

2011

FJELLSPRENGNINGSDAGEN

Oslo, 24. november 2011

BERGMEKANIKKDAGEN

Oslo, 25. november 2011

GEOTEKNIKKDAGEN

Oslo, 25. november 2011



ARRANGØR:



**Norsk Jord og
Fjellteknisk Forbund**

FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK

Oslo, 24. november 2011

BERGMEKANIKK

Oslo, 25. november 201

GEOTEKNIKK

Oslo, 25. november 2011

Hovedarrangør:

NORSK JORD- OG FJELLTEKNISK FORBUND

Redaksjon:

Erik Frogner, Vidar Gjelsvik, Roger Olsson, Siri Engen

C Forfatterne, 2011

ISBN: 978-82-8208-027-9

Fjellsprenningsdagen

24. november 2011

Arrangør: *Norsk Forening for Fjellsprenningsteknikk*

Bergmekanikkdagen

25. november 2011

Arrangør: *Norsk Bergmekanikkgruppe*

Geoteknikkdagen

25. november 2011

Arrangør: *Norsk Geoteknisk Forening*

FORORD

Boken inneholder referat fra foredrag på Fjellsprenningsdagen, Bergmekanikkdagen og Geoteknikkdagen, arrangert i Oslo 24. – 25. november 2011.

Årets arrangement er det 49. i rekken og emnene er i likhet med tidligere års valg, hentet fra en rekke områder som faller inn under interesseområdet til Norsk Forening for Fjellsprenningsteknikk (NFF), Norsk Bergmekanikkgruppe (NBG) og Norsk Geoteknisk Forening (NGF).

Programmet for årets arrangement er fastlagt og godkjent av foreningenes styrer.

Hovedarrangøren, Norsk Jord- og Fjellteknisk Forbund, vil takke alle medvirkende forfattere for den innsatsen som er nedlagt i utarbeidelsen av forelesningene og referater. Den enkelte forfatter er ansvarlig for foredragets innhold, ortografi og billedmateriale.

Norsk Jord- og Fjellteknisk Forbund

TORSDAG 24. NOVEMBER

Møteleder: *Konserndirektør Hanna Rachel Broch, Skanska Norge AS*

- 0900 1. Velkommen – åpning**
Cand.Scient Jan Kristiansen, Multiconsult AS, Formann i Norsk Forening for Fjellsprenngningsteknikk
- 0920 2. Ferjefri E39-prosjektet – Oversikt over prosjektet**
Prosjektleder Olav Egil Ellevset, Statens vegvesen, Vegdirektoratet
- 0940 3. Forbehandling av berget i TBM-drift – Sonderboring og forinjisering**
Sindre Log, The Robbins Company
- 1005 4. Vurdering av drivemetode for tunnel på Follobanen**
Prosjektsjef Anne Kathrine Kalager, Jernbaneverket Utbygging
- 1025 Pause**
- 1045 5. Norsk tunnelteknologi – skal vi videreutvikle egen teknologi for eksport eller kopiere europeiske standardløsninger for import ?**
Koordinator Ola Woldmo, NTN (Norwegian Tunnelling Network) / Woldmo Consulting AS
- 1105 6. Toleransegrenser for fisk ved undersjøiske sprengningsarbeider**
Senioringeniør Per Helge Thom, Kystverket
- 1125 7. Rogfast-prosjektet**
Prosjektleder Tor Geir Espedal, Statens vegvesen Region Vest
- 1145 8. Historisk kvarter – Historien om Telemarkskanalen, 150 år**
Gunnar Berg
- 1200 Lunsj**
- Møteleder:** *Prosjektdirektør Erik Frogner, Norconsult AS*
- 1300 9. Nytt fra NFF**
Sivilingeniør Heidi Berg, Vianova Systems AS
- 1315 10. Lørentunnelen (Rv 150 Ring 3 Ulven – Sinsen)**
Sivilingeniør Jørn Audun Gjennestad, Veidekke Entreprenør AS
- 1335 11. Har vår effektive og moderne tunnelsprengning redusert kvaliteten på våre samferdselstunneler ?**
Oddvar Brøndbo, Veteranconsult

- 1355 12. **Rehabilitering av fyllingsdammer med fokus på steinbruddsdrift og tilbakeføring med revegetering av steinbruddet**
Prosjektleder Jon Aarbakk, Statkraft Energi AS
- 1415 **Pause**
- 1435 13. **NS 8141 – Rystelsesstandarden. Ny utgave med mange forbedringer**
Fagleder, PhD Christian Madshus, NGI
- 1455 14. **Utfordringer med etablering av et godt evakueringskonsept for lange tunneler**
Prosjektleder Lise Backer, Jernbaneverket Utbygging
- 1515 15. **Holmestrand stasjon i fjell fra visjon til virkelighet**
Prosjektdirektør, sivilingeniør Stine Ilebrekke Undrum, Jernbaneverket Utbygging
- 1535 **Pause**
- 1550 16. **Radontrygge byggeråstoff**
Lagleder Peer Richard Neeb, NGU
- 1610 17. **En studie av helse og eksponering ved driving av tunnel**
Overlege, dr.med. Bente Ulvestad, Statens arbeidsmiljøinstitutt
- 1630 18. **Bygging av undersjøisk tunnel på T-forbindelsen**
Avdelingsdirektør Kjetil Vikane, AF Anlegg
- 1650 **Slutt for dagen**
- 1945 **Middag**

FREDAG 25. NOVEMBER

FELLESSESJON BERGMEKANIKK- / GEOTEKNIKK 2011

Møteleder: *Sivilingeniør Vidar Gjelsvik, NGI (formann i Norsk Geoteknisk Forening)*

Fellessesjonen Bergmekanikk og Geoteknikk –

- 0900 19. **Dynamisk prosjektering; en suksessfaktor ved rehabilitering av verdifulle bygårder fundamentert på alunskifer**
Cand. scient Erik Endre, NGI
- 0920 20. **Risiko- og sårbarhetsanalyse for løsmasseskred i Bergen kommune**
Dr. ing. Arne Instanes, Instanes Polar AS og Sivilingeniør Johanna Lohne Rongved, SWECO Norge AS

- 0950 21. **Skredovervåkning og –varsling. Ny tverretattlig satsing**
Sivilingeniør Tore Humstad, Statens vegvesen
- 1010 22. **E6 Trondheim Stjørdal, parsell Trondheim, dagsone vest. Spesielle utfordringer krever spesielle løsninger**
Sivilingeniør Anders Beitnes, Faveo / Statens vegvesen
- 1030 **Pause**

SESJON BERGMEKANIKK

Møteleder: *Tekn. Dr. Roger Olsson, NGI (formann i Norsk Bergmekanikkgruppe)*

- 1100 23. **Lederens 10 minutter**
Tekn. Dr. Roger Olsson, NGI
- 1110 24. **Europas største jernbanestasjon i berg – grunnundersøkelser, drivemetoder og dimensjonering av stabilitetssikring**
PhD Vidar Kveldsvik, NGI
- 1140 25. **Forbedrede forundersøkelser for tunneler – oppsummering av et samarbeidsprosjekt med Vegdirektoratet**
Lagleder Jan Steinar Rønning, NGU og NTNU
- 1200 **Lunsj**
- 1300 26. **Spenningsovervåkning i Rana Gruber**
Senioringeniør Trond Erik Larsen, SINTEF Byggforsk
- 1320 27. **Begrepet Frostmengde; er dette en rett parameter for dimensjonering av vann- og frostsikring i Norge? Resultater og konklusjoner fra ett år med tester i Frostlaboratoriet ved SINTEF**
Sjefsforsker / Professor II Eivind Grøv, SINTEF / NTNU
- 1340 28. **Europas største jernbanestasjon i berg - fastsettelse av tetthetskrav**
Sivilingeniør Hanne Wiig Sagen, Jernbaneverket
- 1400 **Pause**
- 1420 29. **Dimensjonering av slakke fjellbolter – resultat av fullskala forsøk**
Professor Leif Lia, NTNU
- 1440 30. **Bergtunnel utan bergtäckning**
Tekn. Dr. Helen Andersson, Huth & Wien Engineering AS
- 1500 31. **Rensk fra helikopter og klatrelag ved Oppdølsstranda**
Arbeidsleder Bent Bones Olsen, Betongrenovering Drift AS
- 1520 **Slutt**

SESJON GEOTEKNIKK

Møteleder: *Sivilingeniør Vidar Gjelsvik, NGI (formann i Norsk Geoteknisk Forening)*

1050 32. Lederens 10 minutter
Sivilingeniør Vidar Gjelsvik, NGI

E6 Trondheim Stjørdal, parsell Trondheim, dagsone vest

1100 33. Byggegrep Møllenberg. Løsninger og utfordringer.
Sivilingeniør Torgeir Haugen, NCC Construction AS

1120 34. Geotekniske aspekter knyttet til rørsputtveggen. Prøvespunt, instrumentering, geotekniske borerer ved prøvespunt. Noen erfaringer ved utførelsen.
Sivilingeniør Sigbjørn Rønning, Multiconsult AS

1140 35. Grunnvannskontroll og grunnvannsmodellering
Lic. of Eng., Siv.Ing. Ingvar Rhen, Sweco Environment, Gøteborg

1200 Lunsj

Erfaringer med jordskjelvdimensjonering og EC8 i Norge - Eksempler

1300 36. Erfaringer med jordskjelvdimensjonering av steinfyllinger. Eksempel fra Sørengautstikkeren
Dr. Ing. Khoa D.V. Huynh, NGI

