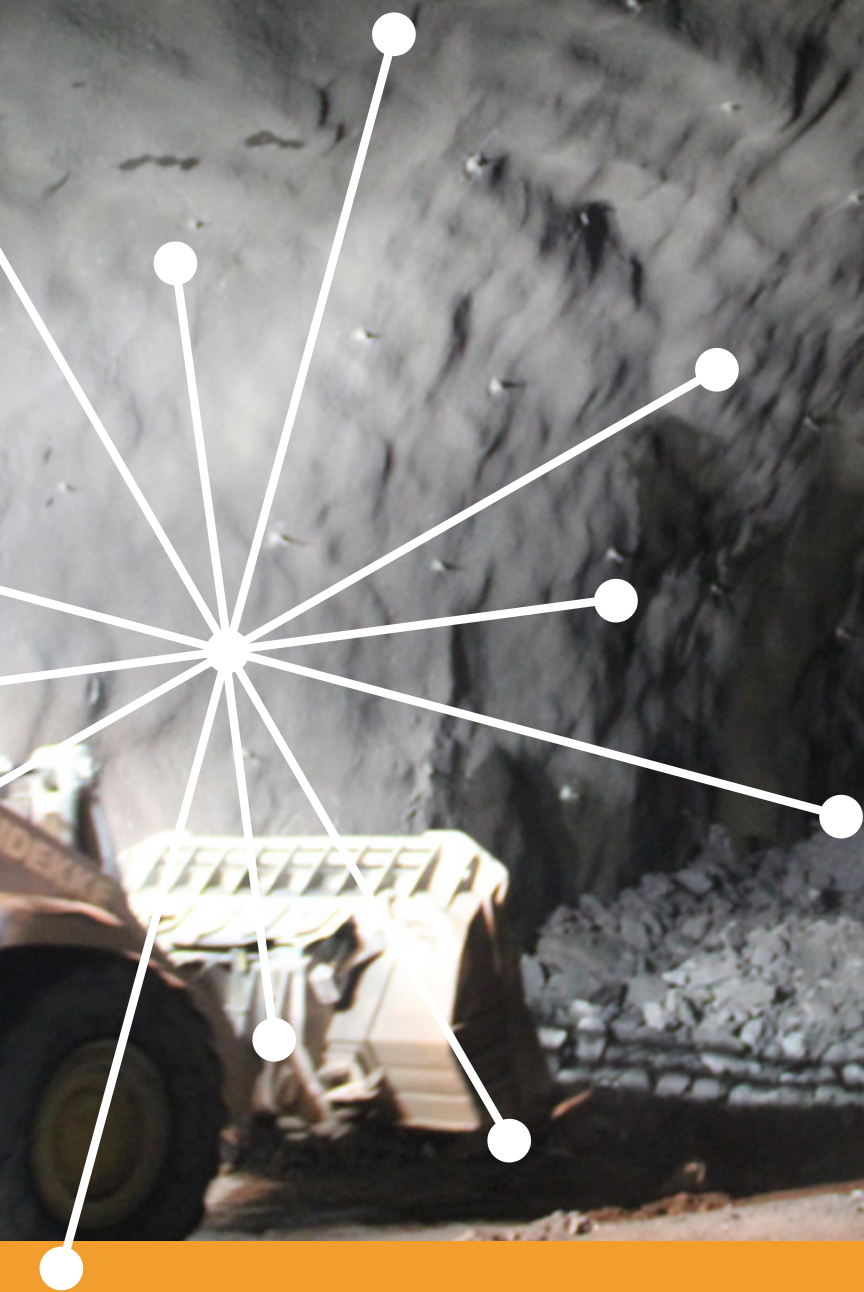




NORSK FORENING FOR
FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK



Teknisk rapport nr. 19

Elektroniske tennere i tunnel

ELEKTRONISKE TENNERE I TUNNEL

Teknisk rapport nr. 19

TEKNISK RAPPORT NR. 19

© Norsk forening for fjellsprenningsteknikk - NFF

ISBN 978-82-92641-44-6

Forsidebilde:

Røys og kontur etter salve med elektroniske tennere.

Foto: Orica

Layout:

Konsis Grafisk AS

konsis@konsis.no

www.konsis.no

NFFs tekniske rapporter er utarbeidet av fagpersoner oppnevnt av utviklingskomiteen i NFF. Innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunkt redigering ble avsluttet. Feil eller mangler kan likevel forekomme. NFF, forfattere eller fagutviklingskomiteen har intet ansvar for eventuelle feil eller mangler i rapporten og mulige konsekvenser av disse. Det forutsettes at rapporten benyttes av kompetente, fagkyndige personer med forståelse for de begrensninger og forutsetninger som legges til grunn.

Forord

Rapporten «Elektroniske tennere i tunnel» er utarbeidet på forespørsel fra de store offentlige byggherrer etter at NFF gjennomførte et møte med disse i 2017.

Det sentrale spørsmålet var om det vil være et grunnlag for bruk av elektroniske tennsystemer ved normal drift sett i et økonomisk totalperspektiv over tunnelens levetid, og ikke bare ved f.eks. særskilte vibrasjonsrestriksjoner eller miljø og kvalitetskrav.

I hovedsak vil det være et spørsmål om det er nok positive faktorer til å overvinne prisforskjellen til det ikke-elektriske, sjokkbølge-initierte pyrotekniske tennsystemet som hovedsakelig benyttes i tunnelsprengning i dag. Disse tilbys fra flere leverandører med forskjellige handelsnavn. I teksten benyttes «nonel» som fellesnavn for denne type tennsystem. Spesifikasjoner som forsinkertider/antall nummer, nøyaktighet/presisjon og overflateforsinkere/buntopptennere vil variere mellom systemer fra de ulike leverandørene.

Formålet med rapporten har ikke vært å sammenligne ulike elektroniske tennere fra ulike leverandører.

Teknologien er under konstant utvikling og det henvises derfor til produsentenes egen dokumentasjon. Rapporten omhandler i hovedsak erfaringer og rapporter fra tunnelprosjekter i perioden 2014-2018 hvor elektroniske tennere er benyttet i hele tunnelprofilen. Det elektroniske tennsystemet benyttet i disse prosjektene har vært Orica sitt elektroniske tennsystem for tunnel eDevTM II. Spesifikasjoner, funksjonalitet og brukererfaringer er basert på bruken av dette systemet.

Teknisk rapport nr. 19 er utarbeidet av Iver Hauknes, Orica Norge AS, og kvalitetssikret av flere, blant annet utviklingskomiteen i NFF.

Norsk forening for fjellsprenningsteknikk
Utviklingskomiteen
November 2019

Sammendrag

Elektroniske tennere er når dette skrives i regulær bruk på flere tunnelanlegg. Siden 2014 har de fleste tunnelentreprenører i Norge og mer enn 90 drivere fått opplæring og erfaring i bruk av elektroniske tennere i tunnel. Enkelte tunnel drivere har benyttet systemet i over to år på ulike prosjekter.

Erfaring fra opplæring og problemløsning er mange og de fleste gode. Tunnel drivere har i utgangspunktet vært skeptiske til systemet, men har raskt endret oppfatning når de har lært systemet og sett resultatet fra bruken. 'Moro' er et ord som har blitt brukt etter at man har innsett hvor enkelt og fleksibelt systemet er å bruke. På flere anlegg har drivere etter bare noen få salver funnet metoder for lading/logging/kobling som er både raskere og enklere enn det vi har foreslått. Bruken av nonel har blitt perfektionert over år og man skulle tro at man over noe tids bruk også vil kunne se betydelig effektivisering og forbedring med elektroniske tennsystemer.

Introduksjon og opplæring har sjelden vært problemfri. Isolasjonen til tennerledningen hos eDev™ II-systemet har vært et tilbakevendende problem i tette og rufsete hull som har vært vanskelig å lade. Problemet var stort ved Kjørholt tunnelen som ble drevet i hornfels med skarpe og spisse steiner.

Etter at man har innsett at man ikke kan håndtere den elektroniske tennerledningen like røft som nonelslangen, har problemet blitt mindre. En ny forsterket tennerledning er testet ut med godt resultat og vil være tilgjengelig i løpet av 2019.

Elektroniske tennere gir store muligheter til enkelthullstening og tilpasning av tennplan for å tilfredsstille krav til vibrasjoner.

Drivere har reagert positivt på flatere røys, mer framkast og lettere lasting. I enkelte prosjekter har man utnyttet nøyaktigheten og presisjonen i tenneren til å skyte spektakulære konturer som også var tilstede etter rensk. Enkelte prosjekter hadde en del problemer med omskytinger med nonel. Ved overgangen til elektroniske tennere ble antall omskytinger redusert til et minimum.

Man skulle tro, at det ut fra de mange positive resultatene fra prosjektene omtalt i denne rapport, skulle være enkelt å svare på det sentrale spørsmålet: 'om det vil være et grunnlag for bruk av elektroniske tennsystemer ved normal drift sett i et økonomisk totalperspektiv over tunnelens levetid', men det er vanskelig å finne et entydig svar fordi det er komplekst å måle og sammenhengene mellom de ulike parameterne er komplekse.

Lasting av røys er et typisk eksempel på dette. Ser man kun på lastetid/syklustid under anleggsperioden, er det liten forskjell mellom en meget godt fragmentert og flat røys fra en salve med elektroniske tennere og en mer normal røys fra en nonelsalve når man bruker utstyr tilpasset den siste. Hadde man målt drift- og vedlikeholdskostnader hadde man kanskje sett en klarere forskjell.

Forbedret konturkvalitet måles/premieres sjelden av byggherren. Kun på ett prosjekt har en forbedret konturkvalitet medført en annen sikringsklasse med færre bolter og redusert tykkelse av sprøytebetong.

En av de største styrkene til et elektronisk tennsystem er relatert til HMS og 'security'. Tennsystemet er målbart og det lages en rapport etter at salven er skutt som inneholder status og testdata for alle komponenter i systemet. Antall omskytinger og uomsatt sprengstoff i røys og hull er redusert. Sikten/ladd er bedre, men her må det måles mer før man kan konkludere om også konsentrasjonen av CO og NOx er redusert. Plastforurensning fra tennsystemet er dokumentert redusert gjennom observerte lengder tennerledning utenfor hull før skyting, samt at ledninger og blokker synker i sjø [3].

Et stort potensial har bruken av elektroniske tennere hvis man kan drive lengre salver:

- Man kan bore og sprengre lengre salver i dårlig berg eller hvor det er restriksjoner til vibrasjoner før man må redusere salvelengde/dele opp salven.
- Man kan muligens bore og sprengre vesentlig lengre salver enn man gjør i dag (22-24 fot med 64 mm borkrone) uten at antall omskytinger øker eller at lastbarheten forverres fordi salven blir for høy og kompakt.

Det tilbakevendende spørsmålet er om det er nok positive faktorer til å benytte elektroniske tennere i tunnelprosjekter i godt berg hvor man ikke har spesielle restriksjoner knyttet til vibrasjoner, miljø eller konturkvalitet. Ut fra en kost/nytte betraktning vil verdien variere fra prosjekt til prosjekt.

Erfaring fra utprøvinger, viser viktigheten av å gjøre grundigere forberedelser for å få gode nok målinger. Bas- og byggherrerapporter gir ikke alltid tilstrekkelig informasjon, og det beste er å være tilstede på stuff under forsøkene.

Innhold

Forord	4
Sammendrag	5
1. Introduksjon.....	9
2. Utvikling og status.....	11
Tennerkostnad og koblingstid	11
Feilsøking	11
Sprengningstekniske begrensninger	11
Anvendelse i tunnel.....	12
Elektronisk styrt forsinkertid	12
Positive og negative faktorer	14
3. NONEL TM- systemet.....	17
Nonel LP-systemet	18
Nonel SL-overflateforsinkere.....	19
Initiering av nonelsystemet	19
Blokking anvendes for å redusere vibrasjoner.....	20
Nonelsystemet kan ikke måles	22
4. Elektroniske tennere i tunnel	23
Arbeidsoperasjoner	24
5. Ulemper med elektroniske tennere i tunnel	31
6. Fordeler med elektroniske tennere i tunnel	33
Helse miljø og sikkerhet.....	33
Sikkerhet.....	34
Uomsatt og gjenstående sprengstoff.....	35
Nitrat i tunnelvannet.....	37
Unngår bruk av svartkruttlunte	37
Konturkvalitet og kontursprengning.....	37
Røysprofil, fremkast, fragmentering og lastbarhet	40
Sprengning med vibrasjonsrestriksjoner.....	43
Lengre salver.....	46

7. Sammendrag av rapporter	47
UFP05 Skillingsmyr	47
Rv 17 Liafjellet	48
E16 Bangskeivtunnelen (Fagskolen Innlandet, 1/2017)	52
E16 Bangskeivtunnelen (NTNU Gjøvik, 2018).....	56
Jarlsberg tunnelen	60
8. Brukererfaringer med eDev™ II	64
LNS Leikanger kraftverk	64
PNC Liafjellet og LNS Leikanger kraftverk.....	66
Veidekke E6 Arnkvern-Moelv	67
BetonmastHæhre Bamble og Rogfast	68
9. Referanser	69
10. Vedlegg	71
Eksempel på akseptansetriangelet for nonel LP18 (1800 ms).	71
Tennerrapport etter avfyring (eDev™ II)	72
Reduksjon av sprengindusert skadesone i gjenstående berg.....	73
Sammenheng mellom enhetsladning, avstand og vibrasjoner.....	76
Komponenter som inngår i eDev™ II systemet	77

1. Introduksjon

I Norge er elektroniske tennere benyttet i spesielle prosjekter og til utprøving under jord og i tunnel siden begynnelsen på 90-tallet. En av de første var kontursprengning i den Olympiske fjellhallen på Gjøvik. Man kunne telle halvpiper fra de fleste konturhull, men etter rensk var de borte. Årsaken var at skadesonen fra indre kontur ødela for konturen. Et annet prosjekt var fryseseonen i Oslofjordstunnelen, hvor hensikten var å redusere skadesonen i gjenstående berg. I begge prosjektene ble det benyttet elektroniske tennere i konturen samt til å initiere noneltennerne i resten av salven.

Et fellestrekk med denne tidlige generasjonen av elektroniske tennere var at de tok lang tid å koble og hadde dårligere nøyaktighet og presisjon i forhold til dagens tennere. Prisen var også vesentlig høyere. Tennsystemene hadde kun enveis kommunikasjon slik at tenneren ikke kunne kommunisere tilbake til avfyriingsenheten. Testfunksjonaliteten var derfor lik den man har for elektriske tennere, begrenset til antall tennere i kretsen og strømløshet.

Siden den gang har alle elektroniske tennsystemer fått toveis kommunikasjon mellom tenner og test/skyteapparat. Siste ledd i utviklingen har vært overgangen fra tennsystemer med generell bruk til å være tilpasset bruksområde, og det eksisterer nå elektroniske tennsystem spesielt laget for tunnelsprengning.

I denne rapporten er det samlet erfaringer fra bruk av Oricas elektroniske tennsystem. NFF vil gjøre oppmerksomme på at det per

i dag er fire leverandører av tennsystem i Norge. Dette er i alfabetisk rekkefølge:

Austin Powder

Kobbervikdalen 75, 3036 Drammen
Telefon: 32 82 68 70
E-post: post@austin.no

Forcit Norway AS

Dølasletta 1, 3408 Tranby
Telefon: +47 32 85 09 00
E-post: post@forcit.no

Orica Norway AS

Røykenveien 18, NO-3427 Gullaug
P.O. Box 614, NO-3412 Lierstranda
Norway
Telefon: +47 32 22 91 00
Fax: +47 32 22 91 01
E-post: nordics@orica.com

SSE-Norge AS

Munkhauggata 2, 7503 Stjørdal
Telefon: +47 47 45 11 53
E-post: oivind@sse-norge.no

Hensikten med et eget system for tunnel er økt brukervennlighet, raskere kobling, og enklere å finne feil. Dette er i hovedsak løst ved nye og forbedrede støttesystemer som bla. automatiserer mye av arbeidet med tilordning av forsinkertider. Tidsbruken er den samme for lading, kobling og programmering uansett om man ønsker etthullstening for reduksjon av vibrasjoner eller ikke. I tillegg er tennerens nøyaktighet, presisjon og maksimal forsinkertid økt.

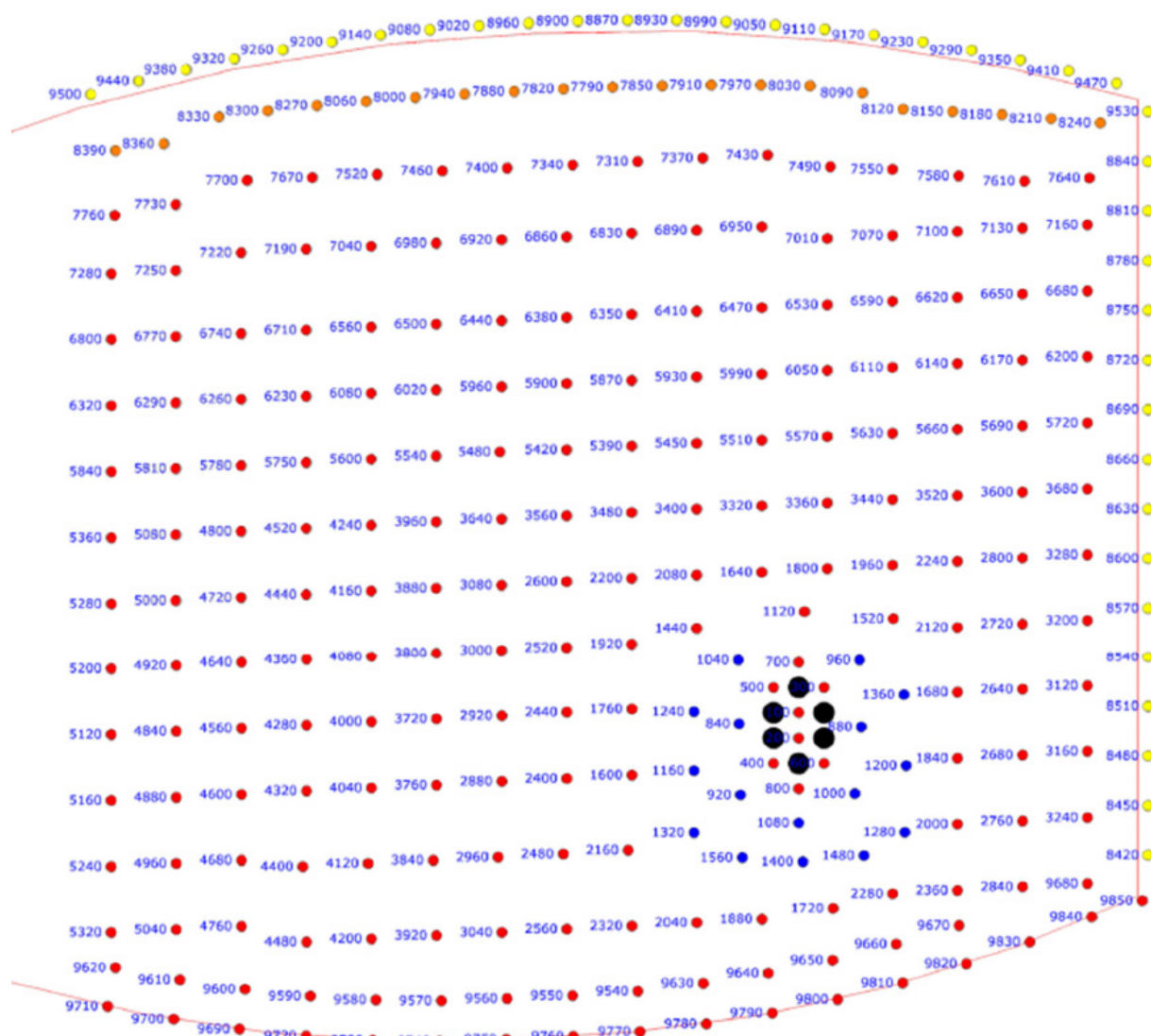
Den første generasjonen av denne type tennsystem (eDev™) ble benyttet til å redu-

sere vibrasjoner ved å lage etthullstenning for Strindheimstunnelen, Citybanan og Norra Länken i Stockholm.

I Strindheimstunnelen (2012) var hullene ladet med 1 kg sprengstoff fordelt på 299 intervaller med forsinkertid fra 0 til 9850 ms. Forsinkertider ble laget automatisk av

systemet. Skulle man manuelt ha regnet ut og lagt inn forsinkertidene hadde koblingen tatt for lang tid med stor sannsynlighet for feil.

En automatisk generert tennplan med etthullstenning er vist i figur 1.



Figur 1. Automatisk generert tennplan for etthullstenning Strindheimstunnelen (299 hull, 1 kg enhetsladning 0-9850 ms forsinkertid)

2. Utvikling og status

Tennerkostnad og koblingstid

Det er fremdeles høyere tennerkostnad og lengre koblingstid ved bruk av elektroniske tennere enn ved en nonelstandardsalve. Siden sprengningen med vibrasjonsrestriksjoner i Strindheimstunnelen, har Orica lansert en ny generasjon elektroniske tunneltennsystemer lansert (eDev™ II). Selv om prisen er redusert og de er enda enklere/raskere å bruke, er tennerkostnaden mer enn 5 ganger høyere enn en nonel LP-tenner (Long Period) (2018).

Lading, kobling og testing av en standard tunnelsalve uten at det er spesielle krav eller restriksjoner ved sprengningen tar lengre tid med elektroniske tennere. For enkelte prosjekter har lading og skyting tatt 25 % lengre tid (10-15 minutter), for andre noe lengre tid avhengig av tverrsnitt, arbeidssyklus, arbeidsmetode og erfaring. Oversalven tar i utgangspunktet lengst tid, og tunneldrivere på enkelte anlegg har optimalisert kjøring av korg/lade/logge/koble-syklusen for å redusere denne. Enkelte drivere (se brukererfaringer) rapporterer at det på enkelte tverrsnitt har vært like raskt å bruke det elektroniske tennsystemet som nonel LP.

Feilsøking

Det elektroniske tennsystemet kan feilsøkes nettopp ved hjelp av elektronikken, og dette reduserer sannsynligheten for omskyting og uomsatt sprengstoff. Nonelsystemet har ikke samme mulighet for målbar feilsøking. De elektroniske tennsystemene rapporterer om feil på tennere, kobling og ledninger. Har man glemt å koble med en tenner, eller det er en produksjonsfeil på en tenner, må

man rette opp i dette før man kan skyte salven.

De fleste feil finner man under kobling, men det er også eksempler på at man har fått feil under testen før avfyring, slik at man i verste fall må inn med en lift og rette opp. Slike feil er relatert til feil på tenner og avskrapet isolasjon på tennerledninger. En mer robust tennerledning vil redusere dette problemet.

Sprengningstekniske begrensninger

Den pyrotekniske forsinkersatsen gir sprengningstekniske begrensninger. Forsinkertiden hos noneltennere bestemmes av brenntiden i en kjemisk forsinkersats. Spredningen i tid øker med forsinkertiden, og for en Exel LP-tenner (Orica) er den for 95 % av alle tennere innenfor $\pm 2-3$ % av nominell forsinkertid. Siden tennere med ulike forsinkertider (nummer) ikke skal overlappe i tid med sine nabonummer, må dette gjenspeiles i tiden mellom numrene som er 50 ms mellom tennere med lavest forsinkertid og 400/500 ms mellom nummer med den lengste forsinkertiden. Dette setter begrensninger på antall tennernummer produsenten kan ha i serien og gir sprengningstekniske utfordringer.

Problemene er:

- Dette gjør det komplisert å få til etthullstenning for reduksjon av enhetsladning ved sprengning med vibrasjonsrestriksjoner.
- Dette umuliggjør samvirke mellom hull i kontur og i resten av salven.
- Dette fører ofte til for lang forsinkertid mellom hull og raster, spesielt i oversalven hvor avstanden i forsinkertid mellom tennernummer er størst.

Konsekvensene er:

- Man må redusere salvelengden eller dele opp salven i flere mindre salver for å kontrollere vibrasjoner.
- Deler av oversalven raser ned i røysa før alle hullene i salven er initiert. Høy og kompakt røys, mer blokk og dårligere fragmentering som forverrer lastbarheten.
- Støvleskift i konturen (figur 21), mulig omskyting, ekstra pigging, rensk og sikring
- Uomsatt sprengstoff i røysa.
- Gjør man tiltak for å redusere forsinkertiden mellom hull og raster i oversalven ved å skyte flere hull på samme nummer, mister man kontroll med enhetsladningen (antall hull som initieres samtidig) og rekkefølgen hullene initieres.

