sett mot gården (mot sørvest) fra eksplosjonssted. Bilde tatt av DSB den 18. desember 2013.



Foto 4: Bilde av masseuttak tatt den. 25. september 2014.

FOTO		Vedlegg 1 - Foto
Fv. 78 arm Ømmervatn		
Statens vegvesen - Region nord - Fv78 Halsøya-Leirosen, Prosjektavdelingen		



Foto 5: Bergvegg rett nord for der eksplosjonen skjedde. Hammer i nedre delen av bilde viser ca. hvor eksplosjonen vart. Bilde tatt den 25. september 2014.



Foto 6: Sett fra eksplosjonssted mot fjellvegg i nordøst. Mørke fjellet er svakhetssonen som korse masseuttaket. Bilde tatt den 25. september 2014.

FOTO		Vedlegg 1 - Foto
Fv. 78 arm Ømmervatn		
Statens vegvesen - Region nord - Fv78 Halsøya-Leirosen, Prosjektavdelingen		

VEDLEGG

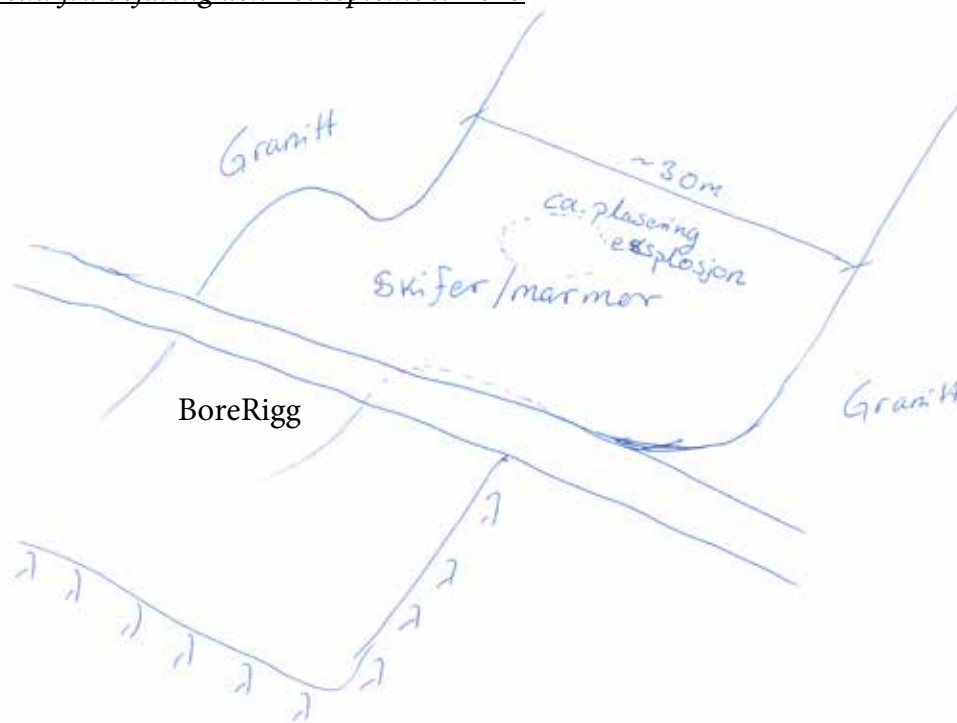


Foto 7. Bilde tatt fra pel ca. 4 810 mot nordøst. Fjellveggen sett på venstre side av bilde er av samme type berg som svakhetssonen sett på avstand, se foto 6. Stedet for eksplosjonen er omtrentlig innringet med rødt i bilde. Bilde tatt den 25. september 2014.



Foto 8: Stuffer (steiner) fra masseuttaket som viser på variasjonen av bergarter.

FOTO		Vedlegg 1 - Foto
Fv. 78 arm Ømmervatn		
Statens vegvesen - Region nord - Fv78 Halsøya-Leirosen, Prosjektavdelingen		

Vedlegg 2Skissert oversikt fra befaring den 10. september 2013

VEDLEGG

Vedlegg 3

Bilde fra Rainer Smedseng, tatt den 9. oktober 2013



VEDLEGG 2:

LADNINGSBEREGNING BASERT PÅ AVSTANDER OG SKADDE OBJEKTER

Odd Arne Grøvo, senioringeniør DSB
1/7-2014

Innhold

1 Sammendrag	2
2 Innledning	2
3 Nullpunkt / eksplosjonssted (ES)	3
3.1 GRUNNLAG FOR DENNE ANALYSE	3
4 Referanser – navn på utsatte objekter/hus:	4
5 Utsatte objekter – plassering og skadebeskrivelse	5
5.1 GRÅTT HUS	5
5.2 GULT HUS (HOVEDREFERANSER FOR GROVANALYSE)	6
5.3 LITE RØDT HUS (LEKESTUE).....	8
5.4 GRÅ GARASJE	9
5.5 RØD HOVEDBYGNING	10
5.6 RØD GARASJE	11
5.7 ORANSJE HUS	12
5.8 GARASJE - ORANSJE HUS	13
5.9 LAGER (SAGBRUK).....	14
5.10 HVITT HUS, ETERNITT (SE OGSÅ 8.1.1).....	15
5.10.1 Hvitt hus, stående kledning.....	16
5.11 RØDT LANGHUS (LÅN).....	16
6 Grovanalyse	17
6.1 HYPOTESE	17
6.2 GROVANALYSE	17
6.3 SÅRBARHET I ANALYSEN	17
7 Alternativ vurdering	17
8 En mer omfattende analyse	18
8.1 VURDERING AV ANDRE BYGNINGER	18
8.1.1 Hvitt hus, eternitt	18
8.2 VURDERING AV REFLEKSJONSTRYKK	18
8.3 STØRRELSER OG KVALITET PÅ VINDUER	19
8.3.1 Vindusarealer	19
8.3.2 Vindustykkelse og antall lag	19
8.3.3 Andre vurderinger av vinduskvalitet	19
8.4 VURDERING AV IMPULSEN	19
8.5 PI KURVER	20
8.5.1 Vurdering av gult hus:	20
8.5.2 Vurdering av hvitt hus, eternitt:	22
8.5.3 Vurdering av rødt langhus (lån):	22
8.5.4 Vurdering av rød hovedbygning	22
8.6 TYPOGRAFI OG ANDRE STEDLIGE FORHOLD	22
9 Avsluttende kommentarer:	22
10 Alternativ tilnærming	23

1 Sammendrag

Analysene gir holdepunkter for å hevde at eksplosjonen har hatt effekt av mellom 500 og 1000 kg TNT. Mengde omsatt AN/ANE kan ha vært under 3.000 kg.

Dette gir følgelig ingen holdepunkter for å fastslå at det var innholdet i den ene eller den andre tanken har gikk til detonasjon. Det kan imidlertid fastslås at langt fra hele totalmengden har gått til detonasjon.

2 Innledning

Dersom man ut fra vurderinger av raseringsnivå kan anslå/estimere et trykknivå på en gitt avstand, så er det mulig å beregne ladningsstørrelse i TNT med for eksempel programmer som CONWEP, evt BlastCalc (App). Ved å legge til grunn en TNT ekvivalent på AN og ANE så kan man så anslå mengden AN og/eller ANE som bidro i eksplosjonen.

Den store utfordringen er å estimere trykk og impuls fra eksplosjonen ut fra vurderinger av skadeomfang på ulike bygg. Sentralt her er vurdering av vinduer; hvilke som er knust og hvilke som ikke er knust. Fasadenes orientering i vinkel mot eksplosjonsstedet er viktig for å beregne reflekterte og reelle trykk.

I en slik vurdering kan også PI kurver (Trykk-Impuls kurver/plott) legges til grunn. Det finnes eller kan beregnes ulike kurver for ulike glassdimensjoner, glassstykker og kvaliteter. Vi har fått støtte fra Forsvarsbygg med å finne frem et par slike kurver.

Vi har ikke mål på verken vindusarealer eller glassstykker. Vi kan imidlertid ut fra bildene kunne skille grovt mellom store eller små vindu. For de fleste bygg må glasskvaliteten regnes som dårlig (gammel), ikke herdet.

Øvelsen blir å finne fasader med flere vinduer av samme type hvor noen, ikke alle, er knust. Man er da på grensen av hva vinduene har tålt av trykk og impuls. Areal og kvalitet på vinduene må så vurderes for, ut fra erfaringer, å kunne anslå trykk og impuls den konkrete fasade har vært utsatt for. Heldigvis for hendelsen, men uheldigvis for grunnlaget for å vurdere omsatt mengde, skjedde hendelsen i et område med få hus og med begrenset variasjon i avstand til eksplosjonssted. Statistikk på om hhv 10%, 50% eller 90 % av vinduene var knust er dermed begrenset som grunnlag for beregninger og avlesninger i PI kurver. De hus som ble eksponert ligger imidlertid i grenseområdet for trykknivåer der vinduene knuses.

Sidetrykk på 5 kPa kan i mange tilfeller representere trykknivå der vindusskader oppstår og kan gi knusing av vinduer. Noen ganger bør man opp i 10 kPa for å oppnå knusing og det kan være fasader som tåler opp mot 15 kPa før 50 % av vinduene ”går”.

Vinkelen på fasaden må også vurderes i forhold til trykklørens retning og refleksjonsvinkel. Med de ladningsstørrelser og avstander det her er snakk om 500 – 2500 kg TNT og bygninger i avstand fra eksplosjonssted på 140 – 360 meter kan man noe forenklet legge til grunn at reflektert trykk (fasade vendt mot eksplosjonssted) er det dobbelte av sidetrykk eller hendelsestrykk (fasade vinkelrett på trykkfront). Reflektert impuls for tross alt en så liten eksplosjon vil ha en enda lavere faktor.

Fasader vent noe bort fra å ha flate rett mot eksplosjonssted vil få et med vinkelen avtagende reflektert trykk. På sidefasader som er vent noe mot eksplosjonssted må man også regne inn at noe av sidetrykket reflekteres. Her kan man legge jeg til grunn refleksjonstrykk med en faktor 2 mhp sidetrykket opp til 40 grader. Et sted i området 40 – 80 graders refleksjonsvinkel får man, sektor avhengig av trykket på stedet, en økning opp mot tre ganger sidetrykk før denne avtar til rent sidetrykk på 90°.

Takk til Forsvarsbygg for faglige innspill!

3 Nullpunkt / eksplosjonssted (ES)

Fastsettelse og klar definisjon av stedet der MEMUen stod da den eksploderte er helt nødvendig for å kunne vurdere avstander og videre beregne de mengder stoff som har dekomponert/detonert.

3.1 Grunnlag for denne analyse

Nullpunkt (UTM 33), målt av Statens vegvesen (SVV) med landmåler GPS:

Ø: 0425637

N: 7319534

DSB mottok en rekke koordinater i SOSI filer. Disse er konvertert av Karen Lie/DSB.

Kontroll med konverteringen fra SOSI:

SVV viser i sin oversikt til følgende avstander:

Senter bil – nærmeste hjørne gult hus: 202,547 m

Senter bil – fjøshjørne (der rystelsesmåler stod): 223,257 m



Test til gult hus: Resultat i kart 202 m.



Test til fjøshjørne: Avstand i kart 225.

Vi fester lit til konverteringen og legger (UTM 33): Ø: 0425637, N: 7319534 til grunn for analysen.

4 Referanser – navn på utsatte objekter/hus:

Følgende navn i kart, røde punkter med navn, brukes som referanser i videre analyse:



Vestre område.



Sørøstre område.

5 Utsatte objekter – plassering og skadebeskrivelse

Beskrivelse av objekter og skader. Husnavn, se oversiktsbilder forrige side.

OBS, avstander er målt i kart og kan være +/- 1 – 2 meter. Vinkler er målt i utskrift av kart med linjal og graderskive og vil heller ikke være helt absolutt.

5.1 Grått hus

Vest for eksplosjonssted.

Kortvegg mot øst, avstand 412 m, refleksjonsvinkel ca 14 grader.

Langvegg mot sør, avstand 415 m, refleksjonsvinkel ca 76 grader.

Moderne hus. To ”husmorsvindu” på kortvegg, tre større vinduer og et par mindre på langvegg.
Ingen skader verken på kortvegg eller langvegg.



Bilde tatt fra litt sør for ES. Grått hus oppe på brink. (Gult ned til venstre)



Grått hus. Hjørne mot ES.

5.2 Gult hus (hovedreferanser for grovanalyse)

Vest-sørvest for eksplosjonssted.

Kortvegg mot øst, avstand 202 m, refleksjonsvinkel ca 14 grader.

Langvegg mot sør, avstand 210 m, refleksjonsvinkel ca 76 grader.

”70-tallshus”.

Kun dør på kortvegg. Blåst inn.

Langvegg: Tre av tre store vinduer knust. Halvparten av ”husmorsvindu” i 1.etg knust. Vindu i 2.etg skjøvet inn.



Kortvegg mot øst og ES. Dør blåst inn.



Langside mot sør. Vinduer knust. Vinduer skjøvet inn.



Langside mot sør, vestre del, 2. etg.



Langside sør.



Langside nord. Ingen skader. ES opp til venstre.

VEDLEGG

5.3 Lite rødt hus (lekestue)

Sørøst for eksplosjonssted.

Nordvegg, avstand 167 m, refleksjonsvinkel ca 52 grader.

Vestvegg, avstand 167 m, refleksjonsvinkel ca 38 grader.



Bilde fra sør. ES opp til venstre.



Bilde fra vest. Ett av to vindu knust. (Skjernet av typografi/vegetasjon?)



Vegg mot nord.



Bakside. Begge vindu hele.

5.4 Grå garasje

Sørøst for eksplosjonssted.

Kortvegg mot nord, avstand 179 m, refleksjonsvinkel ca 52 grader.

Langvegg mot vest, avstand 181 m, refleksjonsvinkel ca 38 grader.



Langvegg mot vest. Fire av fire vindu knust. Takrenne henger.



Bakvegg mot øst. Ett vindu knust (blåst eller sugd ut).



Blikkskur/påbygg på nordside.

5.5 Rød hovedbygning

Sørøst for eksplosjonssted.

Langvegg mot nord, avstand 190 m, refleksjonsvinkel ca 40 grader.

Kortvegg mot vest, avstand 190 m, refleksjonsvinkel ca 50 grader.



Bilde. Retning fra nedenfor ES, mot husets nord og vestside.



Nordside. Vindu skjøvet inn. Kun vindu i dør som er knust.



Vestside. Dør presset inn.

5.6 Rød garasje

Kortvegg mot nord, avstand 209 m, refleksjonsvinkel ca 32 grader.



Vegg mot nord. Port trykket inn.



Sidevegg mot vest



Sidevegg mot øst med vindu. Ingen knust.

5.7 Oransje hus

Fasade mot nord, avstand 226 m, refleksjonsvinkel ca 9 grader.
Fasade mot vest, avstand 229 m, refleksjonsvinkel ca 81 grader.



Fasade mot nord. Ingen knuste vinduer, men skjøvet inn + strukturelle skader inne.



Fasade mot vest.

5.8 Garasje - oransje hus

Fasade mot nord, avstand 202 m, refleksjonsvinkel ca 8 grader.



Fasade mot nord.



Fasade mot øst. Dør 2. etg vippet frem.



Fasade mot vest. Vegg buler.



Fasade mot sør (bakside)

VEDLEGG

5.9 Lager (sagbruk)

Langvegg mot nord, avstand 296 m, refleksjonsvinkel ca 30 grader.