1320 37. Praktisk modellering av kvikkleire i Plaxis
Sivilingeniør Roy Nalbant, Multiconsult AS

1340 38. Effekt av progressive brudd i sensitive leirer
Professor II, Dr.ing. Hans Petter Jostad, NGI

1400 Pause

1430 39. Anvendelse av modifisert totalsondering i frossen jord
Sivilingeniør Eirin Husdal, Rambøll

1450 40. Avløpsprosjektet Midgardsormen. Sekantpeler brukt som avstivning av 25 m dyp sjakt i kvikkleire
Sivilingeniør Trond Føyn, Norconsult AS

1510 41. Punktering av artesiske lag og utvasking av siltige masser under bygging av ny Breivikeidet bru
Elisabeth Gundersen, Statens vegvesen

1530 Slutt

1730 Middag - Geoteknikk

DEL I FJELLSPRENGNINGSDAGEN 2011

- 1. Velkommen – åpning**
Cand.Scient Jan Kristiansen, Multiconsult AS, Formann i Norsk Forening for Fjellsprenningsteknikk
- 2. Ferjefri E39-prosjektet – Oversikt over prosjektet**
Prosjektleder Olav Egil Ellevset, Statens vegvesen, Vegdirektoratet
- 3. Forbehandling av berget i TBM-drift – Sonderboring og forinjisering**
Sindre Log, The Robbins Company
- 4. Vurdering av drivemetode for tunnel på Follobanen**
Prosjektsjef Anne Kathrine Kalager, Jernbaneverket Utbygging
- 5. Norsk tunnelteknologi - skal vi videreutvikle egen teknologi for eksport eller kopiere europeiske standardløsninger for import ?**
Koordinator Ola Woldmo, NTN (Norwegian Tunnelling Network) / Woldmo Consulting AS
- 6. Toleransegrenser for fisk ved undersjøiske sprengningsarbeider**
Senioringeniør Per Helge Thom, Kystverket
- 7. Rogfast-prosjektet**
Prosjektleder Tor Geir Espedal, Statens vegvesen Region Vest
- 8. Historisk kvarter – Historien om Telemarkskanalen, 150 år**
Gunnar Berg
- 9. Nytt fra NFF**
Sivilingeniør Heidi Berg, Vianova Systems AS
- 10. Lørentunnelen (Rv 150 Ring 3 Ulven – Sinsen)**
Sivilingeniør Jørn Audun Gjennestad, Veidekke Entreprenør AS
- 11. Har vår effektive og moderne tunnelsprengning redusert kvaliteten på våre samferdselstunneler ?**
Oddvar Brøndbo, Veteranconsult
- 12. Rehabilitering av fyllingsdammer med fokus på steinbruddsdrift og tilbakeføring med revegetering av steinbruddet**
Prosjektleder Jon Aarbakk, Statkraft Energi AS
MSc Anders Søreide, Norconsult AS
Dr. scient Per Anker Pedersen, UMB
Dr.ing. Vegard Olsen, NTNU
Professor Amund Bruland, NTNU
- 13. NS 8141 – Rystelsesstandarden. Ny utgave med mange forbedringer**
PhD. Christian Madshus, NGI

14. **Utfordringer med etablering av et godt evakueringskonsept for lange tunneler**
Øivind Hansen, Jernbaneverket Utbygging
Prosjektleder Lise Backer, Jernbaneverket Utbygging
Prosjektsjef Anne Kathrine Kalager, Jernbaneverket Utbygging
15. **Holmestrand stasjon i fjell fra visjon til virkelighet**
Prosjektdirektør, sivilingeniør Stine Ilebrekke Undrum, Jernbaneverket Utbygging
16. **Radontrygge byggeråstoff**
Lagleder Peer Richard Neeb, NGU
Jan Høst & et.al, NGU
17. **En studie av helse og eksponering ved driving av tunnel**
Overlege, dr.med. Bente Ulvestad, Statens arbeidsmiljøinstitutt
Avdelingsdirektør, dr.med. Dag G. Ellingsen, Statens arbeidsmiljøinstitutt
Forskningssjef, cand.real. Yngvar Thomassen, Statens arbeidsmiljøinstitutt
18. **Bygging av undersjøisk tunnel på T-forbindelsen**
Ingeniørgeolog Rune Stumo, Statens vegvesen Region Vest
Avdelingsdirektør Kjetil Vikane, AF Anlegg

DEL II FELLESESJON BERGMEKANIKK- / GEOTEKNIKK

19. **Dynamisk prosjektering; en suksessfaktor ved rehabilitering av verdifulle bygårder fundamentert på alunskifer**
Cand. scient Erik Endre, NGI
20. **Risiko- og sårbarhetsanalyse for løsmasseskred i Bergen kommune**
Dr. ing. Arne Instanes, INSTANES POLAS AS
Sivilingeniør Johanna Lohne Rongved, SWECO Norge AS
21. **Skredovervåkning og –varsling. Ny tverretattlig satsing**
Sivilingeniør Tore Humstad, Statens vegvesen, Vegdirektoratet
22. **E6 Trondheim Stjørdal, parsell Trondheim, dagsone vest. Spesielle utfordringer krever spesielle løsninger**
Prosjektleder Harald Inge Johnsen, Statens vegvesen
Sivilingeniør Anders Beitnes, Faveo / Statens vegvesen

BERGMEKANIKKDAGEN

- 23. Lederens 10 minutter**
Tekn. Dr. Roger Olsson, NGI
- 24. Europas største jernbanestasjon i berg – grunnundersøkelser, drivemetoder og dimensjonering av stabilitetssikring**
PhD Vidar Kveldsvik, NGI
PhD Guro Grøneng, NGI
PhD Matthew J Lato, NGI
Sivilingeniør Hanne Wiig Sagen, Jernbaneverket
Sivilingeniør Bjørn Martens, Rambøll
- 25. Forbedrede forundersøkelser for tunneler – oppsummering av et samarbeidsprosjekt med Vegdirektoratet**
Lagleder Jan Steinar Rønning, NGU og NTNU
Senioringeniør Einar Dalsegg, NGU
Forsker Harald Elvebakk, NGU
Forsker Hans de Beer, NGU
Forsker Guri V. Ganerød, NGU
Forsker Pål Gundersen, NGU
Student Fabienne Reiser, NGU
- 26. Spenningsovervåkning i Rana Gruber**
Senioringeniør Trond Erik Larsen, SINTEF Byggforsk
- 27. Begrepet Frostmengde; er dette en rett parameter for dimensjonering av vann- og frostsikring i Norge? Resultater og konklusjoner fra ett år med tester i Frostlaboratoriet ved SINTEF**
Sjefsforsker / Professor II Eivind Grøv, SINTEF / NTNU
- 28. Europas største jernbanestasjon i berg - fastsettelse av tetthetskrav**
Tekn.Dr, Jenny Langford, NGI
PhD Vidar Kveldsvik, NGI
Sivilingeniør Hanne Wiig Sagen, Jernbaneverket
- 29. Dimensjonering av slakke fjellbolter – resultat av fullskala forsøk**
Sivilingeniør Lars Kristian Neby, Norconsult AS / NTNU
Professor Leif Lia, NTNU
- 30. Bergtunnel utan bergtäckning**
Tekn. Dr. Helen Andersson, Huth & Wien Engineering AS
Dipl.Ing. Peter Borchardt, Borchardt Infosystem AB
Tekn.Dr. Thomas Dalmalm, Trafikverket
- 31. Rensk fra helikopter og klatrelag ved Oppdølsstranda**
Sivilingeniør Tore Humstad, Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Arbeidsleder Bent Bones Olsen, Betongrenovering Drift As

GEOTEKNIKKDAGEN

32. **Lederens 10 minutter**
Sivilingeniør Vidar Gjelsvik, NGI
- E6 Trondheim Stjørdal, parsell Trondheim, dagsone vest**
33. **Byggegrep Møllenberg. Løsninger og utfordringer.**
Sivilingeniør Torgeir Haugen, NCC Construction AS
34. **Geotekniske aspekter knyttet til rørsjuntveggen. Prøvesjunt, instrumentering, geotekniske borerer ved prøvesjunt. Noen erfaringer ved utførelsen.**
Sivilingeniør Sigbjørn Rønning, Multiconsult AS
35. **Grunnvannsjuntroll og grunnvannsjuntmodellering**
Lic. of Eng., Siv.Ing. Ingvar Rhen, Sweco Environment, Gøteborg
PhD Lars Været, Sweco Norge AS
- Erfaringer med jordskjelvdimensjoning og EC8 i Norge - Eksempler**
36. **Erfaringer med jordskjelvdimensjoning av steinfyllinger. Eksempel fra Sørengautstikkeren**
Dr.- Ing. Khoa D.V. Huynh, NGI
Professor II, Dr.-Ing. Amir M. Kaynia, NGI
37. **Praktisk modellering av kvikkleire i Plaxis**
Sivilingeniør Roy Nalbant, Multiconsult AS
38. **Effekt av progressive brudd i sensitive leirer**
Førsteamanuensis, PhD Gustav Grimstad, Høgsjolen i Oslo og Akershus
Professor II, Dr.ing. Hans Petter Jostad, NGI
39. **Anvendelse av modifisert totalsondering i frossen jor**
Sivilingeniør Eirin Husdal, Rambøll
Forsk.ing. Jomar Finseth, UNIS og SINTEF Byggforsk
Ingeniør Magne Wold, SINTEF Byggforsk
40. **Avløpsprosjektet Midgardsormen. Sekantpeler brukt som avstivning av 25 m dyp sjakt i kvikkleire**
Sivilingeniør Trond Føyn, Norconsult AS
41. **Punktering av artesiske lag og utvasking av siltige masser under bygging av ny Breivikeidet bru**
Dr. Scient Elisabeth Gundersen, Statens vegvesen

Cand.Scient Jan Kristiansen, Multiconsult AS
Formann i Norsk Forening for Fjellsprenningsteknikk

ÅPNING - VELKOMMEN

Innlegget gitt muntlig på konferansen uten utgivelse av skriftlig referat.