Elektronisk styrt forsinkertid

Forsinkertiden til en elektronisk tenner styres av en elektronisk klokke. Presisjonen og nøyaktigheten til en elektronisk tenner er typisk 0.01 % av programmert forsinkertid og med en maksimal forsinkertid på 10000-20000 ms med en minste forsinkertid på 1 ms mellom nummer gir dette et tennsystem med et tilnærmet ubegrenset antall nummer. Tennerens presisjon og nøyaktighet gir derfor ingen av de sprengningstekniske begrensningene man finner hos alle tennsystemer med en pyroteknisk forsinkersats.

eDev™ II-systemet er anvendt på flere ulike tunnelprosjekter de siste årene.

Anvendelse i tunnel

Prosjekt	Entreprenør	Hvorfor	Periode
UFP05 Skillingsmyr entreprisen	Veidekke Entreprenør AS	Prøveprosjekt over 20 salver. Jernbaneverket rapport [12]. Fjellprengningskonferansen 2014 [9] og WTC 2017. Se sammendrag av rapport.	2014
Aldersund Rassikrings- prosjekt Fv 17, Liafjell	PNC Norge	Elektroniske tennere beskrevet i kontrakt. Tunnelmasse skal fylles i vann. Plastavfall fra nonel og eDev™ II elektroniske tenner studert og Rapportert av Norconsult [3]	2016-
E18 Kjørholt og Bamble	BetonmastHæhre Anlegg AS Kruse Smith	Elektroniske tennere beskrevet i kontrakt. Tidvis vibrasjonsproblemer og liten overdekning. Sammenligning mot nonel. For Tverrslag 5 retning Nord-Sør gikk man over til nonel fordi det var problemer med at isolasjonen til tennerledningen ble skrappt vekk under lading p.g.a. skarpe spisse steiner (hornfels)	2017- 2018

**Tabell 1. Prosjekter hvor eDev™ II elektroniske tennere har vært benyttet de siste år.
Tabellen fortsetter på neste side**

E134 Myntbrua-Trollerudmoen	Implenia AS	Løsning av vibrasjonsproblematikk. Kun en kort periode.	2016
16 Bagn-Bjørge	Skanska AS	Prøveprosjekt av 3 x 10 salver med elektroniske tennere i sammenligning med nonel LP. Vibrasjonsproblemer i starten av prosjektet. Det ble sett på lastbarhet, konturkvalitet, salvetid, og ladd. Det ble utført uttesting av ny koblingsblokk og forsterket tennerledning. Erfaringer fra prosjektet fins i rapporter [4] [11]. og tatt med under sammendrag av rapporter.	2017-2018
Oset vannbehandlingsanlegg Oslo Kommune	Veidekke AS	Påhugg med vibrasjonsproblemer adkomsttunnel.	2018
Lysebotn II	Implenia AS	2 x utslagssalver under vann	2016
Leikanger kraftverk	LNS AS	Elektroniske tennere beskrevet i kontrakt. Tunnelmasse skal fylles i sjø. Påhugg med vibrasjonsproblematikk. Vibrasjoner kontur. [Se kapittel 7. Brukererfaringer	2018-
Nedre Otta kraftverk	Skanska AS	Uttesting av ny tennerledning samt demonstrere de sprengningstekniske fordelene med et elektronisk tennsystem i utfordrende bergmasse. [Forsidebilde]	2018
E39 Rogfast Sidetunnel	BetonmastHæhre AS	Tennsystemer med egenvekt høyere enn sjøvann ble beskrevet i kontrakt. All tunnelstein deponeres i sjø. Elektroniske tennere valgt. Se kapittel 7 brukererfaring	2018
E6 Arnkværn Moelv	Veidekke Entreprenør	Elektroniske tennere beskrevet i kontrakt. Bedre kontur redusert sikringsbehov.	2018-

I mange prosjekter er elektroniske tennere spesifisert i kontrakt for å løse spesifikke problemer som reduksjon av flytende plast i forbindelse med sjøfylling og reduksjon av vibrasjoner. I andre prosjekter har elektroniske tennere blitt brukt for å demonstrere teknologien og teste ut forbedringer.

Brukere har gitt verdifulle tilbakemeldinger for hvordan systemet kan forbedres, gjøres mer robust og brukervennlig. Dette har blant annet ført til utviklingen av en mer robust koblingsblokk og tennerledning hvor isolasjonen ikke så lett skrapes vekk under lading. En oversikt over noen av disse prosjektene er vist i Tabell 1.

Positive og negative faktorer

Det er fordeler og ulemper både ved bruk av eDev og eDev™ II sammenlignet med nonel LP-systemet. Positive og negative faktorer er hentet fra prosjektene som vist i Tabell 1 samt tilhørende rapporter og brukerundersøkelser som det er vist til i Referanser og sammendrag av rapporter.

Positive og negative faktorer ved bruk av elektroniske tennere i tunnel er omhandlet mer detaljert i kapittel 5.

Oppsummering av negative faktorer

- En elektronisk tenner har en innkjøpspris typisk fem ganger høyere enn en noneltenner (2018). I tillegg kommer utgifter til skyteapparat og loggere.
- Skyteapparat og loggere må behandles nøyaktig, lades og rengjøres mellom bruk.
- Tennerledningen tåler ikke samme håndtering under lading som nonelslangen. I dårlig berg og ved røff bruk kan tennerledningens isolasjon skrapes av, noe som resulterer i strøml lekkasje eller kortslutning. Feilen må finnes og rettes før salven avfyres. Problemet var tidvis stort på E18 Kjørholt og Bamble prosjektet. En tennerledning med forsterket isolasjon er testet ut og vil være klar for markedet i løpet av 2019.
- Eksisterende system må bli mer robust slik at det tåler bruken på en norsk tunnelstøff bedre (bedre tetting mot vanninntrengning).
- Tiden fra lading til skyting av en standard salve øker med typisk 25 % (10-15 minutter). Oppstår det kompliserte feil slik at man må inn og rette etter at boreriggen er kjørt ut kan dette forsinke skytetidspunktet tilsvarende en omskyting med nonelsystemet.

- Behov for kurs/opplæring og support ved innføring.
- For å bli komfortabel med håndtering av feil trengs det øvelse.

Oppsummering av positive faktorer

HMS

- Antatt mindre plast fra tennsystemet i røysa, og tennerledning med koblingsblokk synker i sjø.
- Redusert uomsatt mengde sprengstoff i gjenstående hull og røys.
- Det er ikke utført målinger av nitrogenavrenning til vann, men bedre omsetning av sprengstoff (bedre fremkast, flatere røys) og færre omskytinger skulle tilsi redusert mengde nitrat i røysa og avrenning til vann.
- Redusert antall omskytinger.
- Mindre ladd og bedre sikt ble målt ved E16 Bagn-Bjørge prosjektet. Selv om sikten/ladden var bedre (bilder tatt fra lastemaskin) viste målingene av CO ingen forskjell. Feil på målerutrusting/metode ga negative måleverdier for NO_x-konsentrasjon.
- Man slipper å benytte sortkruttlunte til initiering av salven.
- Tenner kan kun avfyres ved hjelp av et kryptert datasignal som sendes ut fra et spesialtilpasset skyteapparat låst med en elektronisk nøkkel.
- Alle tennere har en unik identitet som fins i en strekkode på tennerledningen samt at den er lagret elektronisk i tenners mikroprosessor. Identiteten kan spores i alle ledd helt tilbake til tenners produksjon.
- Tenneren kan ikke avfyres med strøm, radiobølger, magnetisme eller statisk elektrisitet.
- Tennsystemet er fullt målbart, og ledningsnett, tennere og koblinger testes

for feil før avfyring. Systemet tillater ikke at man avfyrrer salver med feil. For å overstyre dette må man logge på avfyringsenheten med et passord og endre innstillingene.

- Systemet lager automatisk en salverapport som dokumenterer skytetidspunkt, tenneridentitet, forsinkertid og teststatus for alle tennere i salven. Hvis en salve er avfyrt med feil, vil dette bli logget i salverapporten.

Konturkvalitet

- Reduksjon av den sprengningsinduserte skadesone i gjenstående berg. Synlige hullpiper i hele konturen når boring og lading utføres som planlagt og hull i konturen initieres samtidig.
- Siden forsinkertiden i rastene inn mot kontur er mer optimal, reduserer man sannsynligheten for at deler av oversalven i konturen raser ut før den er initiert.
- Redusert andel støvleskaft og omskytinger.
- Redusert overmasse.
- Redusert sikringsbehov. Redusert tykkelse sprøytebetong og redusert antall bolter.

Røysprofil og fragmentering

- Mindre utrasing og skade på ikke-detonerte hull forårsaket av for lang forsinkertid. Riktig forsinkertid mellom raster, spesielt i oversalven, gir flatere røysprofil, mindre blokk og bedre fragmentering.
- Forbedret lastbarhet.

Vibrasjoner

- Et tennsystem med et ubegrenset antall nummer gir etthullstenning og et verktøy til å løse vibrasjonsproblemer uten at man må redusere salvelengde eller dele opp tunneltverrsnittet i flere sek-

sjoner. Man kan drive lengre og større salver før man må gjøre produksjonsreducerende tiltak.

- Garantert etthullstenning. Ingen ekstra tidsbruk ved kobling av etthulls tennplaner (eDev™II)
- Langt raskere og enklere å koble enn nonel hybrid/blokkning. Behov for ekstern hjelp med tennplaner er redusert.
- Enkelt å justere timing i salven (øke/minske forsinkertid) uten at dette går på bekostning av ett-hullstenning.
- Muliggjør dekkskyting (flere sprengstoffdekk i hullet adskilt med sandpropp) med lav enhetsladning uten å redusere salvelengden [13].

Økt produksjon (lengre salver) gir lavere kostnader

- Lavere røysprofil, bedre fragmentering, og lastbarhet legger til rette for å kunne drive lengre/større salver.

Et bedre verktøy til å kontrollere timingen i salven muliggjør et mer optimalt salveplan

- Færre hull i salven gir lavere kostnader og økt produksjon.

Gjennomslagssalver under vann

- Tennsystemet er målbart.
- Tåler 100 m statisk vanntrykk (nonel 30 m).

Logistikk og lagerhold

- Logistikk og lagerhold er betydelig forenklet i og med at alle tennere er like.

Videre utvikling

Ut fra tilbakemelding av brukere samt våre egne erfaringer fra opplæring og utprøving må feil og feilretting som oppstår fordi systemet ikke er robust nok reduseres. En mer robust koblingsblokk og en ten-

nerledning med isolasjon som ikke så lett skades under lading er forbedringer som er et resultat av dette. Den forbedrede tennerledningen er også noe stivere slik at den åpner seg bedre fra bunten under lading med mindre problem med knuter og «engelskmenn».

Enkelte har etterspurt en lettere og mindre dataterminal til å avlese tennernes strekkode og tilordne tennerintervall (logger) i korga som gjør det enklere å bruke begge hender.

Den største utviklingen vil trolig være relatert til hvordan vi sprenger tunnel. Et tennsystem uten nonelsystemets begrensninger

åpner muligheten til å videreutvikle og optimalisere dagens sprengningstekniske metoder. Sentralt i denne utviklingen er Shotplus T programvare for tunnelsprengning. Programmet benyttes i dag til å lage tennplaner, optimalisere timing/bryting og til løsning av vibrasjonsproblemer som vist i figur 33.

Frem i tid vil trådløse elektroniske tennsystemer også kunne tilbys i dimensjoner tilpasset tunneldriving. Et slikt tennsystem er allerede utviklet (WebGen 100) og benyttes i dag av underjordsgruver spesielt i forbindelse med skiverasbryting for forbedret sikkerhet, produktivitet og økonomi.

3. NONEL™ - systemet

NONEL™- systemet ble oppfunnet av Nitro Nobel i begynnelsen på 70 tallet, og senere videreutviklet av Dyno Nobel/Orica. Systemet selges/produseres i dag av alle produsenter/leverandører under ulike produktnavn.

NONEL™-systemet er kanskje den viktigste oppfinnelse innenfor sprengningsteknologien i forrige århundre. Oppfinnelsen var basert på en ny type signalleder som ikke var følsom for strøm, radiobølger, magnetisme eller statisk elektrisitet, og hvor signalet overføres som en sjokkbølge. Tennsystemet har noen flere intervallnum-

mer enn de elektriske tennsystemene det erstattet, men nøyaktighet og presisjon av det pyrotekniske forsinkerelementet er mer eller mindre likt. Det er kombinasjonen med overflateforsinkere (SL-blokker) som gjør tennsystemet så anvendelig og fleksibelt.

Spesielt innenfor områdekontrollert sprengning hvor sprengningsinduserte vibrasjoner utgjør en utfordring, har man ved hjelp av nonelsystemet løst krevende sprengingsarbeider gjennom muligheten for å konstruere utradisjonelle tennings-systemer så vel over som under jord.



Figur 2. Nonel LP [13]

Nonel LP-systemet

Tennsystemet som benyttes i tunnel heter LP (long period) som henviser til at man har lange forsinkertider (fra 0 til 6-7000 ms). Produktet består av flere komponenter:

Nonelslangen



Figur 3. Nonelslangen

Nonelslangen har et reaktivt materiale på innsiden som opprettholder en sjokkbølge på 2000 m/s. Sjokkbølgen forplanter seg inne i slangen uten å skade omliggende sprengstoff.

nonelslangen er laget av spesielt utvalgte graderinger i flere lag av plast.

Plastmaterialet er kjemisk robust, tåler høye belastninger og temperaturer fra -45 °C til 70 °C.

Antall forsinkertider og nummer

Tunnelserien (Exel LP) består av et antall tennernummer som vist i figur 4.

Antall nummer i serien og forsinkertiden mellom de ulike numrene er gitt av presisjon/nøyaktig av hvert nummers forsinkertid. Antall nummer og forsinkertiden mellom numrene vil variere mellom ulike produsenter og er en del av produktets CE-godkjenning.

Nominell forsinkertid / Forsinkertid millisekund				
Intervall nummer	Nominell forsinkertid, ms*		Intervall nummer	Nominell forsinkertid, ms*
LP 0	25		LP 1100	1100
LP 100	100		LP 1200	1200
LP 150	150		LP 1400	1400
LP 200	200		LP 1600	1600
LP 250	250		LP 1800	1800
LP 300	300		LP 2000	2000
LP 350	350		LP 2400	2400
LP 400	400		LP 2800	2800
LP 450	450		LP 3200	3200
LP 500	500		LP 3600	3600
LP 550	550		LP 4000	4000
LP 600	600		LP 4400	4400
LP 700	700		LP 4800	4800
LP 800	800		LP 5200	5200
LP 900	900		LP 5600	5600
LP 1000	1000		LP 6000	6000

* Nominell tid, inkl. 6,0 m slange

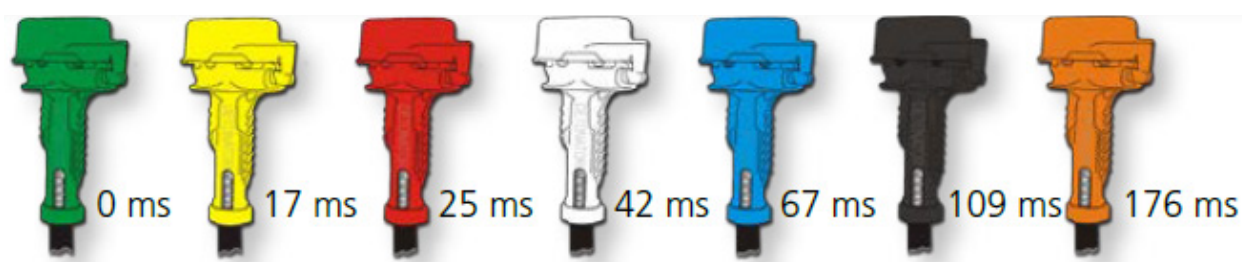
Figur 4. Forsinkertider Exel LP

Nonel SL-overflateforsinkere

Koblingsblokkene benyttes i tunnel for å forsinke grupper av tennere med samme nummer slik at sannsynligheten for at de initieres likt blir mindre (blokking). Ulike produsenter har blokker med ulike egenskaper og forsinkertider. Exel Connectadet (Orica) har forsinkertidene 0, 9, 17, 25, 42, 67, 109 og 176 ms.

Initiering av nonelsystemet

For å initiere nonelslange trengs en detonasjon eller gnist som skytes inn i slangen. Siden en nonelslange ikke kan initiere en annen nonelslange, må detonasjonen reproduseres ved hvert forgreningspunkt. Bunter av nonelslange ut fra hullene kan initieres med buntopptenner av overflateforsinkere eller en ringkoblet detonerende lunte (5-10 g/meter).



Figur 5. Nonel SL-overflateforsinkere



Figur 6. Opptenning av nonelsystemet ved hjelp av buntopptenner og detonerende lunte

Buntopptennerne som nevnt ovenfor, foretrekkes ofte fordi en mindre mengde detonerende lunte blir involvert i initieringsprosessen. Dette gir en sikrere tenning.

Blokkning anvendes for å redusere vibrasjoner

I løpet av de siste ti årene er store tunnelprosjekter drevet i tettbebygde områder og større bysentra. Vibrasjonsrestriksjoner i disse prosjektene er løst ved hjelp av blokkning, reduksjon av salvelengde og oppdeling av tunneltverrsnittet i flere salver (pilot/stross).

Nonelsystemets styrke er at ved å kombinere forsinkertider i hullet med overflateforsinkere er det mulig å lage et tennsystem med et stort antall forsinkertider og tenningsmønstre. Dette kalles blokkning / hybridkobling og salver koblet med denne metoden kalles hybridsalver.

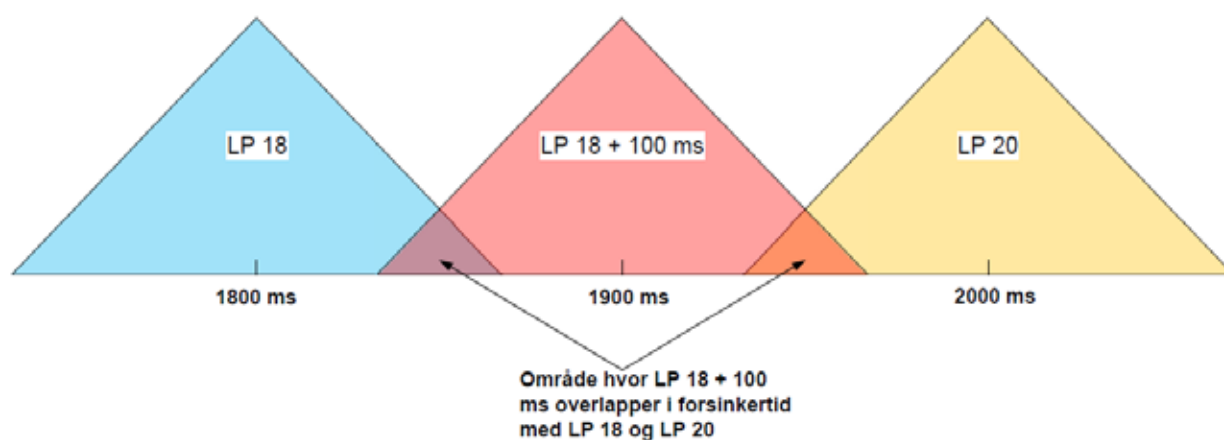
Det pyrotekniske forsinkerelementet i alle tennere har en unøyaktighet og for 95 % av alle tennere tilsvarer dette typisk ± 2 til 3 % av forsinkertiden. For at en tenner skal godkjennes for salg i EUs indre marked må

den tilfredsstillende spesifikke krav til presisjon og nøyaktighet. En beskrivelse av det statistiske kravet som settes til tennsystemer er vist i eget vedlegg. Tenners presisjon og nøyaktighet gjenspeiles i forsinkertiden mellom de ulike nummer i tennsystemet og derav antall nummer i serien.

Kravet til tenners nøyaktighet og presisjon kan forenkles slik at ingen tenner skal kunne overlappe i forsinkertid med nummeret under og over. Det skal også være en margin gitt av tenners presisjon. Dette kriteriet gjelder i uåpnet emballasje i hele tenners levetid på to år fra produksjonsdato og mellom alle produksjonsbatcher.

På et tunnelanlegg er tennere ferskvare. Det tar liten tid fra de er produsert til de blir brukt, og tennere av samme nummer er oftest fra samme produksjonsbatch.

Presisjon og nøyaktighet er for dette utvalget tennere noe bedre og gir redusert sannsynlighet for at tennere av samme nummer skal initieres likt om man benytter overflateforsinkere.



Figur 7. Man lager et nytt forsinkernummer ved hjelp av en SL-blokk . Det vil være en viss sannsynlighet for at det nye forsinkernummeret vil overlappe med LP 18 og LP 20

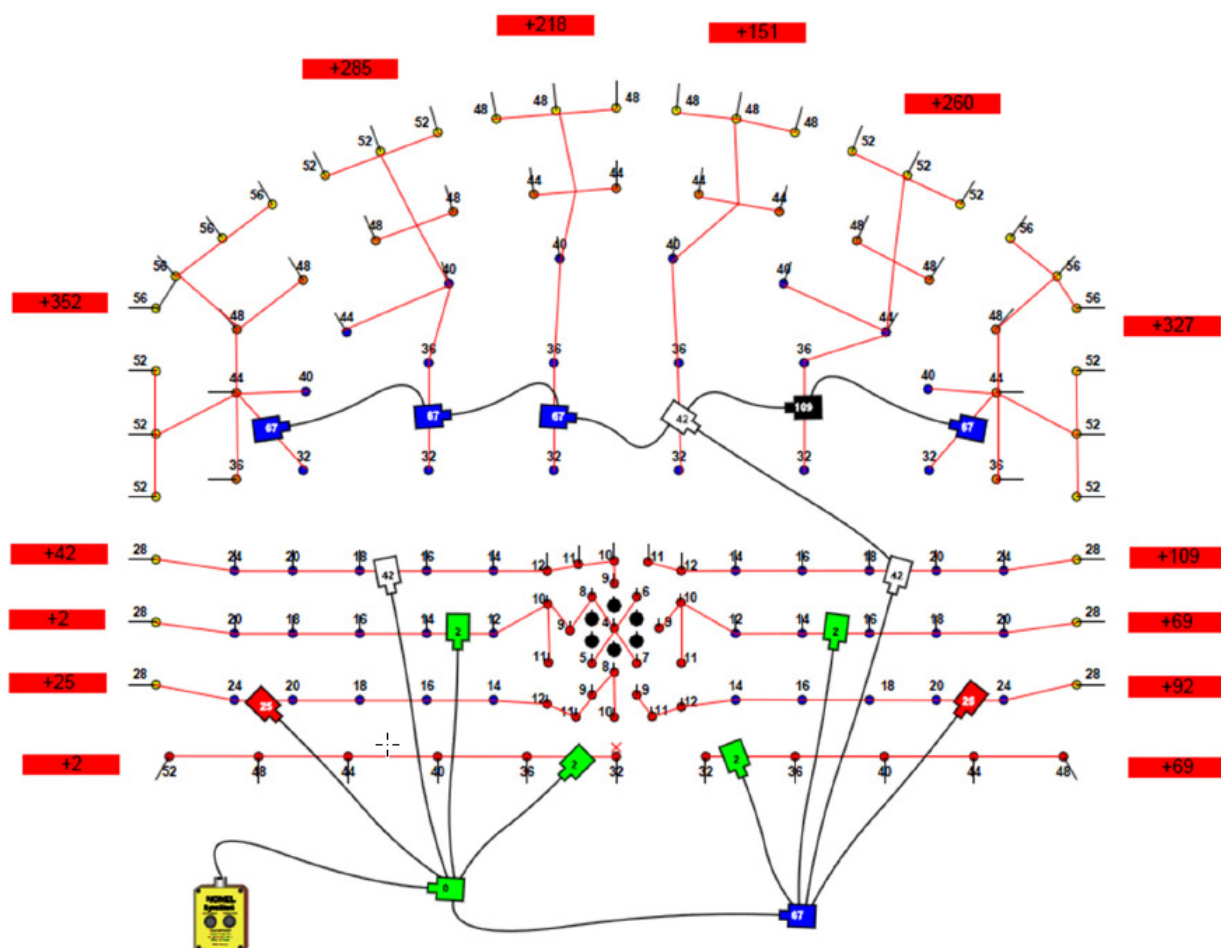
I figur 7 har man laget en LP19 ved at man har forsinket en LP18 med 100 ms. Forsinker man alle LP18 ulikt ved hjelp av SL-blokker i hele salven, øker sannsynligheten for at tennere skal overlappe, men det vil sannsynligvis gi mindre vibrasjoner enn å la alle LP18 initieres på samme tid.

