



FFI-RAPPORT

18/01312

Karakterisering av dynamitter detektert av hunder

— årsrapport for 2017

Tove Engen Karsrud
Vegar Falsten
Aase Marie Opstad
Bent Tore Røen

Karakterisering av dynamitter detektert av hunder – årsrapport for 2017

Tove Engen Karsrud
Vegar Falsten
Aase Marie Opstad
Bent Tore Røen

Emneord

Dynamitt
Eksplosiver
Deteksjon
Tunneler
Hunder

FFI-rapport

18/01312

Prosjektnummer

5220

ISBN

P: 978-82-464-3080-5

E: 978-82-464-3081-2

Godkjent av

Øyvind Voie, *forskningsleder*

Janet Blatny, *forskningsdirektør*

Sammendrag

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) samarbeider med Statens vegvesen (SVV) om å bruke hunder for å detektere etterlatte eksplosiver på tidligere anleggsarbeider i tunneler og langs veger. Hundene benyttes som et HMS- og risikoreduserende tiltak der det er fare for å støte på eksplosivrester fra tidligere entrepriser. Prosjektets forskningsmål å utvikle en søkshundetjeneste for søk etter dynamitter for anleggsbransjen og samtidig bidra til metodeutvikling og realistisk trening for Forsvarets søkshunder.

Denne rapporten beskriver søksoppdragene som ble gjennomført i 2017, og den gjennomgår arbeidet som er foretatt med å karakterisere prøver av dynamitter som er funnet der hunder har markert under oppdragene.

I løpet av 2017 ble det gjennomført til sammen 232 oppdragsdøgn i 14 tunneler og på flere vegganlegg over hele landet. I de fleste tunnelene markerte hundene flere ganger for eksplosiver. Eksempelvis ble det gjort 15 markeringer i Bjørnegårdtunnelen i Sandvika og 115 i Gudvangatunnelen.

Sammensetningen til prøver av eksplosivfunnene er analysert med kromatografiske teknikker og massespektrometri. Kunnskap om bestanddelene i prøvene er viktig for å utvikle treningsmetodikk for hundene. Slag- og friksjonsfølsomhet er målt for å si noe om risikoen som personell og maskiner kan utsettes for ute på anlegg.

Det er så langt i prosjektet tatt med 18 prøver av ulike funn fra søksoppdragene. De analyserte prøvene varierer stort med tanke på tilstand, sammensetning og følsomhet. Dette skyldes at det opp gjennom tidene er benyttet ulike typer dynamitter og at disse har aldret på ulikt vis siden de ble brukt.

Med unntak av tre prøver inneholder alle prøvene etylglykol dinitrat (EGDN) i svært ulike mengder, fra 0,005 % til 35 %. Videre inneholder dynamittrestene enten ammoniumnitrat (AN) eller ett eller flere av sprengstoffene nitroglyserin (NG), trinitrotoluen (TNT) og ulike dinitrotoluener (DNT-er). Så langt i prosjektet har det ikke vært mulig å finne en felles kilde til det hundene detekterer. Det faktum at de finner så mange forskjellige blandinger, tyder imidlertid på at hundene detekterer et bredt sammensatt luktbilde.

Et par av prøvene er veldig følsomme for slag. Disse prøvene inneholder EGDN eller NG i moderate mengder (31–37 %) sammen med DNT-er. Prøver som inneholder AN ser ut til å være mindre følsomme både for slag og friksjon sammenliknet med prøver uten AN. Variasjonen i følsomhetsdataene er stor, og det kan foreløpig ikke påvises noen sammenheng mellom innholdet og følsomheten. Resultatene viser at det må utvises varsomhet ved alle typer funn av dynamittrester.

Summary

The Norwegian Defence Research Establishment (FFI) and The Norwegian Public Roads Administration (NPRA) are cooperating in a pilot project using dogs to search for explosive remnants in road construction works. The search operations will be a supplement in the health and safety work when there is a risk to encounter explosive remnants from earlier enterprises. The objective of the R&D activities is to develop the detection capacity of the dogs searching for dynamites and to contribute to realistic training and method development for the military explosive dogs.

This report describes the search operations conducted during 2017 and presents the characterization of the explosive samples that have been collected where the dogs have marked during the missions.

During 2017 a total number of 232 days of search operations have been conducted in 14 different tunnels and along roads all over the country. The dogs have marked for explosives in several of the tunnels. For example, the result was 15 markings in the Bjørnegårdtunnel and 115 markings in the Gudvangatunnel.

The composition of the samples has been analyzed using chromatographic techniques in combination with mass spectrometry. Knowledge of the constituents of the dynamite remnants is important in order to develop training methods for the dogs. The impact and the friction sensitivity of the samples have been measured to evaluate the risk posed by the remnants for the construction workers and their equipment.

The samples vary a lot with regard to condition, composition and sensitivity. This is because various types of dynamites have been used throughout the years, and they have aged under different conditions since they were used.

All except three samples contain ethylene glycol dinitrate (EGDN) in different amounts, ranging from 0.005% to 35%. Other constituents are either ammonium nitrate (AN), or one or several of the explosives nitroglycerine (NG), trinitro toluene (TNT) or dinitro toluenes (DNTs). So far it has not been possible to point out a common compound which yields the scent that the dogs detect. On the contrary, dynamites with different compositions have been detected, implying that the dogs detect a bouquet of scents rather than one particular.

Some of the samples are very sensitive to impact. These samples contain either EGDN or NG in moderate amounts (31–37%) in combination with DNTs. Samples containing AN seem to be less sensitive to both friction and impact compared to samples without AN. However, the sensitivity results vary too much to draw any conclusions regarding sensitivity and constituents. The results show that care must be taken whenever dynamite misfires or explosive remnants are found.

Innhold

Sammendrag	3
Summary	4
1 Innledning	7
1.1 Bakgrunn	7
2 Gjennomførte søk med hund i 2017	8
2.1 Type søk	8
2.2 Tåsentunnelen	10
2.3 Røyrdalstunnelen	10
2.4 Langhus	11
2.5 Vassmarka – Rongland	12
2.6 Slåttekås – Årnes	13
2.7 Lyderhorntunnelen	15
2.8 Bjørnegårdtunnelen	15
2.9 Rødberg Fv 40	16
2.10 Tømmernestunnelen og Fagernestunnelen i Nordland	17
2.11 Bagn – Bjørgo	18
2.12 Nordbytunnelen	19
2.13 Strynefjellet	20
2.14 Bjørgatunnelen Fv 211	21
2.15 Vågstunnelen Rv 13	22
2.16 Gudvangatunnelen	23
2.17 Valderøy-, Ellingsøy- og Godøytunnelene	25
2.18 Ekeberg- og Svartdalstunnelen	25
2.19 Sand i Odalen	27
2.20 Støleheia	28
3 Dynamitter og forsagere	28
4 Undersøkte prøver	30
5 Differential scanning calorimetry (DSC)	35
6 Kjemisk analyse	37
6.1 Generelt om teknikkene	37

6.2	Prøveopparbeidelse og analyse	38
6.3	Resultater sammensetning	39
7	Følsomhetstester	41
7.1	Slagfølsomhet	41
7.2	Friksjonsfølsomhet	42
7.3	Resultater	42
8	Luktbilde fra dynamitt	44
9	Konklusjon	46
A	DSC-kurver til dynamitter	47
B	Kromatogrammer fra GC-MS-analyse	53
	Referanser	56

1 Innledning

Hunder har en svært følsom nese med et luktorgan som kan detektere lave konsentrasjoner av et stoff. Hunders luktekapasitet kan anvendes til å detektere eksplosiver, noe som både Forsvaret og Politiet benytter seg av. De senere årene har man også sett nytten av å bruke hunder til å finne eksplosivresten i anleggsbransjen. For å utvikle søksskapasiteten til hundene og utvikle metoder for opplæring og trening av hunder, trengs det kunnskap om hva hundene detekterer. Et viktig bidrag for å forstå dette er å analysere innholdet i eksplosiver som hunder finner under søk.

Dynamitt er et sivilt sprengstoff som anleggsbransjen benytter ved sprengning av berg under bygging av veger og tunneler. Av forskjellige årsaker blir det liggende igjen forsagere, tennere og rester av sprengstoffet på anleggene. Hunder er tatt i bruk for å finne disse eksplosivene når anleggsbransjen skal foreta arbeid på steder der det tidligere er benyttet sprengstoff. For å utvikle søksskapasiteten til hunder som skal lete etter eksplosivresten fra anleggsbransjen, er det nødvendig med kunnskap om innhold i dynamitter, og om tilstand og sammensetning til de eksplosivrestene som hundene detekterer. Denne rapporten beskriver oppdrag der hunder er benyttet til å finne dynamittrester i tunneler og på veganlegg i 2017, og den beskriver arbeidet som er utført for å karakterisere dynamittene med tanke på sammensetning og følsomhet. Resultatene er først og fremst viktige for utviklingen av søketjenesten for dynamitter, men også generelt for eksplosivsøkshunder i Forsvaret.

1.1 Bakgrunn

Statens vegvesen (SVV) og Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) har inngått en treårig samarbeidsavtale (2016-2018) om bruk og utvikling av hunder for søk etter eksplosiver i tunneler og på veganlegg. Arbeidet anses som et strategisk samarbeid mellom offentlige etater for å utnytte spesiell kompetanse på tvers av sektorer. FFI benytter Forsvaret hundeskole (FHSK) for trening av hunder og leveranse av søkshundetjenester.

Det er en forutsetning at arbeidet gir gjensidig nytteverdi for begge parter: Statens vegvesen får tilgang til søkshundekapasitet av en kvalitet som ikke er tilgjengelig i markedet, og Forsvaret har egen nytte i form av realistisk trening og metodeutvikling.

Bakgrunnen for samarbeidet er at Statens vegvesen skal oppgradere 200 tunneler på riksvegnettet for å møte dagens tekniske krav. Arbeidet medfører graving, pigging og sprengning på steder der det tidligere er sprengt. Under anleggsarbeidene er det en fare for å støte på forsagere og rester av dynamitt fra tidligere entrepriser. Dersom forsagerne og eksplosivrestene blir utsatt for slag eller friksjon, kan eksplosivene detonere. Effektive måter for å finne eksplosivene er dermed viktig for sikkerheten og kan også gi store kostnadsbesparelser i forhold til andre metoder. Bruk av hunder for søk etter dynamittrestene har vist seg å være meget godt egnet.

Søksoppdrag som ble gjennomført i 2016 er beskrevet i FFI-rapport 17/16509 [1]. Det utgis også en årsrapport for 2017 for oppdragets aktiviteter og en evaluering av oppdraget så langt [2].

2 Gjennomførte søk med hund i 2017

Hundene ble benyttet til søk i 14 tunneler i løpet av 2017. Det har også vært behov for hundesøk langs flere vegstrekninger i forbindelse med utvidelser eller utbedringer eller ved bygging av gangveger. Det har også vært søk i skredområder der det er benyttet eksplosiver for å utløse kontrollerte snøskred. Totalt er det gjennomført 232 oppdragsdøgn. Oversikt over søksoppdragene er gitt i Tabell 2.1. I tabellen er det også informasjon om hvor mange markeringer som er gjort og om det er tatt med prøve til FFI for analyse.

Til sammen markerte hundene 197 ganger for eksplosiver på oppdragene i 2017. Entreprenøren på stedet har ansvar for å grave fram og fjerne eksplosivene der hundene har markert. Hva slags type funn som er gjort ved hver enkelt markering, har FFI av den grunn ikke oversikt over. Blant de mange funnene ble det tatt med 11 prøver til FFI for analyse og undersøkelse. I det følgende blir hvert enkelt oppdrag omtalt, og det ligger ved bilder fra de ulike stedene.

2.1 Type søk

Som en generell regel vil det aktuelle området gås over med to hunder, og hver markering og klarering av et område skal bekreftes fra begge hundene. Hvordan søket gjennomføres, avhenger av arbeidet entreprenøren skal utføre. Under oppdragene benyttes det derfor flere typer søk. Dette er:

- Overflatesøk er det første søket som gjennomføres for å kartlegge et område. Søket foregår før entreprenør er inne på området og før graving.
- Områdesøk er det søket som foretas i et avgrenset område. Det plukkes ut grunnpunkter hvor det er større sannsynlighet for funn, f.eks. skjæringer eller tunnelåpninger.
- Kortlinesøk er når hunden føres i en kort line langs en linje som er lagt ut.
- I frittsøk søker hunden uten line, men med styring og kommando fra hundefører.
- I langlinesøk deles området som skal søkes i avgrensede arealer på 10 x 10 meter. Hunden går selvstendig ut 10 meter og foretar søk langs linen på tilbakeveien.
- High Assurance Search Dog (HASD) – søk benyttes der det er stor sannsynlighet for funn og hvor det er stor risiko for hundefører. Hunden benyttes med lang line og kan søke ut mot 100 meter.
- Ved sanering søker hunden lagvis de overflatene som graves fram. Hunden starter med overflatesøk. Så graves det av ca. 40 cm med masse med gravemaskin, og hunden søker deretter over ny overflate. Slik fortsetter man inntil forsager er funnet eller man kommer ned til berg. Slike søk benyttes der det er stor risiko for funn. Hundefører benytter splintvest og briller. Oppdraget krever god kommunikasjon mellom hundefører og gravemaskinfører.

Tabell 2.1 Gjennomførte søksoppdrag i 2017.

Tidspunkt	Oppdragssted	Markeringer	Prøver
November 2016 – februar 2017	Tåsentunnelen, Oslo	4	
Januar 2017	Røyrdalstunnelen	7	
Mars 2017	Langhus, Ski, tomt ved veg	0	
Januar – februar 2017	Vassmarka – Rongland, Nord-Trøndelag, langs veg	6	
Februar – mai 2017	Slåttekås – Årnes, Rv 36, langs veg	6	
Mars 2017	Lyderhorntunnelen, Bergen	2	
Mars – august 2017	Bjørnegårdtunnelen, Sandvika	15	2
Mars 2017	Fv 40, Rødberg sentrum, langs veg	0	
April 2017	Norbytunnelen	2	2
Mai 2017	Region Nord, Tømmerneset og Fagernestunnelen	8	
Mai – august 2017	Bagn – Bjørgo, langs veg	12	2
August 2017	Strynefjellet, skredområder	0	
September 2017	Bjørgatunnelen, Fv 211	6	
September 2017	Vågstunnelen, Rv 13	5	
Mai – desember 2017	Gudvangatunnelen	115	3
November – desember 2017	Valderøy-, Ellingshøy- og Godøytunnelen	0	
Desember 2017	Sand, Odalen, langs veg	3	1
Juni – desember 2017	Ekeberg- og Svartdalstunnelen, Oslo	6	1

2.2 Tåsentunnelen

I Tåsentunnelen på ring 3 Rv150 i Oslo ble det gjennomført søk fra november 2016 til begynnelsen av februar 2017, Figur 2.1. Tunnelen ble ferdigstilt i 1999, og byggherre var Statens vegvesen. Lengde på tunnelen er 1338 meter.

Hund ble benyttet da det skulle gjennomføres arbeid i tverrslagene. Etter markeringer på overflatesøk ble det besluttet at søksekvipasjene skulle være tilgjengelige under det videre arbeidet. I dette oppdraget ble det søkt lag for lag ned til fjell i alle tverrslag. Det var risiko for gjenstående udetonert sprengstoff. Graving ble gjennomført med en gravemaskin uten tilstrekkelig vern. Dette fordi det var liten plass og veldig trangt, og det var ikke mulig å bruke større maskin med hammerglass eller gitter/bur.

Det var til sammen 4 markeringer i Tåsentunnelen.



Figur 2.1 Søk i Tåsentunnelen

2.3 Røyrdalstunnelen

I starten av januar 2017 ble det gjennomført overflatesøk i Røyrdalstunnelen på Fv 45 i Dyrdal, Figur 2.2. Tunnelen ble åpnet i 1979 og er 722 meter lang. Det ble utført områdesøk og HASD-søk før tunnelrehabiliteringen tok til. Det ble til sammen gjort 7 markeringer i tunnelen og utenfor langs skjæringen. Dynamittrester ble også funnet.



Figur 2.2 Søk i Røyrdalstunnelen

2.4 Langhus

I forbindelse med etablering av gang- og sykkelveg langs Fv 152 Vevelstadveien–Smedsrudveien i Ski, ble det foretatt søk på ei privat tomt, Figur 2.3. Det var mistanker om at huseier under oppføring av egen bolig på 50-tallet skulle ha gravd ned eksplosiver av typen dynamitt og tennere etter egne sprengningsarbeider. Det ble foretatt områdesøk på hele eiendommen.

Hundene gjorde ingen markeringer på eksplosiver.



Figur 2.3 Søk på tomt i Ski

2.5 Vassmarka – Rongland

I månedsskiftet januar/februar ble det utført søk langs Ev 6 på strekningen Vassmarka – Rongland i Nord-Trøndelag, Figur 2.4. Søkene ble foretatt på 5 områder langs veigrøfter og skjæringskanter for å avdekke eventuelle forsagere.