Ferjefri E39-prosjektet – Oversikt over prosjektet

Olav Ellevset
Prosjektleder Ferjefri E39
Statens vegvesen Vegdirektoratet
olav.ellevset@vegvesen.no
www.vegvesen.no

Sammendrag

Statens vegvesen har fått i oppdrag å sette i gang et prosjekt som skal utrede potensialet som en ferjefri E39 mellom Kristiansand og Trondheim vil ha for næringsliv og tilhørende bo- og arbeidsregioner. Det skal også gjøres en jobb med å utrede og vurdere teknologiske løsninger for fjordkryssinger. I tillegg til disse to delprosjektene skal det vurderes hvordan tekniske anlegg for fjordkryssingene kan utnyttes for å utvinne kraft fra sol, strøm, bølger og vind. Og det skal vurderes hvilke gjennomføringsstrategier og kontraktsformer som vil være mest hensiktsmessige for et prosjekt av så stort omfang.

Prosjektet er organisert under styringsstaben i Vegdirektoratet, og det er opprettet en styringsgruppe for arbeidet. Fylkesordførerne fra seks fylker, regionvegsjefene i vest, sør og midt, og direktørene for trafiksikkerhet, miljø og teknologi (TMT) og Veg- og transportavdelingen i Vegdirektoratet er medlemmer av gruppen som ledes av Vegdirektør Terje Moe Gustavsen.

Abstract

The Norwegian Public Roads Administration (NPRA) has been commissioned to investigate the potential for trade and industry, regional employment and settlement patterns of eliminating all ferries along the Western corridor E39 between Kristiansand and Trondheim. Further, this project will explore the technology required for the remaining fjord crossings. In addition to those two components, the project will consider how the road and bridge infrastructure can be utilised to generate power from solar energy, currents, waves and wind. Implementation strategies and suitable types of contracts are also included in the studies.

The project is managed by the NPRA Directorate in Oslo, with the chairs of the respective six county councils as members of the advisory board. The directors of the respective professional departments of the NPRA have been designated to oversee the work. The board is headed by the NPRA's Director General, Mr Terje Moe Gustavsen.

Bakgrunn

Samferdselsdepartementet har bedt Statens vegvesen om å utrede hvilket potensiale en ferjefri E39 vil ha for næringsliv og tilhørende bo- og arbeidsregioner. Prosjektet skal også vurdere teknologiske løsninger for fjordkryssinger, og hvordan konstruksjonene eventuelt kan utnyttes til å produsere energi fra sol, bølger, strøm og vind. I tillegg skal også gjennomførings- og kontraktstrategier inngå i prosjektet. E39 går langs kysten fra Kristiansand til Trondheim, og er i dag ca 1100 km lang.

Også økonomiske vurderinger av ferjefri E39 skal inngå, dvs. både kostnader og gevinster, inkludert samfunnsøkonomiske analyser.

2.2

Prosjektet hører administrativt inn under Strategistaben i Vegdirektoratet, og det er ulike avdelinger og regioner i Statens vegvesen som har ansvaret for de ulike komponentene eller delprosjektene slik at etatens ordinære linjeorganisasjon utnyttes mest mulig. Dette vil også gi den beste forankring i de ulike fagmiljø som prosjektet vil berøre.

Prosjektet omfattes allerede av stor internasjonal interesse, og det har dessuten en slik karakter at en også vil være avhengig av å utnytte det som finnes av oppdatert kompetanse internasjonalt innenfor hele det fagspektret som prosjektet dekker.

Prosjektet består pr mai 2011 av fire delprosjekter:

- Samfunn
- Fjordkryssingsprosjektet
- Energi
- Gjennomføringsstrategier og kontraktsformer

Prosjektet er først og fremst et generalisert kunnskapsprosjekt, og det er den respektive vegregion som vil ha ansvaret for den enkelte fjordkryssing både mht den faglige og den prosessmessige delen.

For å få maksimal effekt av den faglige delen, tenkes det opprettet egne faglige nettverk for delprosjektene og for evt. andre behov som måtte oppstå underveis.

Delprosjekt Samfunn

Delprosjekt Samfunn skal sannsynliggjøre de nasjonale og regionale effekter en ferjefri E39 kan gi, og generere kunnskap og eventuell metodikk for dette i nært samarbeid med universiteter, høgschooler og forskningsinstitusjoner. I den anledning kan det bli nødvendig å se på hvilke langsiktige effekter som tidligere systemendrende prosjekter både i Norge og i andre land har hatt, og vurdere om dette kan danne grunnlag for utvikling av en egen beregningsmodell.

E39 skal i utgangspunktet være en nasjonal hovedveg der det legges vekt på at den blir så kort i lengde som mulig, og dermed også har så kort reisetid som mulig for de ulike reisedestinasjoner langs ruten. Samtidig skal E39 bidra til regional utvikling, ettersom mange ettertraktete synergieffekter vil være avhengig av at den effektivt forbinder områder med stor befolkning og høy næringsaktivitet

Det er viktig å få prosjektet godt integrert i utdanning og forskning, og vi vil derfor legge vekt på å utvikle et godt samarbeid med universitets- og høgskolemiljøene, forskningsinstitusjoner og konsulenter.

Seksjon for virksomhetsutvikling ved HR- og administrasjonsavdelingen har et utstrakt nettverk mot utdanningsmiljøet og bransjeorganisasjonene på kompetanseområdet, og vil spille en vesentlig rolle i kontakten mot disse miljøene. Trafikksikkerhets-, miljø og teknologiavdelingen (TMT) vil også ha en viktig rolle i kontakten med de eksterne fagmiljøene.

Delprosjektet ledes av Statens vegvesen Region Midt.

Delprosjekt Fjordkryssingsprosjektet

Mandatet er å vurdere teknologiske løsninger for fjordkryssinger. Dette vil omfatte en vurdering av teknologiske løsninger for de fjordkryssingene som i dag fortsatt betjenes av ferger langs E39.

Ettersom de andre fjordene ikke er så dype vil det også parallelt bli vurdert teknologiløsninger for dybder ned til 5-600m som er typiske for fjorder som Bjørnafjorden i Hordaland og Storfjorden i Møre og Romsdal. Det er særlig den tekniske og kostnadsmessige betydning av forankringer til bunnen som da vil bli vurdert.

Som følge av at mandatet senere er utvidet med en komponent for eventuell energiproduksjon vil delprosjektet også måtte vurdere betydningen av ekstra belastning på konstruksjoner som følge av løsninger som Delprosjekt Energi anses som aktuelle.

Også dette delprosjektet vil søke råd fra nasjonal og internasjonal spisskompetanse, og vil i tillegg til aktuelle forsknings- og universitetsmiljø også søke kunnskap og erfaring fra oljesektor og marin industri.

Gruppen vil i sitt arbeid vurdere:

- o Teknologisk mulige løsninger
- o Energibehov/energibruk ("Carbon footprint" for både bygging og drift)
- o Kostnader (bygging og drift)
- o Andre konsekvenser (nærmiljø, skipstrafikk, sikkerhet)

Delprosjektet overtar Region vest sitt Fjordkryssingsprosjekt, og det ledes fortsatt av denne regionen. Prosjektet er der organisert under Prosjektavdelingen.

Fjordkryssingsprosjektet har i vel to år arbeidet med teknologiske muligheter for en kryssing av Sognefjorden, som med sin store dybde på ca 1300 m anses som den mest krevende. Prosjektgruppen har vurdert tre ulike hovedkonsepter for dette, hengebru, flytebru, rørbru, samt kombinasjoner av disse. Mulighetsstudien vil i hovedtrekk bli fullført som en teknologipilot.

Det siste året har imidlertid prosjektgruppen vært sterkt involvert i flere av de konseptvalgutredningene (KVU) som har pågått langs E39, og har vurdert rundt 35 ulike kryssingsalternativer for de vurderte konseptene. Dette har vært et meget omfattende arbeid, og har medført at arbeidet med piloten for Sognefjorden har måttet ta en pause. Arbeidet har kommet i gang igjen nå, og for tiden pågår det en risikoanalyse for de ulike teknologikonseptene i forhold til skipsfarten. Gjennom Doffin-basen er konsulenter også invitert til en konkurransepreget dialog for videre teknisk konseptutvikling og verifisering av aktuelle kryssingsmetoder av Sognefjorden.

Så snart departementet har besluttet hvilke konsepter det skal gås videre med på de ulike KVU-strekningene vil det være aktuelt at gruppen ser nærmere på disse i samarbeid med den respektive region der prosjektene ligger.



Delprosjektet presenterte i mars i år en rapport som oppsummerer idefasen, og som finnes på www.vegvesen.no/prosjekter/E39_ferjefritt/

Nedenfor gjengis noen glimt fra de hovedkonseptene og kombinasjoner som er vurdert så langt.