I tillegg til at hybridssystemet ikke kan garantere etthullstenning er det også komplisert og tidkrevende å koble. Tennsystemet blir raskt komplekst, og det krever at det lages en tennplan (som vist i Figur 8). En rød strek på planen indikerer at hull tilhører samme gruppe koblet sammen med

en buntopptenner eller detonerende lunte. Det er her laget 14 grupper med forsinkertid fra 6 til 5552 ms.

Den teoretiske enhetsladningen er 1.7 kg/m som tilsvarer et stross/kutt/liggerhull angitt med blå/rød farge. Det kan skytes tre konturhull a 400 g/m og to indre konturhull a 800 g/m uten å overskride den teoretiske enhetsladningen.

Gruppenes forsinkertid oppnås med overflateforsinkere 0,9,17,25,42,67 og 109 ms og er vist i rød tekstboks. Ser man på konturhull med LP48-LP56 forsinkes disse med



Figur 8. Man kan kombinere Exel LP™ med Connectadet SL™-blokker for å redusere vibrasjoner. Røde streker illustrerer en serie av tennere koblet sammen med detonerende lunte. Røde tekstbokser er økning i forsinkertid for hver serie [13]

overflateforsinkere i seks grupper med en forsinkelsestid mellom gruppene mellom 25 -67 ms. Hvis hver tenner har en egenspredning på over ± 100 ms har man ingen kontroll hvilken rekkefølge hullene initieres.

Minste tid mellom rastene i oversalven er ca. 400 ms som tilsvarer tiden mellom tennernumrene.

Nonelsystemet kan ikke måles

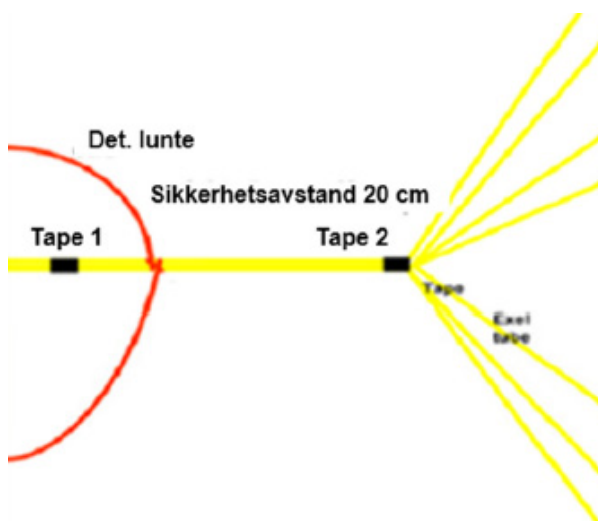
Nonelsystemets mangel på målbarhet gjør det sårbart for brukerfeil. Siden nonelsystemet ikke er målbart må man ha fokus på detaljer i alle arbeidsoppgaver. En av disse er å sørge for at avstanden mellom den detonerende lunta og bunten er større enn 20 cm. Hvis ikke kan sjokket fra lunta ødelegge nonelslanger til hull før det blir initiert. Hullet står igjen med primer og sprengstoff eller faller ned på røysa.

I figur 9 kan man se at den detonerende lunta ikke har noen sikkerhetsavstand til bunten. Sannsynligheten er her meget stor for at lunta slår av en eller flere nonelslanger før de blir initiert.

Anbefalt metode er å tape bunten som vist i figur 10, samt strekke bunten ut fra stuffen. Problemet øker når man benytter blokking/hybridsystemet. Buntene er mange, og risikoen er større for at lunta kommer for nær og ødelegger opptenningen.



Figur 9. Ingen sikkerhetsavstand mellom lunte og bunt



Figur 10. En sikkerhetsavstand på 20 cm er nødvendig for å sikre at lunta ikke ødelegger for opptenningen.

4. Elektroniske tennere i tunnel



Figur 11. Oppbygging av eDev II™-tenneren spesialtilpasset tunnelmarkedet

Det finnes flere ulike typer elektroniske tennere fra ulike leverandører i det norske markedet. Noen er av typen «multi-purpose» laget for bruk både over og under jord mens andre er laget spesielt til markedet de skal brukes, som seismikk, gruver, tunnel og over jord. Spesifikasjoner, funksjonsmåte, hvordan de kobles og testes samt tidsforbruk vil derfor variere. I tillegg til de elektroniske tennere fins det spesialtilpasset utstyr for logging, testing og avfyring. Dette er tilpasset hvert enkelt system og kan kun benyttes for tilhørende tenner.

I alle elektroniske tennere i markedet er kommunikasjonen mellom testenhet/avfyringsenhet toveis. Det vil si at tenneren

kommuniserer tilbake med statusmeldinger og testinformasjon.

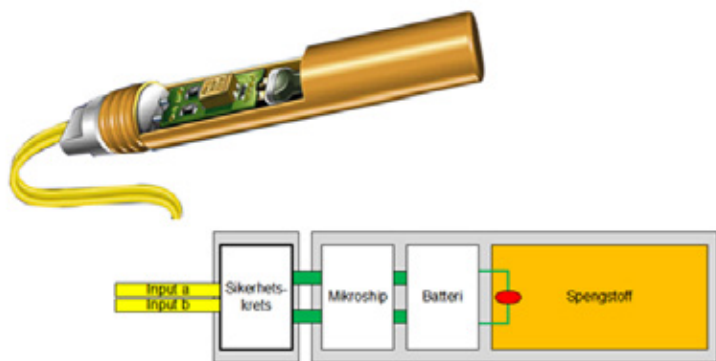
En elektronisk tenner skiller seg fra en noneltenner ved at den pyrotekniske forsinkersatsen er byttet ut med en mikroprosessor. Mikroprosessorens klokkefunksjon har en presisjon og nøyaktighet mer enn 100 ganger en noneltenner og en maksimal forsinkelsestid opp til 20 sekunder (eDev™ II).

I alle elektroniske tennere i markedet er kommunikasjonen mellom testenhet/avfyringsenhet toveis. Det vil si at tenneren kommuniserer tilbake med statusmeldinger og testinformasjon.

En elektronisk tenner skiller seg fra en noneltenner ved at den pyrotekniske forsinkersatsen er byttet ut med en mikroprosessor. Mikroprosessorens klokkefunksjon har en presisjon og nøyaktighet mer enn 100 ganger en noneltenner og en maksimal forsinkelsestid opp til 20 sekunder (eDev™ II).

Hver tenner har sin egen identitet som er kodet inn i tennersens mikroprosessor. Denne identiteten fins også i strekkoden/QR-koden festet til tennerledningen (eDev™ II). Tenneren har en sikkerhetskrets mot strøm, statiske utladninger, radiobølger og elektromagnetiske pulser

Tenner kobles til en datakabel/harness-wire slik at de kan testes, programmeres, lades og avfyres. Dette gjøres med en koblingsblokk. Koblingsblokken er beskyttet mot vann og smussinntrenging.



Figur 12. Generell oppbyggingen av en elektronisk tenner



Figur 13. Tenner kobles til harness-wire med en koblingsblokk

Datakommunikasjonen mellom testenhet og avfyriingsenhet er kryptert slik at den kun kan avfyres ved hjelp av tilhørende avfyriingsenhet. Tenneren har et oppladbart batteri som sørger for at tenneren har strøm til nedtelling, testing og initiering etter at den har mottatt avfyringssignal. Batteriet blir ladet opp under avfyriingssekvensen. Blir avfyringen avbrutt startes et eget program som nullstiller tenneren og batteriet lades ut.

Enkelte systemer lager en rapport etter at salven er skutt som dokumenterer hver enkelt tenners ID, forsinkertid, test og avfyriingsstatus (eDev™ II). En slik rapport er vist i eget vedlegg.

Enkelte produsenter tilbyr dataprogrammer hvor man kan hente borplan fra kundens datasystem, lage tennplan og utføre sprengningstekniske simuleringer. Man kan

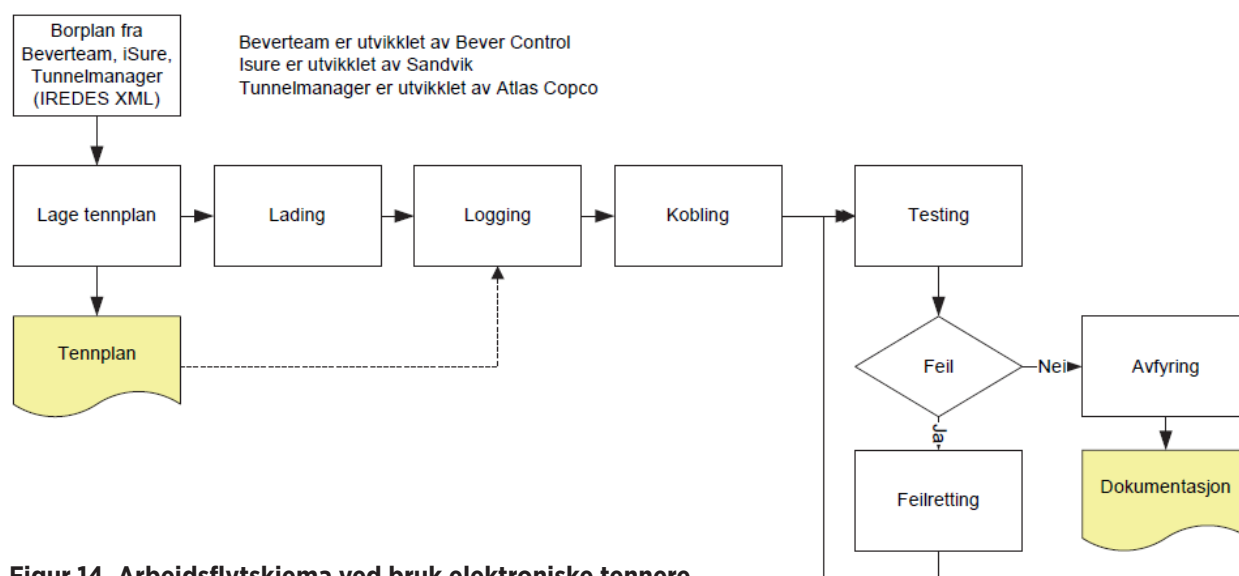
hente inn vibrasjonsmålinger og se hvilken tenner som bidro med hvilke vibrasjoner.

Alle elektroniske tennsystemer til salgs i det norske markedet har gjennomgått og bestått et stort antall standardiserte tester ved et godkjent kontrollorgan (Notified Body) før de kan CE sertifiseres og selges i det norske marked (EU Directive 2014/28/EU, EC 2014a).

Komponenter i eDev™ II system og spesifikasjoner er vist i vedlegg.

Arbeidsoperasjoner

Bruken av elektroniske tennere i tunnel følger følgende operasjoner. I enkelte prosjekter har man sett fordeler av å logge tenneren før man lader (oversalven). En mer detaljert beskrivelse av hver operasjon er beskrevet nedenfor.



Figur 14. Arbeidsflytskjema ved bruk elektroniske tennere

Tennplan

En tennplan er nødvendig ved bruk av både nonel og elektroniske tenner. Denne kan bli ganske komplisert for begge systemer hvis man har vibrasjonsrestriksjoner og har behov for å redusere antall hull som detonerer likt (etthullstenning). Unøyaktigheten i noneltenneren medfører at selv om man lager kompliserte planer med overflateforsinkelse, så gir det ingen garanti for at ikke flere hull detonerer likt og samvirker med økte vibrasjoner (figur 8).

For tidligere generasjoner elektroniske tennere har etthullstenning vært mulig, men man må da ha en tennplan med forsinkertiden til hver enkelt tenner som angis under loggingen. Loggingen vil være tidkrevende med stor sannsynlighet for å gjøre feil.

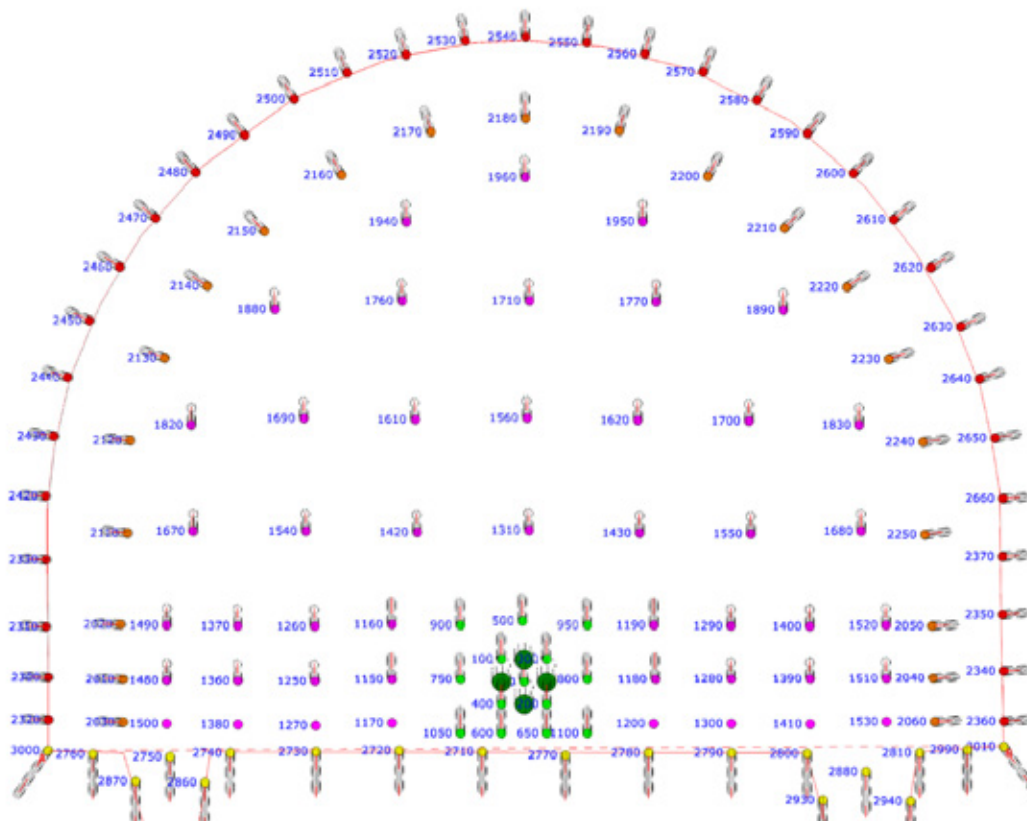
Siste generasjons elektroniske tennere utviklet for tunnel har forenklet denne prosessen. Her trenger man kun en enkel tennplan (figur 16). Systemet lager selv forsinkertider med etthullstenning (figur 5). Det

tar med andre ord ikke lengre tid å koble en salve med etthullstenning en med en uten.

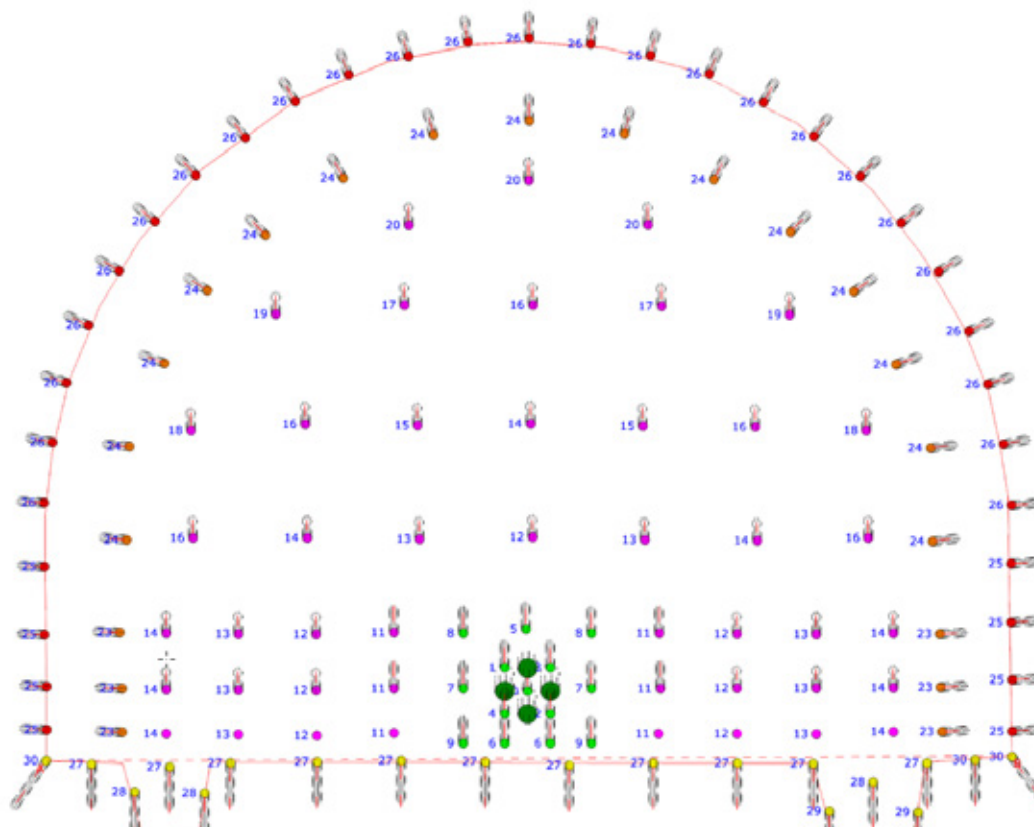
For å forenkle og redusere tidsbruken ved angivelsen av hver enkelt tenners forsinkertid er dette løst i eDev™ II-systemet.

Man må her fortelle systemet hva forsinkertiden mellom de ulike nummer skal være, og hvor mye forsinkertiden skal økes mellom tenner med samme nummer (figur 16). Dette gjøres i en tabell som ligger på loggenheten. Forsinkertiden for samme nummer bestemmes etter rekkefølgen de logges. Mens man logger tennere lager systemet automatisk forsinkertidene for hver tenner. Man kan på forhånd ha laget flere tennsystemer som ligger klar på loggenheten for å takle ulike sprengningstekniske og geologiske utfordringer.

Selve tennplanen kan se lik ut, men tidene mellom numrene som er bestemt av nummertabellen, kan være forskjellige. Endres antall hull trenger man kun å fortsette i det samme nummersystemet.



Figur 15.
Tennplan med
etthullstenning
for 127 hull. Total
salvetid 2550 ms
[13]



Figur 16. En enkel
koblingsplan for
eDev™ II som
gir etthulls-
tennsystemet vist
i figur 15 [13]

#	Increment	Offset
0	0	0
1	100	0
2	100	0
3	100	0
4	100	0
5	100	50
6	100	50
7	100	50
8	100	50
9	100	50
10	50	50
11	50	5
12	50	5

Figur 17. Utdrag av nummertabell for tennsystemet som vist i figur 15 og 16. [13]

Utdrag fra nummertabell anvendt ovenfor, hvor # er tennernummer, *Increment* er forsinkertid i ms mellom nummer og *offset* er forsinkertid mellom tennere med samme nummer.

Man kan ha flere nummertabeller tilgjengelig for å takle ulike kvadrater, geologiske forhold, samtidig initiering av alle hull i konturen osv.

Lading, logistikk og lagerhold er enklere

I og med at alle tennere er like, forenkler dette logistikken og lagerhold. Tennere lades i hullet på samme måte som nonel-tennere, men her trenger man ikke bruke tid på å lage serier og sørge for at riktig tenner er i riktig hull. Dette utfører man senere under loggingen

Logging

Tilordning av forsinkertid kalles logging. Loggingen medfører at man skanner ten-

nerens strekkode og skriver inn ønsket forsinkertid (figur 15) eller nummer (figur 16). Dette utføres med en håndholdt terminal. Tiden dette tar vil variere fra system til system som beskrevet ovenfor.

Loggingen utføres typisk av en eller to personer og man benytter da en terminal for undersalven og en terminal for oversalven.

Kobling

Kobling av tenner til datakabel/bussledning kan utføres i samme arbeidsoperasjon som logging eller det kan gjøres etterpå. For enkelte systemer kan man også teste for strøml lekkasje og feil i samme operasjon. Tiden for kobling er noe lengre enn for nonelsalver som ikke krever etthullstenning/blokkning. eDev™ II-systemet har ingen begrensning for hvor mange personer som kan koble og tidsbruken er bestemt av det.

Testing av tennsystem for feil eller lekkasje

Man kobler enden av busskabelen, hvor tennere er koblet, til en testboks eller logger. Man kan da teste alle tilkoblede tennere for feil samt lekkasje for hele systemet. Tiden dette tar vil variere for de ulike systemer, men for eDev™ II-systemet tar lekkasjetesten typisk 2-3 s for hele kretsen og testing av tennere tar typisk 1 s for hver tenner.

Testen kan finne flere ulike feil. Tiden det tar å rette feil er avhengig av type feil samt erfaring og rutiner.

Retting av feil kan være tidkrevende og det er derfor nødvendig å ha gode arbeidsrutiner og opplæringen slik at man reduserer brukerfeil til et minimum.

Omfanget av testing vil variere med de ulike systemer. eDev™ II-systemet finner følgende feil

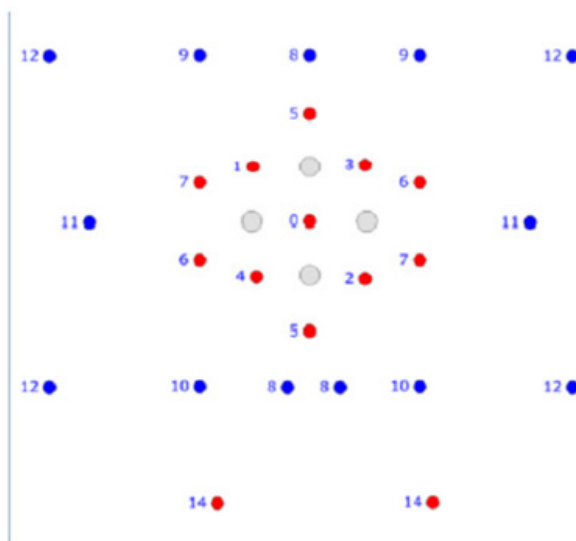
- Lekkasje/kortslutning. Det går strøm mellom ledningene (bussledning, tennerledning og jord).
- Feil på tenner (produksjonsfeil).
- Tenner er koblet på, men ikke logget. (Man har glemt å logge en tenner som er koblet til bussledningen).
- Tenner er logget men ikke koblet på/har ikke kontakt med bussledningen (brudd i koblingsblokk eller ledning).

#	Increment	Offset	Qty
0	0	0	1
1	100	0	1
2	100	0	1
3	100	0	1
4	100	0	1
5	100	50	2
6	100	50	2
7	100	50	2
8	100	50	3
9	100	50	2
10	50	50	2
11	50	5	2
12	50	5	4

Dokumentasjon under kobling (eDev™ II)

Man har full oversikt over alle tennere man har koblet med i systemet og hvilket nummer/forsinkertid de er tilordnet og det er enkelt å slette og endre.

Etter at tennere er logget kan man se en oversikt over antall tennere av hvert nummer på loggeren. Man kan da kontrollere at antall tennere av hvert nummer stemmer med tennplanen. Et utklipp av av dette er vist i figur 18.



Figur 18. Nummertabellen (til venstre) viser hvordan det er nummerert, og antall tenner av hvert nummer (Qty) kan sammenlignes med tennplan [13].

Avfyring og dokumentasjon

Bussledning kobles til en mellomkabel eller skytekabel som kobles til avfyringsenhet. Skytekabelen kan gjenbrukes. Systemet og tennere testes for feil. Tennere programmeres med forsinkertid og tennernes interne batteri lades opp. Tiden dette tar vil variere

fra system til system, men er typisk 3-4 minutter.