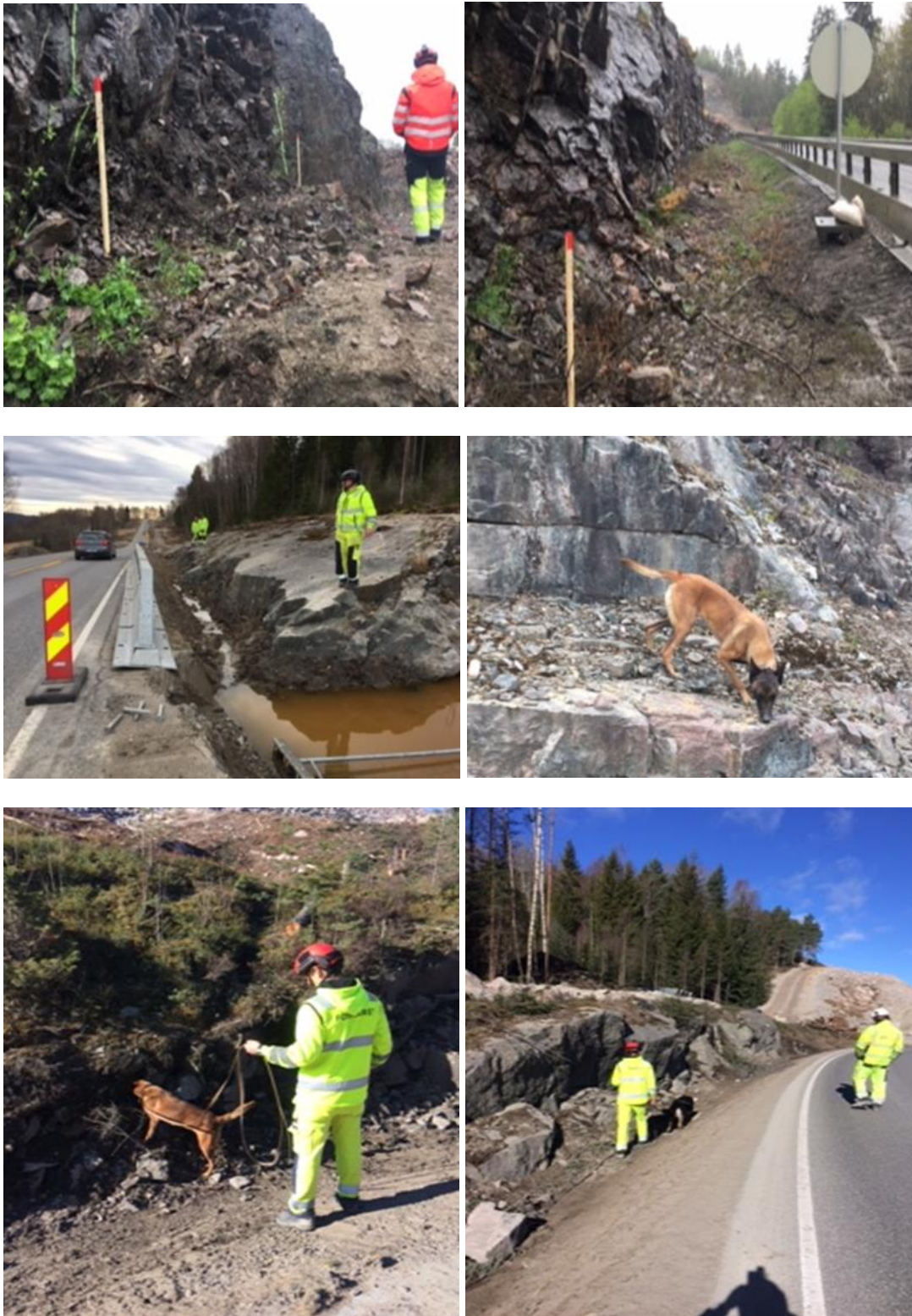
Hundene markerte i alt 6 steder i skjæringer og på nyere sprengte paller.



Figur 2.4 Søk ved Vassmarka.

2.6 Slåttekås – Årnes

I Telemark ble det gjennomført søk langs veiaksen Slåttekås–Årnes på Rv 36 i perioden februar til mai, Figur 2.5a og Figur 2.5b. Oppdraget gikk ut på å søke skjæringspunkter på en akse på ca. 7 kilometer. Grunnet lave temperaturer og is/snø ble det på forhånd plukket ut 4 kritiske punkter. Resterende punkter ble avsøkt når temperaturen steg. Lukt bildet fra eksplosiver kan bli dårligere ved lave temperaturer på grunn av lavere damptrykk. Totalt var det 10 punkter som ble gjennomført på aksene. Søkefeltene varierte i lengder på 150–400 meter. Det ble foretatt områdesøk, og søkene resulterte i 6 markeringer.



Figur 2.5a Søk langs Rv 36



Figur 2.5b Søk langs Rv 36

2.7 Lyderhorntunnelen

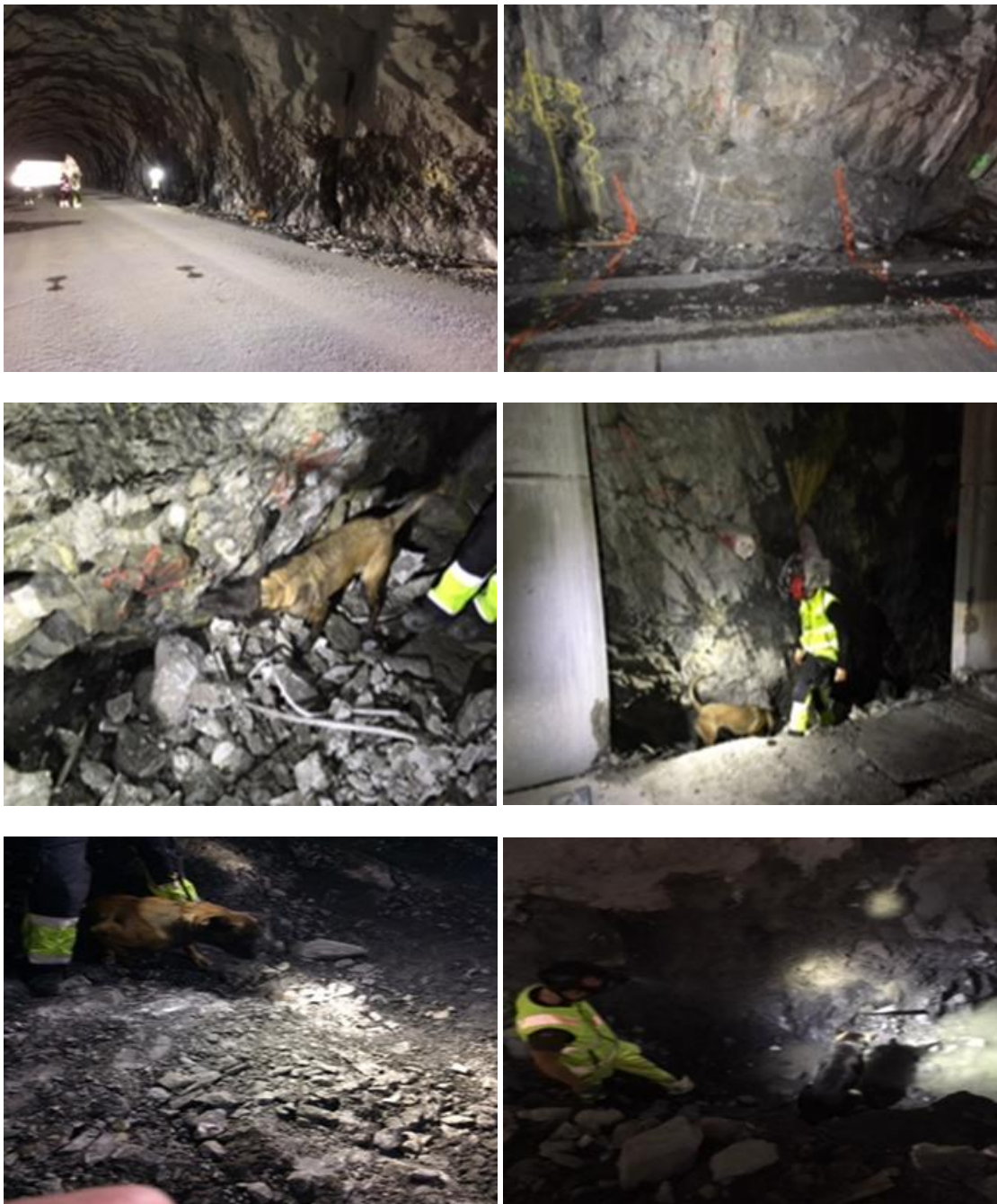
I begynnelsen av mars ble det gjennomført overflatesøk i Lyderhorntunnelen på Rv 555 ved Bergen, Figur 2.6. Det ble benyttet kortlinesøk og HASD-søk. Hundene markerte på to steder i tunnelen.



Figur 2.6 Søk i Lyderhorntunnelen

2.8 Bjørnegårdtunnelen

Bjørnegårdtunnelen i Sandvika langs Ev 16 ble gjennomført i perioden mars til august 2017, Figur 2.7. Området skal saneres, og det skal etableres nytt løp. Oppdraget gikk over tid, og området ble søkt i flere omganger. Det siste søket ble gjennomført på nullnivå nede på fjell. Der ble det foretatt områdesøk og punktsøk. Hundene markerte 15 ganger for eksplosiver, og to prøver ble tatt med til FFI.



Figur 2.7 Søk i Bjørnegårdtunnelen

2.9 Rødberg Fv 40

I Rødberg sentrum langs Fv 40 ble det gjennomført søk i løpet av én dag i mars måned, Figur 2.8. Det var en skjæring på 400–500 meter som skulle undersøkes. Det ble benyttet områdesøk og overflatesøk under oppdraget. Hundene hadde ingen markeringer.

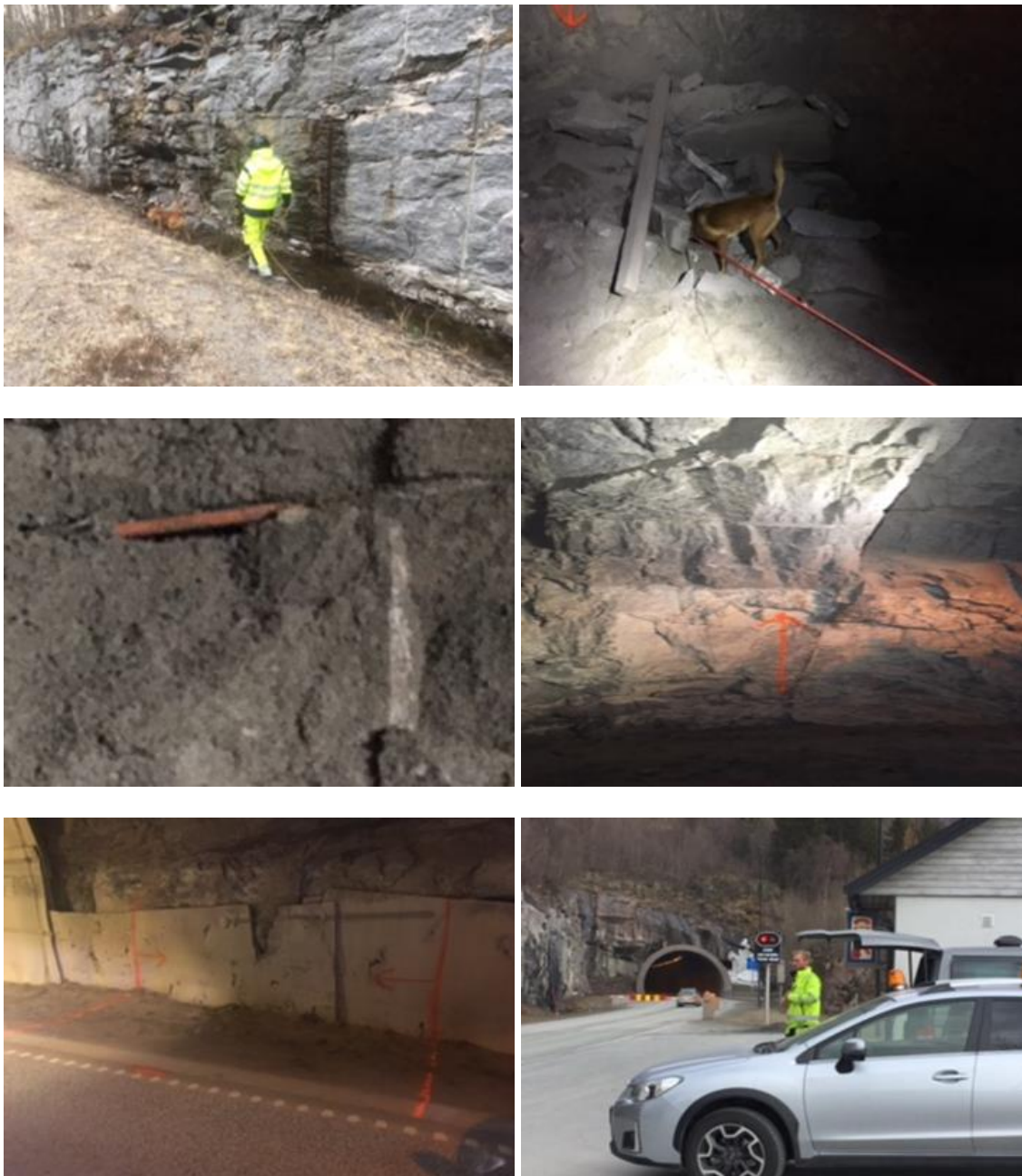


Figur 2.8 Søk langs Fv 40 i Rødberg.

2.10 Tømmernestunnelen og Fagernestunnelen i Nordland

I Nordland er det gjennomført søk i to tunneler: Tømmernestunnelen i Hamarøy kommune på 712 meter og Fagernestunnelen i Narvik kommune på 2069 meter, Figur 2.9. Søkene ble foretatt i mai måned.

Oppdragene ble utført av 3 hundeførere med 4 operative hunder. En hund var med på opplæring og trening. Søkene ble gjennomført som områdesøk og overflatesøk i tunnel. Resultat av søkene var 8 markeringer, og funn av rester av eksplosiver.



Figur 2.9 Oppdrag ved Fagernestunnelen.

2.11 Bagn – Bjørgo

Fra slutten av mai og til midten av august ble det gjennomført flere søk langs Ev 16 ved Bagn–Bjørgo der det anlegges ny veg, Figur 2.10. Søkene ble iverksatt etter funn av forsager på et område i overgangen mellom ny og gammel veg. Hundelaget har fulgt prosjektet videre og har gjennomført søk i alle områder der det er vurdert at risikoen for udetonert sprengstoff har vært til stede. Det er benyttet flere type søk som frittsøk, HASD-søk og kortlinesøk. Det har vært 12 markeringer på sprengstoff, og det er tatt med to prøver til FFI.



Figur 2.10 Søk i Bagn – Bjørgo.

2.12 Nordbytunnelen

I forbindelse med rehabilitering av Nordbytunnelen i Follo ble det benyttet hundesøk i 15 tverrslag mellom tunnellopene, Figur 2.11. Søkene ble gjennomført i løpet av to dager i slutten av april. Resultatet av søkene var to markeringer og funn. Det ble tatt med prøve av begge funnene til FFI.



Figur 2.11 Søk i Nordbytunnelen

2.13 Strynefjellet

I starten av september var det igjen søk i skredområder ved Strynefjellet/Grasdalen for å se etter rester fra sprengninger i snørasutsatte områder, Figur 2.12. Hundene markerte ikke, og det ble ikke funnet sprengstoff.



Figur 2.12 Søk på Strynefjellet

2.14 Bjørgatunnelen Fv 211

Seks dager i september ble det gjennomført søk i Bjørgatunnelen ved Sørreisa i Troms, Figur 2.13. Ekvipasjene gjennomførte overflatesøk og områdesøk, og det ble 6 markeringer på eksplosiver i denne tunnelen.



Figur 2.13 Søk i Bjørgatunnelen

2.15 Vågstunnelen Rv 13

Vågstunnelen på Rv 13 i Suldal kommune ble søkt gjennom i midten av september, Figur 2.14. Det ble benyttet overflatesøk, og det ble gjort 5 markeringer av udetonert sprengstoff i tunnelen.