Hengebru med midtspenn 3700m



Flytebru med seilingsløp midtfjords



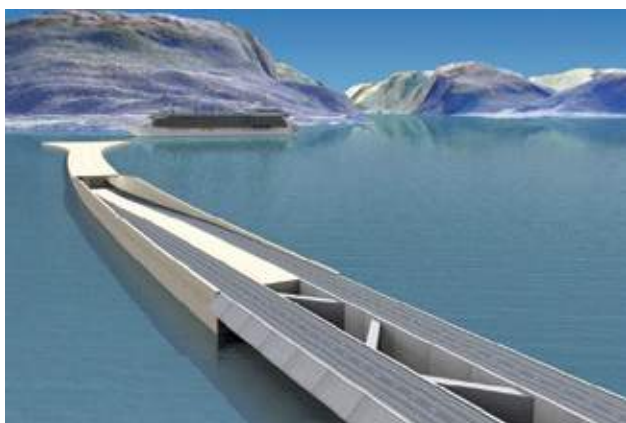
Rørbru-konseptet med flytende pontonger



Eksempel på rørbru med flytende pontonger sett nedenfra



Eksempel på tverrsnitt av bunnforankra rørbru med sirkulært tverrsnitt



Kombinasjon mellom flytebru og rørbru i to løp i Y-form under skipsløp

Delprosjekt Energi

Delprosjektet skal gjennomføre en vurdering av hvordan de tekniske anlegg for kryssingene kan utnyttes for å utvinne kraft fra sol, strøm, bølger eller vind, og vi vurderer det slik at også bruer over elver teknologisk er så beslektet at dette også vil inngå i delprosjektet.

Det er Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen i Vegdirektoratet som leder dette delprosjektet, og før arbeidet startet er innretning og medvirkning drøftet med NVE som sektormyndighet som også delta i arbeidet.

Det er på dette stadiet vanskelig å bedømme hvor stor mengde energi som kan produseres på denne måten. Potensialet kan imidlertid være av interesse ettersom noe av årsaken til at fornybar energi særlig fra bølger, strøm og vind ofte har vanskeligheter med å bli økonomisk lønnsomt er at det er store kostnader forbundet med selve installasjonen. I kombinasjonsløsninger kan det være selve brukonstruksjonene som blir den største kostnadsbæreren, og økonomisk lønnsomhet kan dermed framstå som vesentlig forskjellig fra mange andre prosjekter. Kombinert utnyttelse av infrastruktur til flere formål anses som et kommende fokusområde internasjonalt.

Delprosjektet har formulert to masteroppgaver for studenter ved NTNU i Trondheim, og på Doffin-basen er det nettopp utlyst en mulighetsstudie for å skaffe seg bedre oversikt over potensialene de ulike energiformene kan representere i kombinasjon med veginfrastruktur.



Eksempler på kombinerbare kraftverk for ulike kraftformer

Delprosjekt Gjennomføringsstrategier og kontraktsformer

Mandatet for delprosjektet er å gjøre en vurdering av de gjennomføringsstrategier og kontraktsformer som anses som mest egnet for gjennomføring av et prosjekt med en slik dimensjon som dette kan få.

I arbeidet vil det inngå en vurdering av om det i oljesektoren eller internasjonalt er benyttet tilnæringsmåter som med eventuelle tilpasninger kan være aktuelle for landprosjekter i Norge.

Dette er å betrakte som et eget kritisk fagområde, og delprosjektet er lagt til byggherremiljøet ved Veg- og transportavdelingen i Vegdirektoratet. På den måten kan også den etablerte bransjekontakten på dette området utnyttes og involveres i arbeidet.

I det videre arbeid er det ønskelig at vi får til en relativt omfattende involvering av bransjeorganisasjonene, og i januar 2012 vil det bli arrangert et møte der en vil drøfte hvilken form dette kan få. Det er prosjektets intensjon at dette samarbeidet kan bli så bredt at det både kan gi verdifulle bidrag til å utvikle de teknologiløsninger det her er snakk om, og at det samtidig kan bety noe for kompetanseutviklingen i bransjen.

Forbehandling av berget i TBM-drift - Sonderboring og forinjisering

Pretreatment of ground in Hard Rock TBM tunneling - Probe drilling and pregrouting

Sindre Log, The Robbins Company

Sammendrag

Oppdagelse og forbehandling av svakheter og innlekkasjer i berget er en av de grunnleggende og essensielle teknikkene i konvensjonell tunneldrift. I TBM (Tunnelboremaskin)-driving har denne teknikken bare delvis blitt utnyttet, og utvidet bruk av sonderboring og forbehandling av berget har blitt begrenset til et få prosjekter. Generelt kan det virke som det er en oppfatning i bransjen at teknikken er meget tidskrevende og noe man vil unngå i det lengste i TBM-drift.

Det finnes i dag flere måter man kan optimalisere TBMen og TBM-driften for effektiv sonderboring og forbehandling av berget. Dette inkluderer:

- Installasjon av flere borhammere
- Planlegge og optimalisere nedetiden man har for vedlikehold og kutterbytter for å minimere ekstra nede tid grunnet sonderboring og forbehandling av berget.
- Oppfølging og analysing av sonderboringen
- Valg av rett TBM-type

Robbins har stor tro på potensialet sonderboring og forbehandling av berget har i TBM-drift. Med dagens TBM-teknologi er det fullt mulig å drive systematisk sonderboring uten å komme i den kritiske vei på TBM-drivingen. En slik optimalisering vil også gjøre en forinjiseringsprosess signifikant mer effektiv enn det som i dag er industristandarden i TBM-drift.

Summary

Detection and pretreatment of High pressure water ingress and geological weakness zones is an essential part of drill and blast tunneling. Mechanized hard rock tunneling has only partly utilized this technology and projects with systematically probe drilling and pretreatment have been limited.

There are some different available methods of optimizing the TBM and the TBM operation for probe drilling and pretreatment of the ground. This includes:

- Installing more bore hammers

- Plan and optimize the downtime for maintenance and cutter changes to minimize the downtime caused by probing and grouting
- Detailed analysis of the drilling performance
- Choose the right TBM type

The Robbins Company firmly believes in the potential probe drilling and pregrouting have in TBM applications. With the current TBM technology available, there is fully possible to deliver TBMs with the capacity to systematical probe drilling without getting in the critical path of the TBM operations. Such optimizations would also make the pregrouting process significantly more efficient than the current industry standard.

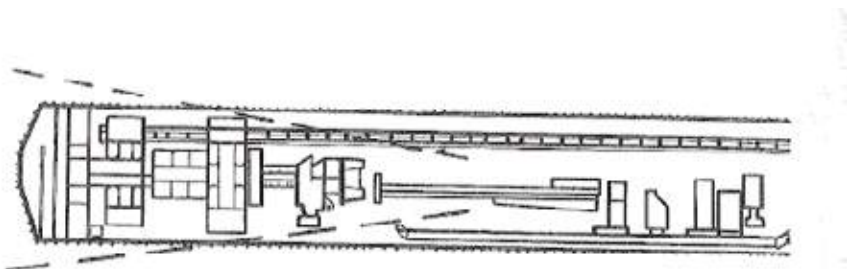
3.0. Innledning

Sonderboring og forinjisering er en essensiell del av konvensjonell tunneldrift og det viktigste hjelpemidlet for håndtering av dårlige bergforhold og innlekkasjer. Bruken i TBM-drift har vært begrenset til noen få prosjekter med utvidet og systematisk bruk av sonderboring og forinjeksjon. Robbins mener at deteksjon og forbehandling er den mest effektive teknikken for håndtering av soner med dårlige bergforhold og/eller innlekkasjer også i TBM-drift.

Denne artikkelen gir en kort introduksjon til historien til denne teknikken i TBM-drift, en beskrivelse av hvordan det gjøres i dag, ulike optimaliseringsmuligheter som finnes og et blick i utviklingen som foregår på dette feltet. Artikkelen avsluttes med en beskrivelse av utfordringen som ble møtt på Veligonda prosjektet i India.

3.1. Den første utstrakte bruken av sonderboring og forinjeksjon i TBM drift

Første gang sonderboring og forinjeksjon ble benyttet i TBM-sammenheng, var på kloakktunnelen i Oslo (1977-1981). På grunn av stor risiko for setninger i bebygd område krevde byggherren et system på TBMen som hadde mulighet for utvidet bruk av forinjeksjon. A/S Høyer-Ellefsen valgte sammen med sveitsiske Murer AG en løsning hvor man plasserte en jumbo like bak TBMen. Den opprinnelige planen var å guide borstrengen gjennom TBMen og bore gjennom borhodet. Dette viste seg raskt å ikke være en optimal løsning og man valgte heller å tvinge borkronen inn i tunnelveggen bak gripperskoene.



Figur 1: Oppsett av boreutstyr på TBMen under drivingen av Oslo kloakk tunnel¹

Denne tilnærming krevde ca. 6 meter ekstra boring per hull for å nå frem til borhodet. Det ble systematisk boret 6 sonderhull på 30 meter. Ved høy innlekkasje i sonderhullene ble det boret et visst anrall

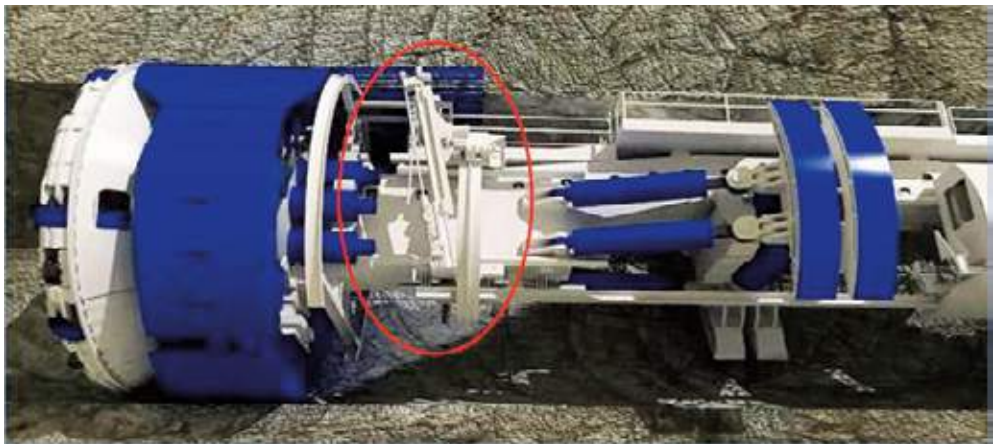
injiseringshull avhenging av mengde vann. Injiseringshullene ble boret 30 meter med 6 meter overlapp. For å hindre intregning av sement i tunnelen måtte pakkerene nå 1-2 meter foran borhodet. Dette førte til at man benyttet pakkerstenger på 7.5 meter.