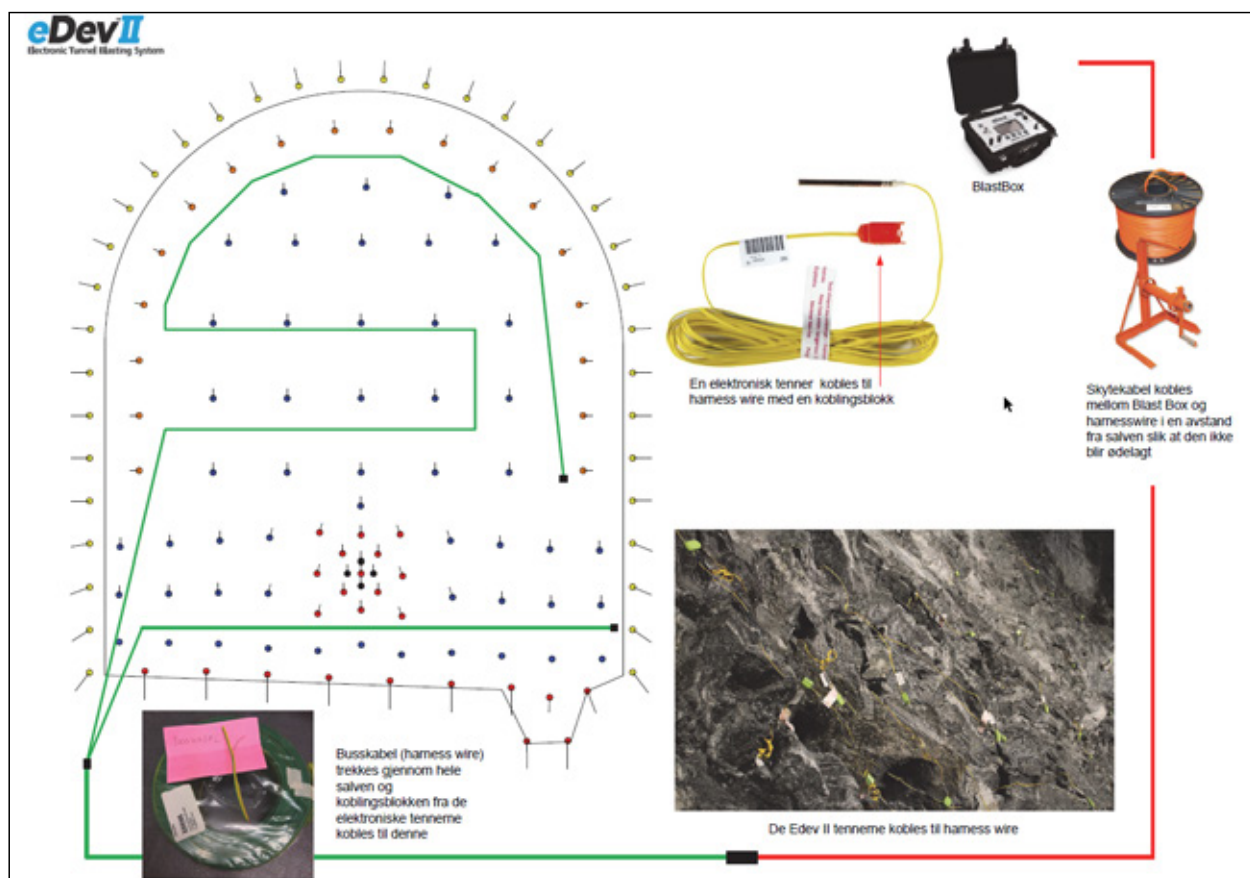
Etter at salven er skutt kan eDev™ II lage en rapport som dokumenterer tennernes identitet, forsinkertid og teststatus (figur 19 og Vedlegg).

```
eDev II BlastBox Report - SN: 202
137 TENNERE I LISTEN
0 ERRORS IN LIST
GLOBAL TID = 2622 ms
NO GLOBALS
POS  DET-ID      HD D#    DELAY  STATUS
-----
  1  6601D802    H1  0        0 ok
  2  6601D819    H1  1       100 ok
  3  6601D823    H1  2       200 ok
  4  6601D828    H1  3       300 ok
  5  6601D801    H1  4       400 ok
  6  6601D816    H1  5       500 ok
  7  6601D821    H1  5       550 ok
  8  6601D807    H1  6       650 ok
  9  6601D818    H1  6       700 ok
 10  6601D825    H1  7       800 ok
 11  6601D80E    H1  7       850 ok
 12  6601D813    H1  8       950 ok

128 6601D70D    H1 A1    2466 ok
129 6601D804    H1 A1    2469 ok
130 6601D6EA    H1 K1    2550 ok
131 6601D6FD    H1 K1    2550 ok
132 6601D6FC    H1 K1    2550 ok
133 6601D82F    H1 K1    2550 ok
134 6601D80B    H1 K1    2550 ok
135 6601D81C    H1 K1    2550 ok
136 6601D81F    H1 A1    2472 ok
137 6601D806    H1 A1    2475 ok

Date format is dd/mm/yy hh:mm
Download      10/04/18 23:28
Blast ARMED  10/04/18 23:29
Blast FIRED  10/04/18 23:30
Ström negativ (mA): 13
Current negative (mA): 12
```

Figur 19. Utdrag av tennmiddelrapport fra eDev™ II-systemet [13]. Tennernummer 13-127 er mht. plass redigert bort. En uredigert rapport er vist i Vedlegg.



Figur 20. Prinsippskisse for kobling av eDev™ II [13].

Tiden fra man starter lading til man avfyrrer salven tar oftest lengre tid når man benytter elektroniske tennere

Måler man tidsbruk fra man starter lading til en salve med elektroniske tennere er ferdig koblet, testet og klar for avfyring tar dette lengre tid enn for en standard salve med nonel. Vi har sett at brukere som har benyttet eDev™ II system over tid har redusert den ekstra tidsbruken betraktelig ved å endre og tilrettelegge arbeidsmetoder slik at man jobber raskere og gjør færre feil.

Det er i hovedsak oversalva som er tidskritisk. Har men en holder for logger/skanner montert i korga har man begge hendene fri og nummereringen og lading går raskere.

Koblingen tar noe mer tid enn sammenbunting og knyting med nonel og korga må kjøres noen ekstra sveip over salven. Er det to personer i korga under kobling er det muligheter for å spare tid slik at ventetiden på at man skal bli ferdig oppe blir minimal. Etter kobling testes tennsystemet for feil. En av feilene som tar tid å finne er tennere hvor tennerledningens isolasjon er ødelagt under lading. Måler man strøml lekkasje under kobling blir man varslet i det man kobler tenneren og man slipper å lete etter feilen.

Listen over fordeler og ulemper er basert på bruk av elektroniske tennere i prosjekter som listet opp i Tabell 1, samt litteratur som det er henvist til under Referanser.

5. Ulemper med elektroniske tennere i tunnel

Listen over fordeler og ulemper er basert på bruk av elektroniske tennere i prosjekter

som listet opp i Tabell 1, samt litteratur som det er henvist til under Referanser.

Innkjøpspris	En elektronisk tenner koster i 2018 typisk over fem ganger mer enn en nonel tenner i 6-7 m lengde. I tillegg kommer kostnader for skanner/tester og skyteapparat.
Krav til opplæring	Siden elektroniske tennmidler er nytt produkt for de fleste, samt at bruken av tennsystemet vil være ulikt fra system til system er det behov for opplæring av alle som skal håndtere systemet slik at dette utføres på en sikkerhetsmessig og forsvarlig måte. Ansaret ligger til virksomheten som skal sørge for at de som har befatning med eksplosiv vare har tilstrekkelig kunnskap og ferdigheter som gjør dem i stand til å utføre oppgavene på en sikker og forsvarlig måte. (Forskrift om håndtering av eksplosjonsfarlig stoff, Kapittel 2)
Opplæring i bruk av utstyr	Bruk av skanner/tester og skyteapparat krever opplæring. Utstyr må være ladet før bruk. Utstyr tåler vann (IP64/67), men må behandles nennsomt. Man må ha utstyr i reserve om det oppstår feil eller skade på utstyret.
Opplæring i bruk av systemet for å unngå og rette feil	Siden man i utgangspunktet ikke kan skyte en salve med feil er det viktig at det gis god opplæring i å unngå disse. I tillegg er det viktig å ha gode rutiner slik at man raskt kan finne og rette feil. Dette krever at man har support fra leverandør helt til man er trygg.
Support	Det er viktig at leverandøren er bemannet til å være med på stuff til brukerne er opplært og komfortable med bruken av systemet og er tilgjengelig for support.
Økt Syklustid	Siden antall arbeidsoperasjoner er flere ved bruken av elektroniske tennere tar det lengre tid fra man starter lading til man kan skyte sammenlignet med en standard salve koblet med nonel. Tidsforbruk til retting av eventuelle feil kommer i tillegg.
Utdrag av bunnprimer	Spesielt i prosjekter hvor man har benyttet elektroniske tennere i kontur og nonel i resten av salve har man sett at tunnelprimeren ofte dras ut av bunnladningen slik at hullet ikke initieres. Årsaken til dette kan være for lang tid fra første til siste hull initieres. For noneltennere er problemet mindre siden lunta skyter av nonelslangene under initiering, mens elektroniske tennere er koblet til en bussledning.

Utdrag av bunnprimer forts.	En sperrefjær for montering på primer er utviklet for å sentrere primeren i bunnen av hullet og hindre at den dras ut. Sperrefjæren har vært testet ut, men det har vært få indikasjoner på at den har hatt noen funksjon siden de aller fleste halvpipene fra konturhull står igjen etter sprengningen uten at sperrefjær er benyttet. Siden antall omskytinger er meget redusert, kan vi ikke si at dette er noe stort problem. En mulig årsak er redusert forsinkertid mellom konturer.
Feil på koblinger, ledninger og tennere er en kostnad uansett tennsystem. Spørsmålet er om det er flere feil med et elektronisk tennsystem enn med et tennsystem med nonel	Siden en viktig funksjonalitet ved det elektroniske tennsystemet, er at man kan teste om alle tennere er koblet med og funksjonelle, vil dette medføre at man vil få feil når man har glemt å koble med en tenner, har skadet tennerledning eller det er feil på tennere eller utstyr. Søking og retting av feil tar tid og er en kostnad. En nonelsalve kan ikke testes for feil og gjør man feil her, eller det er feil på tennere eller overflateforsinkere, oppdages det først etter man har skutt. Dette øker sannsynligheten for uomsatt sprengstoff og tennmidler i røysa, dårlig brytning, ekstra pigging, dårlig lastbarhet og i enkelte tilfeller omskyting. Kostnaden ved å rette opp etter en dårlig salve er ofte betydelig større.
eDev™ II-tennerledning har ikke vært robust nok	Ved bruk av eDev™ II-systemet har det til tider vært problemer med at isolasjonen på tennerledningen slites vekk under lading. Det fører til strøml lekkasje til jord slik at man ikke kan teste, programmere eller avfyre tennere i salven. Det er spesielt området fra tenner og rundt ladeslange som er mest sårbart. Benyttes ladeslangen til å 'stake' opp tette hull forsvinner isolasjonen raskt. Skarpe og rufsete hullvegger bidrar til problemet. Enkelte drivere er gode på å unngå dette og de tester systemet for lekkasje under kobling. En ny og forsterket tennerledning er testet ut på flere prosjekter, og resultatene fra disse er meget gode.

Tabell 2. Negative faktorer ved bruk av elektroniske tennere

6. Fordeler med elektroniske tennere i tunnel

Listen over fordeler og ulemper er basert på bruk av elektroniske tennere i prosjekter som listet opp i Tabell 1, samt litteratur som det er henvist til under Referanser.

Helse miljø og sikkerhet

Plast fra tennsystemet

Sammenligner man plastmengde fra tennsystemet, for en tunnelsalve som kobles med nonel og initieres med buntopptenning med detonerende lunte, mot en tunnelsalve som initieres med Dev™ II elektroniske tennere, ser man en reduksjon til halve mengden plast fra tennsystemet. Ved buntopptenning av en nonelsalve trenger

man en viss lengde på tennerledning ut av hullet for å lage en størst mulig bunt for å redusere koblingstid. 7.8 m slangelengde er det normale valget for 5.2 m hull-lengde. For elektroniske tennere er det ønskelig med minst mulig tennerledning ut av hullet da dette forenkler kobling og oversikt.

Vi har verifisert at elektroniske tennere synker i sjø. Ingen funn er registrert flytende med metall intakt i ledningen

Det er konklusjonen i Norconsult Testforsøk – spredning av plast i sjø fra utfylte tunnelmasser skutt med elektroniske tennere. Aldersund -Rassikringsprosjektet Rv 17 Liafjellet [3].

Plast fra tennsystem i røysa fra en salve på		150	hull
	Exel LP	eDev™ II	eDev™ II
Borhullslengde [m]	5.2	5.2	5.2
Tennerledning [m]	7.8	7	6
Koblingsblokk [g]	0	5	5
Bussledning 50 m [g]	0	100	100
Overskytende tennerledning [m]	2.6	1.8	0.8
Plast i tennerledning [g/m]	6	2	2
Plastmengde [g]	2340	1390	1090
Plastmengde [%]	100	59	47

Tabell 3. Plastmengde i røysa fra tennsystem. Tallmatriale er hentet fra Norconsult Testforsøk – spredning av plast i sjø fra utfylte tunnelmasser skutt med elektroniske tennere. Aldersund -Rassikringsprosjektet Rv 17 Liafjellet [3]

Formålet med testprosjektet var å finne svar på spørsmålene:

- Når tunnelmasser dumpes i sjø, vil rester av elektroniske tennsystem bli med tunnelmassene ned til sjøbunnen/synke i sjø eller vil den flyte opp til overflaten?
- Vil rester av elektroniske tennsystem legge seg inne i fyllingen på sjøbunnen? Vil den synes i fyllingsskråningen og/eller utenfor fyllingen?
- Kan vi få et konkret tall på mengde overskytende ledning i tunnelsalven ved å måle på stoff?

Rapportens konklusjon

- *Hovedkonklusjonen er at vi finner svært lite flytende plast fra elektroniske tennere. Kun 1,1 – 3,3 % av total mengde plast per m^3 tunnelmasser (utfylte kubikk) gjenfinnes i overflaten. Det er begrensede funn av løse ledningsbiter utenfor fyllingsfot, dette utgjør ca. 0,7 – 1,1 % av total lengde elektronisk ledning i massene.*
- *Vi har verifisert at elektroniske tennere synker i sjø. Ingen funn er registrert flytende med metall intakt i ledningen.*
- *Vi har også verifisert at koblingsblokker synker dersom de er koblet til ledning og ikke fragmenteres ved mekanisk slitasje.*
- *Få gjenfunn av plast i overflaten og få løse ledninger utenfor utfyllingsfot tyder på at det største omfanget av ledninger og koblingsblokker fra elektroniske tennere blir med massene ned ved slipp fra lekter i sjø og blir liggende inne i fyllingen.*

Nonelslange flyter og må fjernes fra røysa eller deponi før massen fylles i sjø.



Sikkerhet

Alle elektroniske tennere har en unik identitet som kan følges fra produksjon til tenneren er avfyrt.

Tennsystemet er fullt målbart, og ledningsnett, tennere og koblinger testes for feil før avfyring. Systemet tillater ikke at man avfyrrer salver med feil. For å overstyre dette må man logge på avfyringsenheten med et passord og endre innstillingene.

Etter salven er skutt lages det en rapport (eDev™ II) som inneholder identiteten til alle tennere som ble avfyrt i salven. Skytes salven med feil som f. eks. at tennere ikke er koblet med eller det er feil på tennere, blir dette logget (Tennerrapport er vist i vedlegg).

Finner man en intakt tenner eller en tenner med intakt QR-kode kan identiteten leses og spores fra produksjon til kunde og salve.

En elektronisk tenner kan kun avfyres av et elektronisk skyteapparat laget for denne type elektronisk tennere. Kommunikasjonen mellom skyteapparat og tennere er kryptert mot hacking og kan kun avfyres med en elektronisk nøkkel (eDev™ II).

Elektroniske tennere har en innbygd sikkerhetskrets som beskytter tenneren mot strøm/strømpulser, RF-bølger, magnetiske felt og statiske utladninger.

Uomsatt og gjenstående sprengstoff

Uomsatt sprengstoff i røysa er omhandlet i NFF teknisk rapport 09 [8] Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg. Fra rapporten kan man lese at:

Målinger viser at uomsatt sprengstoff fra tunnelsprengning medfører en anrikning av nitrogen i driftsvannet. Dette vil blant annet kunne medføre uønsket gjødsling av tilliggende resipienter.

Avhengig av driftsforholdene varierer mengden uomsatt sprengstoff. Ved tradisjonelt godt driftsopplegg ligger mengden mellom 10 % og 15 %. Til sammenligning viser undersøkelser fra pallsprengning, hvor de sprengningstekniske forholdene er betydelig enklere, at ca. 1 % av sprengstoffet ikke omsettes.

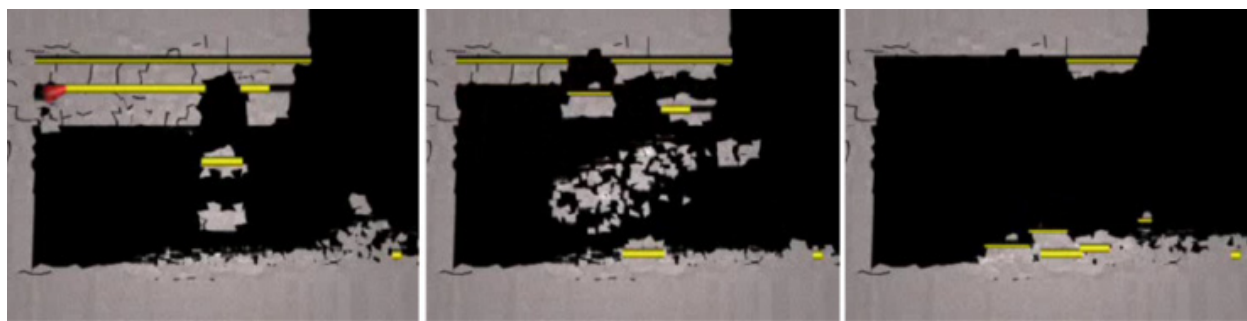
Årsakene til uomsatt sprengstoff skyldes i hovedsak følgende faktorer:

- *Bergforhold*
- *Sprengningsteknikk*
- *Koblingsfeil og søl fra lading*

Feil på sprengstoff og tennmidler er i svært liten grad årsak til uomsatt sprengstoff. Andelen søl vil kunne være betydelig. Den bør enkelt kunne reduseres ved riktig ladeteknikk og fokus/motivasjon hos tunnelarbeideren.

Som tidligere omtalt ligger den største svakheten til nonet systemet i nøyaktighet/presisjon av forsinkerelementet i tenneren. Dette medfører at det blir lange forsinkertider spesielt i oversalven. Spredning av forsinkertiden for tennere med samme nummer med de lengste forsinkertidene er stor og forårsaker sprengningstekniske problemer.

Dette er et problem i dårlig berg hvor de lange forsinkertidene kan føre til at berg faller ut og river med seg deler av hull som ikke er initiert. Dette får flere uheldige konsekvenser, hvor en er økt mengde sprengstoffrester i røysa.



Figur 21. For lang forsinkertid inn mot konturen fører til utfall og bla. sprengstoff i røysa og gjenstående deler av konturen (støvleskaft) [13].

Ved bruk av elektroniske tennere har man stor presisjon og nøyaktighet og man kan få den forsinkelsen man ønsker. En optimal forsinkelse mellom hull og raster er at nabohull er initiert før de blir penetrert av sprenggassledende/vannførende sprekker fra nabohull.

Gitt variasjon i bergforhold kan man ikke gi noen eksakt forsinkertid, men erfaringer med 100-150 ms mellom raster i oversalven har gitt svært lite omskyting av støvleskaft (figur 21), gjenstående hullpiper i kontur, mindre blokk, bedre fremkast og flatere røys.

Bedre sikt og miljø (mindre ladd) rapportert av selskap som drev utlasting og sålerensk

Initiering av hull hvor deler av sprengstoffstrengen er ødelagt eller falt ut kan føre til at det gjenværende sprengstoffet i hullet omsettes dårlig med økt andel av ugunstige sprenggasser. Fra Rapport fra utprøving [4] Ved Skanska Bagn-Bjørge rapporterte selskapet som drev utlasting og sålerensk at miljøet hadde blitt bedre i tunnelen ved overgangen til elektroniske tennere. Det ble satt i gang sprenggassmåling for å se om denne effekten kunne måles [10].



Figur 22. God sikt fem minutter etter avfyring av salve med elektroniske tennere i en avstand av 400 meter. Bagn-Bjørge [13].

Bilder fra lastemaskin viste stor forskjell på sikt under lasting, men målinger av CO viste marginale forskjeller. Det ble også målt NOX, men feil på utstyr eller målemetode ga negative NOX-verdier.

Årsaken til at man ikke kunne måle forskjell selv om den synlige 'ladden' fra salven var forskjellig er ukjent. Det er her behov for å se mer på målemetoden samt måle NOx før man kan konkludere.

Nitrat i tunnelvannet

Det er ikke kjent om det er utført målinger på nitrat i tunnelvannet fra salver skutt med elektroniske tennere med forsinkertider mellom hull og raster i oversalven. Det er å anta at bedre omsetting av sprengstoff, mindre nedfall av kontur som vist i figur 21 og færre omskytinger gir mindre andel sprengstoffrester i røysa som igjen vil ha en positiv innvirkning på nitrater i tunnelvannet.

Unngår bruk av svartkruttlunte



Figur 23. Svartkruttlunte og fenghetta [13].

Den mest benyttede metoden for å initiere nonelsalver i tunnel er med svartkruttlunte og fenghetta. Dette unngås ved bruk av elektroniske tennere.

Det monteres fenghetter på to stk. 1 m eller lengre svartkruttlunter som tapes på en

nonelstarter eller den detonerende lunta som tenner buntene. Lunta tennes av siste mann ut av tunnelen og den brenner med ca. 120 sekunder/m. Når lunta først er tent er det lite aktuelt å dra inn for å kappe lunta og avbryte sprengningen. Dette tidsvinduet hvor man ikke kan avbryte salven er gitt av lengden på lunta som brenner.

Det hender også fra tid til annen at lunta ikke tenner salven i henhold til antatt tid. Årsakene til dette er at den har slukket, brenner ujevnt og/eller ulmer. Man har ingen garanti for at lunter som ulmer ikke kan starte å brenne som normalt etter en tid. For å redusere sannsynligheten for at lunta begynner å brenne på ny, skal man i henhold til forskrift vente i 30 minutter før man reiser inn og retter feilen.

Selv om man benytter en ekstra lunte som sikring, er stopp i lunta en ikke ukjent hendelse på dagens tunnelanlegg.

Konturkvalitet og kontursprengning

Konturkvalitet og kontursprengning er beskrevet mer detaljert i NFF teknisk rapport nr. 12 *Konturkvalitet i sprengte tunneler* [7]. Sprengningsteknisk beskrivelse av metode er beskrevet i vedlegg.

Med kontursprengning menes spesielle sprengningsmetoder som anvendes når siktemålet er å etterlate det gjenstående berg så nær opp til planlagt profil som mulig med minst mulig skade på det gjenstående berg.

- Det kan variere hvilke kriterier man legger i at en tunnel har «god» kontur. I NFF teknisk rapport nr 12 [7] er disse listet opp som: Redusert sikringsbehov som følge av skånsom sprengning og derav en redusert skadesone.
- Færre omskytinger.

- Redusert mengde overmasse.
- Redusert omfang av rensk.
- Økt levetid og reduserte vedlikeholdskostnader for tunnelen.
- Falltap i vanntunneler.

Bruk av elektroniske tennere for økt konturkvalitet/reduisert sprengindusert skadesone i gjenstående berg er testet ut med godt resultat siden introduksjonen av den elektroniske tenneren tidlig på 90-tallet.

Konturkvalitet er ikke bare bestemt av høy nøyaktighet og presisjon til elektroniske tennere

Forutsetninger for optimal konturkvalitet er ikke kun avhengig av tennsystemets presisjon/nøyaktighet og samvirke mellom ladinger. Bergets foliasjon og lagdeling, kvalitet av boringen (parallelitet) og valg av riktig sprengstoff og lading av kontur er viktigere.



Figur 24. Kontur skutt med elektroniske tennere etter rensk [13].



Figur 25. Bedre lastbarhet og konturkvalitet [13].



Figur 26. Godt berg og kontursprengning med eDev™ II elektroniske tennere gir flott kontur [13].

En forbedret kontur ved å benytte samvirkende ladninger er testet ut ved flere anlegg som vist i Tabell 1. Forsøk ved E16 Bagn-Bjørge [4] [10] viste meget god konturkvalitet i form av gjenstående halvpiper før og etter rensk (figur 24-25).