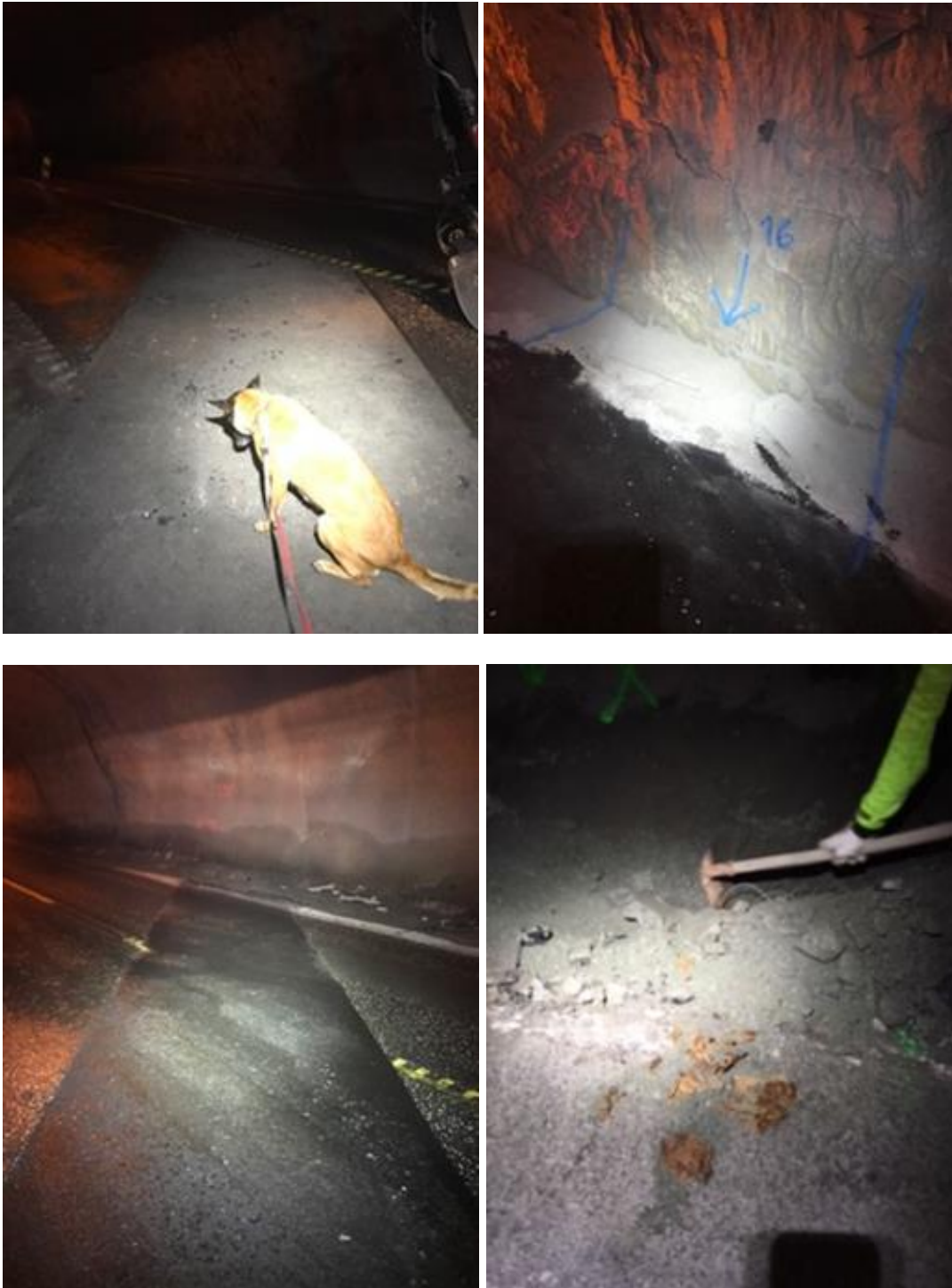


Figur 2.14 Søk i Vågstunnelen

2.16 Gudvangatunnelen

I Gudvangatunnelen i Aurland kommune i Sogn og Fjordane ble det gjennomført søk fra midten av mai og ut året, Figur 2.15. Tunnelen ble åpnet i 1991 og er 11 428 meter lang. Den ble utsatt for brann i 2013 og 2015.

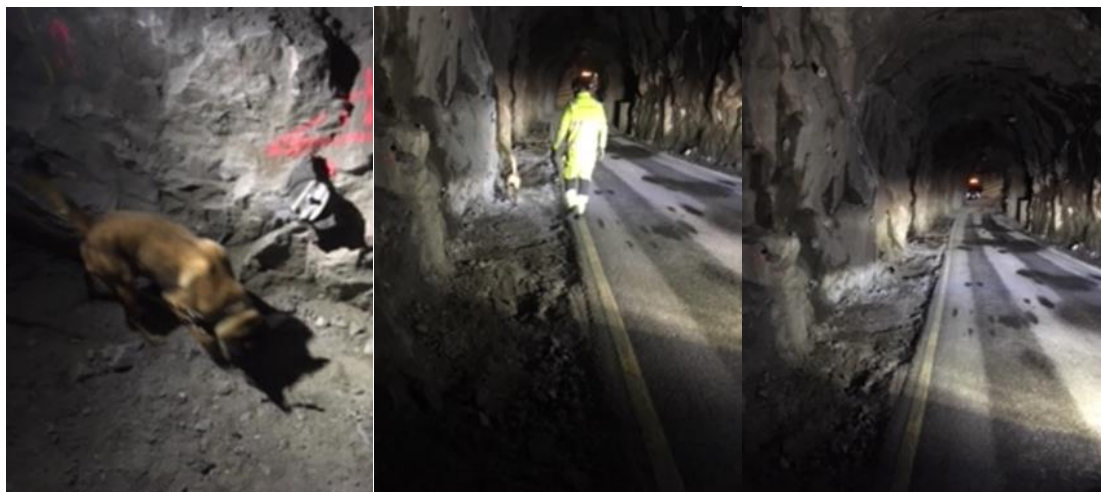
I utgangspunktet skulle søksoppdraget bestå av overflatesøk i tunnel. Etter flere funn ble det senere besluttet at søkshund skulle være en del av prosjektet. Hundene har blitt tilkalt 10 ganger, og arbeidet har vært alt fra overflatesøk til søk av grøfter. Størsteparten av funnene er gjort i siste halvdel av tunnelen mot Gudvangen. Det er til sammen avsøkt om lag 30 000 meter i tunnelen. Innen utgangen av 2017 var det påvist 115 funn av udetonert sprengstoff. Det er gjennomført analyse av tre prøver fra sprengstoffunnene i Gudvangatunnelen. Hundelagene har gjort det de har kunnet for ikke å forsinke entreprenøren i arbeidet hans. Det har vært tett og veldig bra dialog mellom operativ leder hund og entreprenør gjennom hele perioden.



Figur 2.15 Gudvangatunnelen

2.17 Valderøy-, Ellingsøy- og Godøytunnelene

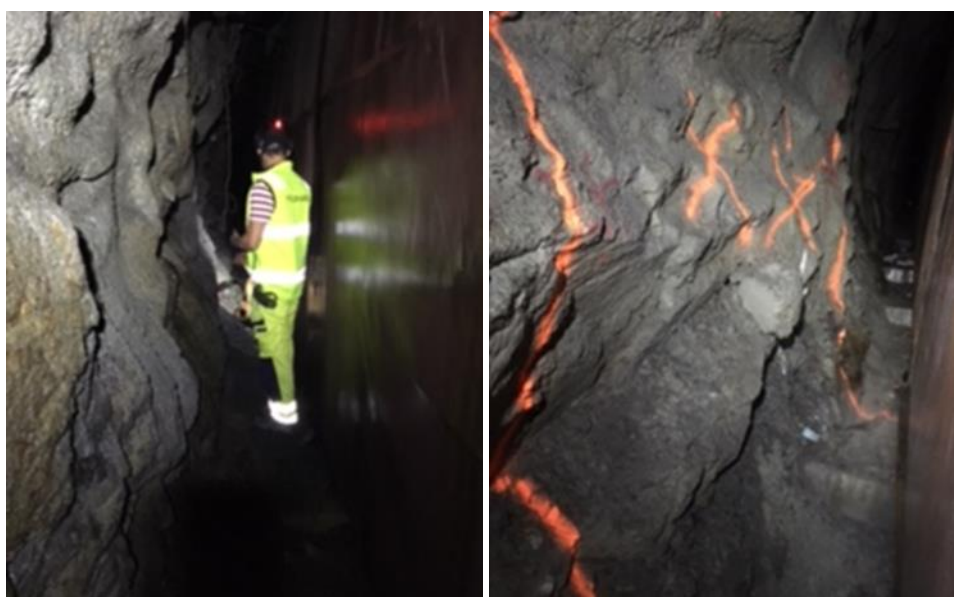
Tunnelene Valderøy, Ellingsøy og Godøy ved Ålesund ble gjennomført med overflatesøk i perioden 13. november til 10. desember, Figur 2.16. Det ble ingen markeringer av udetonert sprengstoff i noen av tunnelene.



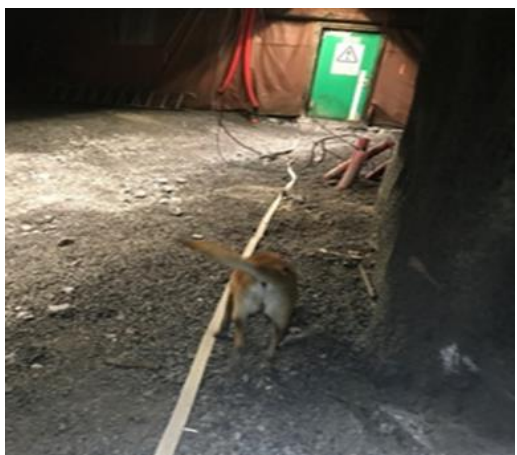
Figur 2.16 Valderøy-, Ellingsøy- og Godøytunnelene

2.18 Ekeberg- og Svartdalstunnelen

I Oslo er Ekeberg- og Svartdalstunnelen blitt gjennomført fra midten av juni og ut året, Figur 2.17a og Figur 2.17.b. Her er det foretatt overflatesøk og søk i tverrslagene. 6 markeringer ble resultatet av disse søkene, og én prøve ble tatt med til FFI for analyse.



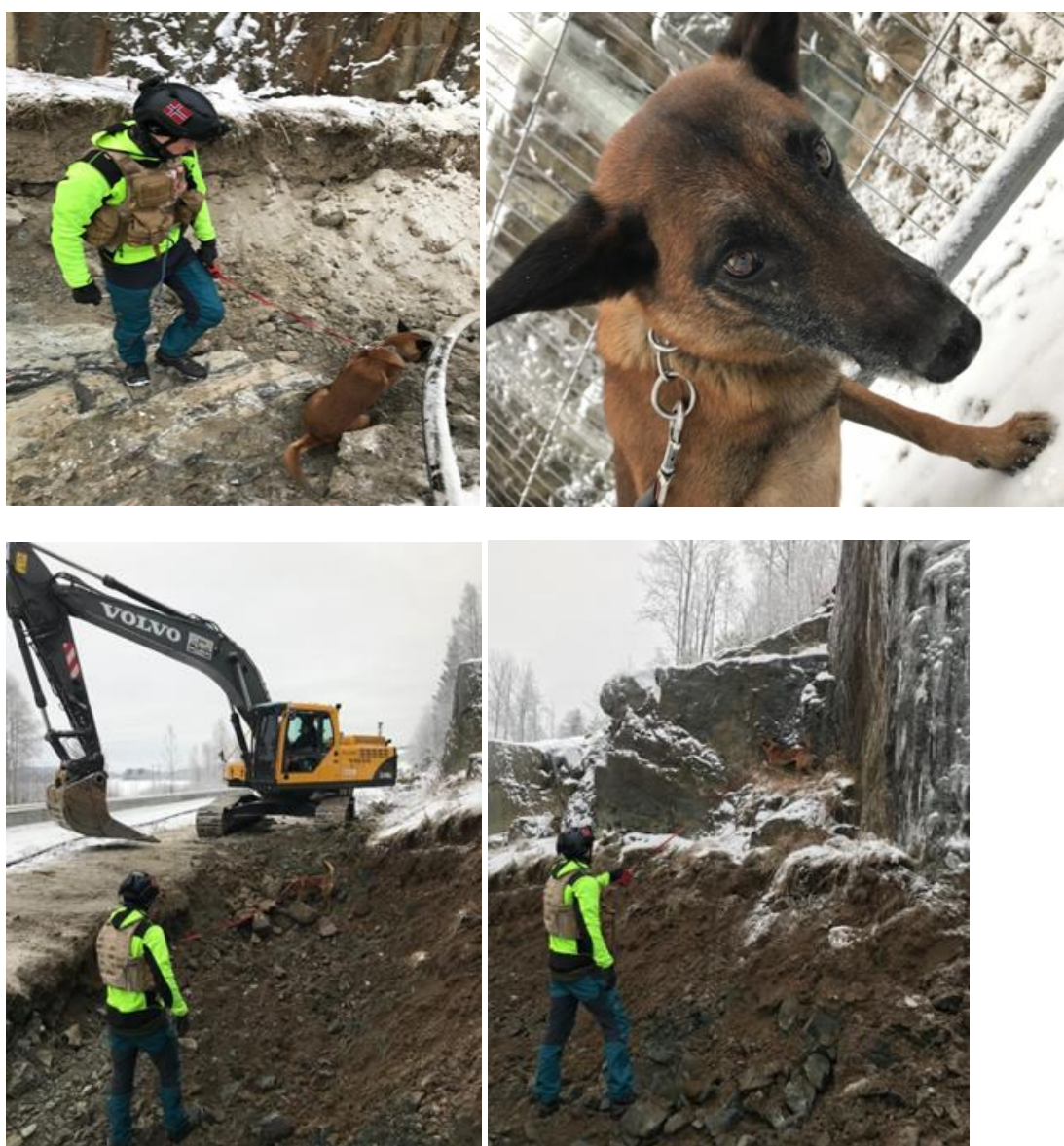
Figur 2.17a Ekebergtunnelen



Figur 2.17b Ekeberg tunnelen

2.19 Sand i Odalen

I desember 2017 ble det gjennomført søk langs Fv 24 ved Sand i Odalen i forbindelse med bygging av en gangveg, Figur 2.18. Her var det blitt byggestopp på grunn av funn av forsager. Søk med hund ble satt inn som tiltak for å lete etter andre forsagere slik at arbeidet kunne fortsette. På grunn av lave temperaturer og økt risiko ble det iverksatt bruk av splintvest på hundeførerne. Temperatur har innvirkning på damptrykket til sprengstoffet, og lave temperaturer vil kunne vanskeliggjøre deteksjonen av sprengstoffet. Søkene ble gjennomført som områdesøk og sanering. Det ble tre markeringer på udetonert sprengstoff, og én prøve ble tatt med til FFI.



Figur 2.18 Søkoppdrag ved Sand i Odalen

2.20 Støleheia

Grunnen ved Kristiansand transformatorstasjon ble gjennomført i august 2013 i forbindelse med at det der ble funnet eksplosiver under gravearbeider. Søket der er ikke en del av oppdraget mot Statens vegvesen, men det nevnes allikevel i denne rapporten. Det er nå gravd opp på de stedene der hundene den gang markerte, og det er tatt med en prøve til FFI for å analysere det som nå er funnet på et av disse stedene.

3 Dynamitter og forsagere

Dynamitt er en samlebetegnelse på en type sivile sprengstoffer. De første dynamittblandinger inneholdt nitroglyserin (NG) som hovedingrediens og virkestoff. Sammensetningen av dynamitter er endret opp gjennom tidene av hensyn til sikkerhet, miljø og bruksområder. I dag utgjør ammoniumnitrat (AN) og etylenglykol dinitrat (EGDN) hovedingrediensene til dynamittene. Fortsatt er det NG i enkelte blandinger, og det kan forekomme mindre mengder med trinitrotoluen (TNT) (Tabell 3.1). Dinitrotoluen (DNT) ble benyttet i eldre dynamitter, men benyttes ikke lenger på grunn av at forbindelsen er giftig og kreftfremkallende. Små mengder av ulike varianter av DNT kan være bestanddeler i TNT fordi TNT kan brytes ned til DNT over tid, samt at det kan forekomme rester av DNT fra framstillingsprosessen til TNT.

Det er først og fremst de nevnte sprengstoffene en vil identifisere og kvantifisere når rester av dynamitter skal analyseres for kjemisk innhold. I tillegg til sprengstoffene inneholder dynamittene også en del inerte stabilisatorer og fyllstoffer som blant annet voks og treflis. Disse stoffene vil ikke bli gjenstand for analyse i denne omgang.

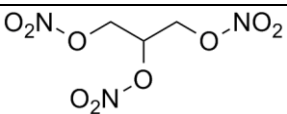
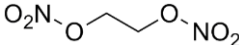
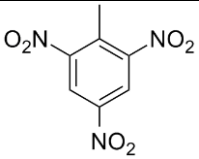
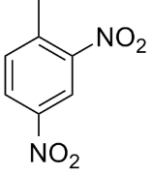
Mengden av et stoff i gassform over en væske eller et fast stoff, er avhengig av damptrykket til stoffet. Et høyere damptrykk gir flere molekyler i lufta som hundene kan få inn i luktorganet ved sniffing. Av sprengstoffene som er i dynamitter er det EGDN og NG som har høyest damptrykk, mens TNT og AN har lavest damptrykk [3]. Damptrykk er derfor en viktig egenskap ved et stoff med hensyn til evnen til å bli detektert av hundene. Det kan allikevel ikke fastslås om det er stoffet med høyest damptrykk som enklest blir detektert. En av hensiktene med prosjektet er å forstå mer av disse mekanismene og hva som gjør at et stoff detekteres.

I tunnelene eller på veganlegg der hundene søker kan det forventes å bli funnet alle typer dynamitter med ulike sammensetninger fordi tunnelene og veiene er bygd til forskjellige tider, og det er brukt ulike typer dynamitter. På eldre anlegg kan det ha forekommet anleggsarbeider med bruk av sprengstoff også på senere tidspunkter, slik at det også der kan forventes å finne nyere dynamitter.