Prosjektet var en suksess med tankte på avstengning av vann og setningsforebygging, men den utvidede bruken av sonderboring og forinjeksjon hindret inndriften dramatisk. Dette er i tråd med de fleste andre erfaringene man har fra prosjekter med utvidet bruk av sonderboring og forinjeksjon, også i nyere tid. Dette har ført til en generell oppfatning i tunnelbransjen at denne teknikken er meget tidskrevende og noe man vil unngå i størst mulig grad i TBM-drift

3.2. Dagens standard

Sonderboring and forbehandling av berget er på TBMer gjort med spesielt tilpassete borehammere montert så nært borhodet som praktisk mulig. Dette er for å unngå ekstra boremeter før man tar igjen kutterhodet. Avstanden mellom punktet hvor borstrengen går inn i bergveggen og frem til kutterhodet er avhenging av hvilken TBM-type som benyttes. Boringen blir gjort gjennom utsparinger i skjoldet eller kutterhodet stabilisering avhengig av maskintype.

Deteksjon og forbehandling er den åpne TBMs beste forsvar mot innlekkasje og svakt berg. Generelt kan åpne TBMer tilpasses meget godt for forbehandling av berget, med borehammene lokalisert like bak kutterhodet. Dette gir en nødvendig boring frem til borhodet på 2-3m.



Figur 2 Plassering av borhammerne på åpne TBMerⁱⁱ

På store TBMer (>8m) ser man en internasjonal trend på at prosjekteiere i stor grad ønsker å benytte skjoldete maskiner med betong element som den primære bergsikringen. Dette har sine åpenbare fordeler, men kan også gjøre at prosjekteier/entreprenør overvurderer sikringsmetodens evne til å håndtere svakt berg og vannlekkasje.

På en dobbelskjoldet maskin er borehamrene plassert bak elementkranen. Dette fører til en ekstra hulllengde på alle borhull på opptil 6-8 meter.



Figure 3 Plassering av borehamre på Dobbelskjoldete TBMerⁱⁱⁱ

Plasseringen av borehamrene bak elementkranen gjør sonderboring og boring for forinjeksjon til en meget tidskrevende prosess som ofte fører til at byggherre/entreprenører søker å unngå utførelse av disse viktige operasjonene i soner hvor de burde blitt utført. Denne motstridigheten fører ofte til at borhamrene ikke blir montert eller brukt på prosjekter med dobbelskjold TBMer.

Robbins mener mange av problemene med skjold TBMer som setter seg fast globalt, kunne vært unngått ved en effektiv bruk av sonderboring og forinjeksjon.

Når man utfører systematisk sonderboring over et prosjekt på DS-TBMer bores det ofte et hull i hengen uten videre annen dokumentasjon enn tidtaking av borsynk per stang, vanninntrenging og kvalitativ analyse av borkakset. Bl.a. ved Gotthardtunnelen ble det kun utført sonderboring med et hull selv om man benyttet en åpen TBM.



Figure 4 Boring for injeksjonsskjerm

Historisk sett har man ønsket å unngå å sonderbore gjennom kutterhodet. Dette skyldes problemer i forbindelse med tap av borestrengen og konsekvenser dette vil ha når TBMen skal bore i det samme området. Utviklingen av boreutstyr har minimert denne risikoen og i dag kan man uten videre problemer sonderbore eller bore for injisering gjennom kutterhodet under annen nedetid på TBMen.

Generelt er metodikken ved sonderboring og forinjisering tilnærmet lik konvensjonell driving. Sonderboringshull kan bores med lengder på 30-60 meter. Ved systematisk sonderboring bør sonderhullene bores med en overlapp på 5-10m. Netto borsynk variere fra 1,5-2,5 m/min avhengig av berget.^{iv}

Basert på resultatene av sonderhullene og en geologisk vurdering bestemmer man behov/størrelse på injiseringsskjermen.. Injiseringhullene er gjerne boret med lengder på 20-30 meter med en overlapp mellom skjermene på 4-8m. Injiseringen foregår fra stasjonære plattformer ved borhamrene.

Et eksempel på sonderboring og bestemmelse av injeksjonsskjerm er beskrevet i siste del av artikkelen.

Distansen fra borkronenes intregningspunktet i bergveggen til kutterhodet fører til at man trenger lengre pakkerstaver enn i konvensjonell drift, for hindre injeksjonsmassen i å trenge inn i tunnelen. Som en generell regel bør pakkeren være inninstallert 1-2m foran kutterhodet.

3.2. Optimalisering for forbehandling av berget i TBM-drift

De mest relevante optimaliseringen man kan gjøre for effektiv forbehandling av berget ved TBM drift er:

- Øke antallet borehammere
- Optimalisere TBM-prosessen for sonderboring og boring for forinjisering under annen planlagt nedetid.
- All Condition Tunneler (ACT)

3.2.1. Antall borhamre

Standardoppsettet for TBM er 1-2 borhammere avhengig av TBM-type. Det tilbys alltid flere borhammere, men det blir som regel avslått av prosjekteier/entreprenør . Kapasiteten til en borhammer kan potensielt gjøre en systematisk sonderboring på et hull uten at dette går utover produksjonen. Dersom man vil ha et mer omfattende sonderboringsmønster eller bore for injeksjon vil dette være meget tidskrevende og ueffektivt. Dette gjør at man ofte minimerer sonderboring og forinjisering til et nivå hvor gevinsten av teknikken blir minimal.

For å vedlikeholde et effektivt sonderboringsmønster og utnytte potensialet i forinjeksjon er det en nødvendighet å installere flere borehammere, dersom maskinstørrelsen tillater det. På en TBM med diameter på 10m er det mulig å installere opp til 6-8 borhammere. På en 10m åpen TBM med 4 borhammere skal det være mulig å opprettholde en systematisk sonderboringsmønster på 4-6 hull uten å komme i den kritiske veien for TBM-prosessen. Et slik oppsett vil også gjøre det mulig å bore en akseptabel injiseringsskjerm uten en uakseptabel nedetid på TBMen.

3.2.2. Optimalisering av TBM prosessen og nedetiden på TBMen

For å gjennomføre sonderboring og potensielt forinjeksjon effektivt på en TBMer planleggingen av prosessene helt essensielt for å unngå unødige nedetid på TBMen. Detaljert planlegging bør gjøres for å koordinere vedlikholdstid og kutterbytterne med sonderboringsintervallene. Robbins anbefaler på mange

prosjekter et halvt eller helt skift per døgn for vedlikehold av maskinen. Under et slikt vedlikeholdsskift bør det være tilstrekkelig tid til å fullføre en injeksjonsskjerm, avhengig av utstyret på TBMen, kompetansen hos arbeiderene, størrelsen på injeksjonsskjermen og herdetiden på injeksjonsmassen.

En annen grunn til at sonderboring blir lite bruket er lite erfaring og systemer for måling og tolkning av sonderbøringsparametre. Her bør man se mot konvensjonell tunneldrift, hvor man har kommet adskillig lengre når det gjelder måling, dokumentasjon og analysing av sonderboring- og injiseringsparameter og resultater.

3.2.3. All Condition tunneler (ACT)

For å kombinere potensialet åpne TBMer har for forbehandling av berget, med fordelene man har med lining av tunneler, har Robbins utviklet en egen maskintype. All Conctions tunneler (ACT) er en patentert kombinasjon mellom en DS-TBM og en åpen TBM som tar bort DS maskinens begrensninger i forbindelse med bergsikring foran og i umiddelbar nærhet av kutterhodet.

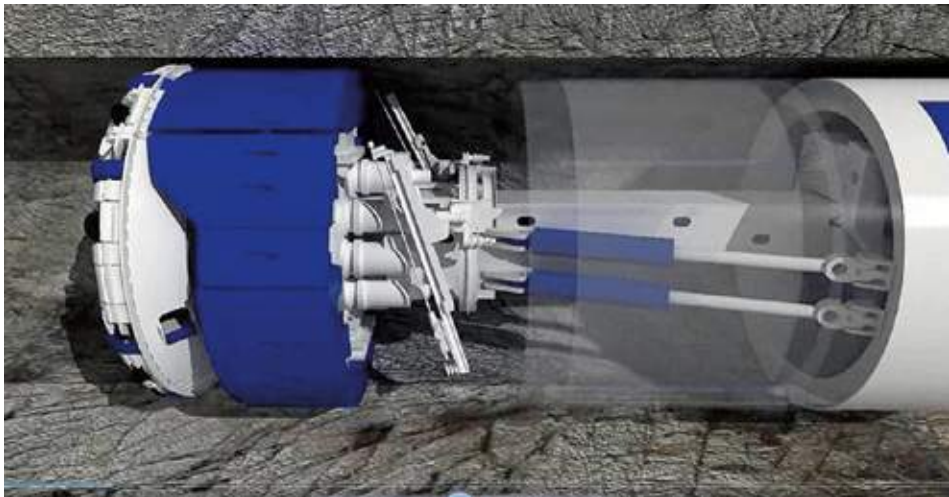


Figure 5 Prinsipielt oppsett for ACT TBM

ACT-maskinen er egnet for de fleste typer bergforhold, inkludert innlekkasjer med høyt trykk og store svakhetssoner.