5.10 Hvitt hus, eternitt (se også 8.1.1)

Langvegg mot nord, avstand 304 m, refleksjonsvinkel ca 28 grader.

Kortvegg mot vest, avstand 305 m, refleksjonsvinkel ca 62 grader.



Nordside. De fire store vindu knust, de to små hele.



Vestvegg. Alle vinduer hele.



Østvegg. Ett av to vindu knust. (Blåst ut?)

VEDLEGG

5.10.1 Hvitt hus, stående kledning

Bygning i sørøst.

OBS plassert annerledes enn i kart. Se flyfoto.

Fasade mot nord, avstand ca 337 m, refleksjonsvinkel ca 45 grader.



Fasade mot nord. Ingen skader.

5.11 Rødt langhus (lån)

Bygning lengst i sør-sørvest

Langvegg mot nord, avstand 357 m, refleksjonsvinkel ca 30 grader.



Fasade mot nord. Ingen vindu knust (nå).

6 Grovanalyse

Grunnet mange usikkerheter må det vurderes hvor detaljert og omfattende en analyse skal være for å dekke formålet. En grovanalyse uten for mange detaljer kan gi en indikasjon på mengder omsatt.

6.1 Hypotese

Vindusskadene på gult hus representerer et (side)trykk på 5 kPa. (Reflektert 10 kPa.)

6.2 Grovanalyse

Avstanden fra nullpunkt (SVV koordinater) til gult hus er 202 meter. Midt på langvegg er avstanden + ca 8 meter; ca 210 meter.

Dette trykket og denne avstanden gir ved hjelp av ConWep eller BastCalk en mengde TNT på **732 kg**.

Legges det til at skadene er resultat av et ikke ubetydelig bidrag fra reflektert trykk, og at sidetrykket har vært noe lavere blir TNT mengden lavere.

Grovt anslag, eksplosjonen har hatt effekt av mellom 500 og 1000 kg TNT.

6.3 Sårbarhet i analysen

Relativt små endringer i verdiene lagt inn i grovanalysen påvirker resultatet i vesentlig grad.

- Trykket ved gult hus: Dersom gult hus har vært utsatt for et høyere trykk så blir også beregnet mengde TNT høyere. Var sidetrykket 6 kPa ville mengden TNT kunne beregnes til 1.127 kg. Var sidetrykket 7 kPa ville TNT kunne beregnes til 1.631 kg.
- Regnes sidetrykket å ha vært lavere for eksempel 4 kPa ville mengden TNT reduseres til 441 kg.
- Refleksjonstrykk er i dette ikke medregnet (kommenteres i pkt. 8.1).
- Analysen er også sårbar for hvilke avstander som legges til grunn.

7 Alternativ vurdering.

En alternativ vurdering av de mengder stoff som dekomponerte og forårsaket luftsjokk er å se på eksplosivforskriftens formler for minimums sikkerhetsavstand, jf også tabellene i veiledningen.

Som grunnlag for våre sikkerhetsavstander etter tabeller for oppbevaring av eksplosive varer legger vi til grunn formelen:

$$D = k \times Q^n$$

D - avstanden (sikkerhetsavstand fra potensielt eksplosjonssted til utsatt objekt)

n - 1/3 for faregruppe 1.1

Altså for eksplosive varer i faregruppe 1.1 skal sikkerhetsavstanden være minimum konstanten (k), som er avhengig av type utsatt objekt, multiplisert med tredje roten av mengden.

For bolighus er k = 22,2. Denne skal være satt for å gi en sikkerhetsavstand som gir en 5 kPa trykkpåvirkning "side on" fra en eksplosjon.

Med mengden Q som ukjent, blir formelen

$$Q = (D/k)^3$$

Ut fra overnevnte grovanalyse, observasjoner og hypotese hvor det antas å ha vært ett trykk på 5 kPa på ca 210m blir mengden ut fra denne formelen **846 kg TNT**.

Hadde avstanden hvor trykket var 5 kPa vært vurdert til 190 m (altså at trykket på 210 m har vært lavere) blir beregnet mengden etter formelen 627 kg TNT.

Hadde avstanden vært vurdert til 230 m (altså at trykket på 210 m har vært høyere) blir beregnet mengde 1.112 kg TNT.

(OBS, stemmer antakelsene om et sidetrykk på 5 kPa ved gult hus så er det gule huset et bilde det raseringsnivå man kan få på hus som ligger på minimumsavstand.)

8 En mer omfattende analyse.

Grovanalysen kan i seg selv gi en indikasjon, men det kan og bør generelt legges inn noen flere vurderinger. I denne saken er det imidlertid så mange usikkerheter at kost/nytt vurdering av for mye analyse kan være dårlig, jf pkt 6.3.

I det etterfølgende utvider jeg analysen, men skal man komme helt ned i materien må det måles størrelser på vinduene, tykkelser, antall lag og kvaliteter.

En helt naturlig første øvelse blir, ut fra de data vi har, å vurdere skader også på andre bygninger.

8.1 Vurdering av andre bygninger

8.1.1 Hvitt hus, eternitt.

Fasade mot ES. Refleksjonsvinkel ca 28 grader og da utsatt for refleksjonstrykk ca 2 ganger sidetrykk (se pkt 8.2). Fire litt større vinduer er gått, to mindre ikke knust. Om dette borger for et trykk på 5 kPa, så var sidetrykket på ca 2,5 kPa.

2,5 kPa sidetrykk på 304 meter gir en beregnet TNT ladning på **495 kg**.

Legger man på til 6 kPa reflektert trykk (3 kPa sidetrykk) da vinduene kan ha tålt noe høyere trykk blir beregnet ladning 726 kg, en størrelsesorden vi kjenner igjen fra grovanalyse gult hus.

Legger man på til 7 kPa reflektert trykk (3,5 kPa sidetrykk) blir beregnet ladning 1.000 kg.

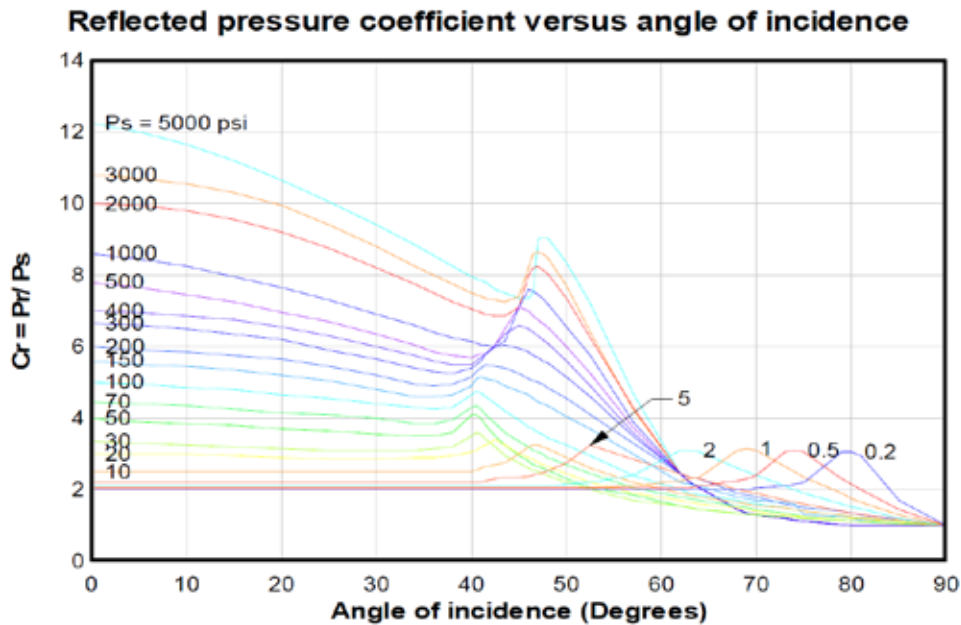
Kortvegg. Refleksjonsvinkel ca 62 grader og da utsatt for refleksjonstrykk ca 2 ganger sidetrykk, men er da opp mot den vinkelen der man får et forsterket reflektert trykk over en faktor på 2 (se pkt 8.2). Dette kan gi holdepunkter for at ladningen ikke kan ha vært over 1.000 kg TNT.

8.2 Vurdering av refleksjonstrykk

Man kan vurdere bygningens orientering mot trykkbølgens utberedelse for også å vurdere graden av reflekterte trykk.

Trykket på vegg vendt mot eksplosjonssted blir høyere grunnet reflektert trykk. Når vinkelen er 0° på trykkbelgefronten (vegg vendt rett mot eksplosjonssted) blir det reflekterte trykket, grovt og forenklet vurdert, størst. Ved en avstand og mengde som i Drevje hvor sidetrykket som har truffet bygningene er nede i 5-10 kPa kan man da grovt anta at reflektert trykk er 2 ganger sidetrykk. Enten nærmere eksplosjonssted (eller på samme sted med langt større dekomponert mengde) vil faktoren øke med avtagende avstand (eller med betydelig økt mengde); faktoren øker med økende trykk.

Med økende vinkel avtar reflektert trykk til vinkelen er 90 grader og man har en sidevegg ut refleksjon av trykkbølge; kun sidetrykk. For lave trykk kan en regne faktoren P_r / P_s som 2 til over 40 grader før den får en lokal økning over 2 som så avtar til 1 og rent sidetrykk på 90°.



Figur: Plott mottatt fra Forsvarsbygg.

Gult hus, fasade sør, har en refleksjonsvinkel på ca 76 grader.

Jf grovanalyse: Ladning på 732 kg, 210 meter gir et sidetrykk på 5 kPa (0,73 PSI).

I figuren over er det et plott for 1 PSI og en for 0,5 PSI. Peaken for 0,73 vil da ligge mellom disse.

Da vinkelen på langveggen er i den vinkelsektoren som gir forsterkninger i reflekterte trykk kan dette ha gitt en refleksjonsfaktor på mellom 2,5 og 3 (beregnet 2,74) på langveggen og P_r på 13,7 kPa. Dette er en betydelig økning i faktisk trykk lagt til grunn i grovanalysen. **Dette taler for et sidetrykk kan ha vært lavere med tilsvarende mindre beregnet ladning.**

8.3 Størrelser og kvalitet på vinduer

Dette er ikke annet enn grovanalysert.

8.3.1 Vindusarealer

Dette kan gjøre helt konkret ved å måle vindusflatene i Drevja (er ikke gjort) eller bruke ulike PI kurver for små, middels og store vinduer.

8.3.2 Vindustykkelse og antall lag.

3, 4 eller 5 mm...

Ett lags, to lags, tre lags.

Slik registrering er ikke gjort.

8.3.3 Andre vurderinger av vinduskvalitet.

Innfesting, alder ...

Generelt var vinduskvaliteten dårlig. Gamle vinduer.

8.4 Vurdering av impulsen

For å beskrive en trykkbølges energi så må man i tillegg til trykket vurdere varigheten av trykket som gir et integrert areal under plottet av bølgen; impulsen. Impulsen på ett gitt trykknivå avhenger av mengde omsatt sprengstoff. Større mengde gir større impuls på samme trykknivå, man da lenger fra eksplosjonssted.

VEDLEGG

732 kg TNT, ref grovanalyse, gir en kalkulert impuls (side) på 22 kPa/ms.

Man må beregne impulser for å bruke PI kurver.

8.5 PI kurver

Trykkbølger kan være svært komplekse. Vurdering av impulsen er også grunnleggende for å beskrive en trykkbølge og dens raserende egenskaper. En enkelt tilnærming med å anslå ett visst trykk som har gitt de observerte skader har tidligere vist seg for enkelt (ref Forsvarsbyggs analyser av hendelsen i regjeringskvartalet). Det er utarbeidet PI kurver (trykk- impulskurver) for ulike vindusstørrelser og kvaliteter.

8.5.1 Vurdering av gult hus:

Jf punkt 6.2 som estimerer en ladning på 732 kg.
Jf punkt 8.2 om at ladningen har vært mindre.

Forsvarsbygg (Ståle Skudal) har hjulpet meg med noen beregninger og plott i et par PI kurver, ett for mellomstore vinduer 1,2 m x 0,8 m og ett for halve størrelsen. Beregninger for 250, 500, 650, 750, 1000 og 1600 kg TNT er lagt inn.

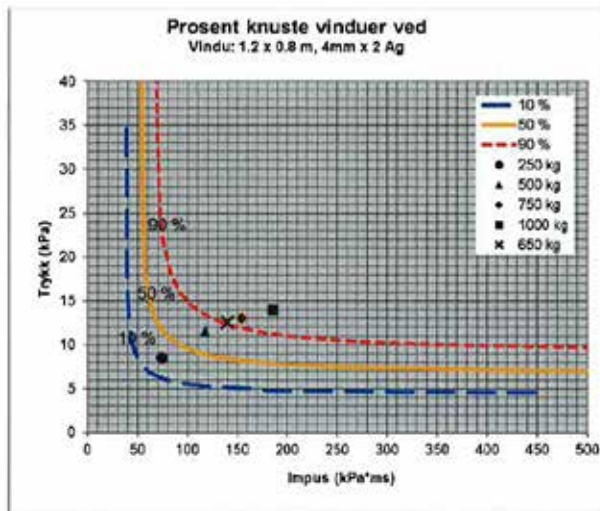
(650 kg ble tatt med da den viser deg å treffe 90 % knusningskurven for det største vinduet. 1.600 kg ble tatt med for å komme noe høyere for det mindre vinduet som tåler mer).



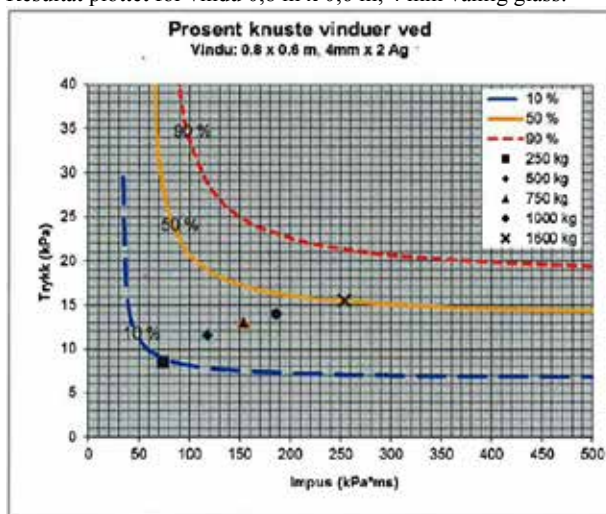
Resultat av beregninger gult hus 210 meter, vinkel 76°:

TNT (kg)	P _r (kPa)	I _r (kPa*ms)
250 kg	8,5	74
500 kg	11,5	118
650 kg	12,5	140
750 kg	13	154
1.000 kg	14	186
1.600 kg	15,5	254

Resultat plottet for vindu 1,2 m x 0,8 m, 4 mm vanlig glass:



Resultat plottet for vindu 0,8 m x 0,6 m, 4 mm vanlig glass:



Statistisk grunnlag for % andel knuste glass er dårlig, men det at tre av tre store vinduer knuste støtter at ladningen var på mer ca 700 kg TNT. Det ser imidlertid ut til at vinduene er noe større enn 1,2 x 0,8 m. Dette gir noe lavere motstandevne og lavere minimumsmengde for å knuse.

Ca 50 % knusing av de minste vinduene gir indikasjoner på at om de var på 0,8 x 0,6 meter så var mengden ca. 1.600 kg. Imidlertid ser også disse ut til å være noe større. Vurderes 50% knusing i 1,2 x 0,8 m PI-kurven, så indikerer det mellom 250 og 500 kg TNT.