Dynamittene vil ha gjennomgått ulik aldring avhengig av hvor de har ligget siden de ble benyttet. Tilstanden til de ulike dynamittrestene og forsagerne må forventes å variere avhengig

av tiden og de lagringsforholdene de har gjennomgått. Innesluttethet og eksponering mot luft og vann vil påvirke aldringsprosessen og degraderingen av dynamittene. Disse faktorene vil også ha betydning for hvordan følsomheten til dynamittene forandrer seg med tiden. Om dynamitten er godt bevart, kan det antas at følsomheten er lite endret. Om bestanddeler vaskes ut eller fordamper, vil sammensetningen endres, og følsomheten kan påvirkes. Selv om en dynamitt er gammel, kan tilstanden og sammensetningen være ganske intakt hvis dynamitten har ligget et sted med stabil temperatur og uten tilgang på luft, vann eller fuktighet. Siden sammensetningen til dynamittene endres med tiden og etter forholdene den er lagret under, vil dette også kunne påvirke deteksjonen av dynamittene.

Tabell 3.1 Sprengstoffer benyttet i dynamitter

Sprengstoff	Kjemisk formel	Molekylstruktur
NG	$C_3H_5(NO_3)_3$	
EGDN	$C_2H_4(NO_3)_2$	
TNT	$C_7H_5(NO_2)_3$	
DNT	$C_7H_6(NO_2)_2$	
AN	NH_4NO_3	$[NH_4]^+ [NO_3]^-$

4 Undersøkte prøver

I 2016 ble det startet karakterisering av prøver som ble tatt i 2016. Dette var termisk analyse med bruk av differential scanning calorimetry (DSC) [1]. I 2017 har karakteriseringen blitt utvidet med kjemisk analyse for å bestemme innholdet i prøvene. Derneft er følsomheten mot slag og friksjon blitt målt. Arbeidet i år har derfor bestått av en videreføring av analyser av prøver tatt i 2016 og deretter analyse av alle prøver tatt i 2017.

I 2017 er det kommet inn to prøver fra Sandvikatunnelen, to prøver fra Nordbyttunnelen, to prøver fra Bagn, en prøve fra Ekebergttunnelen, tre prøver fra Gudvangatunnelen og en prøve fra Sand i Odalen. I tillegg er prøven fra Støleheia inkludert i karakteriseringen. Bilder av prøvene er gitt i Figur 4.1–Figur 4.12, og en oppsummering av beskaffenheten til prøvene er gitt i Tabell 4.1. Prøvene som ble tatt i 2016 er beskrevet i FFI-rapport 17/16509 [1].

Prøvene er ulike med hensyn på konsistens og farge. Noen av prøvene ser relativt intakte ut, mens andre ser ut til å være uttørket og degradert. At en prøve er tørr tyder på at de flytende delene av blandingen er fordampet eller vasket ut. Variasjonen mellom prøvene viser at de opprinnelig kommer fra ulike typer dynamitter og at de har vært utsatt for ulike forhold med tanke på aldring og oppbevaring. Relativt intakte prøver har antakelig ligget godt innesluttet uten tilgang på luft eller fuktighet. Degraderte prøver kan ha ligget i åpne borehull og kan ha vært utsatt for luft, og kanskje gjentatte omganger med drenering og uttørking. De aller fleste prøvene har en karakteristisk lukt av dynamitt, som mennesker også lett kan gjenkjenne.

Tabell 4.1 Beskrivelse av prøver tatt i 2017.

Prøve	Beskrivelse
H17-1 Sandvika	Svart, brunaktig masse omsluttet av mulig opprinnelig hvitt papir. Antageligvis mye grus og småstein i prøven.
H17-2 Sandvika	Orangebrun smørebar masse i gult plastrør.
H17-3 Nordbytunnelen	Rødt, tørt stoff, muligens iblandet svart grus, omsluttet av mulig hvitt papir.
H17-4 Nordbytunnelen	Gulhvitt stoff med oransjerød prikker i et gult plastrør. Stoffet er smørbart og ganske flytende.
H17-5 Bagn–Bjørgo	Brunrød, smørebar masse pakket inn i hvitt papir.
H17-6 Bagn–Bjørgo	Rødbrun, tørt stoff, festet i papir, mulig rødt.
H17-7 Ekeberg tunnelen	Orangebrun, halvflytende masse.
H17-8 Gudvangatunnelen	Tørt, brunbeige pulver.
H17-9 Gudvangatunnelen	Mørkebrun masse, mulig noe væske i den.
H17-10 Gudvangatunnelen	Rustrødt stoff med lange hvite fibre/tråder.
H17-11 Sand i Odalen	Mørkebrun smørebar masse som utsondrer væske.
H17-12 Støleheia	Brun masse, litt kittaktig



Figur 4.1 Prøve H17-1 fra Sandvikatunnelen



Figur 4.2 Prøve H17-2 fra Sandvikatunnelen



Figur 4.3 Prøve H17-3 fra Nordbytunnelen



Figur 4.4 Prøve H17-4 fra Nordbytunnelen



Figur 4.5 Prøve H17-5 fra Bagn –Bjørgo



Figur 4.6 Prøve H17-6 fra Bagn –Bjørgo



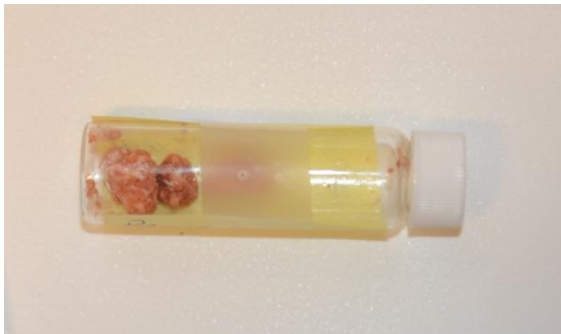
Figur 4.7 Prøve H17-7 fra Ekeberg tunnelen



Figur 4.8 Prøve H17-8 fra Gudvangatunnelen



Figur 4.9 Prøve H17-9 fra Gudvangatunnelen



Figur 4.10 Prøve H17-10 fra Gudvangatunnelen



Figur 4.11 Prøve H17-11 fra Sand i Odalen



Figur 4.12 Prøve H17-12 fra Støleheia

5 Differential scanning calorimetry (DSC)

DSC er en termisk test der en liten mengde av prøven (1-2 mg) varmes opp med ønsket oppvarmingshastighet. Instrumentet registrerer varmeopptak eller varmeavgivelse fra prøven som funksjon av temperaturen, og vil gi utslag i form av topper på en kurve. F. eks. vil endotermiske reaksjoner som smelting og faseforandringer i et stoff kreve energi, og stoffet vil oppta varme. Når et stoff dekomponerer eller omsettes, vil det avgi varme i en eksoterm reaksjon.

En DSC-analyse vil kunne gi informasjon om faseforandringer i et stoff og ved hvilke temperaturer det skjer. Ved sammenlikning av data fra litteraturen, eller fra egne analyser, vil en kunne identifisere forbindelser utfra målinger med DSC. I blandinger der det inngår flere forbindelser, kan karakteriseringen bli vanskelig da stoffene i blandingen kan interferere og påvirke

hverandre. Hvis et av stoffene starter å dekomponere, kan hele prøven bli antent og dekomponere. Når mengden av et stoff i en blanding er lav, kan energiutslaget for faseforandringen bli for lavt til å synes på kurven. Grafer fra blandinger kan av slike årsaker bli vanskelig å tolke.

En oppsummering av resultater fra termiske tester med DSC er vist i Tabell 5.1. Det er målt minst to paralleller av hver prøve, og verdiene gitt i tabellen er gjennomsnittet av parallellene. Utskrift av kurver fra analysene av én parallell av hver prøve er gitt i vedlegg A.

Flere av prøvene hadde én eller flere små utslag på kurvene som det var vanskelig å tolke om de var endoterme eller eksoterme. Flere av prøvene har også en drift i baselinjen. Dette kan skyldes fordampning fra prøven under analysen enten fra stoffer i blandingen med høyt damptrykk eller fra ingredienser som har smeltet i løpet av temperaturøkningen. Ideelt sett bør slike prøver analyseres med hermetisk lukkede kopper for å hindre avdampning. F. eks. smelter TNT ved ca. 80 °C, og det foregår avdampning etter at stoffet er smeltet.

Prøve H16-12, som er ren AN, har 4 endoterme toppen på grunn av faseforandringer. Prøvene H16-1 og H16-2 har to av de samme endoterme toppene, men deretter dekomponerer de to prøvene ved ca. 170 °C, som gir utslag i en eksoterm topp. Det er nærliggende å anta at H16-1 og H16-2 inneholder AN på grunn av de endoterme toppene. Den kjemiske analysen bekrefter at prøvene inneholder AN, se kapittel 6.2. Innhold av EGDN er årsak til at prøvene starter dekomponering ved 170 °C, og det blir fravær av de endoterme toppene til AN ved høyere temperaturer.

H17-4 og H17-7 inneholder også AN og EGDN, men med andre konsentrasjoner enn H16-1 og H16-2. DSC-kurvene er ganske forskjellige for disse fire prøvene. Dette kan skyldes ulike mengdefordelinger av stoffene, men prøvene kan også inneholde andre stoffer enn dem som er identifisert og som kan påvirke forløpet i den termiske testen.

Som illustrert ved eksemplene over, kan DSC-analysene gi visse indikasjoner på sammensetningen. Dataene viser om prøvene har en eksoterm reaksjon og ved hvilken temperatur det skjer. Preparering av prøver til DSC-analyse er enkelt. Testen kan raskt gi indikasjoner på hva prøven kan bestå av før man får gjennomført kjemisk analyse. Testen krever små prøvemengder (1-2 mg for eksplosiver), men ved heterogene prøver kan dette gjøre det vanskelig å få et representativt uttak av prøven.

H17-1, H17-2 og H17-8 har ingen eksoterme reaksjoner, men disse prøvene inneholder totalt veldig lave mengder av de målte sprengstoffene.

Tabell 5.1 Resultater fra termisk analyse av dynamittprøver på DSC.
De gitte temperaturene er toppunktet på kurvene.

Prøvenummer	Endoterm (°C)	Eksoterm (°C)
H16-1	53, 127	172, 198
H16-2	54, 127	171, 194
H16-6	101	203
H16-7		201
H16-12	53, 127, 170, 254	
H16-17		200
H16-18		198
H17-1	58*	
H17-2	79, 98	
H17-3	69, 153,	199, 274, 337
H17-4	58, 139, 155, 211	292
H17-5	103, 112, 124, 163	204, 268*
H17-6		209
H17-7	126, 149	191, 251, 314*, 332
H17-8	82	
H17-9	68, 138	198, 314*, 360*
H17-10	62, 167, 181	201, 285, 347
H17-11	126, 142	183
H17-12		107, 166

*Utslag på kurver som det var vanskelig å tolke

6 Kjemisk analyse

6.1 Generelt om teknikkene

Flere teknikker og analyseinstrumenter kan benyttes for å undersøke innholdet av kjemiske forbindelser i en prøve. De mest benyttede teknikkene for analyse av eksplosiver er gass- eller væskrokromatografi i kombinasjon med massespektrometri (MS). Kromatografi benyttes for å separere de ulike forbindelsene i prøven, mens MS benyttes til å bestemme hvilken type

forbindelse det er snakk om, samt mengden av dem. Hvilken kromatografiteknikk som benyttes er avhengig av egenskapene til forbindelsen som skal bestemmes. Generelt er gasskromatografi (GC) best egnet til å analysere flyktige og halvflyktige organiske forbindelser, mens mer vann-løselige forbindelser kan analyseres med væskechromatografi (LC). Begge teknikkene forutsetter at forbindelsene som skal bestemmes er i en løsning. For analyse av faste prøver, må komponentene derfor på forhånd ekstraheres ut i egnede løsemidler.

Med gasskromatografi varmes løsningen opp, og stoffene som skal analyseres vil fordampe og vandre gjennom instrumentet i gassform. Med væskechromatografi transporteres stoffene gjennom instrumentet når de er løst i løsemiddelet. I begge tilfeller vil ulike stoffer vandre med ulik hastighet gjennom instrumentet, og dermed ankomme massespektrometeret på ulike tidspunkt. I massespektrometeret bestemmes den kjemiske strukturen og mengden av forbindelsene. Resultatene fra GC-MS og LC-MS kan vises i såkalte kromatogrammer, der hver forbindelse gir utslag i form av en topp. Tiden for toppene indikerer hvor lang tid stoffene bruker gjennom instrumentet, mens høyden på toppene indikerer hvor mye det er av dem. To forbindelser som har samme konsentrasjon kan likevel gi svært forskjellige topphøyder, og toppene må derfor sammenliknes med standarder som inneholder kjente mengder for nøyaktig bestemmelse av konsentrasjon i prøven.

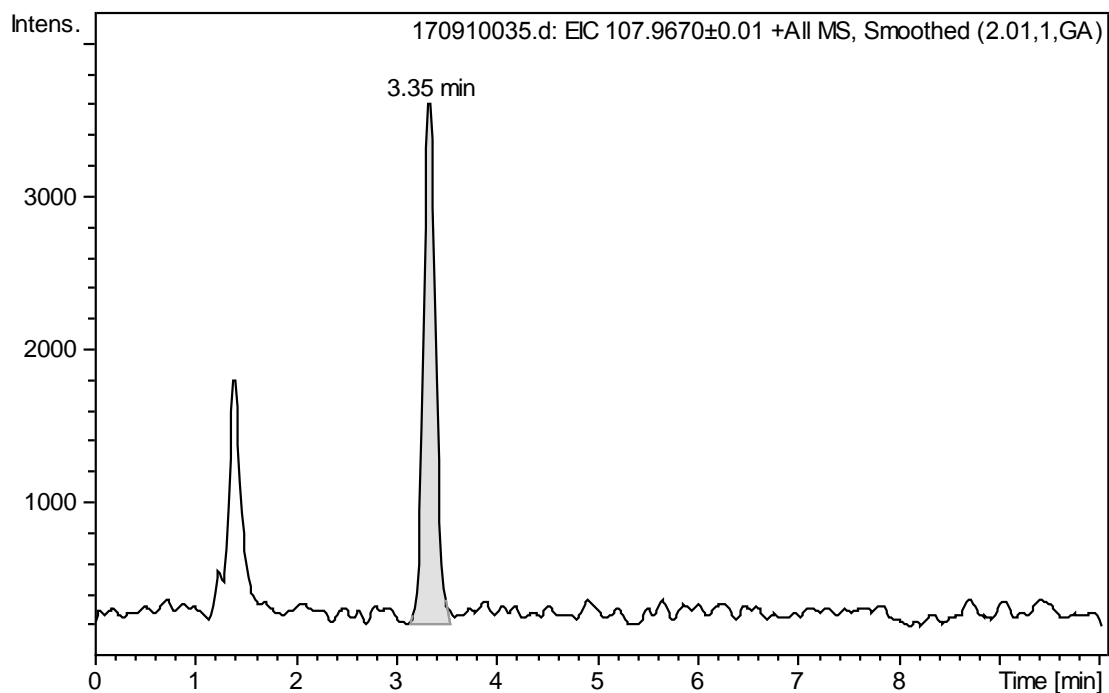
Informasjon om sammensetninger av ulike dynamitter de siste 50-60 årene er benyttet som utgangspunkt for å analysere de innkomne prøvene. De forbindelsene som forventes å finnes i prøvene er AN, EGDN, NG, TNT og ulike DNT-er. NG og EGDN er organiske nitratestere, og TNT og DNT-ene er nitroaromater. AN er et nitratsalt, som er løselig i vann og som kan analyseres med LC-MS. De andre stoffene er organiske og mindre løselige i vann og vil kunne analyseres med GC-MS.

6.2 Prøveopparbeidelse og analyse

Hver prøve ble veid inn i seks paralleller på 10-80 mg. Tre av parallellene ble tilsatt acetonitril (ACN), mens de tre andre ble tilsatt ionebyttet vann, alle i mengder på 0,1 mL/mg prøve. Prøvene ble ekstrahert i 30 min med ristehastighet 1500 rpm, og satt til oppbevaring i kjøleskap i minimum 2 timer for å skille ekstraktet fra uoppløst stoff. Ekstraktene ble deretter filtrert med 0,45 µm filter, og oppbevart ved 4 °C fram til analyse. Det gjenværende faste stoffet etter ekstraksjon med ACN ble lufttørket i minimum 3 dager og veid.

ACN-ekstraktene ble fortynnet 1:20 i diklormetan og analysert for innhold av eksplosiver med GC-MS. For kvantitative målinger ble det laget nye fortynninger i diklormetan, der graden av fortynning var avhengig av konsentrasjonen av de ulike komponentene. Konsentrasjonen av forbindelsene ble beregnet basert på etablerte kalibreringskurver for TNT, 2,4-DNT, 2,6-DNT, NG og EGDN. Dodekan (C12-alkan) ble brukt som internstandard i kalibreringsløsninger og prøver.