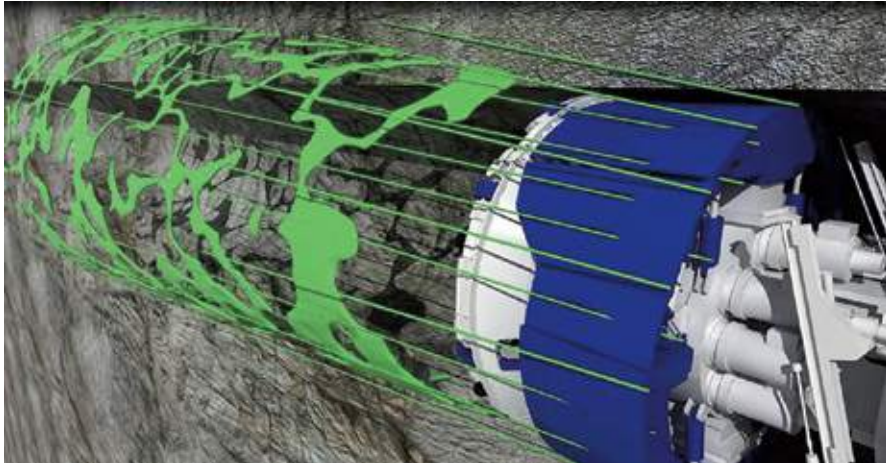


Figure 6 Prinsipiell forinjisering med ACT.

Case Studie Veligonda

Et av prosjektene hvor sonderboring har blitt gjennomført med delvis suksess er irrigasjonsprosjektet Veligonda i staten Andhra Pradesh, India.



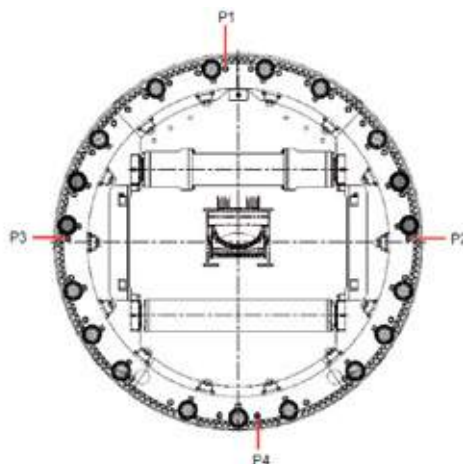
Figure 7 Veligonda

Prosjektet består av to parallelle TBM-tunneler som blir drevet et par hundre meter fra hverandre. Robbins leverte en 10m DS-TBM som den andre TBMen på prosjektet. Den første maskinen er en ca 8m DS-TBM fra en konkurrerende leverandør. Den første maskinen ble bestilt og levert flere måneder før Robbins sin TBM og hadde boret flere kilometer før Robbins maskinen startet.

Figure 8 Veligonda DS- TBM^{vi}

Den geologiske informasjonen tilgjengelig på prosjektet var meget begrenset pga. Et nærliggende tigerreservat. Prosjekteieren valgte allikevel ikke å gjennomføre systematisk sonderboring og maskinene ble levert med en borhammer hver. Etter ca 3.4 km boring ble den første TBM overrasket av en større vannførende svakhetsone og maskinen ble delvis begravd i løst materiale. Maskinen satte seg fast og sto i ro i mer enn et år grunnet kontraktuelle problemer før maskinen ble gravd ut ved hjelp av en bypass tunnel. Denne case-historien vil fokusere på Robbins-TBMens tilnærming til, den da kjente, sonen.

Join venturen besluttet å innføre systematisk sonderboring når man nærmet seg sonen. Robbins forslag til sonderboring er gitt under. Mønsteret ble noe redusert etter entreprenørens ønske.

Figure 9 Sonderboring: Veligonda^{vii}

Sonderhullenes lengde og intervaller ble evaluert fortløpende etter tolkningen fra hullene. Tolkningen av sonderboringshullene ble basert på følgende målinger:

- Borsynk per stang, farge på avrenning fra hullet analyse av borkaksene.
- Målt innlekkasje

Med dette som grunnlag ble injeksjonsskjermens størrelse og lengde bestemt. Når man nærmet seg de kritiske grunnforholdene hvor den andre maskinen satte seg fast implementerte man en fast injeksjonsmetodikk som var delt opp i primær- og sekundærinjeksjon.

Den primære injeksjonsskjermen er besto av 14 hull gitt under:

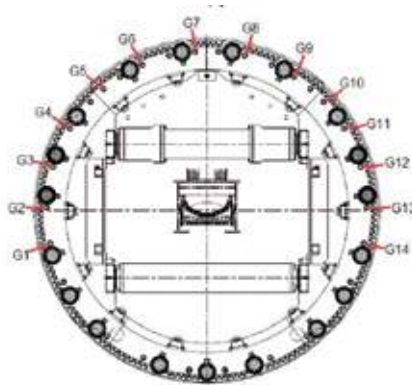


Figure 10 Primary grouting umbrella pattern

Injeksjonshullene ble boret med lengder mellom 15-25 meter med en overlap på 3-6 meter.

Den sekundære injeksjonen ble boret med same lengder. Plasseringen av hullene ble plassert slik at de fungerte som kontrollhull for den primære skjermen. Den sekundære skjermen besto av 9 hull

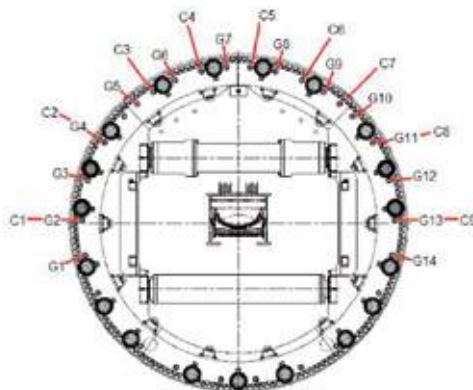


Figure 11 Secondary grouting pattern

Maskinen traff den forventede geologiske sonen som ventet, og på grunn av kjennskapen til sonen og sonderboringen var entreprenøren forberedt og forinjiserte sonen suksessfullt, for så å bore gjennom den uproblematisk.

Injeksjonsskjermen på i alt 23 hull, som ville blitt ansett som en meget liten skjerm i norsk målestokk, ble også redusert betraktelig av entreprenøren, på grunn av reduksjonen av produksjonen en slik skjerm boret med en borrhammer har. Uavhengig av dette illustrerer prosjektet potensialet forbehandling av berget har i mekanisert tunneldrift har, selv utført i små mengder og med maskiner som ikke er optimalisert for teknikken.

Robbins TBMen passerte den andre TBM før bypass-tunnelen var ferdigstilt. Men grunnet entreprenørens utilstrekkelige sonderboring, på tross av Robbins anmodninger, før en kjent svakhetssone, satte maskinen seg fast, mindre en seks måneder etter den passerte den forrige sonen. Denne vannførende sonen består stort sett av leire og noe knusningsmateriale. Man får stabilisert sonen og rydderengjort kutterhodet, men med en gang man får bevegelse på kutterhodet flommer det våt leire inn i kutterhodet igjen. Per dato blir det utført en bypass-tunnel.



Figure 12 Kutterhodet etter man traff den andre svakhetssonene

Den totale nedetiden på de to maskine på over 18 måneder, grunnet bypass-tunnelene, kunne antageligvis vært unngått dersom man hadde planlagt med med systematisk sonderboring under drivingen og forbeholdt sonene. Dersom man på forhånd også hadde optimalisert maskinen for forbehandling, kunne man også håndert sonene uten de store forsinkelsene man har hatt med en borrhammer.

Konklusjon

Robbins mener fremtidenes TBMer må være i stand til å håndtere et vidt spekter av geologiske utfordringer. Evnen til å oppdage og behandle innlekkasje med høyt trykk og svakhetssoner effektivt, vil være en essensiell del av en slik TBM

Med dagens TBM-teknologi er det fullt mulig å levere en TBM med kapasitet til å bedrive systematisk sonderboring uten å komme i den kritiske veien på TBM-prosessen. En slik optimalisering for sonderboring og forbehandling av berget vil også effektivisere forinjeksjonsprosessen signifikant i forhold til dagens bransjestandard.

All pictures where other sources are not cited are the property of The Robbins Company or the Author.

ⁱ Thor Skjeggedahl, "Pregrouting in Full-face bored tunnels", RETC 1981

ⁱⁱ Snapshot from The Robbins Companys promotion video of main beam TBMs

ⁱⁱⁱ Snapshot from The Robbins Companys promotion video of Double Shielded TBMs

^{iv} Based on NTNU Department of Civil and Transport Engineering (2006) Report 2B-05 Drill and Blast tunneling: Advance rate

^v Screenshot from Google Maps

^{vi} Picture from Robbinstbm.com

^{vii} Method statement for probe drilling and pregrouting at Veligonda, Jim Clark

VURDERING AV DRIVEMETODE FOR TUNNEL PÅ FOLLOBANEN

Consideration of excavation method for the tunnel at the Folloline

Prosjektsjef Anne Kathrine Kalager, Jernbaneverket Utbygging

SAMMENDRAG

Som en del av prosjektet Nytt dobbeltspor Oslo – Ski, Follobanen, skal det bygges en ca. 20 km lang jernbanetunnel. Tunnelen skal bygges med to separate løp.