Igjen, dette gir indikasjoner. Viten om målene på vinduene kunne styrket presisjonen i beregningene som synes å vise i retning av **mellom 400 og 1000 kg TNT**.

8.5.2 Vurdering av hvitt hus, eternitt:

Jf punkt 8.1.1 som estimerer en ladning på 495 kg. Eller 1.000 kg om trykket var på 7 kPa.

Beregning av 1.000 kg TNT og 304 meter gir et trykk på 3,5 kPa side. På denne vinkel er reflektert trykk det dobbelte; 7 kPa. Impuls side blir 103 kPa*ms. Reflektert impuls blir 185 kPa*ms.

I plott for vindu 1,2 x 0,8 m gir dette bare ca 50 % knusing. Fire av de fire største vinduene ble knust. Her kan det være at vinduet i huset var bredere enn 80 cm og kvaliteten er ukjent, mulig dårlig, som begge ville øke % knuste vinduer. Denne gir imidlertid en indikasjon på at ladningen kan ha vært på **opp mot 1.000 kg TNT**.

8.5.3 Vurdering av rødt langhus (lån):

Beregning av 1.000 kg TNT og 357 meter gir et trykk på 2,8 kPa side. På denne vinkel er reflektert trykk det dobbelte; **5,6 kPa**. Impuls side blir 88 kPa*ms. Reflektert blir denne **149 kPa*ms**.

I plott for vindu 1,2 x 0,8 m gir dette ca 10 % knusing. Igjen er det vanskelig å vurdere vinduenes mål, men de fremstår som gamle og potensielt svake. Denne gir en indikasjon på at ladningen må ha vært **mindre enn 1.000 kg TNT**.

8.5.4 Vurdering av rød hovedbygning

Beregning av 1.000 kg TNT og 190 meter gir et trykk på 6,5 kPa side. På denne vinkel er reflektert trykk det dobbelte; **13,3 kPa**. Impuls side blir 166 kPa*ms. Reflektert blir denne **302 kPa*ms** på 40°.

I plott for vindu 1,2 x 0,8 m gir godt over 90 % knusing. Igjen er det vanskelig å vurdere vinduenes mål, men med ingen knuste vindu støtter dette at ladningen må ha vært betydelig **mindre enn 1.000 kg TNT**.

Beregning av 500 kg TNT og 190 meter gir et trykk på 4,8 kPa side. På denne vinkel 40° er reflektert trykk det dobbelte like før kurven stiger; **9,8 kPa**. Impuls side blir 105 kPa*ms. Reflektert blir denne **189 kPa*ms**.

I plott for vindu 1,2 x 0,8 m gir da mellom 50 % og 90 % knusing. Igjen er det vanskelig å vurdere vinduenes mål. Det er kun vinduet i døra som ble knust, men de øvrige er skjøvet inn så det kan ikke utelates at ladningen var større enn 500 kg TNT. Det er også ukjent om vegetasjonen og typografien for dette huset har gitt noe skjerming.

8.6 Typografi og andre stedlige forhold.

Typografi og vær kan også legges inn. Hvordan får gassen utvidet seg. Ideelt i 180 graders halvkule eller er det andre forhold som påvirker utbredelsen. Er lendet på noen måte kanaliserende eller på annen måte slik at man kan få variasjoner i trykkutbredelsen?

Mot sørvest er det en del vegetasjon. Denne kan ha påvirket trykkbølgen i den retningen noe.

Beregninger på hus i denne retning kan med det gi en noe for lav TNT mengde.

9 Avsluttende kommentarer:

Spørsmål som gjenstår er hvordan trykkbølgen i dette tilfellet har vært, kanskje med en primærreaksjon/effekt og en sekundær. En deflagrasjon til detonasjon og kanskje med en avsluttende deflagrasjon i deler av massen. Dette kan være sentralt i vurderingene er hvilke TNT ekvivalenter man skal legge til grunn.

10 Alternativ tilnærming

Ladningsberegningen er ment som en hjelp til å kunne analysere hva som skjedde. Hvilke stoff (tank) gikk til detonasjon?

MEMUen bestod av to tanker med

- Fremre tank: ANPP (UN Nr 1942) – 4.600 kg
- Bakre tank: Matrise (UN Nr 3375) – 7.400 kg

Med en TNT ekvivalent på 0,2 ville dette tilsvare hhv 920 kg og 1.480 kg TNT.

Gitt at hele den ene eller hele den andre mengden detonerte så ville dett gitt et sidetrykk på 210 meter (gult hus) på hhv 5,5 kPa (AN) og 6,7 kPa (ANE).

Hele mengden samlet (2.400 kg TNT) ville gitt et trykk på 8,2 kPa.

TNT ekvivalenten til emulsjonen kan forvente å ligge høyere enn 0,2, kanskje helt opp mot 0,7 (Forenklet: ANFO har 0,8. Fratrukket ca 10 % vann i matrisen). Settes ekvivalenten til 0,7 skulle man forvente et sidetrykk på 210 meter på **11,4 kPa**. (Jf. pkt. 8.2; med ett reflektert trykk på over 32 kPa). Settes ekvivalenten til 0,6 skulle man forvente et trykk på 9,9 kPa. (Reflektert 27 kPa).

Raseringsnivået på gult hus vurderes å ikke være etter så høye trykk. **Gitt at det er enten det ene eller det andre tankinnholdet som gikk til detonasjon så gir dette en indikasjon på at det var ANPP beholdningen som gikk til detonasjon.**

I denne vurderingen er det ikke trukket fra stoff som kan ha dekomponert i brannen før detonasjon. Det er heller ikke vurdert om det kun er deler av matrisebeholdningen som detonerte.

Odd Arne Grøvo EKS/DSB

VEDLEGG 3: TEKNISK NOTAT – EKVIVALENT DETONERENDE LADNING ESTIMERT UT FRA MÅLTE VIBRASJONER

Teknisk notat



Til: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
v/: Gry Haugsnes
Kopi til:
Dato: 18. september 2014
Rev. nr./ Rev. dato: 1/6. november 2014
Dokumentnr.: 20140409-01-TN
Prosjekt: Eksplosjon Drevja
Utarbeidet av: Christian Madshus
Prosjektleder: Christian Madshus
Kontrollert av: Finn Løvholt

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 5687 Sluppen
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

DSB – Eksplosjon i ladetruck ved Drevja 17. desember 2013, kl. 15:26. Ekvivalent detonerende ladning estimert ut fra målte vibrasjoner

Innhold

1	Bakgrunn	2
2	Tolkning av vibrasjonsforløpet	3
3	Bølgetyper og ankomsttider	4
	3.1 Egenskaper ved Fase 1	4
	3.2 Egenskaper ved Fase 2	5
4	Ekvivalent eksploderende ladingsmengde estimert fra direkteoverførte vibrasjoner – Fase 1	8
5	Ekvivalent eksploderende ladingsmengde estimert fra vibrasjoner induisert av lufttrykkstøt – Fase 2	12
6	Ekvivalent eksploderende ladingsmengde estimert fra knuste vinduer	14
7	Konklusjon og diskusjon	15
8	Referanser	17

Kontroll- og referanseside



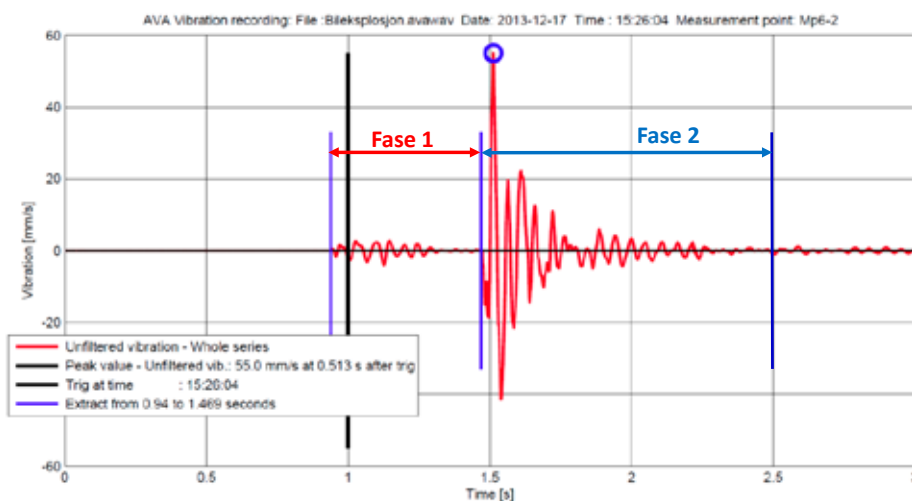
Dokumentnr.: 20140409-01-TN
 Dato: 2014-09-18
 Rev. nr.: 0
 Side: 2

1 Bakgrunn

I forbindelse med oppgradering av Fv. 78 Holand – Leirosen i Vefsn, med arm til Ømmervatn, parsell mellom Ømmervatn og Drevjamoen, er det etablert et brudd for uttak av sprengstein. I forbindelse med lading av salve nr. 50, 17. desember 2013, tok det fyr i ladetrucken for bulksprengestoff. Det lyktes ikke å slukke brannen og etter ca. 2 ½ time, kl. 17:26 inntrådte en kraftig eksplosjon.

På nærliggende gårdsbruk er det montert en måler for å overvåke vibrasjoner fra sprengningene i steinbruddet. Måleren er montert på grunnmur på grisekjøp, med målepunktbetegnelse MP6-2. Måleren registrerer vibrasjoner i vertikal retning. Instrumentet er av typen AVA, er installert og driftes av Multiconsult og lagrer vibrasjonsforløp hver gang en forhåndsinstallert triggeverdi blir overskredet. Instrumentet registrerte vibrasjonene fra eksplosjonen 17. desember.

Figur 1 viser vibrasjonsforløpet fra eksplosjonen, slik det er registrert av sensoren på grunnmuren i PM6-2.



Figur 1 Registrert vibrasjonsforløp fra eksplosjon ved Dervja 17. desember 2013

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) har gitt NGI i oppdrag å benytte vår kunnskap til å tolke vibrasjonsopptaket og gi et best mulig estimat på hvilken mengde sprengstoff, i TNT-ekvivalent som gikk av under eksplosjonen.

Vi har i oppdraget trukket på vår kompetanse om vibrasjoner i jord og berg, om utbredelse av trykkstøt i luft og om kobling mellom trykkstøt og vibrasjoner i bakke og bygninger. Dette er kompetanse vi i stor grad har bygget opp i samarbeid med Forsvarsbygg, Forsvarets forskningsinstitutt, SINTEF og flere utenlandske institusjoner.

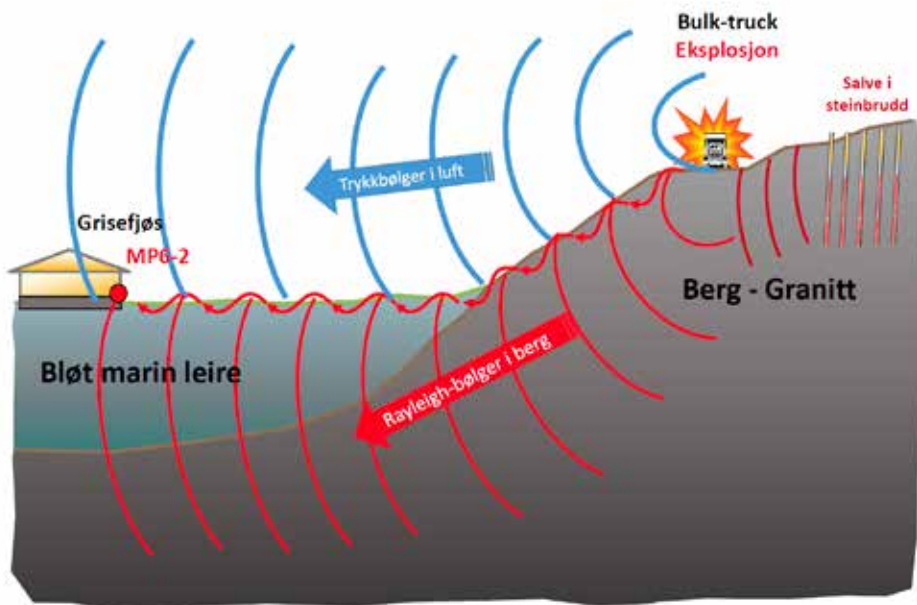


2 Tolkning av vibrasjonsforløpet

Vibrasjonsforløpet fra eksplosjonen i Figur 1, viser tydelig to separate faser, gitt som Fase 1 og Fase 2 i figuren.

Vår tolkning er at Fase 1 er vibrasjoner som er overført som mekaniske bølger fra eksplosjonen gjennom bakken, mens Fase 2 er bevegelser som er induert i bakken omkring grunnmuren og direkte i grunnmuren, i det lufttrykkbølgen fra eksplosjonen passerer. Dokumentasjon som underbygger denne tolkningen er gitt i det etterfølgende.

Figur 2 illustrerer situasjonen skjematisk: Der trucken eksploderte var det bart berg. Berget i området er oppgitt til å bestå av fast granitt med noe glimmerskifer. Der grisefjøset ligger er grunnen oppgitt til å bestå av bløt leire. Ut fra oppgitte koordinater er korteste avstand fra sprengstofftrucken til målepunktet på grisefjøset $D_{exp} = 226$ m.



Figur 2 Situasjon - Skjematisk

Vi vil i dette tekniske notatet benytte vibrasjonsregistreringene i Fase 1 og Fase 2 til to gi to uavhengige estimater på ekvivalent ladningsmengde som gikk av i eksplosjonen.



Dokumentnr.: 20140409-01-TN
 Dato: 2014-09-18
 Rev. nr.: 0
 Side: 4

3 Bølgetyper og ankomsttider

3.1 Egenskaper ved Fase 1

Uten å vite mer om bergets egenskaper enn det vi har fått oppgitt og kan finne på NGUs kart, vil vi ut fra erfaringer anta at det har en p-bølgehastighet, C_{p_berg} nær 5500 m/s. (Ref.: bla. Fortifikasjonshåndboken tabell 4.2) Med $C_{p_berg} = 5500$ m/s og dynamisk Poisson ratio, $\nu_{d_berg} = 0.20$, gir dette en skjærbølgehastighet i berget på ca. $C_{s_berg} = 3400$ m/s. Er dessuten berget ganske homogent mot dybden vil det med disse dataene ha en overflatebølgehastighet (Rayleighbølgehastighet) på ca. $C_{R_berg} = 3100$ m/s.

Ekspløsjonen i trucken må ha gitt en nært vertikal impulslast på bergoverflaten. Ved en slik belastning vil det meste av vibrasjonsenergien gå over til overflatebølger (Rayleighbølger). Siden slike bølger dempes mindre med økende avstand enn volumbølger (p- og s-bølger) fordi energispredningen er mindre, er det å forvente at rystelsene som kom frem til MP6-2 var fullstendig dominert av Rayleighbølger. Eventuell ikkelinearitet i berget nær eksplosjonen vil være minimal når det gjelder virkning på bølgehastigheten.

Frekvensanalyse av vibrasjonene i Fase 1 viser dominerende frekvens på ca. $f_1 = 21$ Hz. Det vil si at bølgelengden for Rayleighbølgene er ca.; $\lambda_R = V_R/f_1 = 150$ m. Slike Rayleighbølger penetrerer ca. 1 – 1.5 ganger bølgelengden ned i berget, dvs. ca. 150 til 200 m og er således styrt av bakkens egenskaper ned til denne dybden.