Ved Nedre Otta kraftverk var geologien ugunstig og det var problemer med høy og tunglastet røys og omskyting av støvleskift i kontur. En demonstrasjon av eDev™ II systemet med reduserte forsinkertider og samvirking av hull i kontur viste at hvor enkelt problem kunne løses (figur 28).

Ved E6 Arnkvern-Moelv benyttes elektroniske tennere for å redusere plast fra tennsystemet i røys og fylling. Ved å benytte

de sprengningstekniske mulighetene som elektroniske tennere gir har man fått meget gode salveresultater mht. konturkvalitet, røysprofil/lastbarhet og inndrift. Figur 26 viser en seksjon av tunnelen etter rensk og bolting.

Det gode sprengningsresultatet har resultert i at man har redusert antall borhull i salven, redusert antall bolter og tykkelsen på sprøytebetongen.

Kontursprengning har mange likhetstrekk med blokksteinssprengning

Ulempen ved å benytte samvirkende ladninger er at de bidrar med økte vibrasjoner. I meget homogent berg eller berg med ugunstig lagdeling hvor skadesonen fra

indre kontur blir for liten, har man noen ganger sett blokkstein fra kontur. Eksempler på dette ble sett på E16 Bagn-Bjørge [10] i siste fase av utprøvingen.

En mer detaljert gjennomgang av forutsetninger og metoder for reduksjon av skadesonen er beskrevet i Vedlegg.

Røysprofil, fremkast, fragmentering og lastbarhet

Rønn. Pål-Egil, Konvensjonell drift av tunneler 1997 [2] benyttet elektroniske tennere i fullskalaforsøk. Han oppsummerer:

Lastbarheten var bedre, fragmenteringen finere og det ble ikke registrert blokker i røysa ved bruk av elektroniske tennere.

Røysprofilet var merkbart lavere ved bruk elektroniske tennere og gjorde at spettersk på røysa ble vanskelig.

Rønn studerte også røysprofil som funksjon av salvelengde og borhulldiameter og konkluderte:

Høy røys og bratt røysskråning er en indikasjon på tung brytning og dårlig lastbarhet.

Slik er bildet også i dag, 20 år etter. Røysa blir kastet betydelig lengre frem, og røysprofilen er lav og fragmenteringen er betydelig bedre ved bruk av elektroniske tennere.



Figur 26. Godt berg og kontursprengning med eDev™ II elektroniske tennere gir flott kontur [13].



Figur 28. Et godt sprengningsresultat med elektroniske tennere i dårlig berg med varierende sprengbarhet (Nedre Otta Kraftverk)

Et tennsystem med nok intervaller med riktig forsinkertid og høy nøyaktighet og presisjon er løsningen på problemene

Forklaring på hvorfor man får bedre fremkast, flatere røys, bedre fragmentering og lastbarhet når man anvender sprengningsteknisk riktigere forsinkertider i salven er:

- Hull bryter i den rekkefølgen de var tiltenkt.
- Riktigere forsinkertider mellom hull og raster slik at det er stor sannsynlighet for at alle hull er initiert og at sprengstoffet i de fleste hull i salven bryter berg med full effekt.

Når forsinkertiden mellom hull reduseres oppnår man også en samvirkende effekt som gir bedre fremkast. Denne effekten ser man også når man sprenger i dagen med

elektroniske tennere og reduserte forsinkertider mellom hull.

Sprengstoffet benyttes til det det var tiltenkt

Følgene av at mer av sprengstoffet i hullet initieres før det ødelegges av nabohull eller raser ut er:

- Redusert mengde uomsatt sprengstoff i røysa
- Redusert mengde nitrat i tunnelvannet
- Mindre ladd (bedre sikt)

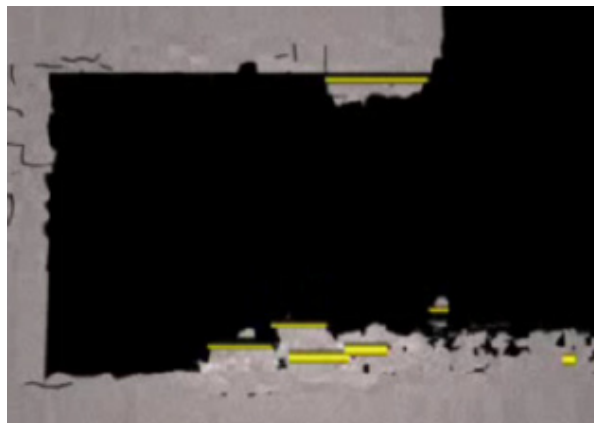
Blir sprengstoffstrengen skadet av nabohull er det stor sannsynlighet for at den ikke detonerer 100 %, men deflagrerer eller brenner slik at sprenggas-sammensetningen blir mer ugunstig.

Omskyting av konturhull er en normal hendelse i tunnelsprengning med nonelsystemet.

Hull eller deler av hull som raser ned i røysa før de er initiert er et tilbakevevnende problem i tunnelsprengning når man benytter nonelsystemet. Problemet er kjent under flere navn som glasögon og støvleskaft.

Ved E16 Bagn-Bjørge [10] siste ti salver med elektroniske tennere var det ingen omskytinger. Av de neste 10 med noneltennere var det fem.

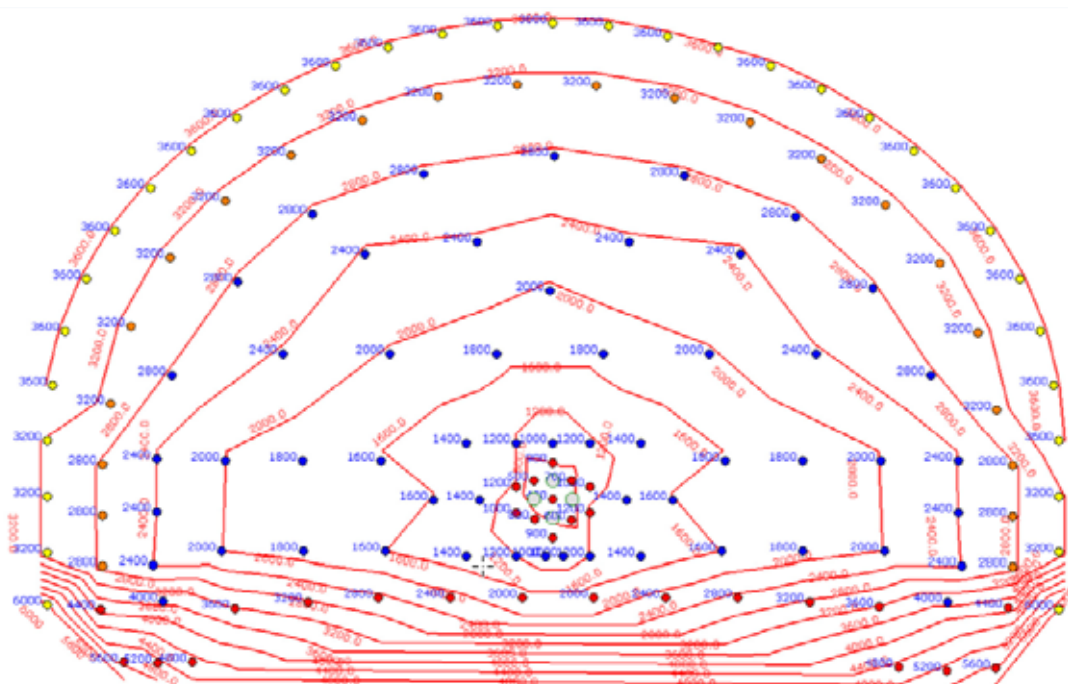
Årsaken er som beskrevet tidligere: I en nonelsalve er tiden mellom de høye forsinkernummene i oversalven mer enn 400 ms som ofte medfører at forsinkertiden mellom konturene og hull i oversalven i dårlig berg blir stor nok til at deler av konturen rekker å rase ut før sprengstoffladningen i hullene er initiert. Resultatet er en høy røysprofil,



Figur 29. Støvleskaft i konturen [13].

sprengstoffrester i røysa og omskyting av deler av konturhull hvor ladestrengen er brutt før den er initiert.

Reduserer man forsinkertiden i salven ved at man øker antall hull som initieres med samme tennernummer vil noneltennernes unøyaktighet føre til at at man ikke har kontroll på rekkefølgen disse initieres slik at man tidvis får dårlige salver.(figur 30).



Figur 30. En nonelsalve med minste oppnåelige forsinkertid (400 ms) mellom konturene. Man mister rekkefølgen hullene initieres langs samme tidskontur (rød strek) og forskjell i initieringstid (100-150 ms) er stor nok til at salven kan bryte dårlig.

Sprengning med vibrasjonsrestriksjoner

En av de største utfordringene ved sprengning av tunneler gjennom urbane strøk er å tilfredsstille vibrasjonsgrenseverdiene og samtidig være i stand til å opprettholde tilfredsstillende produksjon.

Når man nærmer seg et objekt hvor det er satt en grenseverdi for vibrasjoner er tiltakene enten å redusere samvirkende ladning/enhetsladning eller å beskytte objektet. Sammenhengen mellom vibrasjoner og enhetsladning er vist i vedlegg.

Objektet kan beskyttes med dempeputer som vist i figur 31, boring/saging av en splitt eller driving av en grøft. Sistnevnte er best egnet for å redusere de seismiske bølgene i overflaten.

Enhetsladningen kan reduseres i prioritert rekkefølge ved hjelp av følgende tiltak.

1. Redusere antall hull som detonerer samtidig
2. Redusere hullengden / sprengstoffmengden
3. Redusere antall hull som detonerer samtidig ved å dele opp tverrsnittet i flere salver som skytes en og en (pilot/stross)
4. Redusere sprengstoffmengden i hullet (for å opprettholde samme energi i salven må man bore flere hull)
5. Redusere sprengstoffmengden i hullet ved hjelp av dekkkladninger (figur 32)

Nonel LP-systemet har færre intervallnummer enn antall hull slik at man må benytte flere tennere av samme forsinkertid. Dette medfører økt sannsynlighet for at flere hull detonerer samtidig. For å redusere denne sannsynligheten er en mye brukt metode å



Figur 31. Damping av vibrasjoner ved hjelp av sylomer (Orica/Nitro Consult)

koble sammen sekvenser av hull og forsinke disse individuelt ved hjelp av overflateforsinkere (blokking figur 8). Metoden gir ingen garanti for etthullstenning, men har vist seg å fungere godt hvis ikke antall hull/grupper i salven blir for stort.

En tennplan med overflateforsinkere blir ofte komplisert og er tidkrevende å koble. Sannsynligheten for at det gjøres feil under kobling eller at man får stopp i deler av tennsystemet er stor.

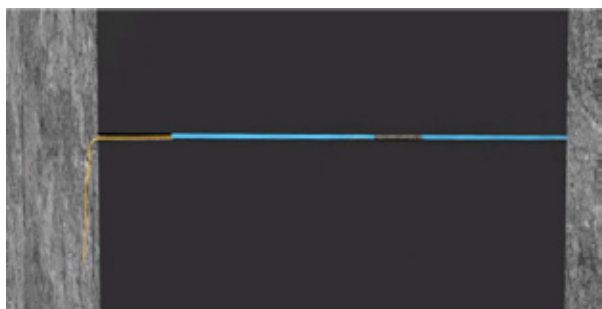
Elektroniske tennere har ingen praktisk begrensning på antall intervallnummer slik at etthullstenning kan oppnås uansett antall hull. Ut fra vibrasjonsmålingen har man stor fleksibilitet til å justere forsinkertider slik at man får mest mulig optimal separasjon av ladningene. Å sprengte større salver nærmere målepunktet med restriksjoner til vibrasjoner gir økt produksjon til en lavere kostnad.

I enkelte tilfeller har man sett at når man reduserer tiden mellom enhetsladningene går frekvensen av vibrasjonene opp. Bølger med høy frekvens gjennomgår flere lastvekslinger og dempes mer enn de lavfrekvente og vibrasjonene dempes.

Når enhetsladningen blir svært lav er, elektroniske tennere eneste løsning

Enhetsladningen for salvene i kvikkleiresonen av Strindheimstunnelen var 1 kg fordelt på 299 hull a 2 m, med ett intervall pr. hull og en maksimal forsinkelse på 9500 ms (figur 1).

Ved hjelp av elektroniske tennere kan man redusere enhetsladningen i hullet ytterligere ved å benytte flere ladninger/tennere i hullet separert med en sandpropp for å



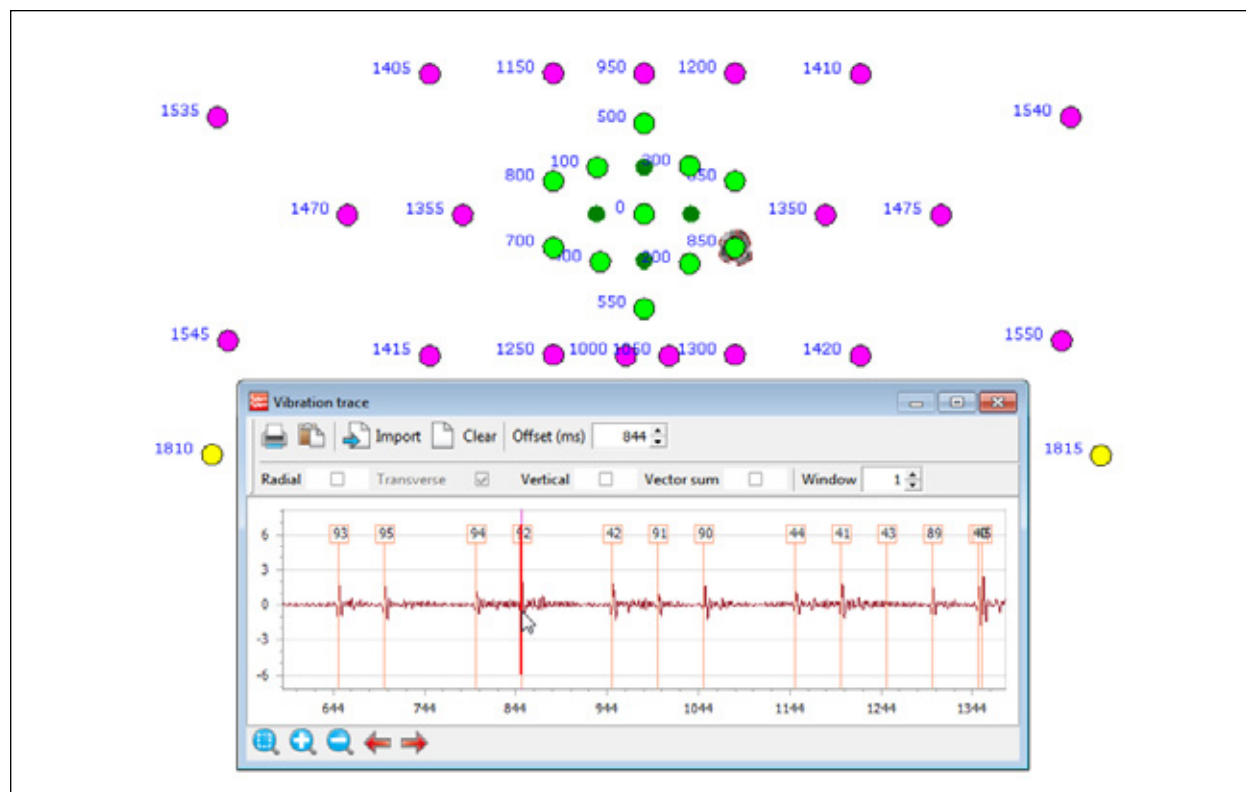
Figur 32. Halvering av enhetsladningen ved hjelp av dekksprenning [13].

unngå overslag. Metoden heter dekkskyting og er mye brukt over jord i sprengning med restriksjoner (figur 32)

Anvendt i tunnelsprengning kan man i større grad opprettholde salvelengden. Metoden er brukt i flere tunnelprosjekter i Hong Kong, Japan og Sør-Korea [13].

Vibrasjonsdata og tennplan kan kobles sammen

Ved å koble data fra vibrasjonsmåler med tennplan kan man se hvilke tennerintervaller og hull som bidrar med hvilke vibrasjoner. Dette er løst i Shotplus™ T programmet (figur 33), hvor en kobling mellom vibrasjoner og initieringstidspunkt for hvert hull automatisk sammenstilles. Ved å peke på en vibrasjonstopp eller et tidsområde av kurveforløpet vil tilhørende hull vises i tennplanen.

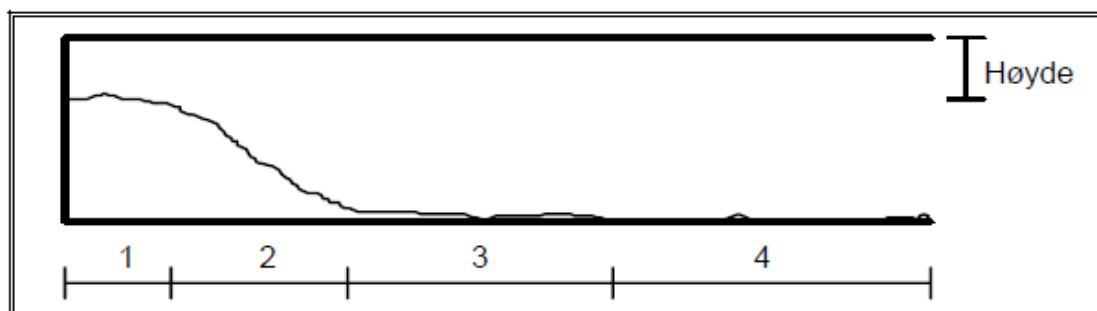


Figur 33. Ved hjelp av Shotplus T programmet kan kurveforløp fra vibrasjonsmålere kobles sammen med tennplan slik at man kan se hvilke tennintervaller/hull som bidrar med hvilke vibrasjoner [13].

3.6.9 Røysprofilering

Røysprofilen gir en indikasjon på hvordan salva har gått. Høy røys og bratt røysskråning tyder på at salva har vært tung å kaste fram.

Utlasting av slike salver kan ofte være tungt. Mye sprut kan være forårsaket av enkelte for «tunge tak» eller at ulada lengde har vært for liten.



Borhulldiameter - salvelengde	Lengde 1 [m]	Lengde 2 [m]	Lengde 3 [m]	Lengde 4 [m]	Høyde [m]
45 mm – 5,0 m	4,6	7	10	34	3,0
64 mm – 5,0 m	4,7	10	12	49	2,3
64 mm – 6,8 m	5,6	9	18	50	1,5
64 mm – 6,8 m	6,0	12	20	58	0,4

Figur 3.17 Røysprofil

Lengde 1 : Fra stuff til øverste knekkpunkt på røysa.

Lengde 2 : Lengde på røysskråning.

Lengde 3 : Lengde fra røysfot og til det jevne steinteppet slutter.

Lengde 4 : Fra steinteppet til ytterste stein.

Høyde : Fri høyde på røysa 2 m fra stuff.

Figur 34. Røysprofiler ved ulike salvelengder og borhulldimensjoner [2]

Lengre salver

Figur 34 er hentet fra Rønn, P. E., Konvensjonell drift av tunneler 1997, NTNU. Doktoringeniøravhandling 1997:6 [2]

Avhandlingen fra 1997 er ikke bare aktuell i denne rapporten fordi det ble anvendt elektroniske tennere i konturen i en del av forsøkene, men også fordi det ble utført forsøk med salvelengder på 6.8 og 8.6 m med 64 mm borhulldiameter.

Når hullets lengde øker, øker også boravviket. Problemet er størst i kutten hvor sannsynligheten for at kutthull bores inn i grovhull øker slik at den bryter dårlig. Flere kuttyper ble testet ut før man fant en som fungerte godt.

Fra sammendrag og konklusjon for lengre salver kan man bl. a. lese:

- Overmasse øker med økende borhulldiameter, men viser ingen entydig trend for økende salvelengde.
- Høyden på røysa øker med økt salvelengde og avtar med økende borhulldiameter.
- Lastekapasiteten reduseres med økende salvelengde.

- Problem med lading av «tette» borhull avtar med økende borhulldiameter.
- Forsøkene viser at det er sprengningsteknisk mulig å drive salvelengder opp mot 8,6 m. Beregninger viser at med dagens teknologi er økonomisk optimal salvelengde vesentlig kortere.

Salvene på 6.8 m som ble skutt med nonel var tunge å laste. Avstanden fra røys til tak var 0.5 m slik at det var umulig å renske fra røysa (figur 34).

Lengre salver øker produksjonen

En interessant tanke er om det ved hjelp av elektroniske tennere i hele tunnelprofilen ville redusere problemet med høy røysprofil og dårlig lastbarhet slik at man kan drive lengre salver uten at dette går på bekostning av sprengningsresultat og lastbarhet.

Siden rensk fra røysa i de fleste prosjekter i dag er uaktuelt, kan det være interessant å se på Rønn sine beregninger på nytt. Hva er lønnsomheten, hvis man i kan drive 1 m lengre salver i snitt over hele tunnelprosjektet?

7. Sammendrag av rapporter

Nedenfor er det samlet et sammendrag rapporter fra prosjekter hvor det er anvendt elektroniske tennere.

UFP05 Skillingsmyr

Sammendrag av forsøk	Sprengningstekniske forsøk – UFP05 Skillingsmyr entreprisen Vestfoldbanen		
Byggherre	JBV	Dato	September-Oktober 2014
Entreprenør	Veidekke AS	Antall salver	20
Tennsystem	eDev™ II	Publisert	Fjellsprenningskonferansen 2014
Rapportnavn			
Utarbeidet av	Espen Hugaas, Olaf Rømcke, Vegard Olsen Orica Norway AS		

Rapporten omhandler									
Konturkvalitet	x	Vibrasjoner		Røysprofil	x	Overmasse	x	Inndrift/produksjon	x
Sikring	x	Lastbarhet	x	Koblingstid		Opplæring		Miljø	

Sammendrag	I Ønnsåsen jernbanetunnel på Vestfoldbanen samarbeidet byggherre, entreprenør og sprengstoffleverandør om et sprengningsteknisk forsøk over en strekning på ca. 100 meter. Hovedhensikten med forsøkene var å ta i bruk elektroniske tennere på et anlegg der det i utgangspunktet ikke var noen spesielle hensyn som måtte tas. Det ble skutt 20 salver med elektroniske tennere som ble sammenlignet med 20 salver skutt med konvensjonelle, ikke-elektriske tennere (10 salver før forsøkene og 10 salver etter). Det ble ikke gjort andre endringer på salvene enn å bytte tennsystem. Alle salver var etter standard tunneldrift ladet med emulsjonssprengstoff og strenglading i kontur. Informasjon fra skiftrapporter og byggherrens kartlegginger ble systematisk sortert og sammenlignet. Målet med forsøkene var å belyse hvilke effekter elektroniske tennere kunne ha på salveresultatene og tunneldriften og for å kunne sette dette inn i et økonomisk totalperspektiv over tunnelens levetid.
Resultater	Resultatene fra forsøkene viser bl. a. slettete kontur. Mindre overmasse, lengre inndrift, redusert sprøytebetong og lettere lasteforhold.
Kommentarer	Datainnsamling ble utført av student fra NTNU og inngikk i prosjektrapport <i>Kontursprengning i tunnel - Med fokus på sprengningsteknisk forsøk med elektroniske tennere i Ønnsåsen jernbanetunnel</i> , Hannestad, Eirik, 2014

Rv 17 Liafjellet

Sammendrag av forsøk	Plast fra tennsystem: Aldersund -Rassikringsprosjekt Rv 17 Liafjellet.		
Byggherre	Statens Vegvesen	Dato	2017-07-03
Entreprenør		Antall salver	
Tennsystem	eDev™ II / Exel™	Publisert	Rapport
Rapportnavn	Aldersund -Rassikringsprosjekt Rv 17 Liafjellet		
Utarbeidet av	Norconsult: Oppdragsnr: 5144240 Dokumentnr: YM-119-NO		

Rapporten omhandler

Konturkvalitet	Vibrasjoner	Røysprofil	Overmasse	Inndrift/produksjon	
Sikring	Lastbarhet	Koblingstid	Opplæring	Miljø	x

Sammendrag

Testforsøket var todelt, der første del handlet om å få et kvalifisert tall på mengde overskytende ledning i tunnelsalven. Dette gjorde vi ved å være tilstede på stuff under lading og måle hvor mye tennerledning som stakk utenfor borhullet, samt wiren som sammenkobler hele salva.