Vannekstraktene ble fortynnet 1:100 i ACN/ionebyttet vann (80/20), og undersøkt for innhold av nitrat med LC-MS. De prøvene som inneholdt nitrat ble fortynnet ytterligere 1:100 og analysert på nytt for bestemmelse av konsentrasjon. Kvantitative beregninger ble utført basert på etablert kalibreringskurve for nitrat.



Figur 6.1 Kromatogram for nitrat

6.3 Resultater sammensetning

Figur 6.1 viser eksempel på et kromatogram fra analyse med LC-MS, og i dette kromatogrammet vises signalet av nitrat for en av parallellene for prøve H16-16 (fortynnet 2x1:100). Resultatene fra kjemisk analyse av alle prøvene er vist i Tabell 6.1. Resultatene viser at det er stor spredning i sammensetning av dynamittprøvene, både når det gjelder typer og mengder av de ulike sprengstoffene. Prøvene ser ut til å kunne komme fra både gamle og nye dynamitter samt at tilstanden til prøvene er varierende på grunn av ulik aldring og degradering. Resultatene bekrefter det en antar ut ifra beskaffenheten på prøvene.

Bortsett fra i prøve H17-2, hvor det kun er påvist en liten mengde AN (0,10 %), opptrer AN alltid sammen med EGDN i prøvene. Videre ser det ut til at prøver med AN stort sett ikke inneholder noen av de andre sprengstoffene. Unntaket er prøve H17-9 som har til sammen 12 % av ulike DNT-er, og prøve H17-11 som inneholder over 80 % NG. AN er vannløselig, og lave mengder av AN i en prøve, kan bety at AN er vasket ut fra prøven.

I LC-MS-analysen er det analysert for innhold av nitrationset NO_3^- . Siden mange dynamitter inneholder AN, antas det at nitrationset korresponderer med ammoniumionet NH_4^+ , og det beregnes et innhold av AN fra nitratkonsentrasjonen. Nitrationset kan også stamme fra natriumnitrat (NaNO_3) som er bestanddel i noen typer dynamitter. Foreløpig er det ikke foretatt analyse

for natriumionet eller andre kationer som kan utgjøre forbindelser med nitrationsnet. For å få til det må det etableres en metode for kationedeteksjon og kvantifisering av det aktuelle kationet.

EGDN er påvist i de fleste prøvene, og kun tre av prøvene inneholder ikke denne forbindelsen (H16-17, H17-1 og H17-2). Mengden av EGDN i prøvene varierer fra 0,005 til 35 %. Lavt innhold av EGDN i en prøve kan bety at forbindelsen har fordampet fra prøvene eller er blitt vasket ut. EGDN er et lettflyktig stoff og har det høyeste damptrykket av de sprengstoffene som er benyttet i dynamittblandingen.

H16-17 inneholder hverken AN eller EGDN, men alle de andre sprengstoffene er funnet i denne prøven. Høyest konsentrasjon er det av NG (37 %) i H16-17 og til sammen 25 % av 2,6-DNT og 2,4-DNT.

I H17-1, H17-2, H17-6 og H17-8 er det kun påvist små mengder av en eller to av de aktuelle sprengstoffene. Prøve H17-1 bestod for det meste av en ubestemmelig svart masse av grus og rester av papir som har omsluttet dynamittladningen. Denne prøven er muligens veldig utvasket. De tre andre prøvene ser relativt intakte ut og kan være en annen type sprengstoff som det ikke er tatt høyde for og som inneholder stoffer som ikke er analysert.

NG er målt i 9 av prøvene. Mengden NG varierer mellom 1,4 og 83 %, og 6 av prøvene inneholder mer enn 16 %. TNT er funnet i 5 av prøvene og i relativt små mengder mellom 0,10 og 4,4 %.

9 av prøvene inneholder to eller flere DNT-er, og tre prøver inneholder alle de 5 typene som er identifisert. 2,4-DNT er den DNT-forbindelsen det er mest av i prøvene. Prøver som inneholder mye DNT, er mest sannsynlig eldre typer dynamitt siden DNT ble benyttet i dynamitter tidligere. De små mengdene av DNT-er kan komme fra dekomponering av TNT eller det er rester fra synteseprosessen av TNT.

Når mengden av de identifiserte stoffene summeres, varierer summen fra 0,1 % til 105 %. Et beregnet innhold på over 100 % skyldes at målingene med LC-MS og GC-MS har en feilmargen på 5-10 % av den målte verdien. Tallene viser at mange av prøvene må inneholde stoffer som ikke er blitt identifisert eller har latt seg analysere med de to analysemetodene som er benyttet. Forbindelsene kan være ulike typer fyllstoffer som benyttes i dynamitter. Det er mindre sannsynlig at det er andre uidentifiserte sprengstoffer i blandingene. Det er ønskelig å undersøke nærmere hva som er i prøvene, men dette vil kreve mer analysekapasitet og metodeutvikling enn ressursene tillater innenfor rammene av dette oppdraget.

Tabell 6.1 Innhold av ulike sprengstoffer i prøver av dynamittforsagere.

Prøve	Menge (vektprosent)									Sum
	AN	EGDN	NG	TNT	2,6-DNT	2,4-DNT	3,4-DNT	2,3-DNT	2,5-DNT	
H16-1	33	29								62
H16-2	61	0,20								61
H16-6		6,9	37	4,4	7,8	15	1,1	0,80		73
H16-7		0,20	21	0,60	10	17	2,3	2,0	2,0	55
H16-17			37	0,10	9,3	14	1,2	2,1	0,6	65
H16-18		13	9,9		1,1	3,0	3,2	3,0	1,5	35
H17-1					0,50	1,3				1,8
H17-2	0,10									0,10
H17-3		1,0	1,4	0,10	6,0	55	5,0			69
H17-4	36	6,6								43
H17-5		35	27	2,1	8,4	17	1,8	1,4		93
H17-6		0,60								0,60
H17-7	23	8,0								31
H17-8	0,12	0,005								0,13
H17-9	0,21	31			2,3	8,1	0,80	0,80		43
H17-10		5,0	0,30		3,8	19	1,7	1,5		32
H17-11	19	1,9	83							104
H17-12		0,80	16							17

7 Følsomhetstester

Sprengstoffrestenes følsomhet overfor slag og friksjon er målt. Påvirkningene som prøvene utsettes for i disse to testene simulerer de påvirkningene som forsageren kan bli påført hvis det benyttes gravemaskiner eller piggeutstyr i bakken der forsagerne ligger.

7.1 Slagfølsomhet

Slagfølsomhet er målt med et BAM Fallhammer Instrument levert av OZM Research, Figur 7.1. Følsomhet for slag måles ved at et lodd slippes fra en gitt høyde ned på prøven. Kraften i slaget, gitt i Joule, er et produkt av vekten på loddet, høyden loddet slippes fra og tyngdens akselerasjon. Jo mindre kraft som trengs for å omsette stoffet, jo mer følsomt er det. 40 µL av prøven plasseres mellom to stålrør i en stålsylinder når målingen foretas. Loddet treffer det øverste stålrøret. En omsetning av prøven kan identifiseres ved at det oppstår et smell eller man

ser at det er dannet sot rundt kanten av stålrøret. Det kan i enkelte tilfeller være vanskelig å skille mellom omsetning og ikke omsetning. Tilkobling av en gassmåler som registrerer en eventuell dannelse av CO og NO ved en omsetning av prøven, hjelper til med å stadfeste type reaksjon. Målingene foretas i henhold til prosedyre beskrevet i STANAG 4489 "Explosives, Impact Sensitivity Tests" og etter Bruce-ton prosedyren hvor man finner 50 % punktet for sjansen for at prøven skal omsettes.

7.2 Friksjonsfølsomhet

Friksjonsfølsomheten er målt på et BAM friksjonsapparat fra OZM Research, Figur 7.2. Følsomheten for friksjon måles ved at prøven utsettes for en friksjonskraft når prøven ligger mellom to flater av porselen. Kraften som påføres, angitt i Newton, er avhengig av tyngden på loddet og posisjonen på stanga hvor loddet henger. Jo mindre kraft som trengs for å omsette stoffet, jo mer følsomt er det. 10 µL av materialet legges på en porselensplate under en porselensplugg som blir skjovet over prøvematerialet med den gitte kraften. En omsetning kan bevitnes ved et lite smell eller at det dannes en sotstripe på porselensplata. Tilsvarende som ved slagtesten, kan det være vanskelig å avgjøre om det er blitt en omsetning av prøven eller ikke. Også her kan man koble til en gassmåler og se en eventuell dannelse av CO og NO. Målingene foretas inntil man finner 50 % punktet for sjansen for at prøven omsettes i henhold til Bruce-ton prosedyren og STANAG 4487 "Explosives, Friction Sensitivity Tests".

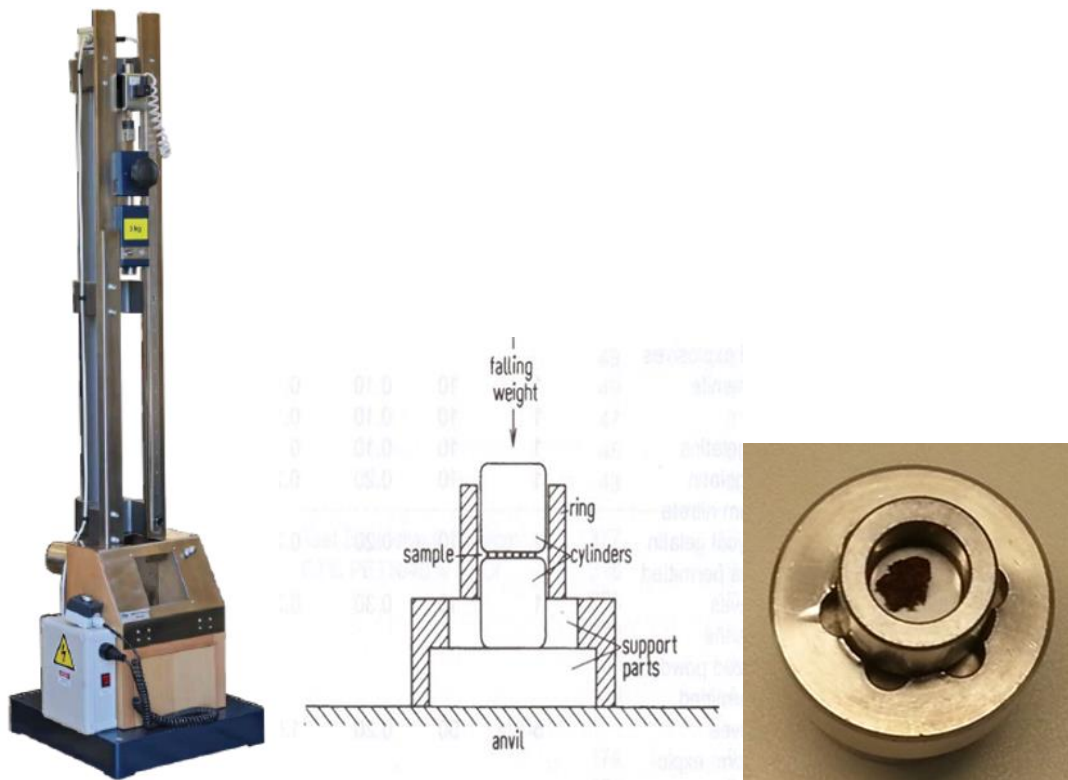
7.3 Resultater

Resultater fra måling av følsomhet til de fleste av prøvene er gitt i Tabell 7.1. De resterende prøvene er foreløpig ikke målt. Det er stor variasjon i resultatene, slik det også var for sammensetningen av prøvene.

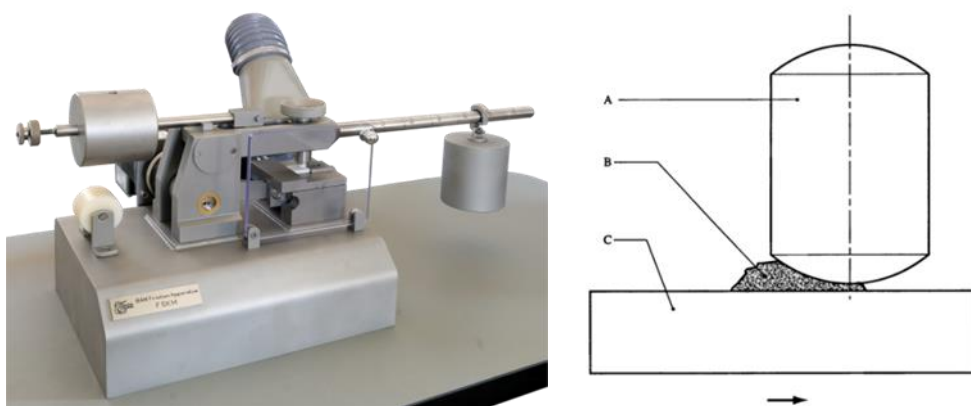
Den mest følsomme prøven for både slag og friksjon er prøve H16-17. Prøven er tørr og inneholder 37 % NG, ulike DNT-er og litt TNT. En annen prøve som er følsom for slag er H17-9, en litt fuktig prøve som inneholder 31 % EGDN, 12 % DNT-er og en liten mengde AN. Prøve H16-6 inneholder like mye NG som H16-17, men denne prøven er mindre slagfølsom med en verdi på 18 J sammenliknet med 1,5 J målt i H16-17. Følsomheten for friksjon til H16-17 og H16-6 er i samme størrelsesorden, mens H17-9 er betydelig mindre følsom for friksjon.

H17-3 er en tørr prøve med slagfølsomhet på 14 J, men friksjonsfølsomheten er lav på 156 N. Denne prøven inneholder mye 2,4 DNT (55 %), to andre DNT-er (11 %), samt små mengder EGDN og NG.

Prøve H17-6 som kun har påvist innhold av 0,6 % EGDN, har ikke gått av i slagtesten og den er lite følsom for friksjon. To andre prøver som ikke har blitt omsatt i fallhammertesten er H16-18 og H17-4, med henholdsvis 13 og 7 % EGDN, men ellers ulike sammensetninger.



Figur 7.1 Utstyr for å måle slagfølsomhet. (Bilder hentet fra OZM Research).



Figur 7.2 Utstyr for å måle friksjonsfølsomhet. (Bilder hentet fra OZM Research).

Som resultatene viser kan svært forskjellige sammensetninger gi tilnærmet samme følsomhet. Det kan imidlertid se ut som om prøver med AN er mindre følsomme enn de uten AN. Men ikke alle prøvene er testet ennå, og det må flere målinger til for å se etter sammenheng mellom innhold og følsomhet.

Ren TNT anses å være lite følsom for slag og friksjon. Friksjonsfølsomheten er større enn 360 N, som er utenfor skalaen til instrumentet, og slagfølsomheten er 30 J. PETN er en av de mer

følsomme militære sprengstoffene med friksjonsfølsomhet på 60 N og slagfølsomhet på 5 J. Flere av prøvene har dermed en følsomhetsverdi som karakteriseres som følsom.

Det er viktig å være klar over at prøvene kan være følsomme uansett hva de består av og hvordan tilstanden på dynamittene er i dag. Dette synes å være uavhengig av opprinnelig komposisjon og type dynamitt, og hva dynamittene måtte ha gått gjennom av aldring.

Tabell 7.1 Følsomhet for slag og friksjon av utvalgte prøver.

Prøve	Slagfølsomhet (J)	Friksjonsfølsomhet (N)
H16-1	27	156
H16-2	18	156
H16-6	18	90
H16-7	> 50	104
H16-17	~ 1,5	84
H16-18	> 100	107
H17-2	Ennå ikke målt	$288 < x < 360$
H17-3	14	156
H17-4	> 100	152
H17-5	24	91
H17-6	> 100	270
H17-9	6	$168 < x < 192^*$

*For lite prøvemateriale til å fullføre Bruceton-test.

8 Luktbilde fra dynamitt

Hundene har markert ca. 200 steder for dynamitt, og det er tatt med totalt 18 prøver til FFI i løpet av oppdraget. Karakterisering og analyse av prøvene har vist at det er store forskjeller i sammensetningen. Et formål med å kartlegge sammensetningen til prøvene, var om mulig å finne en enkelt forbindelse som er kilde til det stoffet hundene detekterer når de finner dynamittrestene. Kjemisk analyse viser så langt at prøvene ikke inneholder et stoff som er i alle prøvene. Selv om nesten alle prøvene inneholder EGDN, er det også tre prøver som ikke inneholder EGDN. Det er en mulighet for at det kan ha vært EGDN også i de prøvene, men at den er vasket ut eller er fordampet. Prøvene kan derfor muligens inneholde små restmengder av EGDN som ligger under deteksjonsgrensa til analyseinstrumentet, men som hundene har detektert.

Det er ikke fullt ut forstått hvordan luktorganet til hunder fungerer. Kunnskap om dette er viktig for hvordan hundene skal læres opp for å kjenne igjen og detektere en blanding med stoffer. Det er nærliggende å anta at hundene bør trenes opp på ett av stoffene i blandingen, gjerne det med høyest damptrykk, da dette stoffet vil ha flest molekyler i luften over blandingen. Resultater fra forsøk der hunder var lært opp på sprengstoffblandingen C-4, viste at hundene ikke responderte på luktprøver av de mest flyktige stoffene som var i sprengstoffet [4].