Ulike drivemetoder vurderes for bygging av tunnelen, konvensjonell driving med sprengning eller bruk av tunnelbormaskin, TBM.

For å kunne bygge og ferdigstille tunnelen innenfor en periode på 6 – 7 år, må konvensjonell driving med sprengning gjennomføres fra ni angrepspunkter eller tverrslag. Ved bruk av TBM må det enten legges opp til bruk av fire maskiner fra et tverrslag på Åsland, beliggende omtrent midt på tunneltraséen, eller to maskiner fra Åsland i kombinasjon med to maskiner fra det sydlige tunnelpåhugget i Ski.

Valg av drivemethode påvirker både størrelse og utforming av riggområdene, hvilken aktivitet og logistikk som skal finne sted der, i tillegg til massehåndtering og transport.

Som grunnlag for valg av drivemethode vil Jernbaneverket vektlegge kostnader, fremdrift og miljømessige forhold.

SUMMARY

The Norwegian National Rail Administration has plans for a 20 km long tunnel as a part of the new double track railway line between Oslo Central station and Ski station, the Folloline. The tunnel will consist of two separate tubes and connection-tunnels between them every 500 meters. Different excavation-methods are evaluated; using drill and blast or tunnelbore-machine, TBM.

To be able to build and finish the tunnel within a period of 6 – 7 years, drill and blast must be used from nine access-tunnels. By using TBM, one or two access-points are needed.

The excavation-method to be used will influence on the size of the construction site, the activities and logistics that will take place there as well as handling muck and transportation.

The Norwegian National Rail Administration will decide on excavation method based on economic parameters, time to finish and environmental impact.

1. BAKGRUNN

Jernbaneverket har i overkant av 700 tunneler på sitt 4114 km lange jernbanenett. Disse tunnelene har varierende lengde fra ca. 100 meter og opp til 14 km. Alle disse tunnelene er bygget på konvensjonelt vis ved sprengning. Dette er dels historisk betinget ut i fra at det er den drivemetoden både Jernbaneverket som byggherre og bransjen i Norge har erfaring med å benytte. Dels skyldes det også det faktum at vi stort sett har bergmasser i Norge som egner seg godt for driving av tunneler ved sprengning.

På 1970- og tidlig på 1980-tallet ble imidlertid tunnelboremaskiner (TBM) brukt for driving av tunneler på en rekke prosjekter innen vannkraftutbygging. TBM ble også brukt for driving av VEAS-tunnelen, en ca. 30 km lang kloakktunnel mellom Oslo og Slemmestad i Røyken kommune.

I løpet av de siste 20 årene har det skjedd en betydelig utvikling på teknologifronten for både konvensjonell tunneldriving ved sprengning og for driving ved hjelp av TBM. Tunnelboremaskiner skreddersys i langt større grad enn tidligere for å takle ulike geologiske forhold.

Samtidig stilles det stadig strengere miljømessige- tidsmessige- og økonomiske krav til byggherrene ved driving av tunneler. Jernbaneverket har derfor for noen av sine siste tunnelanlegg som er bygget og for Follobanen som er under planlegging sett det som nødvendig å vurdere om TBM kunne eller kan være et aktuelt alternativ til konvensjonell driving ved sprengning.

2. VURDERING AV DRIVEMETODE FOR BYGGING AV TUNNELENE PÅ ASKERBANEN – NYTT DOBBELTSPOR MELLOM LYSAKER OG ASKER

Nytt dobbeltspor på strekningen mellom Lysaker og Asker, Askerbanen, ble bygget ut i to etapper i perioden fra 2001 til 2011. Første byggetrinn var den 9 km lange strekningen mellom Sandvika og Asker. Her var det to tunneler, Tanum- og Skaugumtunnelen som begge var ca. 3,5 km lange når vi regner med betongtunnelene i endene. Andre byggetrinn var den 6,5 km lange strekningen mellom Lysaker og Sandvika. Ca. 6 km av denne strekningen består av tunnel.

En av de store utfordringene ved prosjektering og bygging av alle tre tunnelene var at de går under tett befolkede områder. Tilgangen til tverrslags- og riggområder var svært begrenset. Det ble også knyttet strenge miljømessige restriksjoner til anleggsperiodene.



Figur 1. Trase for nytt dobbeltspor mellom Lysaker og Asker med angivelse av Tverrslag for driving av tunnelene.

2.1 Sandvika – Asker: Tanum- og Skaugumtunnelen

I forbindelse med detaljplanarbeidet for Tanum- og Skaugumtunnelen, ble det gjort en vurdering av både hvorvidt disse tunnelene skulle bygges med ett stort dobbeltsporet løp eller to separate løp. Samtidig ble det også foretatt vurderinger av hva som ville være hensiktsmessig drivemetode for disse tunnelene.

Utredningene konkluderte med at tunnelene burde bygges med ett stort dobbeltsporet løp og drives konvensjonelt ved sprenging og tetting ved systematisk forinjeksjon.

Denne beslutningen skapte ingen debatt verken i fagmiljøer eller i media og konklusjonen ble lagt til grunn for videre prosjektering og senere bygging av tunnelene.

2.2 Lysaker – Sandvika: Bærumtunnelen

Jernbaneverket gjennomførte tidlig i prosjekteringsfasen for Brumtunnelen en liknende vurdering av den som var gjennomført for driving av Tanum- og Skaugumtunnelen om det ville ligge noen gevinster ved å bore denne tunnelen fremfor å sprengne den på konvensjonelt vis. Konklusjonen av disse vurderingene var at det verken på tid eller kostnader ville ligge lønnsomhet i å velge driving med TBM.

Samtidig ble det også her valgt å legge konseptet med ett stort dobbeltsporet løp til grunn for videre prosjektering og bygging.

Beslutningen om at Jernbaneverket ønsket å legge konvensjonell driving fra tre tverrslag til grunn for bygging av den 5,5 km lange tunnelen vekket et voldsomt engasjement i lokalmiljøet. For godkjenning av reguleringsplanen i Bærum kommune ble det krevd at Jernbaneverket fremla en bedre dokumentasjon på det valget som var foretatt.

Jernbaneverket engasjerte da SINTEF til å gjennomføre en 3.partsverifikasjon av de foreliggende vurderingene knyttet til drivemetode. Gjennom denne verifikasjonen vurderte de kostnader og fremdrift både for konseptet med ett stort dobbeltsporet løp og to separate løp. Deres konklusjon var i tråd med den konklusjonen Jernbaneverket tidligere hadde trukket. For Bærumtunnelen ville det ikke lønne seg, verken tidsmessig eller økonomisk å velge TBM i stedet for konvensjonell driving ved sprengning. Årsakene til dette var flere:

Tilgangen til et egnet riggområde for TBM-drift var svært begrenset i denne delen av Bærum og avstanden med en dertil tilhørende tverrslagstunnel ble for stor til at det ble rasjonelt sammenliknet med forutsatt tilgjengelighet for driving konvensjonelt fra tre nærliggende tverrslag.

Videre ville overdekningen, som stort sett lå mellom 10 og 30 meter være for liten til at det ville være mulig med døgkontinuerlig drift av maskinen.

Strengt krav til en tett tunnel bidro også til at både kostnader og tid for gjennomføring ble høye for TBM-alternativet. Hensyn til strenge tettekrav lå allerede inne som en førende parameter for konvensjonell driving.

3. DRIVEMETODEVURDERINGER GJORT FOR FOLLOBANEN

Ved oppstart av prosjekteringsarbeidet for den nesten 20 km lange tunnelen p Follobanen, ble det gjennomført en vurdering av hvilken drivemetode som kunne egne seg for bygging av denne tunnelen, enten som ett stort dobbeltsporet løp eller med to separate løp.

(*Jernbaneverket, 2008*)

Konklusjonen på dette utredningsarbeidet var at det ikke ville være lønnsomt å velge TBM dersom tunnelen skulle bygges med ett stort dobbeltsporet løp. Årsaken til dette var at inndriften med boring av et tverrsnitt med bruttodiameter på opp mot 14 meter ville gi for liten inndrift sammenliknet med konvensjonell driving.

Rapporten konkluderte imidlertid med at ved valg av et konsept med to separate tunnellop med en bruttodiameter på ca. 10 meter, kan bruk av TBM være konkurransedyktig sammenliknet med konvensjonell driving. Det ble senere gjort verifikasjonsvurderinger av TBM alternativet utført av ILF (*Aas-Jakobsen, 2009*), Amberg Engineering (*Aas-Jakobsen, 2009*) og Nick Barton & Associates (*Barton, 2009*).

I ettertid har Jernbaneverket besluttet å legge konseptet med to separate tunnellop til grunn for videre prosjektering og bygging av Follobanen. Som en følge av den beslutningen har også Jernbaneverket valgt å gjennomføre en mer detaljert utredning av driving med TBM parallelt med utarbeidelse av detaljerte planer for konvensjonell driving.

Rådgiverfirmaet Dr. Ing. Aas-Jakobsen AS med Multiconsult som underleverandør er allerede inne for å prosjektere tunnelen på Follobanen. For gjennomføring av detaljplan for TBM-driving, har Jernbaneverket styrket dette rådgiverteamet med to sveitsiske firmaer, Amberg Engineering og Basler & Hofmann. Disse sitter med spesiell kompetanse innen prosjektering av TBM-anlegg.