I andre del av testprosjektet ønsket å verifisere hvorvidt elektroniske tennere synker ved utfylling i sjø og om de følger massene ned og blir liggende fast inne i fyllingen. Dessuten ville vi finne ut om plast kom til overflaten og eventuelt hvor mye. Vi ville også verifisere om løse ledningsfragmenter ville separeres fra massene i sjøen og drifte vekk fra utfyllingen og eventuelt hvor langt fra fyllingsfoten vi kunne finne slike.

Testforsøket i Aldersundet verifiserte at elektroniske tennere synker i sjø. Ingen funn ble registrert flytende med metall intakt i ledningen. Vi har også verifisert at koblingsbokser synker dersom de er koblet til ledning og ikke fragmenteres ved mekanisk slitasje.

Hovedkonklusjonen var at vi fant svært lite flytende plast fra elektroniske tennere. Kun 1,1 – 3,3 % av total mengde plast per am3 tunnelmasser (utfylte kubikk) ble gjenfunnet i overflaten. Av total innsamlet mengde plast under testforsøket, stammet 10,4 % fra elektroniske tennere. Vi gjorde begrensede funn av løse ledningsbiter utenfor fyllingsfot, dette utgjorde ca. 0,7 – 1,1 % av total lengde elektronisk ledning som var i massene i testsalvene.

Vi gjorde ingen gjenfunn av de store «vasene» med ledning som vi så både i røysa og på mellomlageret utenfor tunnelen. Dette kan bety at den ekstra omlastingen fra mellomlager kan ha utsatt ledningene for så stor mekanisk slitasje at de har fragmentert. Eller at det største omfanget av ledninger og koblingsbokser blir med massene ned ved slipp fra lekter i sjø og blir liggende inne i fyllingen.

Vi fant også «annen plast» under testforsøket – både i vannoverflaten og liggende på sjøbunnen. Av all plasten som ble samlet inn under forsøksperioden, var det 86,9 % som ikke stammet fra elektroniske tennere. Foringsrør og rørladninger utgjorde mesteparten av «annen plast». Det er viktig å understreke at bruk av foringsrør og rørladninger har ingenting med valg av tennsystem å gjøre. Det er bergets beskaffenhet og vanninntrenging som er bakgrunnen for bruk av foringsrør og rørladninger. Vi er i dialog med sprengstoffleverandører for å finne bedre alternativer.

Tunnelmasser fra E11, Rogfast, vil bestå av ca. 132 480 am³ etter de beregninger som ligger til grunn i prosjekteringen. Dersom vi legger tallene fra testforsøket i Aldersundet til grunn skulle dette tilsi at vi potensielt kan finne totalt 2,6 – 8,3 kg flytende plast fra elektroniske tennsystem i E11. Hele E11 består av fyllitt, erfaringer fra fyllitt i Ryfast tilsier minimal innlekkasje og behov for bruk av foringsrør.

Hovedkonklusjonen er at vi finner svært lite flytende plast fra elektroniske tennere. Kun 1,1 – 3,3 % av total mengde plast per am³ tunnelmasser (utfylte kubikk) gjenfinnes i overflaten. Det er begrensede funn av løse ledningsbiter utenfor fyllingsfot, dette utgjør ca. 0,7 – 1,1 % av total lengde elektronisk ledning i massene.

Resultater

Verifisere lengde overskytende ledning

Vi har vært tilstede under lading og målt lengde overskytende ledning, altså alt av elektroniske tennere som er utenfor borhullet samt wire til blast box, vi vet derfor eksakt hvor mye plast som potensielt var i tunnelmassene vi benyttet i testforsøket. Det har gjort at vi kan beregne gjenfunn av plast mer nøyaktig og basert på mer enn «erfaringstall» som tidligere er benyttet.

Potensiell plast i sjø fra elektroniske tennere

Vi har verifisert at elektroniske tennere synker i sjø. Ingen funn er registrert flytende med metall intakt i ledningen. Vi har også verifisert at koblingsbokser synker dersom de er koblet til ledning og ikke fragmenteres ved mekanisk slitasje.

Få gjenfunn av plast i overflaten og få løse ledninger utenfor utfyllingsfot tyder på at det største omfanget av ledninger og koblingsbokser fra elektroniske tennere blir med massene ned ved slipp fra lekter i sjø og blir liggende inne i fyllingen.

Hovedkonklusjonen er at vi finner svært lite flytende plast fra elektroniske tennere. Kun 1,1 – 3,3 % av total mengde plast per m^3 tunnelmasser (utfylte kubikk) gjenfinnes i overflaten. Det er begrensede funn av løse ledningsbiter utenfor fyllingsfot, dette utgjør ca. 0,7 – 1,1 % av total lengde elektronisk ledning i massene.

Vi har funnet indisier på at utfyllinger i brattere terreng vil føre til større andel av løse ledningsbiter utenfor fyllingsfot og at disse i all hovedsak vil gjenfinnes i nedkant fyllingsfot innenfor en radius på 30 meter. Funnene tyder også på at ved grunnere utfylling og flatere terreng, vil man finne minimalt med ledninger som «løsner» fra fyllmassene ved lektertipp. Det er vesentlig å understreke her at disse konklusjonene kun kan gis med tilsvarende forhold med tanke på strøm, bunnforhold og vær osv. som under testforsøket i Aldersundet.

Under forsøksperioden har vi registrert at vindretning, strøm og flo/fjære har stor innvirkning på hvor plast kommer til overflaten. Det er lite som kommer rett opp over slippunkt, selv med minimal strøm slik vi hadde i Aldersundet.

Vi fant også at det første lasset som ble sluppet på hvert av de 3 tipp-punktene generelt ga noe mindre gjenfunn av plast i overflaten enn de påfølgende, men vi kan ikke forklare hvorfor.

Vi gjorde ingen gjenfunn av de store «vasene» med ledning som vi så både i røysa og på mellomlageret utenfor tunnelen. Dette kan bety at den ekstra omlastingen fra mellomlager kan ha utsatt ledningene for så stor mekanisk slitasje at de har fragmentert. Eller det kan tyde på at alle de store «vasene» har blitt med massene ned og ligger skjult inne i fyllingen.

Annen plast – foringsrør og rørladninger

Det ble funnet «annen plast» under testforsøket – både i vannoverflaten og liggende på sjøbunnen. Av all platen som ble samlet inn under forsøksperioden, er det 86,9 % som *ikke* stammer fra elektroniske tennere. Foringsrør og rørladninger utgjorde mesteparten av «annen plast». Det noteres ikke i rapportene fra stuff hvor mye av annen plast slik som foringsrør som benyttes i hver salve.

Vi ble fortalt at det var brukt 3-4 foringsrør i testsalve 3, men det kan ikke dokumenteres. Det samme gjelder for bruk av rørladninger. Et foringsrør er 5,2 meter langt, borhullene er 5 meter, så disse stikker ca. 20 cm. utenfor i det salven går av. Det ble gjenfunnet både hele biter som trolig har stått utenfor borhullet og fragmenter som så ut til å ha «overlevd» sprenging inne i borhullet. Tilsvarende er gjeldende for rørladningene, med unntak at der er hele røret inne i borhullet ved avfyring av salva.

Det er viktig å understreke at bruk av foringsrør og rørladninger har ingenting med valg av tennsystem å gjøre. Dette brukes uavhengig av nonel- eller elektroniske tennere, eller andre tennsystem for den saks skyld. Det er sprengingsansvarlig for den aktuelle salven som gjør vurderinger om bruk av dette ut fra vanninntrenging og bergets beskaffenhet.

Hvor ofte man benytter foringsrør og rørladninger er avhengig av bergets beskaffenhet og vanninnhold i borhullene. Dette kan man vanskelig forutsi før sonderboring er utført. I Rogfast er det strenge krav til innlekkasje i tunnelen og det er lagt opp til injisering av berget før boring der man påtreffer vann i sonderingshullet på stuff.

Erfaringer fra Ryfast tilsier lite til ingen bruk av foringsrør, ca. 0,09 foringsrør per salve i en 11 km lang tunnel i fyllitt. Det er mulig å unngå/minimere innlekkasje ved å bore et tilleggshull ved siden av ordinært borhull for å lede vann i det ene og lade i det andre. Det finnes også alternative sprengmidler, for eksempel dynamitt, som kan tåle høyere fuktighet. Vi er i dialog med sprengstoffleverandører for å identifisere andre løsninger som kan minimere plastbruken ved sprenging og beskrive dette i våre kontrakter. Gjenfunn av plast fra foringsrør har ikke vært registrert som noe problem i Ryfastutbyggingen.

Vi fant flere nonel-slanger flytende under testperioden som ble samlet inn, både røde og gule. Disse stammer ikke fra rassikringsprosjektet vi fikk tunnelmassene fra. Vi klarte ikke å finne ut hvor de kom fra, det må være fra tidligere prosjekter. Nonel-slangene bar preg av å ha ligget lenge i sjøen.

Kommentarer

E16 Bangskleivtunnelen (Fagskolen Innlandet, 1/2017)

Sammendrag av forsøk	Fagskolen Innlandet 1/2017. Hovedprosjekt: Forsøk med elektroniske tennere, Bangskleiv tunnelen E16		
	Ramme for oppgaven Med utgangspunkt i foreliggende bakgrunnsmateriale og egne erfaringer, skal dere: • Vurdere dagens bruk av elektroniske tennere • Komme med anbefalinger til bruk Dere blir å se på som en uavhengig 3. person som har fått jobben.		
Byggherre	SVV	Dato	Okt-Nov 2016
Entreprenør	Skanska	Antall salver	
Tennsystem	eDev™ II / Exel™ LP	Publisert	23/01/2017
Rapportnavn	Gruppe 4. Hovedoppgave 2017		
Utarbeidet av	Arnstein Bøklepp, John Gunnar Eggerud, Rune Holen		

Rapporten omhandler

Konturkvalitet	x	Vibrasjoner	x	Røysprofil	x	Overmasse		Inndrift/produksjon	x
Sikring		Lastbarhet	x	Koblingstid	x	Opplæring		Miljø	x

Sammendrag	I forbindelse med utbygging av tunnel på E16 ved Bagn, er det gjort forsøk med bruk av elektroniske tennere i deler av tunnelen. Dette for å kunne se om det er merkbare forskjeller mellom elektroniske tennere, og den vanlige tenner typen nonel (Non-Electronic - ikke elektronisk). Vi ser at denne typen tennere gjør det mulig å kontrollere rystelser under sprengning bedre, og at overflaten/konturen blir mye jevnere. Risikoen for å finne gjenstående sprengstoff reduseres (nærmest elimineres), og antall omskytinger går ned. Sikkerheten under tunneldrivingen øker, og vi får et bedre sluttresultat. Vi ser ikke stor forskjell på tidsforbruk eller det økonomiske aspektet.
Resultater	Konklusjon Det ble gjort positive erfaringer fra testperioden med elektroniske tennere i Bangskleivtunnelen. Men man må nok ha en lengre testperiode med fulle salvelengder (5,20m) både på nonel og elektroniske tennere, for å få et enda bedre sammenligningsgrunnlag.

Rystelseskravet ble holdt så godt det lot seg gjøre. Ei salve hadde høy rystelse på 38,3 mm/s. Dette skyldes geologiske forhold som vi ikke kunne forutse. Q-verdien/bergmasse kvaliteten på den salva var den dårligste på hele testområdet. Sleppete fjell i bergmasse klasse D med lite overdekning.

Vi ble positivt overrasket over resultatene vi fikk. Bedre knusning på stein, lengre utkast på røys og mindre ladd etter sprengning med elektroniske tennere. Jevnere kontur med mindre overberg og mindre knusningssone rundt konturhull. Det var nesten ikke omskyting (kun 3 salver). Raskere syklus tider etter noen salver. En stor fordel er å kunne sjekke alle tennere før sprengingen, for å unngå forsagere. Dette kan redde menneskeliv!

Positivt økonomisk resultat samlet sett, selv om elektroniske tennere er dyrere i innkjøp. Besparelsene på konturkvalitet, nedgang i rensketid, mindre slitasje på utstyr, gjør at økte kostnader ved innkjøp vil bli inndekt.

Resultatet ble bedre og jevnere kontur sprengning med elektroniske tennere. Mindre rensk maskinelt og mindre spett rensk for hånd. Mye større muligheter for å ivareta rystelseskrav. Store muligheter til å gjøre endringer og tiltak underveis, for å forbedre resultatet.

Med bakgrunn i vår rapport anbefaler vi fremtidig bruk av elektroniske tennere.

Resultat rystelser

Det vi kan si, er at på de salvene som var over rystelseskravet, var det kun enkelte hull som var over kravet. Det vil si at effekten av et borehull kanskje dro ut i ei sleppe, og ga en for høy rystelse. Dette er noe som kan være umulig å unngå, og som høyst trolig kommer av geologiske årsaker.

Spesielt kan vi se det på salva skutt 11.11.2016 som hadde rystelse 38,6 mm/s. (Figur 21) Det hører også med at denne salva hadde den dårligste Q-verdien etter kartlegging. Dette kom av geologiske årsaker. Fjellet var sleppete i hengen, og det var liten overdekning.

Man kan også ut i fra rystelsesgrafen etter sprengning, se nøyaktig hvilket hull som har skapt for høyt utslag på måleren. Dette er en stor fordel, siden man da kan endre boremønster, avstand fra hull til nabohull, borehulls lengde, endre lademengde eller endre tennerforsinkelse. Dette for å på best mulig måte overholde rystelseskravet.

Kontur resultat

Vi kan si at vi fikk en finere kontur i testområdet med elektroniske tennere. Det var ubetydelig med geologisk utfall og lite overberg. Man kunne ofte se klart

og tydelig nesten alle borpipene (Figur 28). Lite omskyting av gjenstående hull i konturen, som man tidligere i tunneldrivingen har vært mye plaget med. Testen med elektroniske tennere viser at vi har fått en jevnere bergoverflate, med mindre knusningssone i konturen. Dette vil spare fjellsikring med både sprut og bolter, i dårligere fjellkvalitet. Det kommer av nøyaktig tenning av enkelthull i hele salva. Og at sprengstoffet får virke på sin mest hensiktsmessige måte. Slike resultater vil gi byggherren mindre kostnader ved sikring. Samtidig som entreprenøren vil få besparelser ved mindre tidsbruk ved rensk med piggemaskin, og mindre tidsbruk med manuell rensk med renskespett. For å vise forskjellen på dette har vi med 2 tilfeldig valgte tverrprofiler fra ferdig scannet bergoverflate. (Figurer 26 og 27). Det presiseres at begge salvene er i samme bergmasseklasse.

Syklustider og bore / ladetider

Det vi kan si ut i fra sammenligningene, er at tidsbruken gikk ned på ladetid underveis. Man må ta hensyn til at produktet er nytt for arbeiderne, og det vil derfor ikke bli helt riktig å sammenligne tidsbruken siden testperioden er over så kort tid.

Lastetiden

Lastetiden blir det ikke riktig fremstilling på, siden det varierer med antall lastebiler og tipptrucker. Etter testen med elektroniske tennere kan vi si at vi fikk en finere fraksjon på steinen i salvene. Det vil si mere oppknust berg, og vesentlig mindre blokker. Dette er med på å gjøre lastingene raskere og gir økonomisk gevinst. I Bagnskleivtunnelen hadde vi tidligere hatt en del problemer med store blokker i salvene. Fjellet her oppe har hele tiden vært hardt, men sleppete og lagdelt. Det har vært tilnærmet lik bergmasse kvalitet hele veien, både før og under testperioden.

Det vi mener utgjør forskjellen er at med nonel tennere vil man få en mer unøyaktig avfiring av salvehullene. Spesielt ved sleppete fjell har dette mye å si. (Man kan si at et hull kan ødelegge for et nabohull) Med elektroniske tennere har man mulighet til å prøve å feile med programmering av tenn intervaller. Det ble utarbeidet 14 ulike borplaner med elektroniske tennere. Boreplanen med minst forsinkertid mellom hvert salvehull, var den hjullastersjåførene likte best. En annen stor forskjell vi merket var at røysa etter sprengte tunnelsalver med elektroniske tennere, ble kastet mye lengre (Figur 31). Røysa var mye flatere (spesielt salver med kort intervalltid mellom tennene). Dette gjorde lastetida raskere, samtidig som det sparte lasteutstyret for unødvendig slitasje.

Tidsbruk rensk

Det er ingen tvil om at rensketiden har gått ned ved bruk av elektroniske tennere. Dette gjelder både maskinrensk med pigghammer og håndrensk.

Dette skyldes en jevnere kontur, med mindre knusningssone ved konturhull og mindre overberg (utfall).

Omskyting

Tidsbruken på omskyting har gått ned. Vi kan vel si at vi nesten ikke hadde omskyting på de elektroniske tennerne. Kun tre salver med små støvelskraft (viser til begrepsliste) på noen få konturhull. Men det er farlig å trekke en fast konklusjon, siden de fleste av salvene var 3 meter. Det vil som oftest være mindre forsagere/gjenstående hull ved korte salvelengder.

Tidsforbruk salvesykluser

Man kunne ikke se noen vesentlig endring i salvesykluser. Tunneldriverne brukte litt lengre tid under ladingen med de elektroniske tennerne. Det tar litt ekstra tid å programmere hver enkelt tenner. Dette var noe som gikk raskere etter at de hadde fått ladet noen salver. Det vi kan si er at i testperioden gikk ladetiden litt opp. Men det var vesentlig mindre rensk, lite omskyting og lettere å laste ut salva. Så alt i alt økte ikke salvesyklusene. Tunnelskifta bruker minst like lang tid på å lade og koble ei salve med nonel tennere, hvor det brukes blokking, for å prøve å få til enkelthulls tenning i områder med rystelseskrav.

Ladd / luftkvalitet etter sprenging

En litt annen overaskende oppdagelse var at sprengningsladden ble vesentlig mindre. Samtlige arbeidere var enige om dette. Dette merkes godt når man skal inn å laste etter sprenging. Spesielt på lengre tunneler vil dette være en stor fordel, siden det tar lengre tid å få forurenset luft ut av tunnelen (Figur 35). Vår vurdering er at nøyaktig tenningsrekkefølge, gjør at sprengstoffet virker bedre og man får en jevnere og bedre sprengning. Dette er nok med på å gjøre sprengningsladden mindre

HMS fordeler ved bruk av elektroniske tennere

Mulighet for å sjekke at alle tennerne er programmert riktig, og at det ikke har oppstått skade på dem under lading. Dette sikrer en korrekt avfiring og man unngår gjenstående tennere i salva (forsagere), som kan utgjøre en stor risiko under lasting, pigging og boring. I de fleste sprengningsulykker er det dette som er problemet.

- Omskytinger og støvelskraft ble det betydelig mindre av.
- Mindre knusningssone i konturen. Som gir en jevnere overflate og vesentlig mindre geologisk utfall. Som igjen gir mindre fjellsikring.
- Forbedring av luftkvalitet etter sprenging.
- Fant ingen gjenstående salvehull med udetonerte tennere i salvene.

Kommentarer

E16 Bangskleivtunnelen (NTNU Gjøvik, 2018)

Sammendrag av forsøk	NTNU Gjøvik 2018. Testing av elektroniske tennere, Bangskleivtunnelen E16		
	<i>Er bruk av elektroniske tennere bedre med tanke på HMS, i forhold til bruk av ikke-elektroniske tennere?</i> • Ladd/luftkvalitet etter sprengning • Lasting av steinrøys etter sprengning • Konturoverflate etter sprengning • Rensk etter sprengning		
Byggherre	SVV	Dato	03-17/4 2018
Entreprenør	Skanska	Antall salver	10 elektroniske/10 Exel LP
Tennsystem	Edev™II / Exel™ LP	Publisert	30.05.2018
Rapportnavn	Testing av elektroniske tennere, Bangskleivtunnelen E16		
Utarbeidet av	Marita Lorraine Sjursen Svendal Bacheloroppgave NTNU Gjøvik		

Rapporten omhandler

Konturkvalitet	x	Vibrasjoner		Røysprofil		Overmasse	x	Inndrift/produksjon	
Sikring		Lastbarhet	x	Koblingstid		Opplæring		Miljø	x

Sammendrag	Bruk av elektroniske tennere har blitt mer og mer brukt i nyere tid, men ikke-elektroniske tennere blir også mye brukt i tunnelutbygging. Denne bacheloroppgaven tar for seg testing av elektroniske tennere i Bangskleivtunnelen E16 i samarbeid med Statens vegvesen. Formålet med denne oppgaven er å se på forskjeller ved bruk av elektroniske og ikke-elektroniske tennere med fokus på ulike HMS områder som luftkvalitet, lastetid av steinrøys, fjellkontur, og rensk etter sprengning. Det har blitt gjennomført en testperiode med 10 salver elektroniske tennere, og 10 salver ikke-elektroniske tennere. I forbindelse med denne testperioden har det blitt tatt luftmålinger for å dokumentere luftkvaliteten. Action kamera har blitt brukt til å dokumentere lastetid, og for å kunne si noe om ladd/støv som oppstår etter sprengning. Det har også blitt tatt bilder av fjellkontur etter hver sprengning, i tillegg til at det har blitt dokumentert tid på rensk.
-------------------	---

	Resultatene fra denne testperioden viser ingen store forskjeller mellom bruk av elektroniske tennere og ikke-elektroniske tennere i forbindelse med de ulike HMS områdene som er belyst i denne oppgaven. Den største forskjellen er ladd og fjellkontur, der elektroniske tennere hadde best resultat. Utenom dette var resultatene fra begge typer tennere veldig like.
Resultater	Sprenggasser Selv om video fra stuff rett etter salve viser stor siktforskjell mellom elektroniske / ikke elektroniske tennere har man ikke målt endringer i CO. NOX ble forsøkt målt, men utstyret fungerte ikke (ga negative verdier). Lasting Lastetiden er målt ved hjelp av videokamera montert på lastemaskin. Når man ser på gjennomsnitt som er regnet ut ser man at man bruker litt mindre tid på lasting og tiden fra salve skutt til man har startet å laste etter bruk av elektroniske tennere. Steinrøysa har vært en del finere knust ved bruk av elektroniske tennere. Etter bruk av ikke elektroniske tennere har steinrøysa hatt en tendens til å ha store steinblokker og ujevn røys. Gjennomsnittlig lastetid ikke elektroniske tennere (Exel LP) målt til 139 min. Gjennomsnittlig lastetid elektroniske tennere (eDevII) målt til 135 min. Tunnelkontur Tunnelkontur er sammenlignet ved hjelp av bilder fra hver salve. Bildene viser fjellkonturen som er finere ved bruk av elektroniske tennere. Borepipene er synligere, og resultatet etter sprengning er mye jevnere og finere enn ved bruk av ikke elektroniske tennere. Det ser også ut som det er en del mindre geologisk utfall ved bruk av elektroniske tennere kontra nonel ifølge det som tunnelkontrollørene har ført opp i dagbøkene til SVV. Omskyting Under denne testperioden har det heller ikke blitt gjort noen omskytinger ved de elektroniske salvene, mens ved bruk av nonel har man måttet gjennomføre 5 omskytinger. Med elektroniske tennere har man mindre knusningssone og jevnere bergoverflate. Bedre fjellkontur med mindre geologisk utfall, mindre knusningssone og jevnere bergoverflate gir mindre fjellsikring. Dette er veldig positivt med tanke på HMS. Også det at det ikke var behov for omskytinger under test med elektroniske tennere er positivt i forhold til HMS. Rensk Dataene som er samlet fra basrapport og dagbøker i forbindelse med rensk viser en god del variasjon, både ved bruk av nonel og elektroniske tennere.