Vi vet ikke mer om grunnen under grisefjøset enn at den består av bløt leire. Fjøset ligger på høyde ca. 75 moh. Marin grense i området er mellom 100 og 150 moh. Det er derfor overveiende sannsynlig at leira er marin. Det har vi også fått bekreftet av en person med god kjennskap til stedet. Vår erfaring fra denne typen leirer i tilsvarende avsetninger, og fra målinger i nærliggende Finneidfjord, tilsier at leira har skjærbølgehastighet på ca.: $C_{s_leire} = 100$ m/s. (I Finneidfjord er det målt s-bølge hastighet i leira ned til 80m/s). Leira kan antas vannmettet. Da vil den ha en kompresjonsbølgehastighet nær $C_{p_leire} = 1500$ m/s, tilsvarende et dynamisk Poissons tall på $\nu_{d_leir} = 0.498$. Massetettheten for denne typen leire vil være ca.: $\rho_{leire} = 1800$ kg/m³. Overflatebølgehastigheten i leira vil da være ca. $C_{R_leire} = 96$ m/s. Tykkelsen på leirlaget der grisefjøset ligger har vi ikke informasjon om. Vi antar at den er moderat, typisk ikke mer enn 30 m.

Siden bølgelengden for Rayleighbølgene i berget er lang i forhold til tykkelsen på leirlaget og utbredelseshastigheten for disse bølgene i berget er langt høyere enn i leira, vil vibrasjonene i Fase 1 ankomme til MP6-2 med nær samme hastighet som de har i berget.

Vi kan anta at vibrasjonene som ankommer måleren i MP6-2 som Fase 1 er overflatebølger som går i bakken og har bredt seg ut fra eksplosjonen med en hastighet på ca. $C_{R_berg} = 3100$ m/s.



Av Figur 1 er første ankomst av bakkevibrasjonene vist med vertikal blå strek på $t_{vib_m\ddot{a}lt} = 0.935s$ i tidsskalaen i figuren. Tidsaksen i vibrasjonsregistreringen fra instrumentet i MP6-2, som er vist i Figur 1, er ikke relatert til eksplosjonsøyeblikket men til når instrumentet trigget på vibrasjonene. Triggetidspunktet er satt til 1.000 s. Ankomsttiden i figuren sier derfor ikke noe om hvor lang tid bølgen har brukt fra eksplosjonsstedet og målepunktet. Det eneste vi kan lese fra figuren er forskjellen mellom ankomsttiden for bølgen i bakken – Fase 1 og lufttrykkstøtet – Fase 2.

Rayleighbølgene vil i noen grad være dispersive (utbredeshastigheten avhenger av frekvensen) på grunn at bakkens / bergets stivhet nok øker noe med dybden. Bølgepakken vil derfor trekkes noe ut i tid etter som den brer seg utover. Det er derfor ikke mulig å plukke ut et helt eksakt ankomsttidspunkt for bølgene som kommer gjennom bakken.

Ankomsttid relatert til eksplosjonsøyeblikket kan nå estimeres fra antatt bølgehastighet og målt avstand:

Vi vet fra innmåling et avstanden fra der ladetrucken eksploderte til målepunktet på grisefjøsset er $D_{exp}=226$ m. Med en antatt bølgehastighet på $C_{R_berg} = 3100$ m/s tilsier dette at bølgen ankommer målepunktet, ca. $t_{vib_exp} = 226m / 3100m/s = 0.073$ s etter eksplosjonen.

3.2 Egenskaper ved Fase 2

Vi antar at starten på Fase 2 er bakkens og grunnmurens respons på ankomsten av fronten på lufttrykkstøtet fra eksplosjonen. Lufttemperaturen i tidsrommet for eksplosjonen er oppgitt til $+4^{\circ}C$. Dette tilsvarer en lydshastighet i luft på ca. $C_{lyd} = 334$ m/s. Imidlertid vil fronthastigheten ved MP6-2 være noe høyere på grunn av overtrykkets størrelse. Basert på gjentatte omganger med beregninger har vi kommet til at toppverdien av overtrykket fra eksplosjonen ved MP6-2 har vært i størrelsesorden $p_{6-2_5} = 5kPa$. Vi benytter her denne verdien i den videre analysen av ankomsttidene. Med dette trykket vil fronthastigheten til lufttrykkstøtet ved vibrasjonsmålepunktet (MP6-2) være omtrent $C_{front_5} = 1.02 \cdot C_{lyd} = 341$ m/s. I siste kapittel er det tatt med en diskusjon om usikkerhet i estimatene. Fronthastigheten på lufttrykkstøtet er følgelig vesentlig høyere enn overflatebølgehastigheten i leire. Basert på et stort antall målinger vi og andre har utført for forsvaret, og fra teoretiske modeller (Ref: bla. Madshus et al.), vil bakken (og grunnmuren) under slike forhold få en nær umiddelbar respons i det fronten på lufttrykkstøtet ankommer.

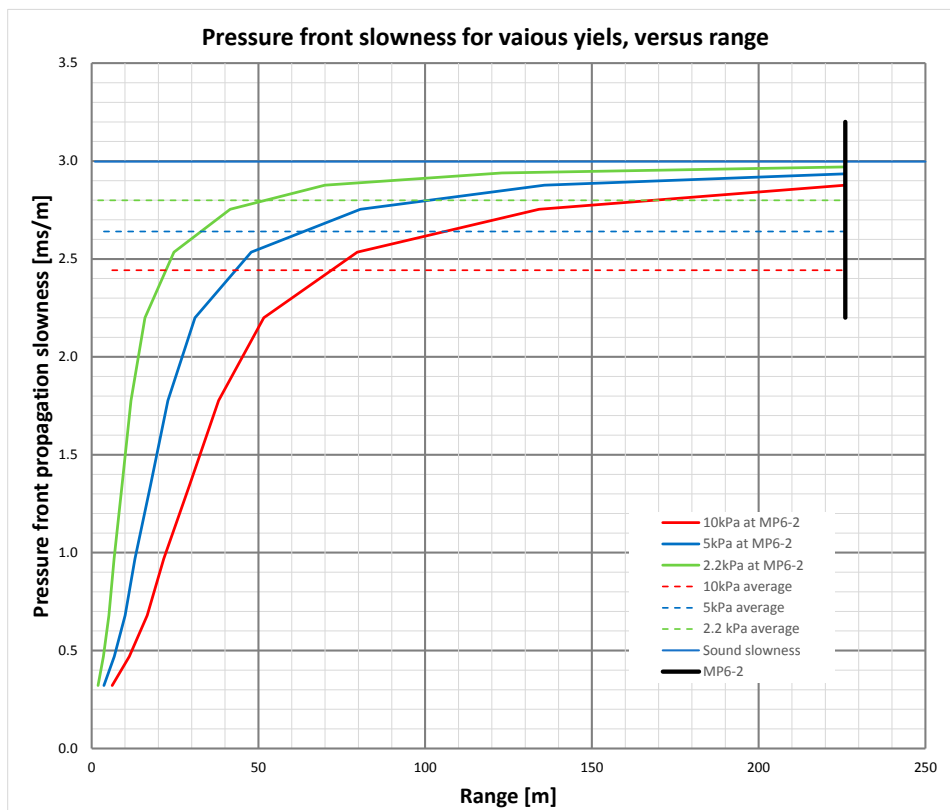
Starten på Fase 2 kan altså antas å være nær eksakt ankomsten av fronten på lufttrykkstøtet.

Denne ankomsten er angitt med den andre vertikale blå streken i Figur 1, ved $t_{trykk_m\ddot{a}lt} = 1.464$ s i figurens tidsakse.



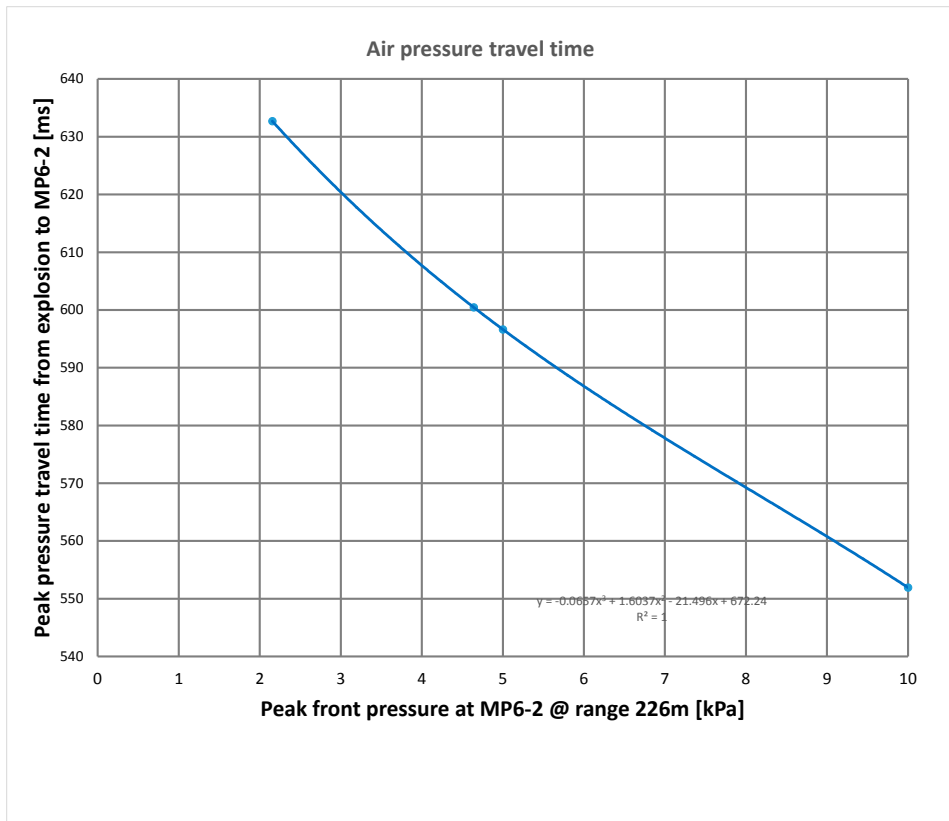
Dokumentnr.: 20140409-01-TN
 Dato: 2014-09-18
 Rev. nr.: 0
 Side: 6

Siden frontrykket har vært svært mye høyere nær eksplosjonen og har avtatt utover, vil også fronthatigheten ha vært mye høyere nær eksplosjonen og blitt lavere med økende avstand ut til vibrasjonsmålepunktet. Figur 3 plottet hvordan hastigheten, uttrykt som slowness [ms/m] varierer fra nær nullpunktet for eksplosjonen til vibrasjonsmålepunktet. Det er plottet trykkhastighetsprofiler for henholdsvis toppverdi-trykk 10kPa, 5kPa og 2.2kPa ved MP6-2. Kurvene er basert på Fig 11 i ANSI standarden og ligningene 3.1 – 3.4 i Fortifikasjonshåndboken. Plott av slowness [ms/m] i stedet for hastighet har den fordelen at gangtiden er lik arealet under kurvene så det er lettere å se hvordan den siste delen av utbredelsesveien bidrar mest til gangtiden.



Figur 3

Figur 4 plottet forventet gangtid fra eksplosjonsstedet til vibrasjonsmålepunktet som funksjon av trykk toppverdien ved målepunkt MP6-2. Antar vi igjen at dette trykket var omtrent 5kPa vil forventet gangtid etter beregningen ha vært $t_{trykk_exp} = 0.597s$. Dette tilsvarer en differanse mellom estimert ankomsttid for lufttrykkbølgen og bakkevibrasjonsbølgen på $t_{diff_exp} = (t_{trykk_exp} - t_{vib_exp}) = (0.597s - 0.073s) = 0.524s$.



Figur 4

Fra plotten i Figur 1 kan vi lese av følgende målte differanse i ankomsttid til: $t_{diff_m\ddot{a}lt} = (t_{trykk_m\ddot{a}lt} - t_{vib_m\ddot{a}lt}) = (1.464s - 0.935s) = 0.529s$. Dette stemmer svært godt med den beregnede forventede forskjellen i ankomsttider. Det gir på denne måten en strek indikasjon på at vår tolkning av det registrerte vibrasjonsforløpet, at den første fasen – Fase 1 er mekaniske bølger, overført direkte gjennom bakken som Rayleighbølger, og at den andre fasen – Fase 2 er en umiddelbar respons av leire og grunnmur på ankomsten av lufttrykkstøtet fra eksplosjonen.

Det faktum at beregningene gir så god overensstemmelse mellom beregnet og målt forskjell i ankomsttider er en indikasjon på at toppverdien av trykket ved vibrasjonsmåleren har vært omtrent 5kPa. Et vesentlig annet trykk ville gitt et betydelig større avvik.



Dokumentnr.: 20140409-01-TN
 Dato: 2014-09-18
 Rev. nr.: 0
 Side: 8

4 Ekvivalent eksploderende ladningsmengde estimert fra direkteoverførte vibrasjoner – Fase 1

Som vi har verifisert kan vi anta at den første fasen – Fase 1 av det registrerte vibrasjonsforløpet fra eksplosjonen er vibrasjoner som er overført direkte gjennom grunnen som overflatebølger.

Det finnes en del empiriske relasjoner for sammenheng mellom ladningsstørrelse, avstand, bergkvalitet / grunnforhold og resulterende vibrasjon for sprengninger i berg. Erfaring viser imidlertid at det er betydelige forskjell i vibrasjonsoverføringsegenskapene fra sted til sted, selv der bergforholdene tilsynelatende er like. Det er derfor ikke mulig å benytte slike generelle sammenhenger for å få et brukbart estimat på ekvivalent ladningsstørrelse i eksplosjonen ved Drevja.

Det har imidlertid fortsatt foregått sprengninger i steinbruddet ved Drevja også etter eksplosjonsulykken. Vibrasjonene fra disse sprengningene er blitt registrert med den samme vibrasjonsmåleren på grunnmuren til grisefjøset MP6-2. Vi har benyttet data fra disse sprengningene til å finne en stedsspesifikk utbredelsesmodell for vibrasjoner fra området der trucken eksploderte frem til målepunktet på grisefjøset - MP6-2.