Hvis hundene ikke selekterer på enkeltstoffer, kan det være en kombinasjon av stoffer som utgjør luktbildet som blir detektert. Det erfarer at dersom hundene skal detektere et luktbilde bestående av flere stoffer, bør innlæringen av hundene foregå så nær opp til blandingen som mulig [5]. På engelsk benyttes benevnelsen en "bukett med lukter" når det er flere lukstoffer til stede. Om man skal gå for opplæring av enkeltstoffer eller hele bukettene, kan muligens også være avhengig av hvilke stoffer det er snakk om slik at det ikke bare er én fasit for hvordan dette skal løses.

Erfaringen så langt i dette prosjektet er at dynamittene utgjør en bukett med lukter siden det er så store variasjoner i mengder og type av sprengstoffer i de markeringene og funnene som er gjort. Før oppdragene startet var hundene lært opp på væsken som var svettet ut av dynamitter og som var løst i vann. Noen av hundene var også lært inn på ulike kvaliteter av TNT. Dette har gitt hunder som har svært god kompetanse på å detektere dynamitter. Gjennom oppdragene har hundene blitt drillet i luktbilder fra dynamitter, og kompetansen har på denne måten blitt forsterket og videreutviklet.

Når hunden får molekyler av et stoff i nesa og opp til luktesensorene, er dette molekyler som befinner seg i luften. Det som er analysert her er hvilke stoffer som er bestanddeler i prøvene. Stoffene i luften over prøvene, kan være ingredienser i dynamittene i gassform eller det kan være dekomponeringsprodukter fra bestanddelene, eller en kombinasjon av disse. Avhengig av hvor prøven befinner seg, kan hundene få i seg stoffene via flere ruter. Stoffene kan være både i gass-, væske- og fastform, og de kan være bundet til jord, støv, dråper og partikler. Det er mange faktorer som påvirker luktbildet.

Det er ønskelig å kunne undersøke nærmere hvilke stoffer som er i luften over de dynamittprøvene som hundene har detektert. Gassmolekyler kan samles opp på adsorberende materialer i egnede rør. Mengde molekyler som tas opp i røret reguleres ved hjelp av mengden luft som suges gjennom røret, noe som bestemmes av volumstrøm og oppsamlingstid. På laboratoriet kan rørene analyseres for innhold med en GC-MS. Denne er da tilkoblet en termodesorbsjonsenhet som varmer rørene hurtig for å frigjøre adsorberte komponenter. Det planlegges å gjøre innledende forsøk med å samle damp fra prøver som allerede er analysert for innhold av eksplosiver. Deretter vil det bli tatt gassprøver der hundene markerer under søksoppdrag og senere av prøvene som graves fram og hvor innholdet analyseres.

En ukjent og kanskje viktig faktor er de stoffene i dynamittene som ikke er blitt identifisert. Organiske stoffer som mykgjørere og stabilisatorer er gjerne forbindelser som er flytende og har høyere damptrykk enn mange av de faste sprengstoffene som benyttes i dynamitter. Dersom dynamittene inneholder noen slike tilsatsstoffer, kan de være stoffer med høyere luktpotensiale. I eldre, tørre dynamittprøver vil slike stoffer ofte være vasket ut eller fordampet.

9 Konklusjon

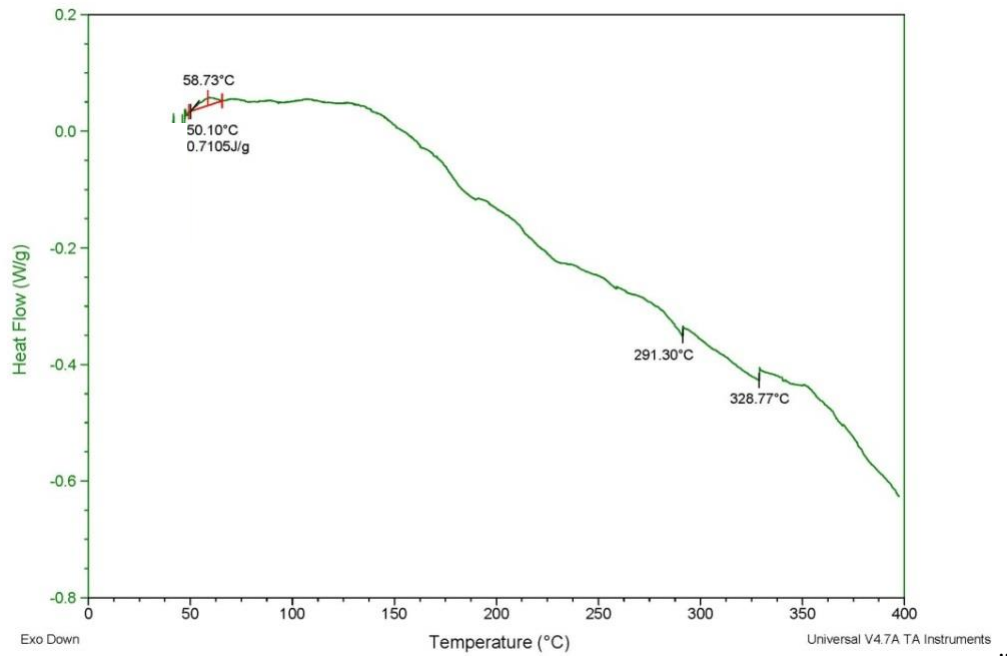
I 2017 ble det gjennomført 232 oppdragsdøgn med hunder for å søke etter eksplosiver i anleggsbransjen. 14 tunneler ble gjennomført, og det er søkt langs flere veger. Etterspørselen etter søketjenesten øker ettersom bransjen får kjennskap til kapasiteten. Hundene har markert for rester av eksplosiver ved 197 tilfeller og hvorav 115 av markeringene ble gjort i Gudvangatunnelen.

Det er tatt med forskjellige prøver av dynamittfunn for å gjenspeile mangfoldet av hva som finnes av rester og for å dokumentere variasjonen av hva hundene finner. Prøvenes beskaffenhet er svært ulik både med hensyn på farge, tilstand og konsistens. Analyser viser at det er stor variasjon i sammensetningen. Prøvene inneholder ulike mengder av sprengstoffene AN, NG, EGDN, TNT og ulike typer DNT-er. Prøvene stammer fra ulike typer dynamitter som er benyttet av anleggsbransjen fra 1950-tallet og frem til nå. Forskjeller i lagring og aldring har resultert i at tilstanden til prøvene er veldig forskjellig. Den målte sammensetningen i dynamittprøvene gjenspeiler nødvendigvis ikke sammensetningen av dynamittene da de ble benyttet.

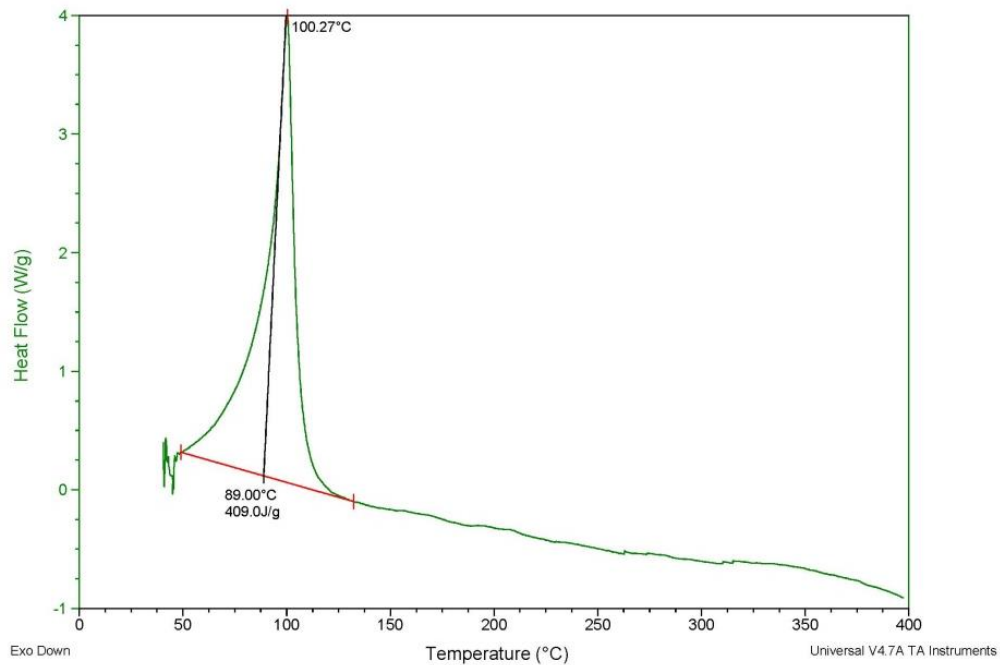
Følsomheten til prøvene varierer stort, og noen av prøvene er veldig følsomme for slag. Prøver som inneholder AN ser ut til å være mindre følsomme, men ellers er det foreløpig ikke funnet sammenheng mellom eksplosivinnholdet og følsomhetsdataene. Det må utvises varsomhet ved alle typer funn av dynamittrester.

Før oppdragene var hundene lært opp til å lukte væske utsondret fra dynamitter samt ulike kvaliteter av TNT. Dette har gitt godt grunnlag for alle markeringene som er gjort. Analyse av prøvene har ikke gitt svar på hvilke stoffer hundene detekterer i sin "dynamittluk". Gassfasen over prøvene er ikke analysert, og videre arbeid med analyse av denne dampfasen kan gi mer informasjon om hva det er hundene lukter.

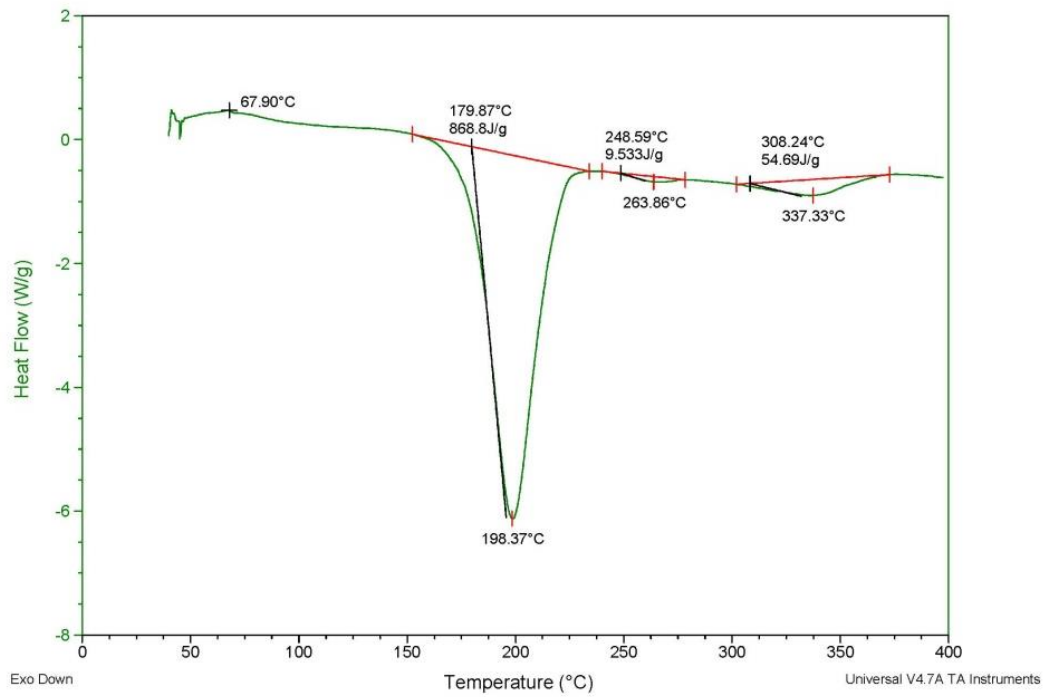
A DSC-kurver til dynamitter



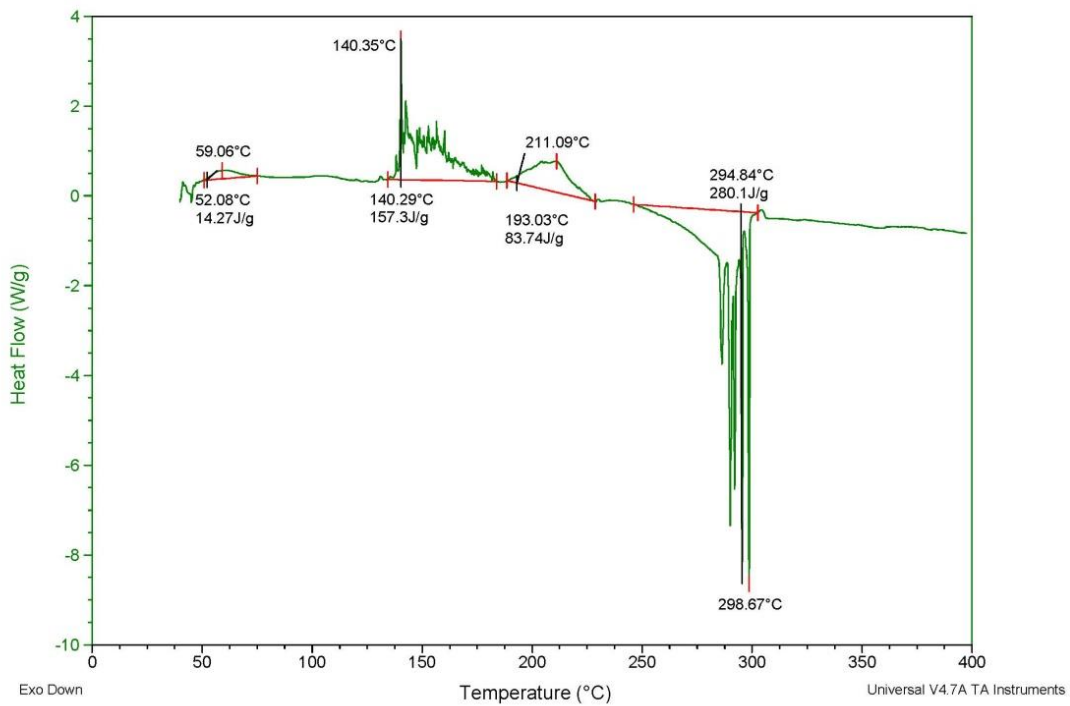
Figur A.1 DSC-kurve til prøve H17-1 fra Sandvika.



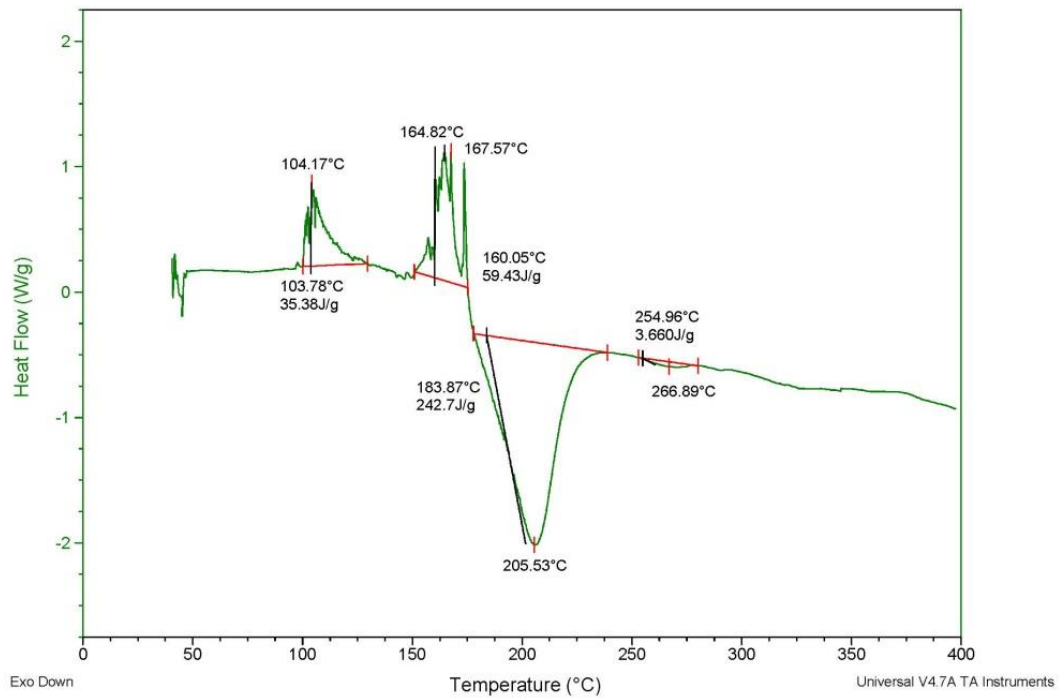
Figur A.2 DSC-kurve til prøve H17-2 fra Sandvika.