	Vedlegg for rensk viser at de fleste tidene er jevne, men det er noen tider som er veldig høye. De høye verdiene vil føre til at gjennomsnittsberegningene blir veldig høye i forhold til dersom tidene hadde vært jevne gjennom hele testperioden.
Kommentarer	Bruk av SVV dagbøker og Skanska sine basrapporter er det ikke alltid helt sikkert at man får de eksakte tidene som er gjeldende. Grunnen til dette kan eks være menneskelig feil, som at tidene ikke bli oppført med en gang, man glemmer å føre opp m.m. Dermed er det usikkerhet med hvor riktig tidspunkt og tidene som er oppgitt er. Gjennom arbeid med oppgaven har det vært enkelte tider som ikke har blitt oppført, eks spettersk som er vist i vedlegg, noe som gjør det vanskelig å se hele bildet. Siden det er så få tester så kan en manglende verdi ha mye å si for tolkning av resultatet. Dette hadde ikke vært et like stort problem dersom det var gjennomført flere tester, og man hadde flere resultater å sammenligne med. Noe annet man ser i etterkant er at bruk av action-kamera burde ha blitt testet på forhånd, siden man hadde en del problemer ved de første salvene med at batteriet til kameraet hadde gått tom før selve lastinga var ferdig. Dette førte til at det ble vanskelig å finne effektiv lastetid, og måtte dermed gå ut i fra lastetid som var ført opp i basrapportene. Testperioden burde ha startet tidligere og vart lengre, slik at man fikk flere resultater å sammenligne over lengre tid, noe som ville ført til at resultatene var enda mer sikrere og pålitelige. Utførelsen med bilder av fjellkonturen etter salvene har vært til stor hjelp for å kunne si noe om forskjellene her. På bildene kommer det godt frem forskjellene. Det samme gjelder skjermbilder av ladd fra videoopptakene som er gjort. Forskjellene blir vist frem ganske tydelig. Resultatene etter testperioden var ikke helt slik vi hadde forventet. Vi hadde forventet at det ville komme frem større forskjeller mellom elektroniske tennere og nonel. Spesielt resultatene fra luftmålingene. Med tanke på at det har blitt påpekt fra de som jobber i tunnelen at luften virker bedre etter bruk av elektroniske tennere, var ikke resultatene helt etter forventning. Grunnen til dette er fordi det kan være mange faktorer som spiller inn på luftmålingene vi har tatt. Faktorer som kan være med på å påvirke luftmålingene er: • Luftmåleren er ikke slått på ute i frisk luft før den ble ført inn i tunnelen. • Luftmåleren har ikke blitt kalibrert ofte nok under testperioden. • Siden ene luftmåleren hang bak på lasteren kan eksos fra lastebiler og tipptrucker være med på å påvirke måleresultatene. • Været ute kan påvirke resultatene fra luftmålingene

En annen grunn for at vi ikke fikk de forskjellene på luftmålingene vi hadde håpet på er at vi har målt feil type gass. Det skulle egentlig gjennomføres målinger på NO₂ i tillegg til CO og prosent sprenggass, men i starten av målingene fikk man negative verdier på NO₂. Da ble Dräger Norge kontaktet siden måleinstrumentet kommer fra dem. I følge de kunne det oppstå negative verdier for NO₂ målinger enten pga. reaksjoner i luften i tunnelen mellom ulike gasser ga negative verdier, eller at sensoren for NO₂ var trykkømfintlig. Vi ble anbefalt å se bort fra NO₂ målingene, derfor er ikke de resultatene tatt med i denne oppgaven.

Hvor mye sprengstoff som er brukt kan også ha noe å si for resultatene vi har fått. I utgangspunktet var det blitt enighet om at det skulle brukes lik mengde sprengstoff gjennom hele testperioden, noe som tunnelkontrollørene har sett at ikke har blitt gjennomført. Det har variert med mengde sprengstoff som er brukt, noe som er veldig uheldig med tanke på resultatene. Hvor troverdig er resultatene fra denne testperioden da?

Jarlsbergtunnelen

Sammendrag av forsøk	Rapport fra forsøk med elektroniske tennere og detonerende lunte ved driving av Jarlsbergtunnelen I juni 2010 ble det skutt totalt 6 salver på forespørsel fra LNS om å foreta en preliminær test serie med elektroniske tennere og detonerende lunte, for å undersøke forbedringspotensialet mot eksisterende metode, strengladning med bulkemulsjon og ikke elektriske tennere.		
Byggherre	Jernbaneverket	Dato	Juni 2010
Entreprenør	LNS	Antall salver	6
Tennsystem	Indetshock TS/ E-Star	Publisert	13.09.2010
Rapportnavn	Rapport fra forsøk med elektroniske tennere og detonerende lunte ved driving av Jarlsbergtunnelen [11]		
Utarbeidet av	Nexco-Jernbaneverket v/ Petter Jensen og Tom F Hansen		

Rapporten omhandler

Konturkvalitet	x	Vibrasjoner		Røysprofil		Overmasse	x	Inndrift/produksjon	
Sikring	x	Lastbarhet		Koblingstid	x	Opplæring		Miljø	

Sammendrag	Bakgrunnen for forsøket var et økende fokus i norsk tunnelbransje på bedre kontur i tunneler. Med bedre kontur er målsetningen bl.a: • Mindre sikringsbehov pga mer skånsom sprengning av berget. • Sprøytebetongforbruket vil eksempelvis normalt gå ned ved et bedre profil • Mindre overfjell ved sprengning • Mindre omfang av maskin- og håndrensk Forsøket ble gjennomført ved driving av Jarlsbergtunnelen i Tønsberg. Det var et samarbeidsprosjekt mellom Leonard Nilsen og Sønner (LNS), Nexco og Jernbaneverket. Jernbaneverket var byggherre for tunnelen, Leonard Nilsen og Sønner er entreprenør og Nexco er leverandør av tennere og sprengstoff til LNS. Erfaringen fra de 6 forsøkssalvene viser at profilet ble betydelig bedre med elektroniske tennere og detonerende lunte, enn med bulkemulsjon og nonel tennere. Dette vises best ved at antall borpiper i hengen går kraftig opp, samt at hengen visuelt ser sletttere og bedre ut. Det var imidlertid vanskelig å se noen
-------------------	--

	endring på profileringsdata før og etter forsøksfeltet. Dette skyldes muligens for lav oppløsning av profileringspunkter. Boltebehovet gikk ned, men det er vanskelig å se noen trend på sprøytebetongforbruket. Tid til maskinell- og manuell rensk gikk generelt ned, uten at det finnes detaljerte tall på dette. Med detonerende lunte i konturen har man en klart definert lading og mulig "overlading" elimineres. Elektroniske tennere reduserer skadesonen og sikrer at all lunte tennes og problemet med detonerende lunte i røysa elimineres.
Resultater	I området for de 6 testsalvene, samt 2 salver før og etter, var geologien relativt lik. Ulike geologiske forhold skal derfor ikke ha spilt vesentlig inn på resultatene. Antall hull i konturen ble tilpasset kontrakten. Beskrivelser av resultatene er hentet fra dagbøker til ingeniørgeologene til Jerbaneverket Saman Moghadam, Linda Nesje, Tom F. Hansen. Det ble på følgende 6 salver benyttet e-star i konturen ned til vederlag sammen med 80 g detonerende lunte og 30x380 dynamitt tennpatron. Resten av salven ble ladet med bulkemulsjon og «nonel». 08.06.10 Pel 11920-11916 Veldig fint profil. «Eg talde 36 borpiper frå såle til såle, trur aldri at eg har sett så mange borpiper på ein gang før!!» I hengen hang det att ei lita blokk som vi ikkje fekk renska ned, så den skal dei skyte ned i lag med neste salve. Berget verka også bra, ingen bomlyd i hengen på denne salva (det har vi hatt mykje av i det siste). Nokre horisontale lag i vederlaga/veggane og elles dei tilnærma langsgåande sprekkene vi har hatt lenge no. Tørt og fint. Fekk Q=6. Formann Dagfinn seier at dei sparte ca 1 time på mindre pigging av denne salva. NB. Dei bora 12 ekstra hol i konturen fordi dei skulle bruke elektroniske tennarar. 10.06.10 Pel 11916-11911 KI 2245: Byggherrens halvtide. Telte 35 borpiper fra vegg til vegg. Ganske imponerende. Generelt virker det dog som om berget er noe mer oppsprukket nå. Det er et ekstra vertikalt sprekkesett tilstede. De vertikale sprekkesettene har strøk tilnærmet NV-SØ og NØ-SV (disse er synlige midt på stuff). I tillegg er det mye horisontalsprekker. Noe fukt mellom sprekkene, spesielt på venstre side. Hengen var litt bom, men ikke mye å renske. Litt leire på høyre nedre vegg og midt på stuff. Avtalte vanlig boltemønster (2x2m i vegg og 1,5x1,5m vederlagvederlag). Fikk Q=4. 11.06.10 Pel 11906-11911 Telte 31 borpiper, men tror jeg bommet på en del så det er nok høyere. Generelt sett et veldig fint profil, noe bas uttrykte begeistring for. Henger igjen en liten blokk helt i toppen av hengen, men ikke noe som kommer utenfor

teoretisk sprengnings- profil. Bas sa han kommer at skifte litt på bolterasten slik at den treffer blokken midt på. Ikke noe bomt i hengen lenger, men fortsatt noe fukt og strengt tatt samme sprekkesett som ved forrige salve med 2 forskjellig orienterte vertikalsprekker (noen varierer fra vertikalt til 80 grader) og et horisontalt sprekkesett. Ned mot venstre vegg var det noe mer oppsprukket som krevde litt mer rensk, men generelt var det lite rensk. Vanlig boltemønster 1,5x1,5m vederlag-vederlag og 2x2m i veggene. Q-verdi ble samme som sist, altså 4. Men syns egentlig berget var litt bedre denne salven enn sist.

12.06.10 Pel 11906-11901

Berget virker mer oppsprukket nå enn salven før. Horisontalsprekkene virker nå mer orientert med et fall på 10-20 grader mot nord. Midt i hengen er det noe som først virket som et stort horisontalt flak, men det er nok overgangen mellom to ulike lavastrømmer. Fargen på det øvre laget er farget grått av leire, silt og sand som lå mellom lagene. Dog ingen særlig bom lyd i hengen ellers. I vederlagene er det noen blokk tendenser og trappetrinn. Bolterastene flyttes noe for å treffe disse. Nederst i veggene er berget mer oppsprukket og det ble rensket mer her. Endre en del på parametrene i Q-systemet. RQD etter min mening er nå mellom 50-60, så jeg satte det som 55. Jn ble satt som 12 pga at det er 3 sprekkesett + mye sporadisk. Dette ga Q-verdi på 2,75. Boltemønsteret og boltelengdene er dog uforandrede (1,5x1,5m vederlag/vederlag, 2x2 vegg). Fortsatt mange borpiper synlige, men færre enn forrige salve.

14.06.10 Pel 11901-11897

Beste profilet jeg har sett på svært lang tid. Salven er skutt med elektroniske tennere. Jeg telte 29 borpiper. Fikk Q på 10. Overgangssone mot liggen og noen vertikale sprekker, ellers bra. I toppen av profilet ser det ut som det har vært et utfall. Det vistest imidlertid ei borpipe i toppen av "utfallet", ca 70 cm opp. Dvs "utfallet" skyldes boravvik. Det viser at det, i tillegg til elektroniske tennere, er viktig med fokus på boring for å få et optimalt profil. Tørt. Ble enige om bolting 2 x 2 m for hele salva. Siden profilet var så bra, ba jeg om å få 16 m³ betong i stedet for 18 m³. Begge bilene var da imidlertid allerede blandet, så det ble 18 m³ likevel. Så senere at de hadde et snitt på 10 cm tykkelse på 3 målinger i salva. Så 16 m³ hadde nok vært mer passe.

17.06.10 Pel 11897-11892

Igjen et meget godt og jevnt profil. Telte over 30 borpiper. Noe fukt i venstre vegg, ellers lite å registrere. De oppknuste sonene i de nedre delene av veggene er blitt mindre, men det er det eneste negative i et ellers godt profil. Q-verdi ble 10. Sprøytebetongbilen var forsinket, og jeg gikk lei av å vente – så det ble ikke tatt noen bilder. Men profilet var nesten identisk med det forrige.

Neste to salver er normaltilstand dvs. strenglading med bulkemulsjon og «nonel» tennere. Den første salven 06.06 er skutt før testsalvene over og den salven 18.06 etter testserien.

06.10 Pel 11892-11887

Telte 18 borpiper, altså en vesentlig nedgang fra den forrige på 30 stk. Dette var et mye grovere profil, overgangssonen til den overliggende lavastrømmen kommer til syne i hengen igjen (sist gang var kanskje for 4 salver siden?). Men generelt er profil ikke like jevnt, det er mer blokkete og de horisontale sprekkene er fremtredende. Antydninger til flakete. Mye hvite mineralinneslutninger (husket ikke hvilket mineral Tom Frode sa det var, men det var verken kvarts eller feltspat). Mer fukt og mer å rense enn forrige salve. Bestemte at vi øker sikringsmengden til 1,5x1,5m i vederlag/vederlag. Fikk Q-verdi på 6, men mulig det må justeres ned.

18.06.10 Pel 11887-11882

Et stort flak i hengen som er bomt. De hadde prøvd å pigge det ned, men det kom bare delvis ned. Det blir derfor noen ekstra bolter i dette. Ellers er profilet ganske bra, men jeg telte kun 11 borpiper denne gangen. Overgangssone mot liggen. Fikk Q på 6,5. Ble enige om bolting 2x2 i vegger og 1,5x1,5 i heng (primært pga stort flak i store deler av hengen).

Kommentarer

Denne rapporten er en av flere som tydelig fremhever de gode egenskapene til elektroniske tennere ved kontursprengning. Denne gangen sammen med et annet sprengstoff i konturen enn det som vanligvis benyttes. En forutsetning for godt resultat i konturen, foruten bruk av elektroniske tennere, er nøyaktig boring og valg av kontursprengstoff. Det er lite hensiktsmessige og pådra seg høye kostnader med elektroniske tenner om ikke alle sprengningstekniske parameter drar i riktig retning.

Videre viser rapporten at det er enkelt å kombinere ulike systemer, som f.eks «nonel» og bulkemulsjon i alle produksjons hull og detonerende lunte og elektronisk i kontur. Mao. en differensiering av «verktøyene» bergsprengerer har tilgjengelig til de deler av salven de gjør best kost-nytteverdi.

8. Brukererfaringer med eDev™ II

Brukererfaringer med eDev™ II:

Hensikten med undersøkelsen er å kartlegge hvordan overgangen til å bruke systemer har vært, med hensyn til opplæring, bruk, funksjonalitet osv.

LNS Leikanger kraftverk

Sammendrag av forsøk	LNS Leikanger Kraftverk		
Byggherre	Sognekraft	Dato	24.10.2018
Entreprenør	Leonard Nilsen AS	Brukt eDevII siden	Februar 2018
Hvem er intervjuet	Bas	Navn eller anonym	Henrik Litlehamar
Hensikt med bruk av eDevII	Plast, vibrasjoner, kontur Sjøfylling		
Utarbeidet av	Thomas Risting		

Hvordan gikk introduksjonen/opplæringen	Den gikk veldig greit, enkelt system og sette seg inn i.
Er det noe som det burde ha vært mer fokus på	Nei egentlig ikkje. Når ein først går i gang å bruke eDev har ein ikkje så mange spørsmål fordi ein kan ikkje noko om det. Det burde kanskje vert utfyllande kursing når systemet har vert i bruk eit par måneder.
Hvor lenge tok det før du følte deg trygg i å bruke systemet	Det gikk veldig fort, eit par dager så gikk det meste veldig greit.
Har systemet fungert etter hensikten	Ja absolutt, veldig fine salver, god knusing på stein. Det er nesten heilt slutt på omskyting og støvleskaft.
Har dere sett andre fordeler/ulemper	Det er eit veldig enkelt system når du skal skyte ekstra stross, du har mykje meir nummer og velge i, nesten like raskt på stuff som Nonel. På små kvadrat går det like raskt som Nonel. Når vi laster med Heggloader som ikkje takler for stor stein i røysa har det fungert veldig bra med eDev,då salvene blir bedre knust. Det er meir sårbart for feil, og tar litt tid og finne og utbedre. Pris er eit minus.

Har dere hatt problemer med utstyret	Veldig lite, bluetooth overføring mellom skanner og skyteapparat som har svikta av og til. Kabeltilkobling på skanner, skruane eirer og til slutt blir ødelagt
Er det noen erfaringer / kunnskap du har gjort deg som er viktig for andre å lære noe om	Når du får det i nevane er det eit utrulig enkelt system som er veldig bruker vennlig. Tester jordfeil kontinuerlig under påkobling av blokker.

PNC Liafjellet og LNS Leikanger kraftverk

Sammendrag av forsøk	PNC Liafjellet og LNS Leikanger Kraftverk (opplæring hos PNC Liafjellet)		
Byggherre	Sognekraft	Dato	25.10.2018
Entreprenør	Leonard Nilsen AS	Brukt eDevII siden	2016
Hvem er intervjuet	Bas	Navn eller anonym	Steinar Berg
Hensikt med bruk av eDevII	Plast, vibrasjoner, kontur osv. Sjøfylling		
Utarbeidet av	Thomas Risting		

Hvordan gikk introduksjonen/opplæringen	Det var litt både og sidan vi var så vidt med på første salva før vi reiste heim på fri, når vi då kom tilbake på jobb trudde anleggsledelsen at vi hadde fått full opplæring. Så vi måtte lære oss systemet sjølv men det gikk jo greit etter kvart. Litt trøbbel i begynnelsen selvfølgelig.
Er det noe som det burde ha vært mer fokus på	Nei, når vi først fekk opplæring så var det greit.
Hvor lenge tok det før du følte deg trygg i å bruke systemet	Det tok lang tid før vi følte oss trygge, det gikk fleire måneder før vi virkelig følte oss trygge og vi begynte å få litt automatikk i det.
Har systemet fungert etter hensikten	Ja.
Har dere sett andre fordele/ulemper	Det er ikkje tvil om at vi får bedre kontur, og det blir lite påskyting og fin stein med tanke på utlasting. Når det gjelder ulemper så er det tenner ledningen som kan vere eit irritasjonsmoment under lading, den har ein tendens til å floke seg til når du skal ha primer og tenner inn i borhullet, så den er vi ikkje heilt fornøgd med.
Har dere hatt problemer med utstyret	Det er vel scanneren det av og til har vert litt med men stort sett har det gått bra. Er som regel menneskelig svikt når det er noko.
Er det noen erfaringer / kunnskap du har gjort deg som er viktig for andre å lære noe om	Det er greit å ha en scanner holder/feste i korga. Viktig å ha et system i scanning og kobling som du holder deg til.

Veidekke E6 Arnkvern-Moelv

Sammendrag av forsøk	Veidekke E6 Arnkvern Moelv		
Byggherre	Nye Veier	Dato	26.10.2018
Entreprenør	Veidekke Entreprenør AS	Brukt eDevII siden	16.10.2018
Hvem er intervjuet	Bas og drivere	Navn eller anonym	Tom Helmen/Espen F. Oddan/Henrik Granlund/Jan Roar Lien (oppsummering fra alle fire fra to skift)
Hensikt med bruk av eDevII	Kontraktfestet		
Utarbeidet av	Torod Kolbergstrud		

Hvordan gikk introduksjonen/opplæringen	Meget bra og bra
Er det noe som det burde ha vært mer fokus på	Nei
Hvor lenge tok det før du følte deg trygg i å bruke systemet	3-4 salver
Har systemet fungert etter hensikten	Ja
Har dere sett andre fordele/ulemp	JA. Positivt lett å bruke, Gode resultater, Tidkrevende
Har dere hatt problemer med utstyret	Tapen på tennerledningen kunne vært løsere og knekk/knute på denne under lading
Er det noen erfaringer / kunnskap du har gjort deg som er viktig for andre å lære noe om	Jobbe systematisk når en scanner

BetonmastHæhre Bamble og Rogfast

Sammendrag av forsøk	BetonmastHæhre Bamble og Rogfast		
Byggherre	Nye Veier og SVV	Dato	31.10.2018
Entreprenør	Betonmast Hæhre	Brukt eDevII siden	
Hvem er intervjuet	Bas	Navn eller anonym	Geir Anderson
Hensikt med bruk av eDevII	Plast, vibrasjoner.		
Utarbeidet av	KIH		

Hvordan gikk introduksjonen/opplæringen	Bra opplæring. Systemet setter seg egentlig etter at du står alene med bruken selv.
Er det noe som det burde ha vært mer fokus på	Mere terping på feilsøking og betydning av å være nøyaktig ved innkobling av tennere til HW.
Hvor lenge tok det før du følte deg trygg i å bruke systemet	Ett par uker
Har systemet fungert etter hensikten	Systemet ble greit etter hvert som du blir trygg på bruken. Rpgfast: Det ble ikke rapport/funnet plast i sjø fra tennsystem
Har dere sett andre fordele/ulemper	Ulemper: Bør være en ekstra mann i korga som skanner og kobler under lading slik at tempoet opprettholdes. Fordeler: Enkelt lagerhold. Veldig bra i forhold til forsiktig sprengning med mulighetene en har ved intervallvalg.
Har dere hatt problemer med utstyret	Lite problemer med utstyr.
Er det noen erfaringer / kunnskap du har gjort deg som er viktig for andre å lære noe om	Være nøyaktig i forhold til utførelse på salven.

9. Referanser

[1]	Swebrec	Olsson, Svärd, Ouchterlony	Rapport 2008:1. Sprängskador från strängemulsion, fältförsök och förslag til skadezonstabell som innehåller samtidig upptändning. ISSN 1653-5006
[2]	NTNU	Pål-Egil Rønn.	Konvensjonell drift av tunneler. Doktor ingeniør-avhandling. Institutt for bygg- og anleggsteknikk, NTNU 1997. ISBN 82-471-0033-9
[3]	Norconsult	Bente Breyholtz	Norconsult Testforsøk – spredning i plast i sjø fra utfylte tunnelmasser skutt med elektroniske tennere. Aldersund -Rassikringsprosjekt Rv 17 Liafjellet.Oppdragsnr: 5144240 Dokumentnr: YM-119-NO.
[4]	Fagskolen Innlandet	Arnstein Bøklepp, John Gunnar Eggerud og Rune Holen	Hovedprosjekt: Forsøk med elektroniske tennere, Bagnskeiv tunnelen E16. 2017
[5]	Fjellsprenningsdagen 2014	Espen Hugaas, Olaf Rømcke, Vegard Olsen Orica Norway AS	Sprengningstekniske forsøk UFP05 Skillingsmyrentreprise Vestfoldbanen. 2014.
[6]	NTNU 14A-98	Institutt for bygg- og anlegg	Sprengning med restriksjoner
[7]	NFF	NFF Utviklingskomiteen	Teknisk rapport nr. 12: Konturkvalitet i sprengte tunneler.
[8]	NFF	NFF Utviklingskomiteen	Teknisk rapport nr. 9: Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg
[9]	NTNU Gjøvik Bacheloroppgave 30.05.16	Marita Lorraine Sjursen Svendal	Testing av elektroniske tennere, Bagnskeivtunnelen E16

[10]	Nexco/Jernbaneverket utbygging	Petter Jensen, Tom F. Hansen	Rapport fra forsøk med elektroniske tenner og detonerende lunte ved driving av Jarlsberg tunnelen, Petter Jensen et. al. 2010.
[11]	Vibration Case study	Orica	Youtube: Orica, Toyota City https://www.youtube.com/ watch?v=F16e2U7MRGc&t=106s Metoden er presentert på orica's youtube kanal under vibrations: Case study, Toyota City.
[12]	NTNU Anleggsteknikk	Vegard Olsen	Kapittel II.4, Kontursprengning, 2002
[13]	Orica Norway AS		Flere bilder og figurer

10. Vedlegg

Eksempel på akseptansetriangelet for nonel LP18 (1800 ms).

Alle partier av tennere må gjennom en lang rekke tester før de kan selges. Forsinkertid er en av disse, og testmetoder og kriterier er gitt av standard.

SVENSK STANDARD
SS-EN 13763-16:2004

Explosives for civil uses – Detonators and relays – Part 16: Determination of delay accuracy

4.13 Delay accuracy

When tested in accordance with EN 13763-16:

- all detonators shall fire;
- there shall be no outliers;
- except for surface connectors, the calculated c-factor (c_k) of each tested interval number shall not be less than 2,12 ($C_{\min}$).
- for surface connectors and non-electric detonators intended to be combined with surface connectors, r_k shall not be higher than $r_{k\max}$ of each tested interval number.

Man bør studere standarden for å få mer informasjon om alle detaljene.