Vi har fått tilgang til salvedata og vibrasjonsopptak fra i alt 10 salver. Salvens plassering og derved avstanden til målepunktet er dels tatt ut fra kart og befaring i terrenget. Tre av savlene er imidlertid innmålte med GPS. Fra de 10 salvene har vi plukket ut 8 som vi vurderer å inneholde de beste dataene. Dataene er tilpasset følgende modell for utbredelse av vibrasjoner fra sprengning.

$$V = K_0 \cdot \left(\frac{D}{Q^{1/3}} \right)^{-1.5}$$

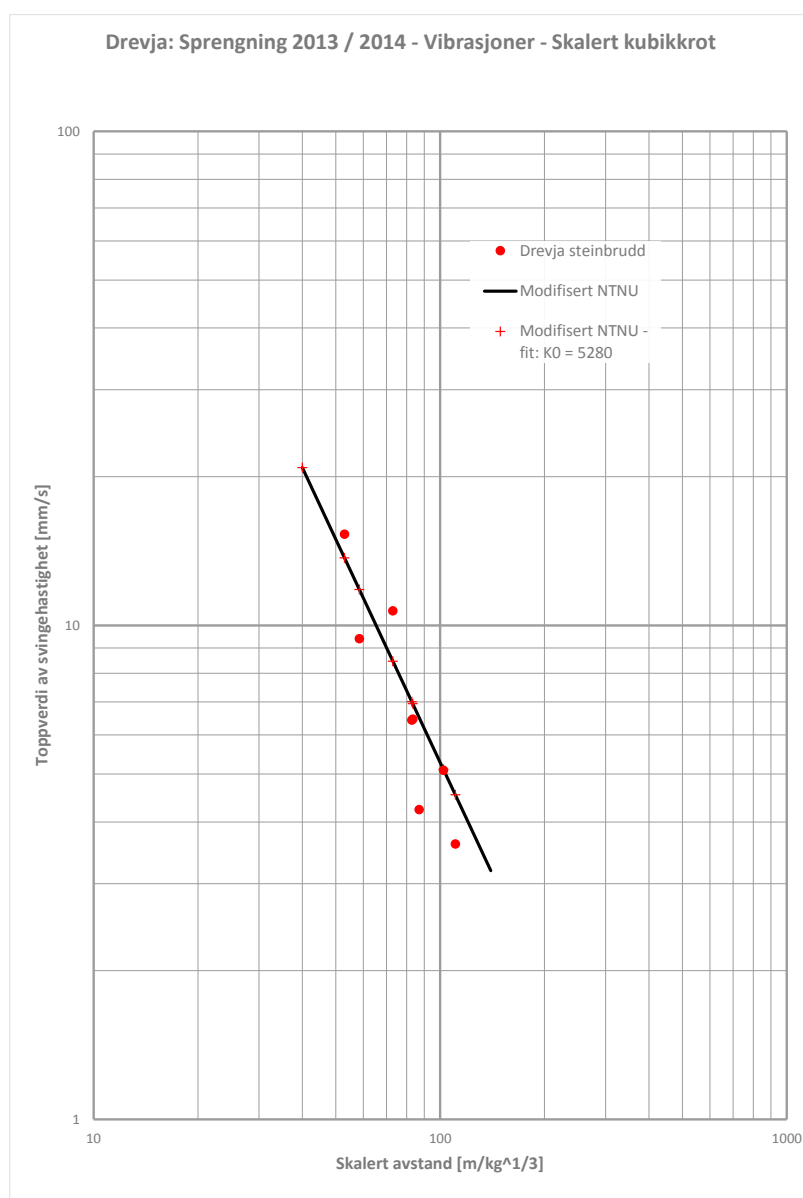
Størrelsen $d = \left(\frac{D}{Q^{1/3}} \right)$ betegnes som den skalerte avstanden.

Her er V toppverdien av målt vibrasjonshastighet fra salven [mm/s], D er avstanden [m] og Q er største ladning per tennerintervall i salven. K_0 er en bergfaktor som avhenger av bergkvalitet og andre stedsavhengige egenskaper. Denne modellen kommer opprinnelig fra NTNU, men er modifisert under forarbeidet til NS8141 – (Ref.: Gjengedal.) Vi velger her en kubikkrotskalering som passer best for disse dataene som ikke er frekvensveid, slik det nå er foreskrevet i nye NS8141. For frekvensveide vibrasjoner passer en kvadratrotskalering best.

I Figur 5 er vibrasjons-toppverdien fra de 8 salvende plottet mot skalert avstand, bestemt ut fra største delladning og avstand for de enkelte salvene. Den heltrukne grå linjen og de røde kryssene representere en miste kvadraters tilpasning av modellen



til datapunktene. Den beste tilpasningen gir en stedegen bergfaktor; $K_{0_Drevja} = 5280$. Dette er en ganske høy bergfaktor og indikerer at berget på Drevja er kompakt og gir en god overføring av vibrasjoner med lite tap.



Figur 5

Modellen er utviklet for ordinær bergsprengning, det vil si for ladninger som er innspent i borehull i berget som for steinbrudd- og tunnelsalver. Også fra slike salver



Dokumentnr.: 20140409-01-TN
 Dato: 2014-09-18
 Rev. nr.: 0
 Side: 10

vil imidlertid vibrasjonene stort sett bre seg ut til større avstander som overflatebølger. Kun i en indre sone omtrent ut til en avstand lik dybden fra overflaten ned til salven vil volumbølger dominere. Med en avstand mellom 140m til 300m fra steinbruddsalvene til vibrasjonsmålepunktet MP6-2 vil derfor vibrasjonene fra steinbruddsalvene bre seg ut som overflatebølger over det alt vesentlige av avstanden, på samme måte som vibrasjonene fra eksplosjonen.

Imidlertid skjedde eksplosjonen av sprengstoffet på ladetrucken som en kontakteksplosjon mot bergoverflaten eller også muligens noe frakoblet i en liten avstand over bergoverflaten, dersom deler av trucken fortsatt var intakt da eksplosjonen inntraff. Denne ladningen hadde derfor en helt annen vibrasjonsmessig kobling til berget enn steinbruddsalvene.

For å kunne sammenholde data fra steinbruddsalvene med vibrasjonene fra eksplosjonen benytter vi oss av en grunnsjokk-koblingsfaktor beskrevet av ARA. Den gjelder for diverse grunnsjokkparametere, blant annet toppverdi av svingehastighet V .

$$f_k = \frac{V_{nær_overflaten}}{V_{innspent}}$$

I vårt tilfelle vil vi måtte sette inn for $V_{innspent}$ i beregningsmodellen, mens vi har målt $V_{nær_overflaten}$ fra eksplosjonen:

$$V_{innspent} = \frac{V_{nær_overflaten}}{f_k} = V_{målt_Fase1}$$

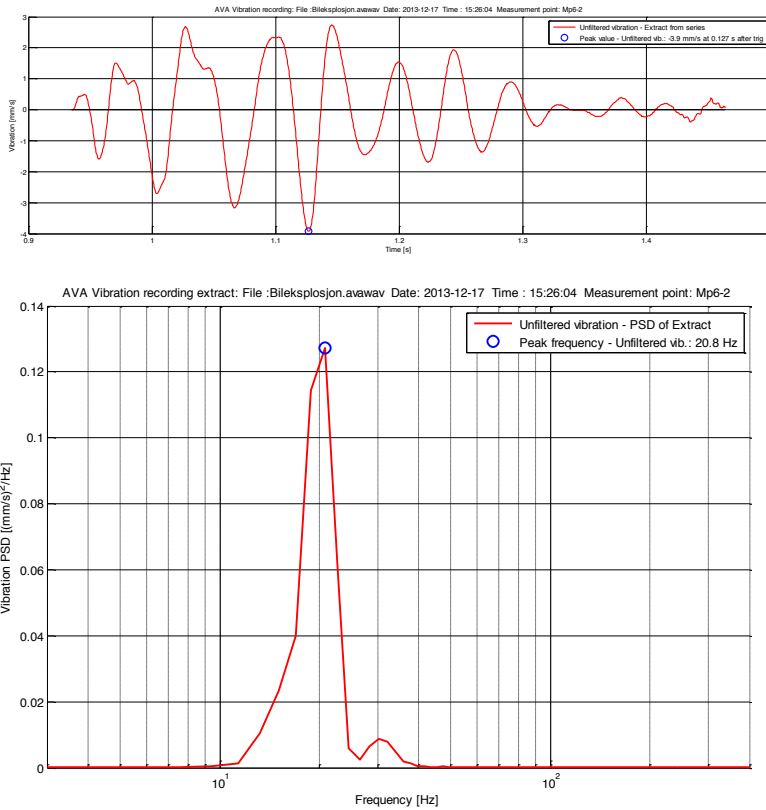
Innsatt i utbredelsesmodellen og løst for ladningen får vi følgende uttrykk for den estimerte ekvivalente ladningsstørrelsen:

$$Q_{est_Fase1} = \left(\frac{V_{målt_Fase1}}{f_k \cdot K_{0_Drevja}} \right)^2 \cdot D_{exp}^3$$

Figur 6 viser et utsnitt av det registrert vibrasjonsforløpet med Fase 1 isolert. Figuren viser at den største toppverdien av vibrasjonen er: $V_{målt_Fase1} = 3.9 \text{ mm/s}$.



Dokumentnr.: 20140409-01-TN
 Dato: 2014-09-18
 Rev. nr.: 0
 Side: 11



Figur 6

I følge ARA er koblingsfaktoren for grunnsjokk, $f_k = 0.14$ for en kontaktdetonasjon mot bakkeoverflaten. Dersom detonasjonen har skjedd noe over fjelloverflaten vil koblingsfaktoren bli lavere, typisk $f_k = 0.10$.

Innsatt for den målte toppverdien av vibrasjon, den stedsspesifikke bergfaktoren, koblingsfaktoren og avstanden fra eksplosjonsstedet til målepunktet $D_{exp}=226$ m, gir denne analysen av de direkteoverførte vibrasjonene følgende verdier for den estimerte ekvivalente ladingen.

Detonasjon	i kontakt med bergoverflaten	noe over bergoverflaten
Koblingsfaktor - f_k	0.14	0.10
Estimert ekvivalent ladingsmengde	320 kg	630 kg

Vi anser den høyeste verdien som det beste estimatet.



Dokumentnr.: 20140409-01-TN
 Dato: 2014-09-18
 Rev. nr.: 0
 Side: 12

5 Ekvivalent eksploderende ladningsmengde estimert fra vibrasjoner induisert av lufttrykkstøt – Fase 2

Vi har vist at utbredeshastigheten til lufttrykkstøtet er vesentlig større enn overflatebølgehastigheten i leira ved grise fjøset. I en slik situasjon vil lufttrykket virke som en super-seismisk last på bakkeoverflaten. Bakken vil da reagere med en nær umiddelbar respons på trykket.

Ut fra et stort antall målinger NGI og andre har utført for Forsvaret har vi funnet ut at det er en ganske entydig sammenheng mellom toppverdi av lufttrykkstøtet, toppverdi av den resulterende bakkevibrasjonen og av bakkens spesifikke overflatebølgeimpedans. Dette forutsetter at trykket ikke er høyere enn at lineær akustikk tilnærmet gjelder. For trykk i størrelsesorden 5kPa er denne betingelsen i tilstrekkelig grad oppfylt.

Den spesifikke impedansen for overflatebølger for leirmaterialet i grunnen omkring grise fjøset kan antas å være:

$$Z_{g_leire} = \rho_{leire} \cdot C_{R_leire} = ca. 180 \text{ Pa} / \text{mm} / \text{s}$$

Forsøksresultatene viser at forholdet mellom toppverdien av lufttrykket og toppverdien av den resulterende bakkevibrasjonen kan uttrykkes:

$$\frac{P_{\text{exp}}}{V_{\text{målt_Fase2}}} = Z_{ag_leire} = f_{ag} \cdot Z_{g_leire}$$

Her er f_{ag} en koblingsfaktor som er omkring 0.5.

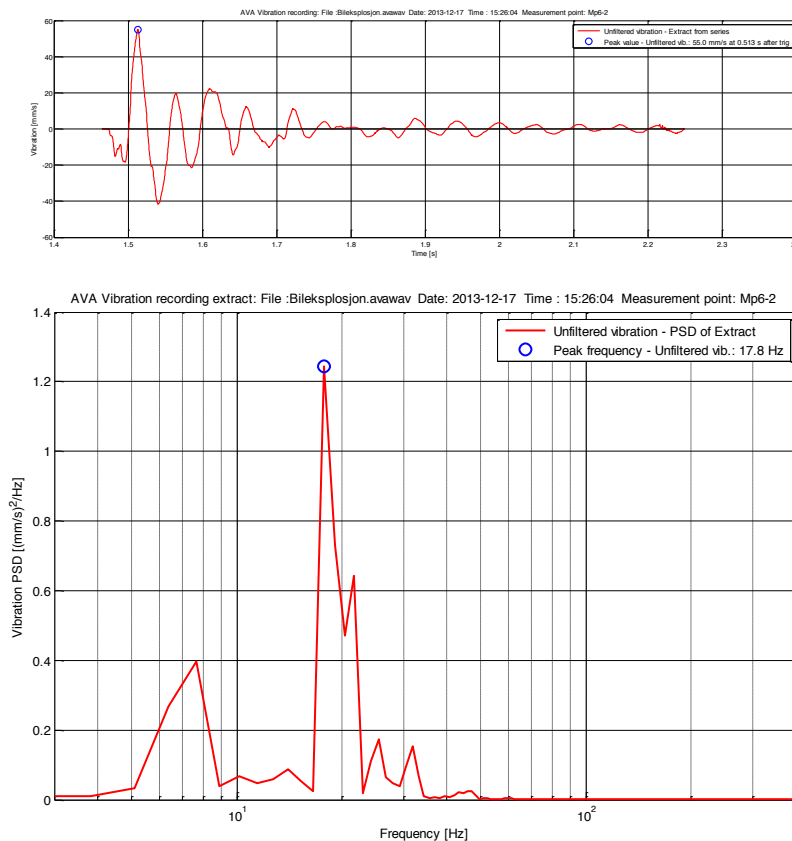
Løst for det ukjente lufttrykket fra sprengingen gir dette:

$$P_{\text{exp}} = f_{ag} \cdot Z_{g_leire} \cdot V_{\text{målt_Fase2}}$$

Figur 6 viser et utsnitt av hele vibrasjonsforløpet fra eksplosjonen, med fokus på Fase 2. Som det fremgår er toppverdien av denne delen av vibrasjonsforløpet $V_{\text{målt_Fase2}} = 55 \text{ mm/s}$.

Innsatt målt vibrasjon $V_{\text{målt_Fase2}}$ i ligningen med $f_{ag} = 0.5$, blir forventet toppverdi av lufttrykkstøtet fra eksplosjonen med vibrasjonsmålepunktet MP6-2:

$$P_{\text{exp}} = 0.5 \cdot 180 \text{ Pa} / \text{mm} / \text{s} \cdot 55 \text{ mm} / \text{s} = 4.9 \text{ kPa} \approx 5 \text{ kPa}$$



Figur 7

Figur 11 i ANSI gir sammenhengen mellom skalert avstand og trykk antatt en fri overflateeksplosjon. Trykk på ca. 5kPa tilsvarer en skalert avstand på, $d_{trykk_Fase2} = 24.6 \text{ m/kg}^{1/3}$. Da får vi:

$$Q_{\text{exp_Fase2}} = \left(\frac{D_{\text{exp}}}{d_{\text{trykk_Fase2}}} \right)^3$$

Innsatt gir dette følgende estimerte ekvivalente ladning som gikk av i eksplosjonen:

Koblingsfaktor – f_{ag}	0.5	0.75
Estimert ekvivalent ladningsmengde	775 kg	1700kg

Vi anser den laveste verdien som det beste estimatet.



Dokumentnr.: 20140409-01-TN
 Dato: 2014-09-18
 Rev. nr.: 0
 Side: 14

Analyse av den delen av det registrerte vibrasjonsforløpet som er induisert av lufttrykkstøtet fra eksplosjonen gir altså et noe høyere estimat på ekvivalent ladning enn det analyse av de direkteoverførte vibrasjonene gir, men begge metodene gir estimert ladning i samme størrelsesorden.

Fra Figur 6 kan man se at frekvensen på de lufttrykkinduserte vibrasjonene, og derved også frekvensen på lufttrykkstøtet, siden bakken oppfører seg super-seismisk, er ca. $f_{\text{trykk_Fase2}} = 18\text{Hz}$.