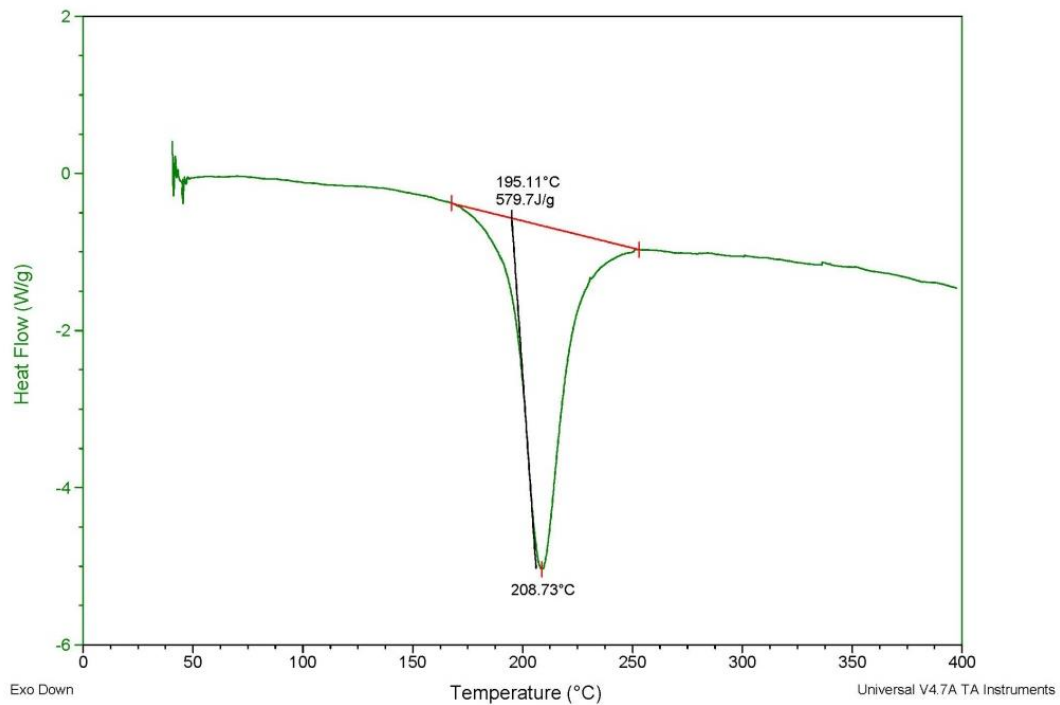
Figur A.3 DSC-kurve av prøve H17-3 fra Nordbytunnelen.



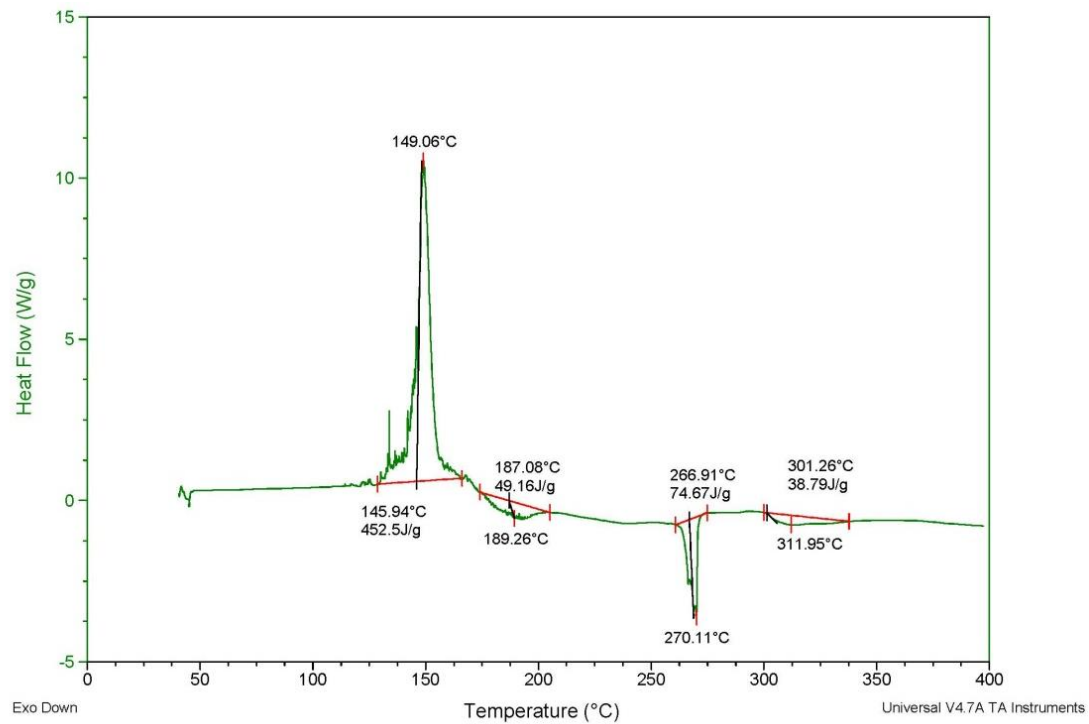
Figur A.4 DSC-kurve av prøve H17-4 fra Nordbytunnelen.



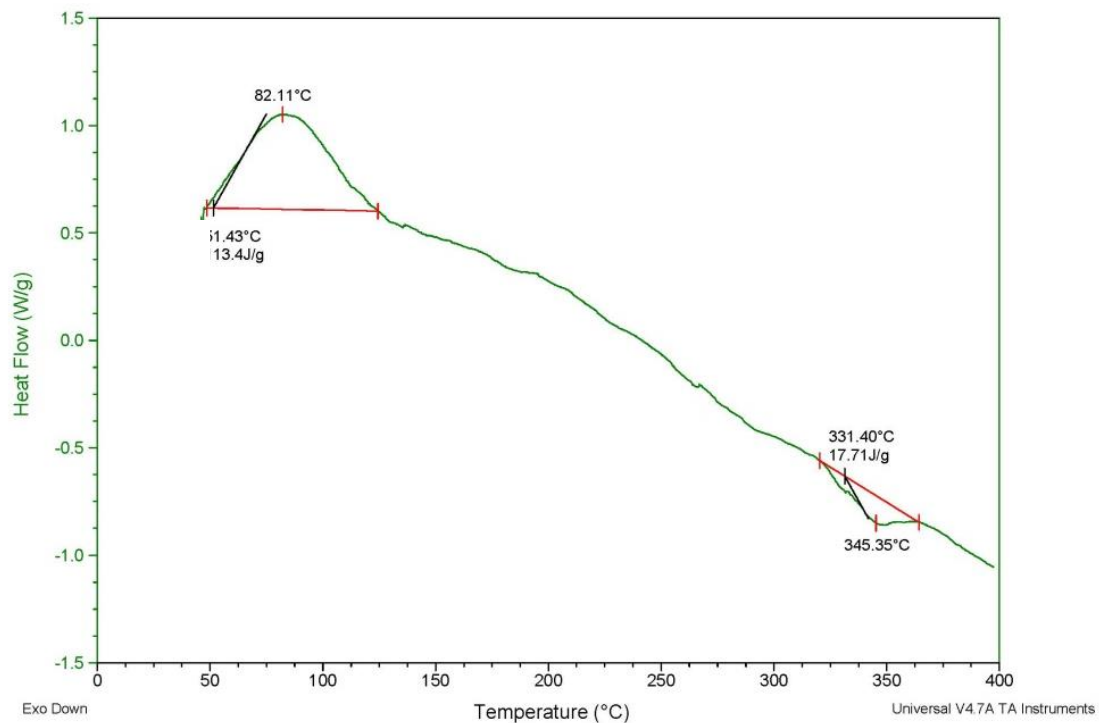
Figur A.5 DSC-kurve av prøve H17-5 fra Bagn – Bjørgo.



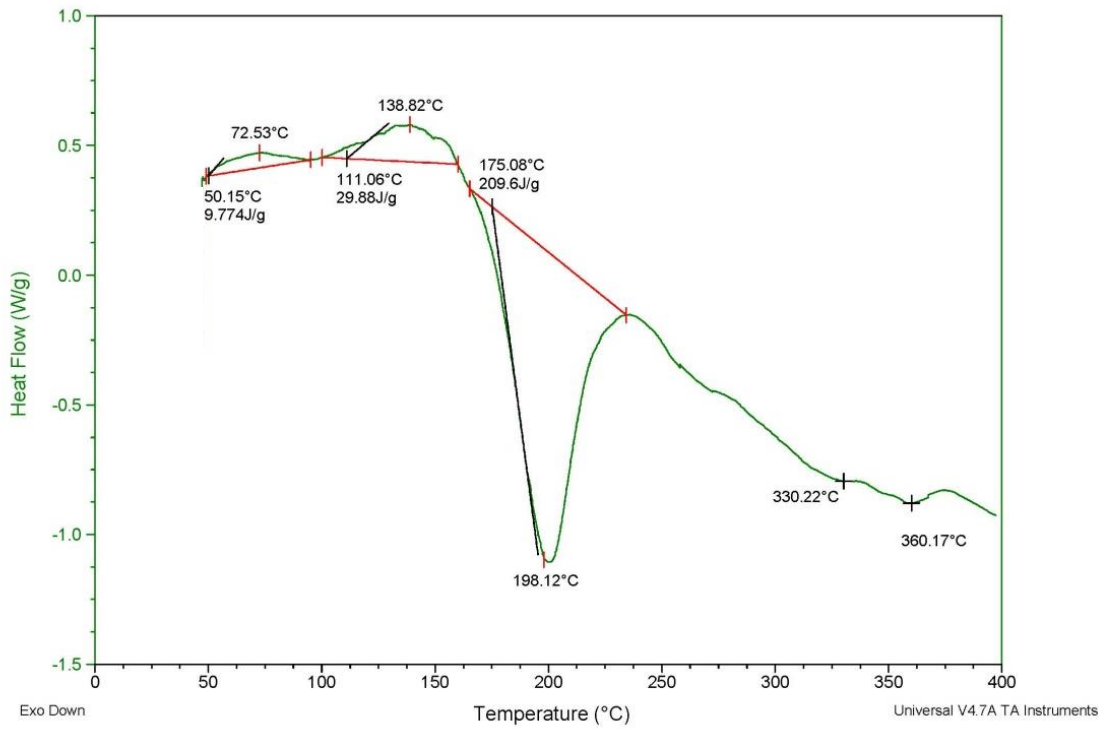
Figur A.6 DSC-kurve av prøve H17-6 fra Bagn – Bjørgo.



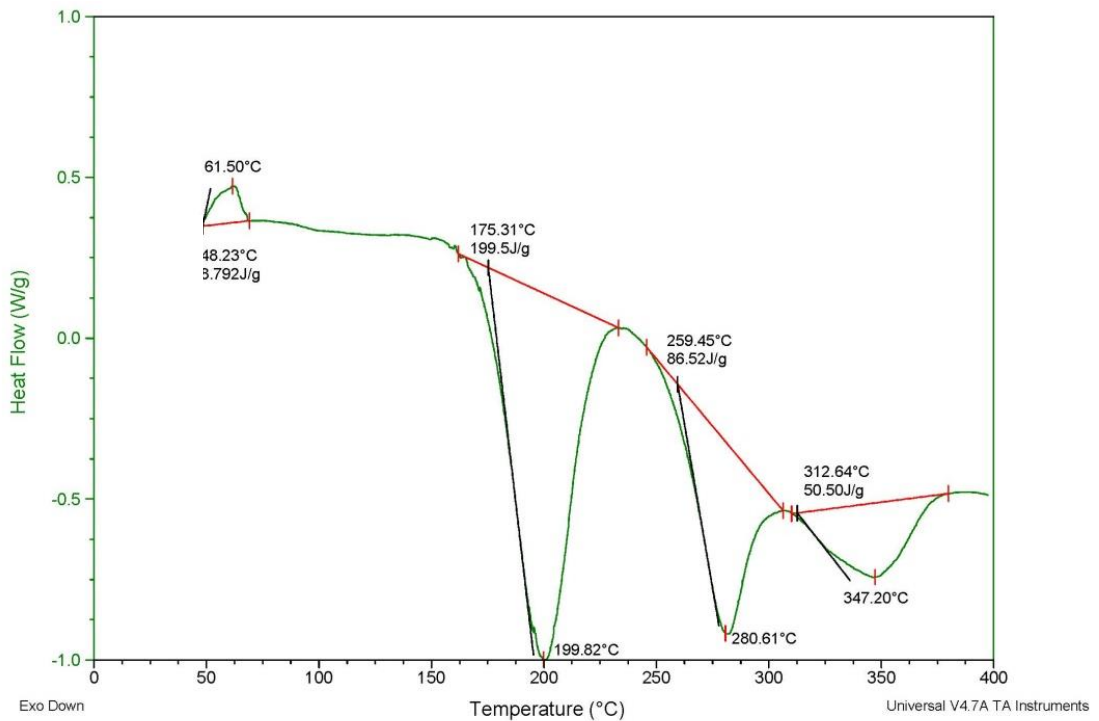
Figur A.7 DSC-kurve av prøve H17-7 fra Ekebergtunnelen.



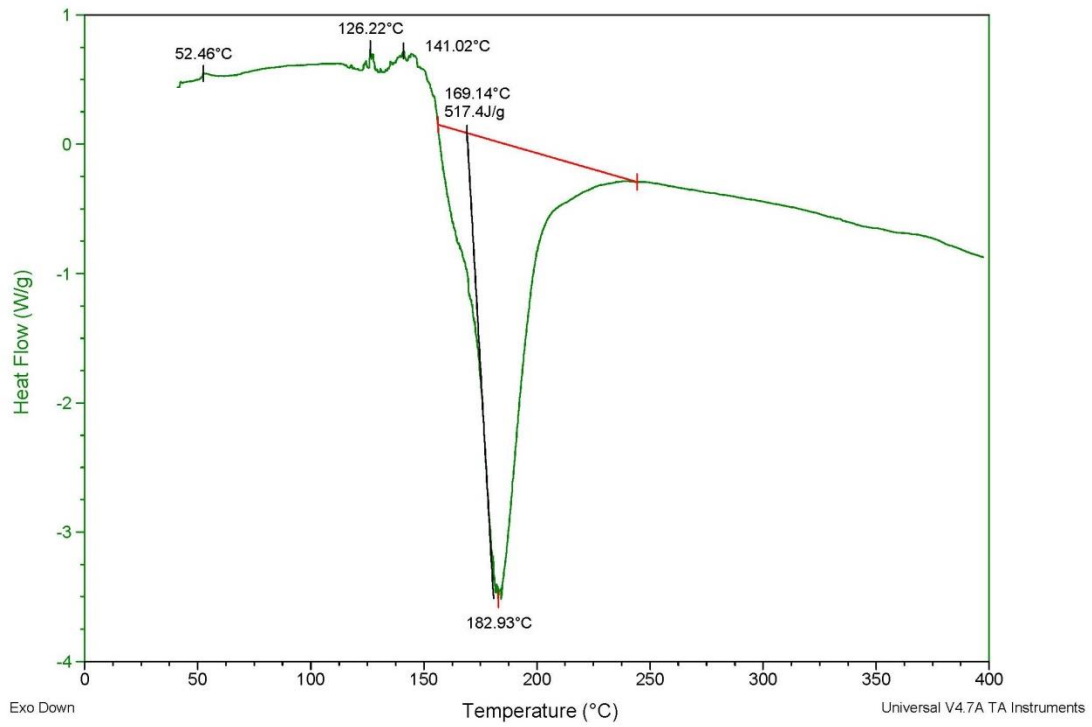
Figur A.8 DSC-kurve av prøve H17-8 fra Gudvangtunnelen.



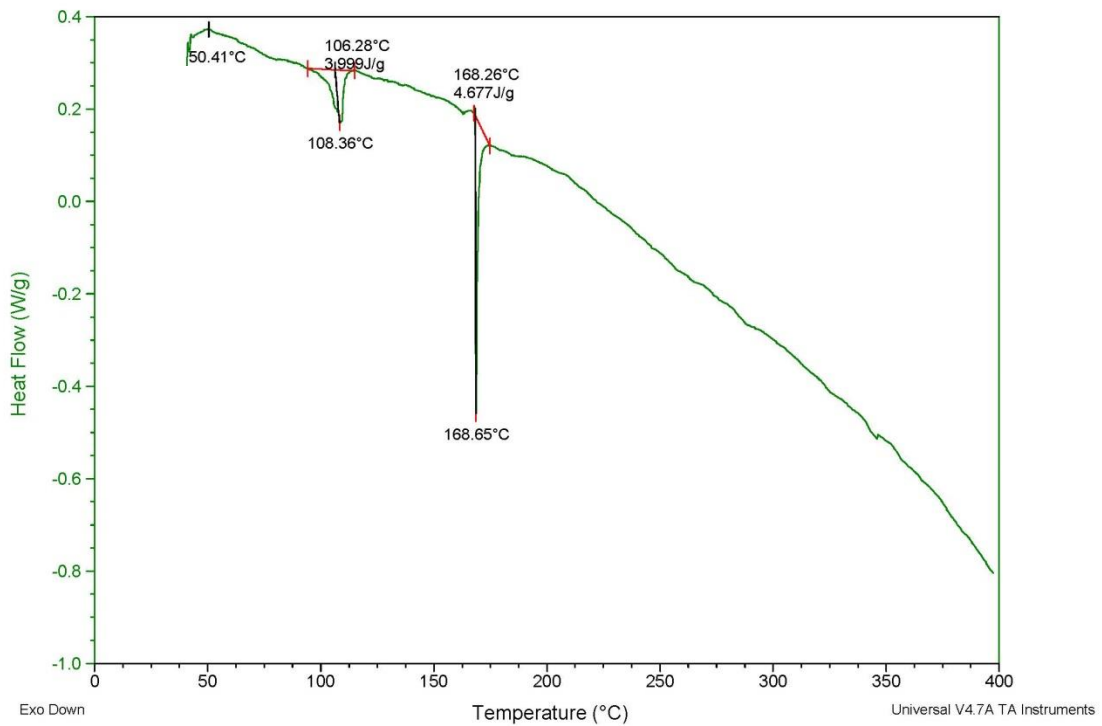
Figur A.9 DSC-kurve av prøve H17-9 fra Gudvangatunnelen.