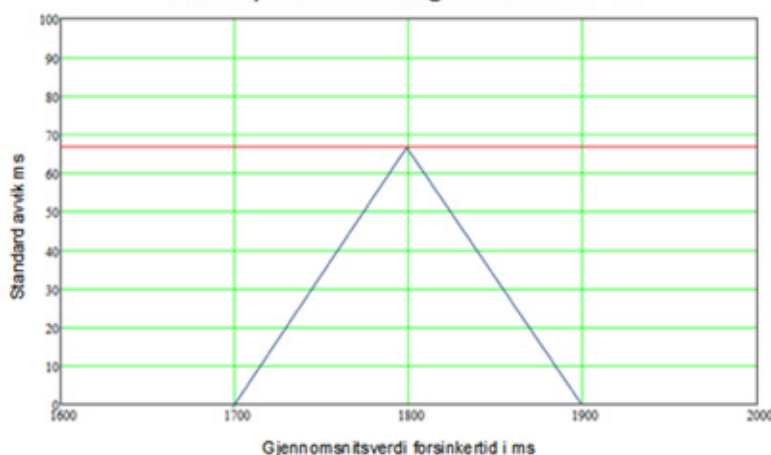
$$\Delta t_{nom,adj,k} = \frac{1}{2}(t_{nom,(k+1)} - t_{nom,(k-1)}) = \frac{1}{2}(2000 - 1600) = 200 \text{ ms}$$

$$L_{vertex} = t_{nom,adj,k} - \frac{\Delta t_{nom,adj,k}}{2} = 1800 - \frac{200}{2} = 1700 \text{ ms}$$

$$U_{vertex} = t_{nom,adj,k} + \frac{\Delta t_{nom,adj,k}}{2} = 1800 + \frac{200}{2} = 1900 \text{ ms}$$

$$S_k = \frac{\Delta t_{nom,adj,k}}{C_{\min}\sqrt{2}} = \frac{200}{2.12\sqrt{2}} = 66.71$$

Akseptansetriangelet for LP18



Tester man en serie av LP18 plottes gjennomsnittsverdien og standardavviket i diagrammet.

Ligger dette innenfor det blå triangelet er serien godkjent.

Tennerrapport etter avfyring (eDev™ II)

eDev II BlastBox Report - SN: 202 Version: 02.06b					75	6601FDD9	H1 K1	2534	Ok	
134 TENNERE I LISTEN					76	660201CE	H1 19	1895	Ok	
0 ERRORS IN LIST					77	660201C5	H1 A1	2423	Ok	
GLOBAL TID = 2606 ms					78	660201C8	H1 K1	2534	Ok	
NO GLOBALS					79	660201C6	H1 K1	2534	Ok	
POS	DET-ID	HD	D#	DELAY	STATUS	80	660201B9	H1 K1	2534	Ok
-----					81	6601FDC7	H1 A1	2426	Ok	
1	6601FDC3	H1	0	0	Ok	82	660201DE	H1 20	1980	Ok
2	6601FDC5	H1	1	100	Ok	83	660201B8	H1 A1	2429	Ok
3	6601FDB1	H1	2	200	Ok	84	660201BA	H1 A1	2432	Ok
4	6601FDB2	H1	3	300	Ok	85	6708C168	H1 K1	2534	Ok
5	6601FDC1	H1	4	400	Ok	86	6708C160	H1 K1	2534	Ok
6	6601FDB3	H1	5	500	Ok	87	6601FDD7	H1 K1	2534	Ok
7	6601FDB0	H1	5	550	Ok	88	6601FDDA	H1 K1	2534	Ok
8	6601FDD8	H1	6	650	Ok	89	6601FDDC	H1 K1	2534	Ok
9	6601FDC0	H1	6	700	Ok	90	660201BE	H1 A1	2435	Ok
10	6601FDC6	H1	7	800	Ok	91	660201F7	H1 A1	2438	Ok
11	6601FDC4	H1	7	850	Ok	92	660201C7	H1 K1	2534	Ok
12	6601FD94	H1	8	950	Ok	93	660201C9	H1 K1	2534	Ok
13	6601FDB4	H1	8	1000	Ok	94	660201BF	H1 A1	2441	Ok
14	6601FDCE	H1	9	1150	Ok	95	660201F6	H1 K1	2534	Ok
15	6601FDD4	H1	9	1200	Ok	96	660201CC	H1 K1	2534	Ok
16	6601FDBF	H1	10	1250	Ok	97	660201C1	H1 K1	2534	Ok
17	6601FDC2	H1	10	1300	Ok	98	660201C3	H1 A1	2444	Ok
18	6601FDD1	H1	11	1350	Ok	99	660201C4	H1 A1	2447	Ok
19	6601FDD2	H1	12	1405	Ok	100	660201D7	H1 20	1985	Ok
20	6601FDB5	H1	12	1410	Ok	101	660201BD	H1 21	2040	Ok
21	6601FDCF	H1	13	1470	Ok	102	660201C2	H1 K1	2534	Ok
22	6601FDBD	H1	14	1525	Ok	103	660201C0	H1 K1	2534	Ok
23	6601FD9D	H1	14	1530	Ok	104	660201CF	H1 K1	2534	Ok
24	6601FDAF	H1	16	1670	Ok	105	660201D1	H1 A1	2450	Ok
25	6601FDCD	H1	16	1675	Ok	106	660201E9	H1 22	2125	Ok
26	6601FD9C	H1	18	1810	Ok	107	660201F9	H1 K1	2534	Ok
27	6601FDCB	H1	18	1815	Ok	108	660201F4	H1 K1	2534	Ok
28	6601FD98	H1	20	1950	Ok	109	660201D9	H1 K1	2534	Ok
29	6601FDC9	H1	20	1955	Ok	110	660201E5	H1 A1	2453	Ok
30	6601FD95	H1	22	2095	Ok	111	660201DB	H1 A1	2456	Ok
31	6601FDB9	H1	22	2100	Ok	112	660201E6	H1 A1	2459	Ok
32	6601FD9A	H1	L1	2559	Ok	113	660201CB	H1 K1	2534	Ok
33	6601FD9B	H1	L2	2587	Ok	114	660201D4	H1 K1	2534	Ok
34	6601FDBB	H1	L2	2590	Ok	115	66020200	H1 20	1990	Ok
35	6601FDAA	H1	23	2180	Ok	116	66020201	H1 19	1900	Ok
36	6601FD96	H1	23	2185	Ok	117	660201D5	H1 K1	2534	Ok
37	660201D0	H1	23	2190	Ok	118	660201DF	H1 K1	2534	Ok
38	6601FDA9	H1	28	2365	Ok	119	660201D2	H1 K1	2534	Ok
39	6601FDB8	H1	26	2310	Ok	120	660201D3	H1 17	1755	Ok
40	6601FD99	H1	24	2255	Ok	121	660201FF	H1 15	1610	Ok
41	6601FDBC	H1	22	2105	Ok	122	660201CA	H1 18	1840	Ok
42	6601FDCC	H1	20	1960	Ok	123	660201DA	H1 16	1700	Ok
43	6601FDBE	H1	18	1820	Ok	124	660201DC	H1 14	1555	Ok
44	6601FDD5	H1	16	1680	Ok	125	660201E2	H1 15	1615	Ok
45	6601FDD3	H1	14	1535	Ok	126	660201F5	H1 16	1705	Ok
46	6601FDD0	H1	14	1540	Ok	127	660201CD	H1 14	1560	Ok
47	6708C150	H1	16	1685	Ok	128	6708C1DA	H1 21	2045	Ok
48	6601FD92	H1	18	1825	Ok	129	660201F8	H1 15	1620	Ok
49	6601FD97	H1	20	1965	Ok	130	660201FB	H1 18	1845	Ok
50	6708C1E4	H1	22	2110	Ok	131	660201DD	H1 22	2130	Ok
51	6708C13B	H1	24	2260	Ok	132	6708C15B	H1 17	1760	Ok
52	6708C1D8	H1	L2	2593	Ok	133	6708C166	H1 K1	2534	Ok
53	6708C152	H1	L1	2562	Ok	134	6601FDD6	H1 8	1050	Ok
54	6708C14A	H1	L2	2596	Ok	Date format is dd/mm/yy hh:mm				
55	6601FDBA	H1	11	1355	Ok	Download 06/04/18 08:24				
56	6601FDC8	H1	12	1415	Ok	Blast ARMED 06/04/18 08:27				
57	6601FDAB	H1	12	1420	Ok	Blast FIRED 06/04/18 08:28				
58	6601FDAD	H1	13	1475	Ok	Ström negativ (mA): 12				
59	6601FD93	H1	14	1545	Ok	Current negative (mA): 12				
60	6601FDAC	H1	14	1550	Ok					
61	6601FDCA	H1	16	1690	Ok					
62	6601FDA8	H1	16	1695	Ok					
63	6708C16A	H1	18	1830	Ok					
64	6708C148	H1	18	1835	Ok					
65	6708C1E6	H1	20	1970	Ok					
66	6708C14C	H1	20	1975	Ok					
67	660201BB	H1	22	2115	Ok					
68	6708C1E8	H1	22	2120	Ok					
69	660201BC	H1	23	2195	Ok					
70	6708C14E	H1	23	2200	Ok					
71	6708C1E0	H1	23	2205	Ok					
72	6708C135	H1	28	2370	Ok					
73	6708C133	H1	26	2315	Ok					
74	660201D6	H1	A1	2420	Ok					

Reduksjon av sprengindusert skadesone i gjenstående berg



Gjenstående berg er saget ut og påført en penetrant slik at sprekkene kommer bedre frem og lettere lar seg analysere og måle [1]

Den sprenginduserte skadesonen er studert i en forsøksserie fra 1991-2008 i regi av Sve-Brec finansiert av bla. Orica (Dyno Nobel), Vägverket, Banvärket, Skanska og LKAB / Kimit.

Spørsmål man ønsket å finne svar på var:

- Hvorfor?
- Når?
- Hvordan kan den måles / beregne / estimeres?
- Hvordan kan den minimeres?

Siste delrapport [1] omhandler strengladning i tunnel og momentan initiering ved hjelp av elektroniske tennere.

Den sprengningsinduserte skadesonen rundt et hull er definert som lengden av de radielle sprekkene fra hullveggen og inn i gjenstående berg.

Skadesonen kan måles ved at blokker av gjenstående berg blir saget ut og påført en penetrant slik at sprenginduserte sprekker kan gjenkjennes og måles.

En best mulig kontur og en redusert sprenginduserte skadesone i gjenstående berg oppnår man ved følgende metoder

- A. Sprengstoffer med lav energi pr. lademeter og derav lav detonasjonshastighet.
 - Sjokkbølgen som overføres til berget blir redusert slik at introduksjonen av nye sprekkesystemer rundt hullet i frekvens og lengde blir redusert.
 - Mengde og energien til sprenggasser blir redusert slik at disse gjør minst mulig skade når de trenger inn i de største sprekkesystemene.
- B. Dekobling av sprengstoffet i hullet.
 - Luftputen mellom sprengstoff og hullvegg demper sjokkbølge-overføringen til berget effektivt.
 - Vannfylte hull har liten dekoblende effekt.
- C. Samvirke av spenninger mellom hull slik at radielle mikrosprekker rundt hullet minimeres og det dannes riss og sprekkesystemer langs senterlinjen mellom hullene. Metoden forutsetter:
 - Redusert hullavstand.
 - Hullene må initieres samtidig for at man oppnår denne effekten.
- D. Redusere forsinkertiden mellom raster i oversalven og spesielt mellom kontur og innerkontur for å unngå at spren-gasser følger nye eller eksisterende sprekkesystemer og forlenger disse slik at deler av konturhull blir ødelagt og raser ut som vist i figur 21.
 - Forsinkertiden bør være så liten som mulig mellom innerkontur, og kontur

for å redusere skade og utfall uten at konturhull vil bryte for tungt. I prosjekter Tabell 1 har tiden mellom konturer typisk vært rundt 100-200 ms. Trolig er den optimale forsinkertiden mindre enn dette.

Bergmassestrukturer som oppsprekking, foliasjon og lagdeling har stor betydning for konturkvaliteten.

Forsøk [1] har vist at sprengning parallelt med foliasjonen gir en dobling av sprekkelengden, da kritisk partikkelhastighet for å forlenge eksisterende sprekker er mindre enn for å skape nye. Sprenggasser vil også følge de største (mest åpne) sprekke og forlenge disse.

Reduksjon av sprekkelengden ved samvirkning av ladninger forekommer kun ved ladingmengder under 0.6 kg/m [1]

For høyere ladingmengder gir samvirkningen mellom hull en økt skadesone rundt hullet.

I tunnelsprengning er det kun elektroniske tennere med høy presisjon og nøyaktighet som tilfredsstiller kravet til samvirke

Vångagranitt	
40 % mikrolinpertit og 40 % kvarts, maks 10 % plagioklas og noen få prosent biotit og muskovit	
Trykkfasthet	100-250 MPa
Strøkkfasthet	9-12 MPa
E-Modul	70 GPa
Poissons ratio	0.25

Forsøk [1] utført i Vångagranitt viste at hvis forsinkertiden mellom konturhull var større enn 1 ms på 80 cm hullavstand ga dette ingen samvirkende effekt. Man oppdaget dette med forsøk av elektroniske tennere med en nøyaktighet og presisjon på 0.03 % og en forsinkertid på 5000 ms. som ga en nøyaktighet/

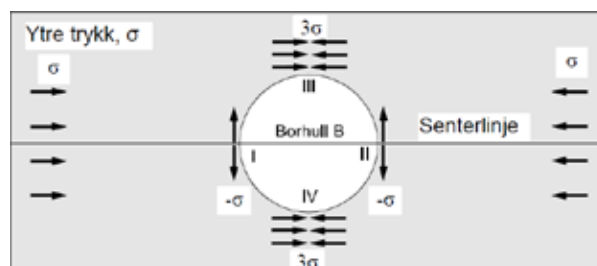
presisjon på 1.5 ms mellom hull. Man oppnådde ingen samvirkende effekt og redusert skadesone ved disse forsøkene. Skadesonen var her like stor som den man målte når man kun initierte ett hull. Ved å redusere forsinkertiden slik at hullene ble initiert innenfor 1 ms målte man en samvirkende effekt.

I andre typer berg og hullavstander vil nok forsinkertiden mellom hull for å oppnå samvirke være forskjellig, men desto mindre tid mellom hull desto bedre.



Skadesonen rundt konturhull med forsinkertid under 1 ms mellom hull [1]

I prosjekter (Tabell 1) hvor man har forsøkt å samvirke konturhull, har nøyaktighet/presisjon mellom hull vært rundt 0.25-0.35 ms på 70 cm hullavstand. Man kan ikke si noe om skadesonen rundt hullene, kun at en høy andel halvpiper av konturhull sto igjen etter rensk.

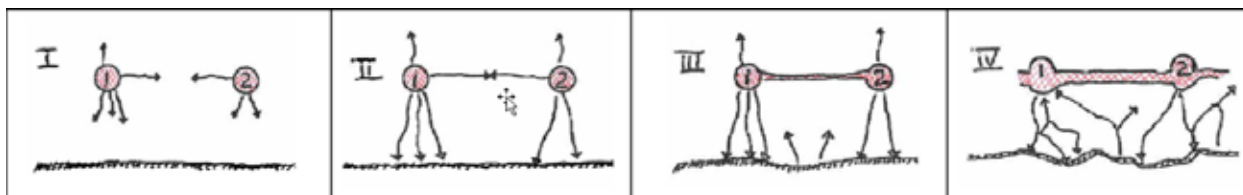


Spenninger rundt hullet påvirket av et ytre trykk σ (NTNU [12])

Samvirkning mellom hull oppstår når et borhull settes under trykk fra støtbølger eller gasstrykk fra et nabohull slik at det

blir induert tangentielle strekkspenninger i borhullsveggen. De tangentielle strekkspenningene blir induert langs senterlinja

mellom borhullene ($-\sigma$). Normalt på senterlinja blir det initiert trykkspenning (3σ) som reduserer de radielle sprekker rundt hullet.

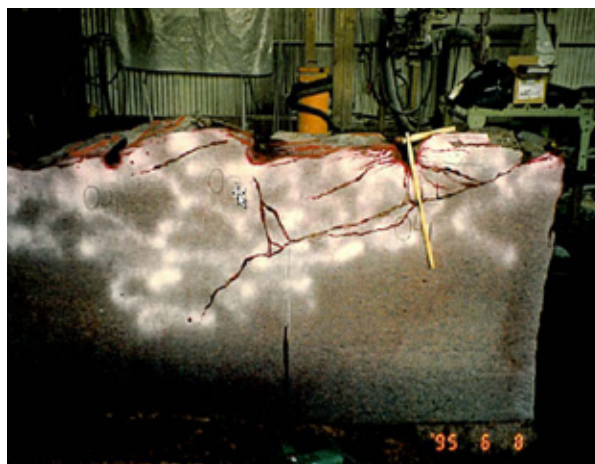


Momentan initiering, sprenggasser penetrerer sprekkdannelse mellom hull [13].

Siden strekkfastheten i berg er mye mindre enn trykkfastheten induseres det riss eller sprekker lang senterlinja. Sprenggassene vil trenge inn og forlenge disse og det dannes et brudd mellom hullene.

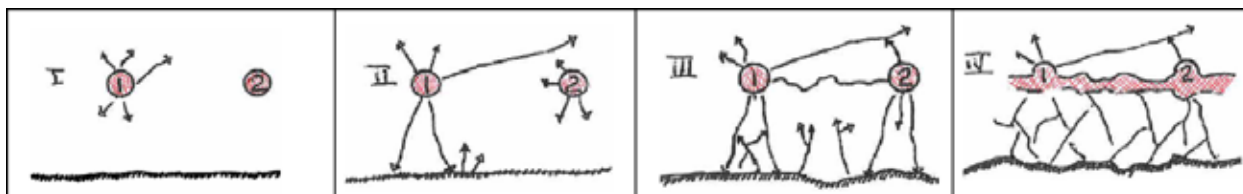
Blir hullavstanden for stor forstyrres denne bruddmekanismen.

Forsøkene [1] viste at hvis forsinkertiden mellom hull var mer enn 1 ms vil man ikke oppnå samvirke og man vil se skadesoner som vist i figur.



Normal skadesone når forsinkertiden mellom hull var 1 ms eller mer [1]

Radielle sprekker rundt hullet passerer nabohullet før dette initieres. Sprenggasser trenger inn og forlenger disse.



Ingen samvirkning mellom hull og reduksjon i skadesone [13].

Kvantifisering av tunnelkonturkvalitet

Konturkvaliteten i en tunnel har lenge vært et mer eller mindre subjektivt uttrykk fordi det ikke har vært noen tydelige retningslinjer for hvordan man skal kvantifisere tunnelkonturkvalitet. Ofte er kun overmasse brukt som kriterium for å evaluere konturkvalitet i mange tunneler. Kvantifisering av konturkvalitet er beskrevet i [7].

Tilnærminger som kan benyttes for å kvantifisere tunnelkonturkvalitet.

- Telling av hullpiper
- Kjerneboring
- Måling av skadesone ved hjelp av blokkuttak
- Tunnelkonturindeks (TCI)
- Kvantitativ analyse av bor og scannerdata

Sammenheng mellom enhetsladning, avstand og vibrasjoner

Det fins flere modeller for å beregne vibrasjoner /svingehastigheten [V] som en funksjon av enhetsladning/samvirkende lading [Q], fjellkonstant (K) og avstand (R).

En regnemodell som er mye brukt i Norge er vist i figur og [6]

Fjellkonstanten (K) gjenspeiler bergets geologi mellom sprengstoffladningen og målepunktet.

Når de seismiske bølgene treffer en inhomogenitet (tetthetsendring, lagdeling, sleppe) vil det oppstå en lastveksling med tap av energi. De seismiske bølgene vil reflekteres/ omdannes til nye seismiske bølger.

Vinkelen som bølgen treffer inhomogeniteten med vil være bestemmende for hvilke bølger som reflekteres og hvilke som fortsetter videre mot målepunktet. Svingehastighet reduseres med avstand siden antall lastvekslinger de seismiske bølgene må gjennom øker. Bølger med høyere frekvens vil gjennomgå flere lastvekslinger og dempes mer enn bølger med lavere frekvenser. I tillegg oppstår en reduksjon av svingehastighet fordi bølgeenergien fordeler seg over en økende flate.

Sammenhengen mellom fjellkonstant og avstand endres som vist:

Beregning av svingehastighet mm/s

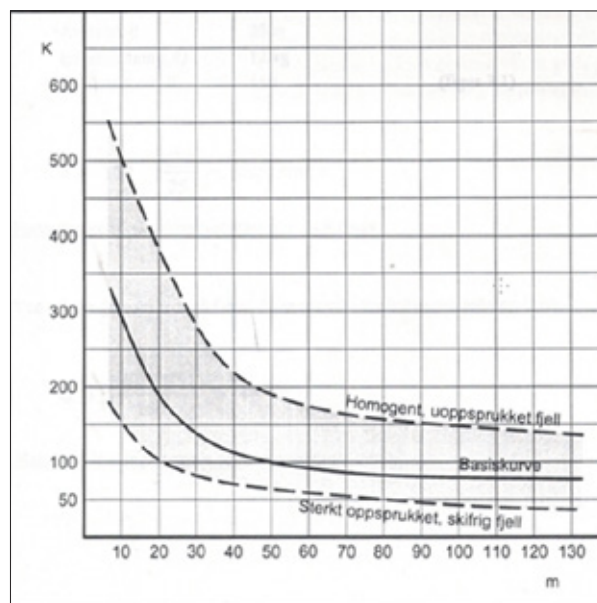
$$V = K \cdot \frac{\sqrt{Q}}{R}$$

K= fjellkonstant (150 – 350), er høyere i hardt, homogent fjell med høy egenvekt (hvor lydhastigheten er høy 4000 m/s) . En konservativ fjellkonstant i ukjent hardt fjell ≈ 250

Q = maksimal enhetsladning i Kg

R = avstanden i meter

Forholdet mellom enhetsladning, bergets geolog og avstand endrer svingehastigheten [13].



Endring av fjellkonstant med hensyn til avstand [6]

Komponenter som inngår i eDev™ II systemet

eDev™ II tenneren

eDev™ II tennere er fullt programmerbare, elektroniske tennere med unike ID--numre som vises som en strekkode på etiketten. Den unike ID--en gjør det mulig å spore tenneren.



- Standard kabellengde på 4, 5, 6, 7 og 8 m
- Sikker og funksjonell testing av alle tennere i salven på stoff
- Full toveiskommunikasjon
- Fritt programmerbare fra 0-20.000 ms i 1 ms intervaller
- Høy nøyaktighet, < 0.01% av programmert forsinkertid
- Meget motstandsdyktig mot ytre elektromagnetisk energi og strøstrømmer
- Tennerne kan bare avfyres med eDev™ II Blast Box med elektronisk nøkkel
- Dokumentasjon av salveinformasjon som utskrift eller datafil
- Klassifisering: UN-Nr. 0030 eller 0456, UN klasse 1.1B eller 1.4S

eDev™ II Skanner 260

Skanneren brukes til passiv og trygg skanning av tenner-ID-ene fra strekkoden. Skanneren gir tilgjengelighet til eDev™ II's unike brukerdefinerte intervallmodus. Logikken i nummering fra bruk av nonel systemer kan videreføres og sikrer rask utførelse på stoff.

Systemet tillater også bruk av stedsspesifikke intervalltabeller. Dette gjør det mulig å planlegge intervalltabellen i henhold til de geologiske, geometriske og miljømessige krav for tunnelen.



- Enkel og grei å bruke
- Rask og sikker skanning av tenner ID-ene
- Kapasitet opp til 800 tennere
- Unik timing med eDev™ II programvare
- Tideler intervaller i forhold til det foregående intervallet
- Intervallene kan tilpasses kravene for tunnelprosjekter
- Nedlasting av data til Blast Box via Bluetooth eller kabel
- Grensesnitt mot Orica Shotplus -T programvare for tunnel
- Redigering og kontroll av tildelte intervaller
- Testing av enkelttennere eller alle tennere i salven
- Bekrefter den unike ID-en dersom etiketten er borte
- Valgfri kontinuerlig eller enkeltmåling av lekkasjestrøm

eDev™ II Blast Box 610

eDev™ II Blast Box™ 610 lader, programmerer, tester og fyrer av opp til 800 eDev™ II™ tennere i en salve.

- Selvtest av programvare og maskinvare ved oppstart
- Dataoverføring via Bluetooth eller kabel fra skanner
- Kapasitet opp til 800 tennere i en salve
- Test og feilrapportering før avfiring
- Avfiring
- Avtagbar digital avfyringsnøkkel for å hindre uautorisert bruk
- Lager test og tennerrapportdokumentasjon som utskrift eller datafil





**NORSK FORENING FOR
FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK**

Postboks 2752 – Solli, 0204 Oslo
nff@nff.no | www.nff.no