Det vil si at typisk bølgelengde på lufttrykkstøtet er

$$\lambda_{\text{trykk_Fase2}} = \frac{C_{\text{front_Fase2}}}{f_{\text{trykk_Fase2}}}$$

Innsatt frekvensen og $C_{\text{front}_5} = 341\text{m/s}$ blir bølgelengden ca. 19m. Dette er lengre enn to ganger bredden på fjøsbygningen. Det vil si at stivheten av bunnplaten / grunnmuren til grisefjøset i liten grad påvirker koblingen mellom lufttrykket og vibrasjonen. Grunnmuren og bakken vil få de samme vibrasjonsbevegelsene. Trykkstøtet gir også noe virkning på veggene i bygningen, men bygningen tilfører også ekstra masse som trekker i motsatt retning. Dette vil kunne modelleres mer detaljert, men det er en stor oppgave som neppe forbedrer estimatet av ladingstørrelsen vesentlig. Vi mener at betraktningen ovenfor, med koblingsfaktor $f_{ag} = 0.5$ gir et rimelig godt estimat.

6 Ekvivalent eksploderende ladingsmenge estimert fra knuste vinduer

På de fotografiene vi har fått tilsendt ser det ut til at samtlige vinduer i grisefjøset er blitt knust under eksplosjonen. Dette gjelder i alle fall de vinduene som vender mot eksplosjonsstedet og de som ellers vises på fotografiene.

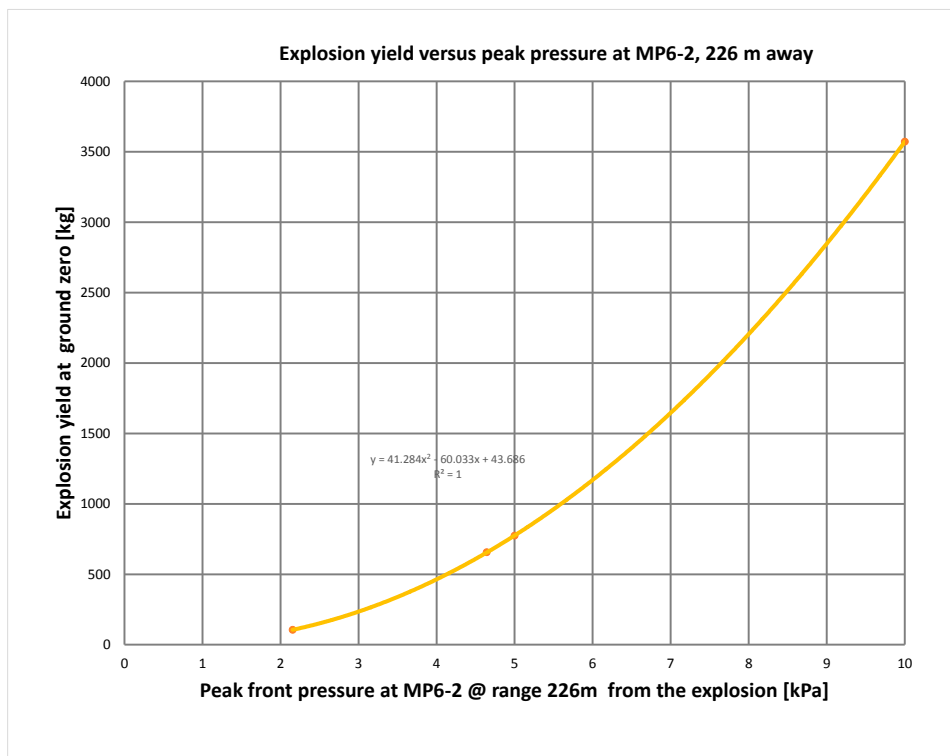
Vi har ikke direkte fått i oppdrag å analysere virkningen av lufttrykkstøtet på vinduene. Vi gjør likevel en enkel vurdering ut fra det vi ser av bildene.

ANSI omhandler i kapittel 6.3.2 knusing av vindusglass som følge av lufttrykkstøt. Figur 25 i standarden viser data og modell som gir sammenhengen mellom sannsynlighet for at vindusglass knuses og toppverdi av innkommende lufttrykkstøt. Figuren viser at for en sannsynlighet for knusing nær 1.0, dvs. at nær alle ruter som utsettes for trykket blir knust, så må trykket være et sted mellom 5kPa og 10kPa.

Vi har tidligere vist at ca. 5kPa trykkstøt ved grisefjøset tilsvarer at en ekvivalent ladning på ca. 775 kg eksploderer på 226m avstand. Sammenhengen mellom trykkstøt på denne avstanden og ladning som eksploderer er svært ikke-lineær og at en økning



i trykket gir en sterk økning i tilsvarende ladning på eksplosjonsstedet. Figur 8 viser denne sammenhengen, basert på figur 11 i ANSI og tilsvarende andre modeller / data.



Figur 8

Av figuren ser vi blant annet at det må til en ladning på ca. 3570 kg for å oppnå et trykkstøt på 10kPa, 226m unna.

En enkel analyse av knuste vindusglass kan på denne måten indikere at ekvivalent ladning som eksploderte var i størrelsesorden 800 kg, men kan også ha vært større.

7 Konklusjon og diskusjon

Vi har i teksten ovenfor presentert analyse av vibrasjonsforløp fra eksplosjonsulykken ved Drevja 17. desember 2013 slik det ble registrert i målepunkt MP6-2 på grunnmur på grisfjøs 226 m fra eksplosjonsstedet.

Den delen av vibrasjonsforløpet som skyldes vibrasjoner overført direkte gjennom bakken og den delen som skyldes vibrasjoner som er indusert av lufttrykkstøtet fra eksplosjonen, er analysert hver for seg. Vi har supplert disse to analysene med en



Dokumentnr.: 20140409-01-TN
 Dato: 2014-09-18
 Rev. nr.: 0
 Side: 16

enklere analyse av ankomsttidene for de to delene av vibrasjonsforløpet og av det vi kan se av knuste vindusruter på de fotografiene vi har fått tilsendt.

Ut fra en helhetsvurdering av disse analysene vil vi konkludere med at vårt beste estimat på den ekvivalente sprengstoffmengden som gikk av i eksplosjonen var ca. 750 kg.

Metoden vi har benyttet for analyse av de direkteoverførte vibrasjonene har sin styrke i at den er basert på en stedsspesifikk utbredelsesmodell for vibrasjoner i bakken som vi har etablert på grunnlag av vibrasjonsdata og salvedata fra sprengninger i steinbruddet, omkring eksplosjonsstedet. Svakteten ved metoden er at den avhenger av en koblingsfaktor for å kunne ekvivalere vibrasjoner fra innspente ladninger med en kontaktesplosion. Variasjon i graden av kontakt og derved størrelsen på koblingsfaktoren kan gi en variasjon i estimert ladning på omkring en faktor to. Denne metoden gir estimert ladning i den nedre sjiktet.

Metoden som baserer seg på trykkstøtindusert vibrasjon går via ført å estimere toppverdien av trykkstøtet ved grisfjøset, for så å regne tilbake til hvilken ladning som vil gi et slikt trykkstøt på den aktuelle avstanden. Koblingen mellom trykkstøt og vibrasjon er ganske komplisert og er basert på forenklinger og empiriske data. Også her inngår en koblingsfaktor som nok kan endre det estimerte trykket i alle fall med en faktor på 1.5. Betrakningen av de knuste vinduene gir også et estimat på toppverdien av trykkstøtet ved grisfjøset. Det som gir størst variabilitet i ladningsestimater med disse metodene er tilbakeregningen fra trykkstøt ved grisehuset til ladning på eksplosjonsstedet. Denne sammenhengen er ikke-lineær på en slik måte at små variasjoner i estimert trykk gir en mye større variasjon i estimert ladning på den høye siden.

Estimatet av ladningsstørrelsen ut fra ankomsttidene for de to fasene av vibrasjonsforløpet går også via estimat av trykkstøtet ved grisefjøset. Det virker som denne metoden gir et ganske skarp indikasjon av trykket og derved av ladningsstørrelsen.

Estimatene fra de enkelte metodene er summert opp i tabellen nedenfor:

Parameter	Estimat	Metode			
		Direkte vibrasjon	Trykkindusert vibrasjon	Ankomsttider	Knuste vinduer
Trykkstøt	Beste estimat	-	4.9 kPa	5.0 kPa	5 kPa
	Yttergrense	-	7.4 kPa	-	10 kPa
Ladningsstørrelse	Beste estimat	630 kg	775 kg	775 kg	775 kg
	Yttergrense	321 kg	1700 kg	-	3570 kg



Dokumentnr.: 20140409-01-TN
Dato: 2014-09-18
Rev. nr.: 0
Side: 17

8 Referanser

- [1] American National Standard ANSI S2.20-(1983 / 1989)
Estimating air blast characteristics for single point explosions in air, with a guide to evaluation of atmospheric propagation and effects.
- [2] Applied Research Associates, Inc. (ARA) (1991)
Ground shock, cratering and ejecta. Prepared by ARA for Norwegian Defence Construction Service.
- [3] Madshus, C., Løvholt, F., Kaynia, A.M., Hole, L., Attenborough, K. and Taherzaden, S. (2005)
Air-ground Interaction in Long Range Propagation of Low Frequency Sound and Vibration – Field Tests and Model Verification - Applied Acoustics, Volume 66, Issue 5, May 2005, pp 553-578.
- [4] NTNU (1998)
Fjellsprengningsteknikk. Sprengning med restriksjoner.
Trondheim, NTNU
- [5] Standard Norge (2013)
Norsk Standard: NS8141-1:2013. Vibrasjoner og støt. Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk. Del 1: Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt fra sprengning på byggverk, inkludert tunneler og bergrom. Og Vibrasjoner fra sprengning og annen anleggsvirksomhet – Veiledning til NS8141
- [6] Sondre Gjengedal (2012 / 2013)
Frekvensveide toppverdiers innvirkning på forutsigbarheten av sprengningsinduserte vibrasjoner
Prosjektoppgave NTNU,
Ladningsberegning basert på frekvensveide vibrasjonskrav. Masteroppgave NTNU,
Institutt for geologi og bergteknikk, Trondheim
- [7] Forsvarsbygg, Forsvarets forskningsinstitutt og Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap 2003: Håndbok i våpenvirkninger.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information						
Dokumenttittel/Document title DSB – Eksplosjon i ladetruck ved Drevja 17. desember 2013, kl. 15:26. Ekvivalent detonerende ladning estimert ut fra målte vibrasjoner				Dokumentnr./Document No. 20140409-01-TN		
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical Note		Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited		Dato/Date 18. september 2014		
				Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 0		
Oppdragsgiver/Client Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap						
Emneord/Keywords Sprenning, eksplosjon, vibrasjoner, lufttrykkstøt						
Stedfesting/Geographical information						
Land, fylke/Country, County Nordland				Havområde/Offshore area		
Kommune/Municipality				Felt navn/Field name		
Sted/Location Drevja				Sted/Location		
Kartblad/Map				Felt, blokknr./Field, Block No.		
UTM-koordinater/UTM-coordinates						
Dokumentkontroll/Document control						
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001						
Rev./Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen-kontroll/ Self review av/by:	Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:	
0	Originaldokument	CM	FLo			
1	Revisjon 1	CM	FLo			
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 18. september 2014		Sign. Prosjektleder/Project Manager Christian Madshus		

VEDLEGG

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002.

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Lørenvå Station
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsvegen 72, NO-0866 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 5687 Skippen
NO-7485 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Fagstølsengen 9, 7034 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5095 05 01281, IBAN NO26 5095 0501 281
Org.no/Company No.: 958 234 218 MVA

ISO EN ISO 9001
Sertifisert av/ Certified by BSI, Reg. No. FB 32986

VEDLEGG 4: NOTAT FRA FFI – SPREGNINGSULYKKE I DREVJA 17. DES 2013



FFI Forsvarets
forskningsinstitutt

Dato:
11. september 2014

Vår referanse:
14/01697-2/FFI

Deres referanse:

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
v/ Gry Haugsnes
Rambergveien 9
3115 Tønsberg

Sprengningsulykken i Drevja 17. des 2013

Dette notatet inneholder FFI sine vurderinger av hendelsesforløpet i forbindelse med at en bil lastet med utgangsstoffer til ammoniumnitratbasert sprengstoff eksploderte i Drevja 17. desember 2013 som følge av en brann som oppstod i bilens motorrom.

To personer fra FFI deltok i en befarings av ulykkesstedet 3. og 4. juni 2014, sammen med representanter fra DSB, Statens Vegvesen, Sivilforsvaret og det spanske firmaet Maxam, som eide bilen. Under denne befarings ble det funnet et stort antall vrakrester som var spredt rundt i et område på flere hundre meter omkring eksplosjonsstedet.

Av de forhold som FFI i ettertid har sett ganske nøye på er følgende:

- Fordelingen av vrakrester i forhold til bilens plassering ved eksplosjonen
- Simulering av motorblokkens utkast ut fra dens funnsted
- Analyse av video-opptak av selve eksplosjonen
- Analyse av utkast av små aluminiumsfragmenter fra tankene.

Av de forhold som er av betydning for FFI sin vurdering er følgende:

- Bilen inneholdt to tanker for sprengstoffproduksjon; en fremre tank som inneholdt prillet ammoniumnitrat; og en bakre tank som inneholdt en oljekontinuerlig emulsjon bestående av en vandig løsning av ammoniumnitrat, diesel og emulgator. Ved fylling av

Vedlegg: 0

Saksbehandler:
Ove Dullum

Postboks 25, 2027 Kjeller
Besøksadresse:
Instituttveien 20, 2007 Kjeller

Sentralbord: 63 80 70 00
Dir: 63 80 76 59
Faks: 63 80 71 15

Mil retn nr: 0505
Org.nr: NO 970 963 340 MVA
e-post: ffi@ffi.no

www.ffi.no

borehull, blandes innhold fra begge disse tankene med bl a natriumnitritt og eddiksyre. Blandingsprosessen forgår i et eget blandeverk bakerst på bilen.

- I eksplosjonsøyeblikket stod bilen plassert på noenlunde bart fjell som heller ned mot svinefarmen. Dette stedet er nå sprengt bort på grunn av veiarbeidet i området.

Egenskaper til ammoniumnitrat

Ammoniumnitrat (AN) er mye omtalt i litteraturen, men det er stor uklarhet omkring de fysiske egenskapene, og ikke minst de detonasjonsmessige egenskapene til dette stoffet. Spesielt gjelder dette TNT-ekvivalenten, som både er vanskelig å definere og vanskelig å måle, fordi den avhenger av en lang rekke parametre. En rapport om hendelsen¹ som et spansk universitet har gjort på oppdrag fra Maxam, inneholder en fyldig litteraturstudie av detonasjonsegenskapene. Rapporten viser at TNT-ekvivalenten for AN er angitt med verdier fra 0,05 til 0,82. Dette stemmer også med våre egne studier. Imidlertid anser rapporten en verdi mellom 0,39 og 0,50 som den mest sannsynlige verdien. En annen rapport av Kersten et al.² konkluderer imidlertid med at en TNT-ekvivalent på 0,1 – 0,2 er det mest sannsynlige.

Den egenskapen som er mest interessant i denne studien er den såkalte Gurney-hastigheten som karakteriserer utgangshastigheten for metallfragmenter som eventuelt omslutter det aktuelle sprengstoffet. Dette er en størrelse som avhenger av sprengstoffets detonasjonshastighet, energiinnhold, tetthet m m. Noe forenklet kan man si at Gurney-hastigheten angir en hastighet som i praksis er maksimal utgangshastighet for fragmenter. En utgangshastighet som er større enn Gurney-hastigheten kan ikke utelukkes, men det må da være svært god kontakt mellom metall og sprengstoff, samt at metallet ikke må være for tykt, for at dette skal skje. For militær ammunisjon vil man sjelden se fragmenter med utgangshastigheter over 80% av Gurney-hastigheten.