Figur A.10 DSC-kurve av prøve H17-10 fra Gudvangatunnelen.

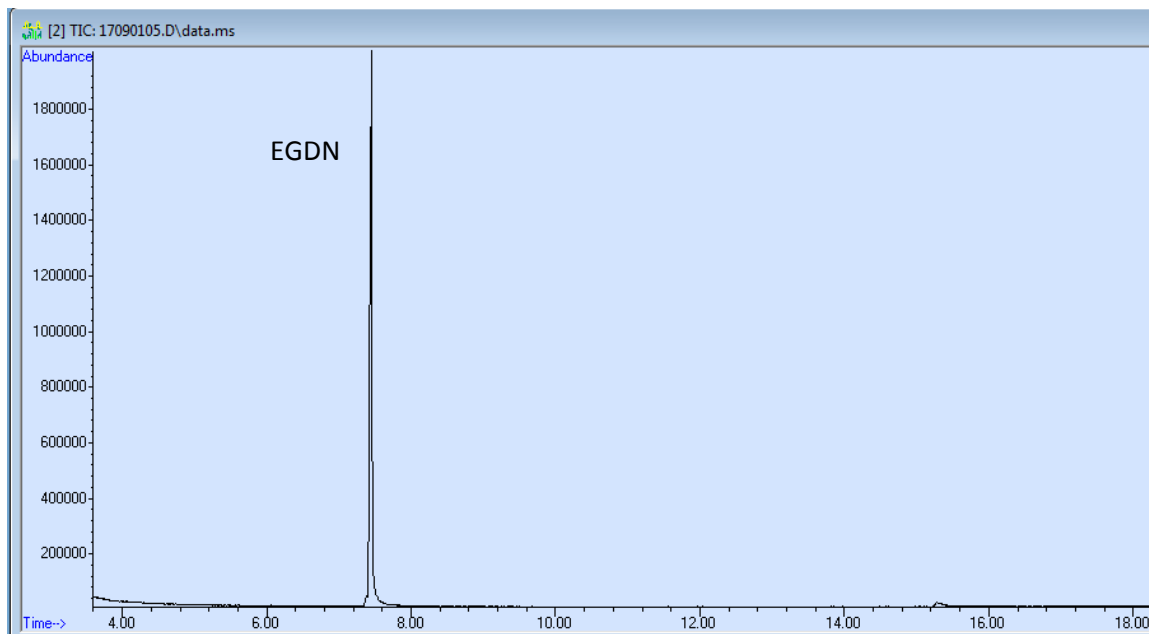


Figur A.11 DSC-kurve av prøve H17-11 fra Sand i Odalen.

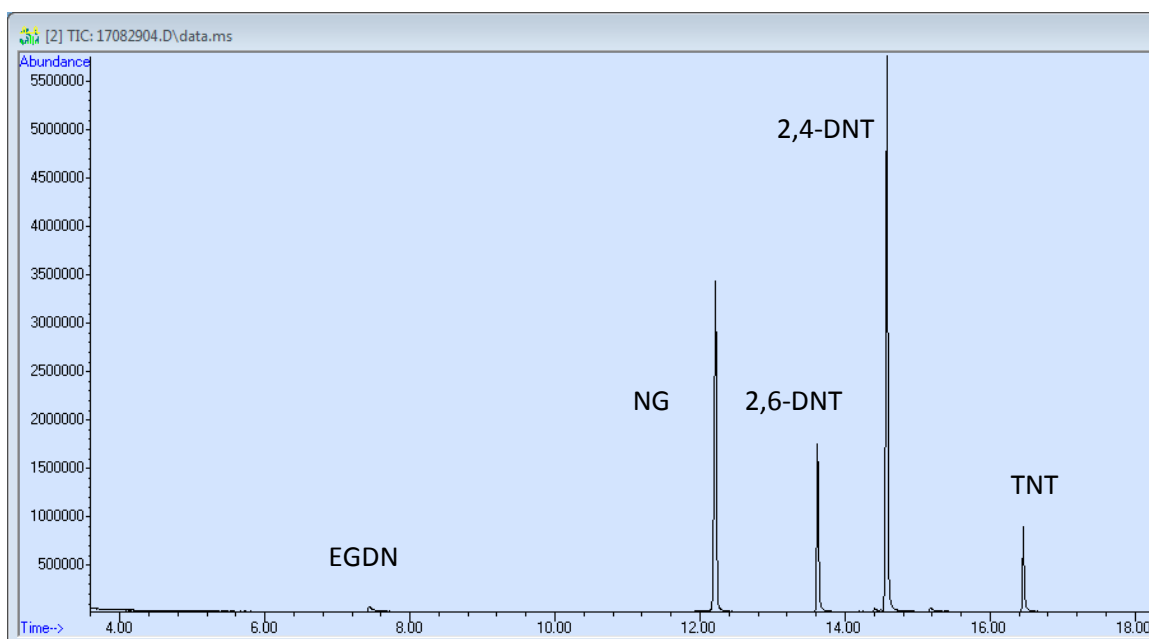


Figur A.12 DSC-kurve av prøve H17-12 fra Støleheia.

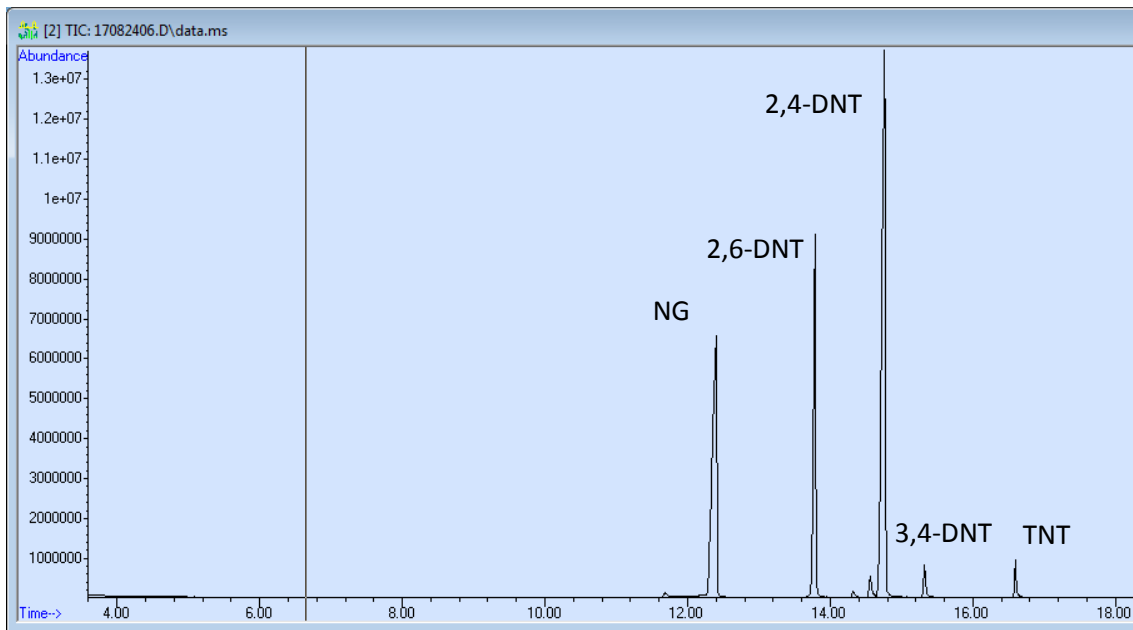
B Kromatogrammer fra GC-MS-analyse



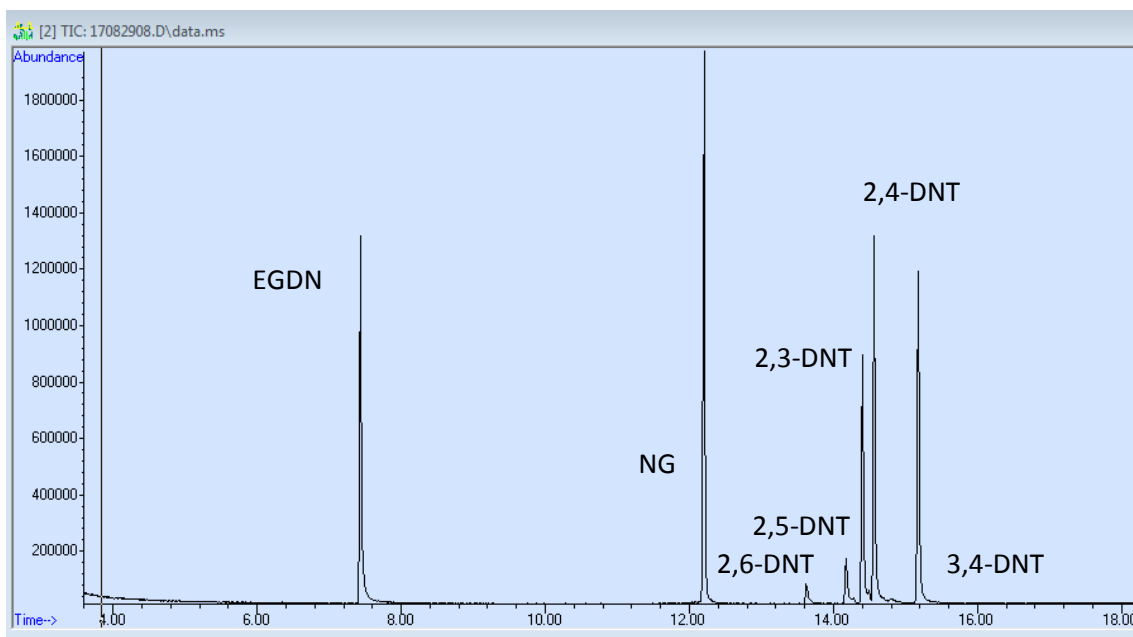
Figur B.1 Kromatogram for prøve H16-1.



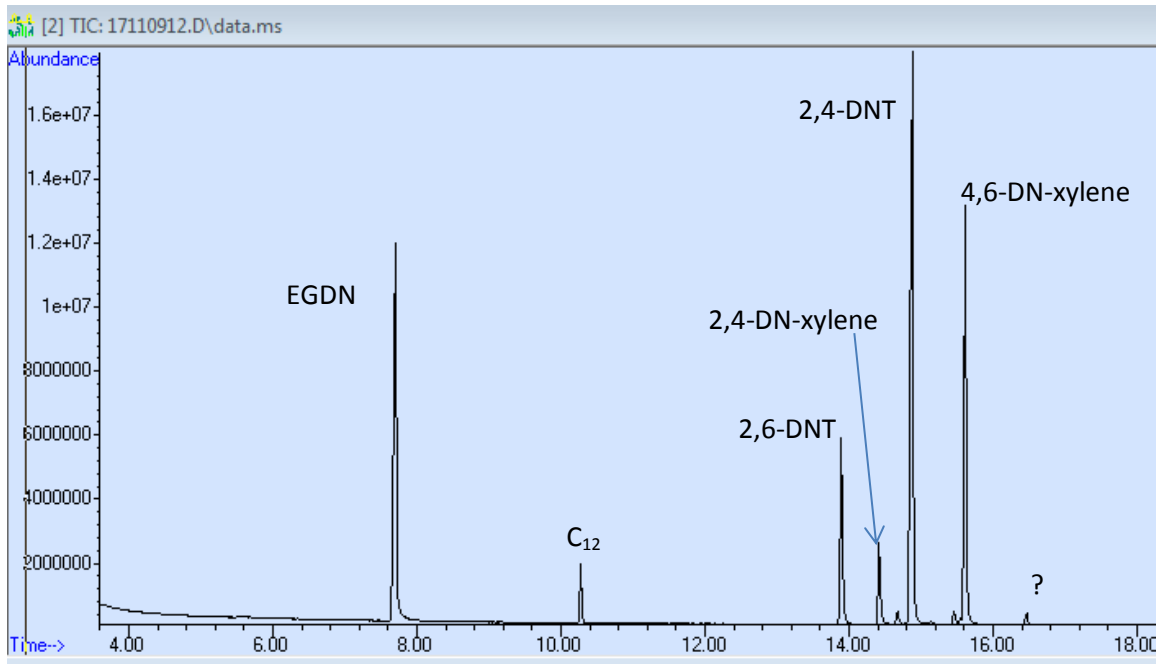
Figur B.2 Kromatogram for H16-6.



Figur B.3 Kromatogram for H16-17.



Figur B.4 Kromatogram for H16-18.



Figur B.5 Kromatogram for H17-9.

Referanser

- [1] Karsrud, T.E., Falsten, V.: Utvikling og bruk av hund for søk etter eksplosiver, årsrapport for 2016, FFI-rapport 17/16509.
- [2] Karsrud, T.E., Falsten, V., Flesjø, K., Opstad, A. M., Røen, B.; Utvikling og bruk av hund for søk etter eksplosiver – årsrapport for 2017, FFI-rapport 18/01315.
- [3] Ewing, G.E., Waltman, M.J., Atkinson, D.A., Grate, J.W. and Hotchkiss, P.J.: The vapor pressures of explosives, Trends in Analytical Chemistry, Vol. 42., 35-48, 2013.
- [4] Kranz, W., Kitts, K., Strange, N., Cummins, J., Lotspeich, E. and Goodpaster, J.: On the smell of Composition C-4, Forensic Science International 236, 157-163, 2013.
- [5] Oxley, J.C and Waggoner, L.P.: Detection of Explosives by Dogs, Kapittel 3 i Aspects of explosives Detection, Edited by Marshall, M. and Oxley, J.C., Elsevier, 2009.

About FFI

The Norwegian Defence Research Establishment (FFI) was founded 11th of April 1946. It is organised as an administrative agency subordinate to the Ministry of Defence.

FFI's MISSION

FFI is the prime institution responsible for defence related research in Norway. Its principal mission is to carry out research and development to meet the requirements of the Armed Forces. FFI has the role of chief adviser to the political and military leadership. In particular, the institute shall focus on aspects of the development in science and technology that can influence our security policy or defence planning.

FFI's VISION

FFI turns knowledge and ideas into an efficient defence.

FFI's CHARACTERISTICS

Creative, daring, broad-minded and responsible.

Om FFI

Forsvarets forskningsinstitutt ble etablert 11. april 1946. Instituttet er organisert som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter underlagt Forsvarsdepartementet.

FFIs FORMÅL

Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som kan påvirke forutsetningene for sikkerhetspolitikken eller forsvarsplanleggingen.

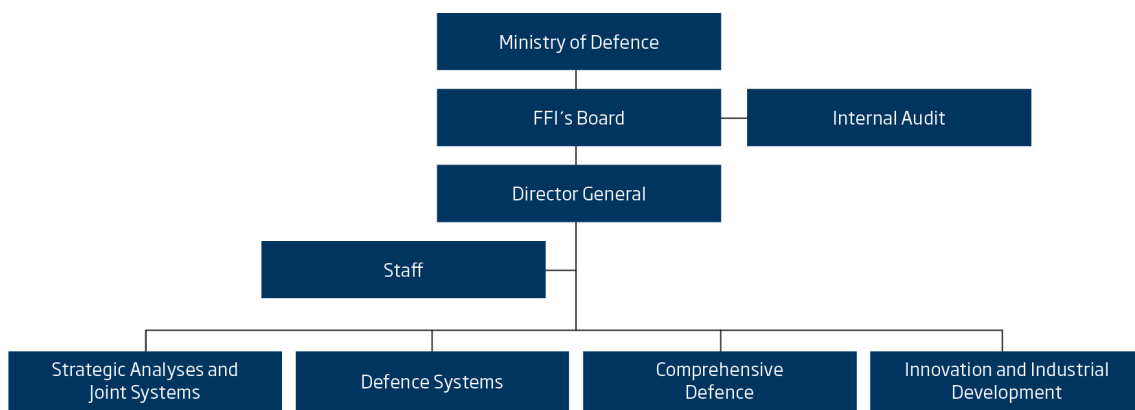
FFIs VISJON

FFI gjør kunnskap og ideer til et effektivt forsvar.

FFIs VERDIER

Skapende, drivende, vidsynt og ansvarlig.

FFI's organisation



Forsvarets forskningsinstitutt
Postboks 25
2027 Kjeller

Besøksadresse:
Instituttveien 20
2007 Kjeller

Telefon: 63 80 70 00
Telefaks: 63 80 71 15
Epost: ffi@ffi.no

Norwegian Defence Research Establishment (FFI)
P.O. Box 25
NO-2027 Kjeller

Office address:
Instituttveien 20
N-2007 Kjeller

Telephone: +47 63 80 70 00
Telefax: +47 63 80 71 15
Email: ffi@ffi.no