I boka til Klapötke³ anbefaler man å bruke en verdi for Gurney-hastigheten som er 32,5% av detonasjonshastigheten. For TNT ligger Gurney-hastigheten på ca 2400 m/s. For AN er detonasjonshastigheten i de fleste kilder oppgitt til ca 2800 m/s, hvilket skulle tilsi en Gurney-hastighet på ca 900 m/s. I det omfattende arbeidet til Hurley⁴ antyder man Gurney-hastigheter for AN på 500 – 1300 m/s. Når AN smelter går imidlertid detonasjonshastigheten ned⁶. Det samme vil skje med Gurney-hastigheten.

I vårt tilfelle kan man, på grunnlag av det som er beskrevet ovenfor, kunne utelukke utgangshastigheter på over 1100 m/s.

Av øvrige egenskaper for ammoniumnitrat oppgis et smeltepunkt på 170 °C, samt at det dekomponerer ved ca 210 °C. Produktene av dekomponering er i første rekke dinitrogenoksid og vanddamp. Ved høyere temperaturer blir også andre gasser dannet.

Til tross for at sprengstoffets termiske ledningsevne er svært lav, og dets varmekapasitet er ganske høy, er det høyst sannsynlig at sprengstoffet var smeltet ved detonasjon. Det kan ikke utelukkes at detonasjonsegenskapene kan ha blitt endret i stor grad. Rapporten til King viser at smeltet ammoniumnitrat som ligger over dekomponeringstemperaturen får øket sin sensitivitet. Eksempelvis trenger AN en ladning på ca 0,5 kg TNT for

¹ Sanchidrián J A, A Santos, L M Lopez, P Segarra, R Castedo; Explosion of a Mobile Explosive Manufacturing Unit in Drevja, Norway, December 2013. Determination of the Explosion Yield, Universidad Politécnica de Madrid, March 2014

² Kersten R J A, E I V van der Hengel, A C van der Steen; Detonation Characteristics of Ammonium Nitrate Products. Paper no. 6, IFA Technical Symposium, Vilnius, 2006

³ Klapötke, Thomas M; Chemistry of High-Energy Materials; Walter de Gruyter GmbH, 2011

⁴ Hurley, Christoph; Development of ammonium nitrate based explosives to optimize explosive properties end explosive welding parameters used during explosion cladding; Colorado School of Mines, 2013

å detonere, men ved 250 °C kan den detoneres med en ordinær fenghette⁵. Teoretisk sett vil imidlertid en oppvarming til smeltepunktet tilsvare 10 – 30% økning i energiinnholdet i sprengstoffet.

Trykkbølgen i luft fra en detonasjon blir i noen grad redusert ved at sprengstoffet er innesluttet i metall eller annet materiale. Den kritiske faktoren er her forholdet mellom massen av metallet og sprengstoffmassen uttrykt i TNT-ekvivalenter. I det aktuelle tilfellet var dette forholdet i størrelsesorden 0,2, hvilket tilsier en trykkreduksjon på ca 15%.

Analyse av filmopptak

Filmopptaket ble gjort av en anleggsarbeider som holdt til i en brakkerigg som var plassert inne på Drevjamoen leir, bak velferdsbygget i leiren. (UTM E422800, N7320580). Dette er ca 3020 m fra nullpunktet. Denne riggen er nå fjernet. Filmopptaket var gjort med en moderne iPhone 5 smarttelefon. Dette opptaket har vært tilgjengelig i uredigert stand. Ut fra kjennskapet til oppløsningen og bildevinkelen i dette opptaket kan man si en del om omfanget av utkast m m.

En slik telefon har en synsvinkel på ca 31 x 55 grader og tar 24 bilder per sekund med en oppløsning på 320 x 568 piksler. Det skal visstnok være mulig, i noen grad, å zoome et video-opptak på en slik telefon, men ifølge brukeren var en slik funksjon ikke brukt. Dette kan også verifiseres ut fra en vurdering av størrelsen på huset til høre i opptaket, hvis bortre ende må ha befunnet seg 30 – 35 m unna.

Fotografen må berømmes for en svært stødig kameraføring, inntil han blir skremt av trykkbølgen.

Lysglimtet fra detonasjonen finner sted 2,6 sekunder ute i opptaket.

Etter at det verste lysblaffet har lagt seg etter ca 1,6 sekunder, er det mulig å observere enkelte glødende gjenstander som slynges ut av eksplosjonen. De som er synlige, og når høyest, er bergene til å ha et toppunkt som ligger 430 m over detonasjonspunktet. Toppunktet nås etter ca 5 sekunder, men det er vanskelig å fastslå dette nøyaktig. Et legeme som kastes rett opp uten luftmotstand vil nå denne topphøyden etter 9,9 sekunder når utgangshastigheten er 92 m/s. Fragmenter som når denne topphøyden etter ca 5 sekunder må derfor ha blitt kastet ut med høyere hastighet og samtidig blitt kraftig bremsset av luftmotstanden. Etter at toppunktet er nådd, daler fragmentene ned med tilsynelatende lav hastighet, men i opptaket blir denne fasen avbrutt av trykkbølgens ankomst.

I analysen har vi lagt til grunn at splintene har en luftmotstandskoeffisient lik den som gjelder for naturlig dannede splinter fra granater. Splinter som dannes av aluminiumstanken har imidlertid en fasong, i form av flak, som kan tyde på en noe høyere luftmotstand.

En analyse av dette viser at et aluminiumsfragment ikke ville kun nå opp i denne høyden med mindre det veier minst 1,5 kg, hvilket tilsvarer en størrelse på ca 40 x 40 cm når man antar at tykkelsen på flaket er ca 3 mm. Med denne vekten måtte utgangshastigheten ha vært ca 1270 m/s. Dette virker urealistisk, gitt den lave Gurney-hastigheten. Luftmotstanden til aluminiumsdelenene kan også, som nevnt ovenfor, være noe undervurdert, hvilket forsterker konklusjonen om at de fragmentene vi ser ikke kan være aluminium.

⁵ King Allan W; Threshold Shock Initiation Parameters of Liquid Phase Ammonium Nitrate. International Society of Explosive Engineers, 2008



Figur 1 Utvalgte bilder fra videoopptaket.

Det er derfor mest sannsynlig at det dreier seg om stålfragmenter på noen hundre gram. Et fragment på 300 gram kan nå denne høyden dersom utgangshastigheten er ca 700 m/s. Det vil nå toppunktet etter ca 6,5

sekunders flukt. Det kan utelukkes at det dreier seg om lettere ikke-metalliske fragmenter eventuelt biter av et materiale med pyrotekniske egenskaper, som f eks bildekk eller store klumper av tankenes innhold. Disse vil ikke ha stor nok tetthet til at de kan nå den aktuelle høyden.

Den relativt høye utgangshastigheten som kreves for å nå denne høyden, sammenlignet med Gurney-hastigheten, tilsier at disse fragmentene må ha ligget nær sprengstoffet, og mest trolig i kontakt med det.

Opptaket viser også at ca 6,9 sekunder (rundt frame 165) etter detonasjon er det fremdeles et stort fragment ca 290 m over bakken. Dette må være et tyngre fragment enn det som ble nevnt ovenfor. Opptaket viser tydelig at fragmentene kastes ut med ulike hastigheter, hvilket er forenlig med at bitene hadde ulik nærhet til sprengstoff ved detonasjon.

Fragmentenes tilsynelatende lave fallhastighet er forenlig med det som er beskrevet ovenfor. Slike gjenstander vil ha en naturlig fallhastighet på 35 – 55 m/s avhengig av størrelse og materiale.

Det er også verdt å merke seg at utkastet tilsynelatende er ganske symmetrisk, sett fra observatøren. Her må man huske på at bilen var orientert 50 – 60 grader i forhold til synsretningen og med front til høyre mot observatøren.

Det kraftige og til dels vedvarende lyset skyldes at de gassene som er dannet vil brenne og avgi lysstråling i en viss tid.

Trykkbølgen treffer huset 9,0 sekunder etter lysglimtet. Dette stemmer bra med en lydshastighet som på den angjeldende dag må ha vært ca 331 m/s, gitt en lufttemperatur på ca 0 C.

En delkonklusjon er her at de glødende partiklene som kan ses på opptaket ikke kan være annet enn stålbitar som veier minst 300 gram og som har blitt kastet ut med en hastighet på inntil 700 m/s. Man observerer også partikler som kastes ut med lavere hastighet, hvilket kan være tyngre fragmenter.

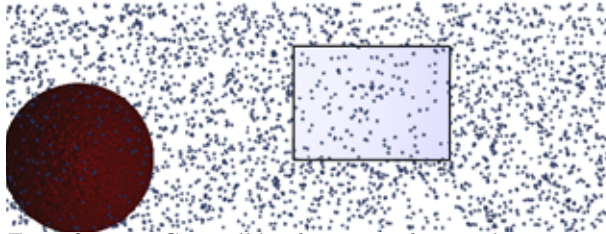
Simulering av utkast av motorblokk

Motorblokken ble funnet ca 200 m fra nullpunktet og på et punkt som ligger ca 35 m lavere. Dette gir et godt holdepunkt for å bedømme hvilken hastighet blokken har blitt kastet ut med og i noen grad også i hvilken vinkel utkastet har skjedd. Dette indikerer hvor den kraften som har forårsaket utkastet kommer fra.

Avstanden mellom nullpunktet og funnstedet for motorblokken, tilsier at den har blitt kastet ut med en hastighet på minimum 40 m/s. Dette kan fastsettes ved en enkel ballistisk beregning uten å ta hensyn til luftmotstand. For et slikt legeme vil luftmotstand ha svært liten påvirkning.

Analysen av motorblokkens utkast er gjort ved hjelp av programkoden IMPETUS AFEA som er til utprøving ved FFI. Dette er et finite element program som er velegnet ved studier av hvordan legemer påvirkes av kraftige belastninger i form av kollisjoner med andre legemer eller fra trykkbølger og utkast som fra en detonasjon.

Generelt var oppsettet for simuleringene som vist i figur 2. Motoren ble modellert som en stiv og homogen blokk, 1,1 m lang, 0,8 m høy og 0,5 m tykk og med en vekt på 900 kg. Nedsiden av blokken befinner seg 0,5 m over bakken. Sprengstoffet ble modellert som en blokk med TNT, fordi egenskapene for AN ikke er tilgjengelig i programmet. Sprengstoffets masse ble variert fra 300 – 900 kg og det hadde fasong som en rettinklet boks, en kule, en halvkule, eller en kjele. Høyden over bakken og horisontal avstand til sprengstoffet ble også variert for sprengstoffet. I noen tilfeller ble sprengstoffet liggende delvis under motorblokken.

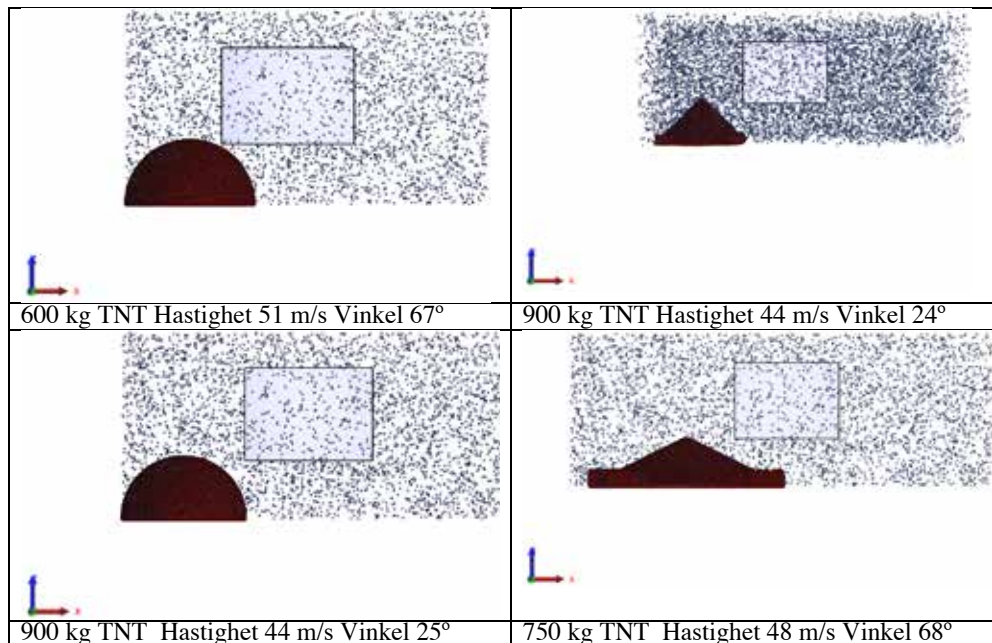


Figur 2 Generell konfigurasjon for simuleringene med ladning til venstre og motorblokk til høyre for midten

Antall partikler som sprengstoffet deles opp i var satt til 200 000. Det ble også gjort en simulering med 2 000 000 partikler, men dette påvirket ikke resultatet i noen stor grad.

Ettersom man ikke har noen indikasjon på hvor en detonasjon startet, har vi antatt at detonasjonen finner sted samtidig i hele sprengstoffet. Denne forenkling vil i mindre grad påvirke resultatet.

Figur 3 viser fire konfigurasjoner hvor resultatet, i form av sprengstoffmasse, utkasthastighet og utkastvinkel, blir slik at motorblokken ville ha landet på funnstedet.



Figur 3 Fire mulige konfigurasjoner som gir mulig løsning for motorblokkens utkast.

Til sammen ble det gjort 37 simuleringer, med ulike konfigurasjoner av sprengstoffets form, mass og dets posisjon i forhold til motorblokken.

Det vil i praksis finnes et utall andre konfigurasjoner som ville ha gitt riktig resultat i form av vinkel og hastighet. Resultatene sannsynliggjør følgende delkonklusjoner:

- Ladning som ligger 0,5-1,0 m fra motor må ha mer enn 900 kg TNT for at motor skal ha nødvendig utgangshastighet.
- Dersom avstanden er kortere vil det være tilstrekkelig med 600 kg TNT.
- Beregningene antyder at posisjonen til ladningen må ha vært svært nær eller delvis under motor.
- Motoren får i simuleringene maksimal hastighet siden det ikke er modellert andre strukturer rundt som kan «stjele» noe av impulsen.

En usikker faktor ved denne analysen er at man ikke helt kan utelukke at motorblokken har blitt kastet ut vannrett, eller endog med negativ utgangsvinkel, og kommet til ro på funnstedet etter at den har truffet bakken én eller flere ganger. Underlaget av grov pukk eller fjell som preget mye av området mellom nullpunktet og funnstedet, ville kunne gi minimalt merke i bakken og således ikke blitt lagt merke til. En faktor som imidlertid taler i mot denne muligheten er at deler av gearboksen ble funnet 430 m fra nullpunktet og omtrent i bilens retning. Siden denne delen er plassert noe bakover mot motoren og ganske lavt er funnstedene forenlig med at begge delene ble kastet oppover. På grunn av at gearboksen er mindre, men likevel tung, vil den bli kastet lenger bort.

Utkastets fordeling

Under befaringen fikk man et klart inntrykk av at aluminiumrester, som ser ut til å være fra tankveggene, i svært stor grad ble funnet bak og til siden for bilen. De registrerte funnene viser også at de fleste av de små aluminiumsbitene er spredt til siden eller bakover.

Mangelen på aluminiumsbitene som spres framover kan skyldes at førerkabinen og motor har sperret for disse bitene. Det er også en indikasjon på at detonasjon kan ha startet ganske nær førerkabinen, fordi en detonasjon i en viss avstand fra kabinen ville trolig ha kastet den del splinter framover. Dette er forenlig med det man fant fra simuleringene av motorutkast, som viste at detonasjonen må ha skjedd nært og delvis innunder motoren.

Det er imidlertid verd å merke seg at små aluminiumsbitene har blitt spredt rett bakover, men ikke rett framover. De som ble kastet ut rett bakover kan ha kommet fra toppen av fremre tank, men det er mer sannsynlig at de kommer fra bakre tank. I tillegg finner man ikke igjen store rester av noen av tankene. På den annen side er det man har funnet av aluminium bare en liten del av den mengden aluminium som var til stede i hovedtankene og andre deler. Dette peker i retning av følgende forhold:

- Detonasjonen startet nær bakken og lenger fram enn midten av fremre tank
- Detonasjon har også funnet sted inne i fremre tank
- Også bakre tank må ha detonert

De fragmentene som er synlige på video-opptaket, kan stamme fra bilens nedre strukturer og som kan ha befunnet seg i kontakt med sprengstoffet, eller i nærheten av det. Dette kan dog ikke fastslås med sikkerhet.

Funn av små aluminiumsflak, men typisk vekt på 50 gram, ble funnet inntil ca 200 m fra nullpunktet. Disse flakene hadde en tykkelse på 5 eller 3 mm og må således stamme fra selve aluminiumstankene. Størrelsen av disse var ned mot 10 cm². Tabellen nedenfor viser rekkevidden av slike fragmenter med forskjellige vekter og utgangshastigheter.

Masse (kg)	Utgangshastighet (m/s)	Rekkevidde (m)
------------	------------------------	----------------

0,005	400	95
	1000	108
0,05	400	185
	1000	220
0,5	400	345
	1000	403

Som man ser er det vekten av fragmentet som i første rekke bestemmer hvor langt det kan gå. Dette betyr at det er vanskelig å si hvilken utgangshastighet fragmentene kan ha hatt ettersom vi ikke kjenner i hvilken vinkel de er blitt kastet ut. Det som imidlertid er klart, både ut fra størrelse og rekkevidde, er at bitene må ha vært i kontakt med sprengstoffet ved detonasjonen.

Følsomhet av oppvarmet ammoniumnitrat

I forsøk på å forstå hva som kan ha skjedd, og spesielt hva som kan ha startet detonasjonen, har vi funnet fram til en del litteratur som kan kaste lys over problemet. Fremfor alt er det rapporter som omhandler detonasjon i oppvarmet eller smeltet ammoniumnitrat som er av interesse.

Et amerikansk MSDS-dokument⁶ slår fast at AN vil detonere hvis det varmes opp i lukket rom eller utsettes for sjokk, og at AN i seg selv ikke er brennbar, men vil bidra til å øke brennbarheten av tilstøtende materialer.

En rapport fra det amerikanske innenriksdepartementet⁷ er også sentral. Når AN varmes opp og smelter går den kritiske diameteren ned slik at det skal mindre til før man får en reaksjon. Imidlertid skal det svært mye til for at AN som ligger åpent skal detonere. Ren AN vil heller ikke underholde en brann. Imidlertid kan et slag mot stoffet gi en detonasjon. I tillegg kan tilsats av brennbare materiale skape en deflagrasjon i materialet som etter hvert kan gå over i en detonasjon. I den foreliggende situasjon har begge former for initiering vært mulig. Man kan se for seg at det har oppstått et mekanisk sammenbrudd i bærende strukturer slik at f eks fremre tank har falt ned på en masse med AN som har rent ut av tanken, og dermed gitt en lokal trykkoppbygning i massen. Man kan også se for seg at en blanding av smeltet og prillet AN har rent ut og blitt overøst med brennende diesel, eddiksyre eller natriumnitritt som kan ha gjort AN mer sensitiv.

I en rapport fra Naval Ordnance Lab⁸ pekes det på at et porøst sprengstoff lettere gir overgang fra deflagrasjon til detonasjon fordi porene leder de varme gassene innover i stoffet. Det er usikkert om dette er relevant i vårt tilfelle, men det er trolig at selv om den fremre tanken hadde vært utsatt for varme i over en time, er lite trolig at all massen ville ha smeltet. Dersom tanken så kollapser eller åpner seg vil derfor en blanding av smelte og priller strømme ut.

Selv om massen av priller ikke var fullstendig smeltet, må deler av den ha hatt en svært høy temperatur og dermed vært svært følsom.

I en amerikansk rapport⁹ om en eksplosjonsulykke i en gjødsselfabrikk i Iowa, pekes det på følgende forhold som gjør AN mer følsom:

- Høy konsentrasjon

⁶ Material Safety Data Sheet – Ammonium Nitrate; CF Industries Sales LLC, Deerfield, IL, 2013

⁷ Van Dolah R W, C M Mason, FJP Perzak, J E Hay, D R Forshey; Explosion Hazards of Ammonium Nitrate under Fire Exposure; U S Dept of the Interior, Bureau of Mines, 1966.

⁸ Bernecker Richard R, Donna Price; Transition from Deflagration to Detonation in Granular Explosives; NOLTR 72-202, Naval Ordnance Laboratory, Silver Spring, NJ, 1972

⁹ Thomas Mark J, Alan Cummings, Mariano Gomez; Chemical Accident Investigation Report – Terra Industries Inc. Nitrogen Fertilizer Facility, Port Neal Iowa; United States Environmental Protection Agency, 1995

- Lang lagringstid
- Høy temperatur
- Forurensning med uorganiske stoffer eller metaller
- Innkapsling, innpakking (gir høyere trykk ved oppvarming)
- Områder i sprengstoffet med lav tetthet (f eks bobler)

Det siste punktet tilsier at kontakt med kokende væsker eller at det på andre måter danner bobler i den smeltede AN kan gi opphav til detonasjon.

Konklusjon

FFI sine vurderinger peker klart i retning av at det har funnet sted en detonasjon i prillene og at dette har skjedd etter at det smeltede prillene helt eller delvis hadde rent ut av tanken. Det fremste indisiet er lokalisering av motorblokk og gearboks. Simuleringer antyder at 600 – 900 kg TNT-ekvivalenter har bidratt til utkast av motorblokk. Funn av smeltet aluminium gjør det ganske åpenbart at det må ha gått hull i minst én aluminiumstank som følge av brannen. Brennende diesel kan ha medvirket til intens varmepåvirkning, og dermed smelting av aluminium, i nedre del av tankene.

Det virker sannsynlig at en detonasjon i den fremre tanken med priller har ført til en antenning av emulsjonen i bakre tank. Mangel på funn av større deler fra tankene indikerer at det har foregått en detonasjon i begge. Dersom bakre tank ikke hadde detonert, ville man forvente å finne store rester av den.

Det faktum at en slik detonasjon har funnet sted, reiser spørsmålet om det er hensiktsmessig å transportere sprengstoff i to-komponent form, dersom en av komponentene har en følsomhet som kan sammenlignes med den ferdige blandingen.

Fullskallatest

Den aktuelle ulykken i Drevja, samt flere rapporter om lignende ulykker tidligere, slår fast at AN kan detonere dersom det utsettes for en brann. Det som er spørsmålet er hvilken mekanisme som utløste detonasjonen.

Konklusjonen reiser en del spørsmål som det er vanskelig å besvare ad teoretisk vei. Blant disse er:

- Hva utløste detonasjonen? (temperatur, slag, smeltet metall, kjemisk prosess, eller en overgang fra deflagrasjon til detonasjon)
- Hvor fort vil tanken smelte?
- Hvordan flyter smeltet AN?
- Hvor fort vil AN dekomponere i en brann?
- Hvordan vil følsomheten øke med økende temperatur?

Det har blitt gjort branntester av emulsjonen. Disse har vist at til tross for at en tank med slik emulsjon står i en heftig brann, og det går hull på tanken, og emulsjonen renner ut, blir det ingen detonasjon. Vi kjenner ikke til at tilsvarende tester er gjort med prillet AN. I så fall er det en mangel i det empiriske grunnlaget for å tillate bruk og transport av slikt materiale.

Under en fullskala test av en slik tank må man sørge for å få monitorert eksperimentet i form av video, temperaturmålere, trykkmålere, osv.

En slik test kan være kostnadskrevenende og man må være klar over at ikke man er garantert noen klar konklusjon etter et slikt eksperiment.



Ove Dullum





forsker

VEDLEGG 5: BILDEANALYSE FRA DSB




Bildeanalyse av bilder tatt ved brann i MEMU på Drevja 17.12.2013



DSB har mottatt bilder av brannforløpet fra ulike kilder som politi, brannvesen, anleggsarbeidere, privatpersoner og media. Bildene er stort sett tatt fra en avstand på over 500m i forhold til brannen i F-114. Brannforløpet er vanskelig å beskrive ut ifra bilder, da tolkning av bilder er forbundet med stor usikkerhet. På grunn av dette, vil bildene og beskrivelsene som følger her hovedsakelig fungere som supplement til andre observasjoner og analyser.

Tidspkt	Bilde	Analyse
kl 13:07 Brannen oppdages ca kl 13:04 og har her vart i ca 3 minutter.	Bilde 1: 	<ul style="list-style-type: none"> • Viser brannens arnested. • Flammer på høyre side av F-114 under frontruten og i tillegg er det to mindre flammer lengre ned på denne siden, ved grillen. • Rundt midten av fronten er det en tydelig avsetning av sot på oversiden av grillen. • Lyskasteren til høyre for bilen ble ikke slått av før evakuering.
kl 13:26 Brannen har vart i ca. 22 min.	Bilde 2: 	<ul style="list-style-type: none"> • Førerhuset er i full brann. • Ingen flammer på lasteplanet, deksel ses tydelig. • Ser ut til å brenne på bakken foran bilen. • Sort røyk kan tyde på forbrenning av plast, gummi, diesel og olje. • Lyskasteren ses til høyre for brannen.

<p>kl 14:06 Brannen har vart i 1t 2 min</p>	<p>Bilde 3:</p> 	<p>Røyken er nå mindre sort og mer grå. Det kan tyde på at det er vanndamp i røyken. Vanndamp vil kunne gi hvit røyk, men sammen med sort røyk fra forbrenning av hydrokarboner kan røyken se mer grå ut.</p>
<p>Kl 14:23 Brannen har vart i ca. 1t 19 min</p>	<p>Bilde 4:</p> 	<p>Røyken ser mer grå og hvit ut enn på bilde tatt kl 14:06. Som nevnt tidligere kan hvit røyk tyde på at det er vanndamp i røyken. Vanndampen kan stamme fra både vanntanken på lasteplanet men også fra dekomponering av ammoniumnitrat.</p>
<p>Kl 14:30 Brannen har vart i ca. 1t 26 min</p>	<p>Bilde 5:</p>  <p>Bilde 5 zoomet:</p> 	<p>Ser ut som brannen ikke har nådd enden av lasteplanet, men at de bakerste bildekkene brenner.</p> <p>Ser ut som det brenner på bakken foran og ved siden av bilen. Kan være diesel, olje, smeltet plast og bildekk. Kan også tenkes å komme fra kjemikalier fra tankene om bord som har rent ut og brenner enten alene eller i kombinasjon med de tidligere nevnte materialer.</p>

VEDLEGG

<p>K1 15:15 Brannen har vart i 2t 7 min</p>	<p>Bilde 6A:</p>  <p>Bilde 6B:</p> 	<ul style="list-style-type: none">• Ser ut til at førerhytta er utbrent.• Produksjonsenheten på lasteplanet er omsluttet av brann.• Ser ut til at horisontal skrue har falt litt ned når man sammenligner bilde 6A og 6B. Tyder på svikt i bæreegenskapene til aluminiumstankene.
<p>K1 15:21 Brannen har vart i 2t 17 min</p>	<p>Bilde 7:</p> 	<p>Intensivering av brannen.</p>

<p>K1 15:26 Brannen har vart i 2t 22 min</p>	<p>Bilde 8:</p> 	<p>Intensivering av brannen.</p>
<p>K1 15:26 Eksplosjonen</p>	<p>Bilde 9:</p> 	<p>Brennende/glödende nedfall.</p>

Referanseliste

REFERANSELISTE

1. Ammonium Nitrate (AN): 2014 World Market Outlook and Forecast up to 2018, Merchant Research & Consulting, Ltd, 2014.
2. Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, United Nations, New York and Geneva, 2009.
3. a) Karlström et al. Full-scale burning test on a tank loaded with emulsion matrix, *rapport av Dyno Nobel, Forcit, Kimit AB*, 2002.
b) Karlström et al. Full-scale Fire Test of ANE Matrix in Aluminium and Stainless Steel Tanks, *rapport av Kimit AB, Räddningsverket, Skanexplo, Forcit, DSB og Orica*, 2007.
4. Explosion Hazards of Ammonium Nitrate Under Fire Exposure; U.S. Department of Interior, Bureau of Mines, Report of Investigations 6773; 1966.
5. A. W. King Threshold Shock Initiation Parameters of Liquid Phase Ammonium Nitrate; *International Society of Explosives Engineers*, Vol.1, 2008.
6. Bauer et al. The Sensitivity of Ammonium Nitrate Melts and Solutions To Projectile Impact; *Rapport av The Department of Mining Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario*; 1981.
7. a) King et al The Detonation Properties of Liquid Phase Ammonium Nitrate, *Rapport av The Department of Mining Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario*; 1978.
b) Bauer et al. The Deflagration to Detonation Transition Characteristics of Molten Ammonium Nitrate, *Rapport av The Department of Mining Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario*; 1979.
c) King et al. Shock Initiation Characteristics of Ammonium Nitrate, *Rapport av The Department of Mining Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario*; 1980.
d) Bauer et al. Critical Parameters For Low Amplitude Shock Initiation Of Molten Ammonium Nitrate And Ammonium Nitrate Fertilizer Solutions, *Rapport av The Department of Mining Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario*; 1982.
e) King et al. The Explosion Hazards of Ammonium Nitrate and Ammonium Nitrate Based Fertilizer Compositions – A Summary; *Rapport av The Department of Mining Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario*; 1982.
8. Cagnina et al. Study of Incompatibility of Ammonium Nitrate and its Mechanism of Decomposition by Theoretical Approach, *Chemical Engineering Transactions*, 31, 823–828, 2013.
9. Patnaik, P., *A Comprehensive Guide to the Hazardous Properties of Chemical Substances*. John Wiley & Sons, Inc., Publications: 2007; Vol. 3.
10. Li et al. Study on the Contamination of Chlorides in Ammonium Nitrate, *Process Safety and Environmental Protection*, 83, 31–37, 2005.
11. a) Wood et al. Acid Catalysis in the Thermal Decomposition of Ammonium Nitrate. *The Journal of Chemical Physics*, 23, 693–696, 1955.
b) Sun et al. Catalytic effects of inorganic acids on decomposition of ammonium nitrate, *Journal of Hazardous Materials*, 127, 204–210, 2005.



DSB
Rambergveien 9
Postboks 2014
3103 Tønsberg

+47 33 41 25 00

postmottak@dsb.no
www.dsb.no



ISBN 978-82-7768-354-6
HR 2298
Desember 2014