Figur 2. Trase for Nytt dobbeltspor mellom Oslo og Ski, Follobanen.

3.1 Geologi

Bergartene i prosjektområdet består hovedsakelig av prekambriske gneiser med noe amfibolitt, gjennombrutt av enkelte permiske intrusiver bestående av diabas og syenitt. UCS er i området 100-200 MPa for gneisbergartene og opp mot 270 for amfibolitt (Sintef 2008 og 2009). Tester for DRI har hovedvekt av målinger i området 27 - 52 og CLI i området 4 - 14. Kvartsinnholdet varierer mellom de ulike gneisvariantene mellom 25-40 %. Bergmassen er forholdsvis lite oppsprukket og har to hovedsprekkesett med orientering Ø-V og SØ-NV, med steilt fall. Bergartsstrukturen i prosjektområdet stryker NS til NV-SØ, bortsett fra lengst i syd hvor strøketningen er Ø-V.



Figur 3. Borkjerner med delvis forvitret berg i nedre del.

Det er kartlagt områder med mulige setningsømfintlige løsmasser og verdifulle naturtyper på deler av tunnelstrekningen (Aas-Jakobsen, 2008). Terrenget over tunnelen ligger stort sett under marin grense og i enkelte områder er det til dels store mektigheter leir- og siltavsetninger. Det vil derfor bli stilt tetthetskrav til tunnelen, men ikke alle områder langs traseen er like følsomme for grunnvannssenking. Det vil sannsynligvis bli differensierte verdier på tillatt innlekkasje i tunnelen. Basert på foreløpige vurderinger (Aas-Jakobsen, 2008) må det i de mest følsomme områdene påregnes tettekrav på 4 – 8 l/min/100 m tunnel. I

andre områder hvor grunnvannssenkning ikke er kritisk verken for bebyggelse eller for vegetasjon kan tettekravene reduseres til 10 – 20 l/min/100 m tunnel.

Traséen er lagt så optimalt som mulig i forhold til både topografiske og geologiske forhold.

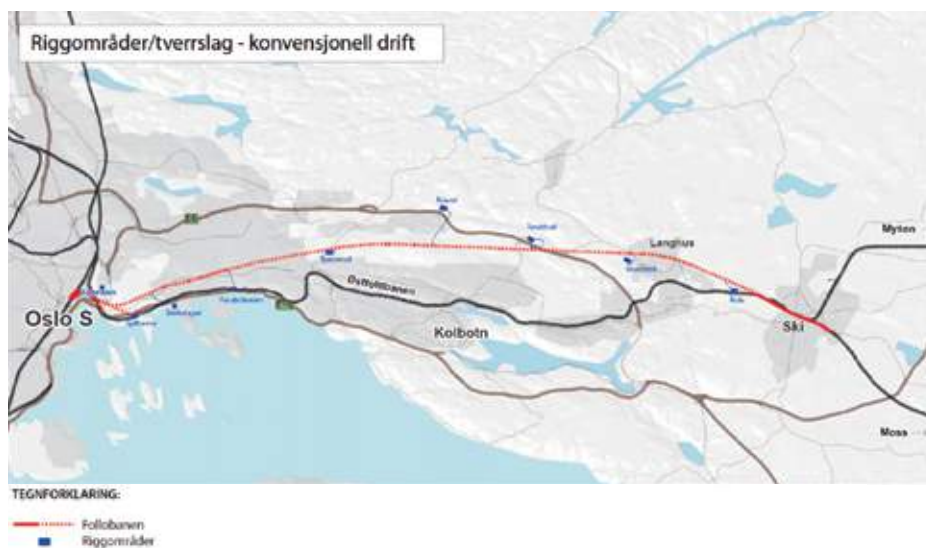
3.2 Konvensjonell tunneldriving med systematisk forinjeksjon

Konvensjonell tunneldriving med sprengning og systematisk forinjeksjon er velprøvd i Norge og det er flere store entreprenør i Norge som kan gjennomføre disse arbeidene. Metoden er fleksibel ved varierende bergforhold og ulike måter å løse eventuelle overraskelser på er gjennomprøvd. Det finnes et godt erfaringsgrunnlag for å estimere anleggskostnader.



Figur 4. Konvensjonell tunneldriving ved sprengning (Foto: Hilde Lillejord, JBV)

Tunneldrivingen må i dette tilfelle ha 9 angrepspunkter for å sikre en total byggetid for tunnelanlegget innenfor 6 – 7 år. Det er på deler av strekningen vanskelig å finne egnede riggområder for tverrslag på grunn av tett bebyggelse.



Figur 5. Driving konvensjonelt ved sprengning fra flere tverrsnitt.

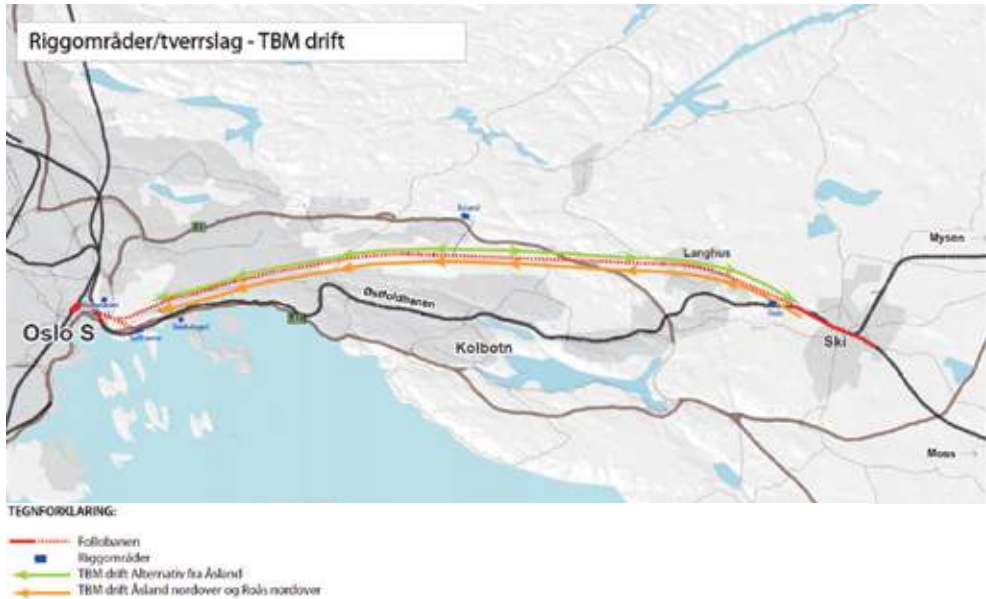
Tunneldrivingens inndrifter er svært avhengig av krav til tillatt innlekkasje. Strenge krav til tunnelens tetthet innebærer at inndriften reduseres i de områdene som er sårbare for lekkasjer.

Ved sprengte samferdselstunneler i Norge anvendes i dag ofte en frittstående skallkonstruksjon/hvelv av PE-skum og sprøytebetong for vann-/frostsikring. Follobanen skal dimensjoneres for en hastighet på 250 km/h. Trafikktettheten blir høy, konstruksjonen vil utsettes for store trykk- og sugkrefter, mulighetene for inspeksjon bak hvelvet blir begrenset og krav til oppetid for anlegget blir strenge. På grunn av disse forholdene, vurderer Jernbaneverket bruk av utstøpte membranløsninger for å ivareta kravene til vann- og frostsikring på en rasjonell måte i forhold til drift og vedlikehold av banen i et 100 års perspektiv.

3.3 Driving med TBM

Bergforholdene har vesentlig større innflytelse på inndrift og kostnader ved tunnelboring enn ved konvensjonell driving. Erfaringer fra prosjekter i andre land og også erfaringer fra noen år tilbake i Norge viser at en TBM kan oppnå høye inndrifter i harde bergarter. Vurderinger ved de bergforhold som gjelder for Follobanen viser at gjennomsnittlig inndrift pr. maskin vil ligge på ca. 15 - 17 m/døgn. Netto inndrift er basert på en del tester av DRI, UCS og vurderinger av oppsprekningsgrad. Det er også utført en alternativ vurdering ved bruk av Q_{TBM} (Barton, 2009). For Q_{TBM} er det utført en omfattende logging av et stort antall bergblotninger og skjæringer samt tolking av refraksjonsseismikk og kjernelogging. Konklusjonen er at de geologiske egenskapene for bergmassen i prosjektområdet kan være tøffe, men akseptabel inndrift kan likevel forventes dersom det velges en kraftig maskin.

Ved TBM alternativet er det vurdert driving fra kun ett tverrsnitt omtrent på midten, Åsland, med to eller fire maskiner. Alternativt er det vurdert driving med to maskiner fra Åsland i kombinasjon med driving med ytterligere to maskiner fra påhugget i sydenden av tunnelen i Ski.



Figur 6. *Driving med fire maskiner fra Åsland, eventuelt to maskiner fra Åsland i kombinasjon med to maskiner fra Ski.*

Bruk av kun to maskiner fra enten Åsland eller Ski vil gi lavest kostnad, men forlenge byggetiden med opptil to år.

Drift av fire maskiner fra Åsland vil bl.a. by på utfordringer knyttet til logistikk på riggområdet og en fremdriftsrisiko ved eventuelle uforutsette hendelser ved riggområdet eller i tverrslogstunnelen. Ved å fordele to maskiner på Åsland og to ved søndre påhugg i Ski, reduseres denne risikoen.

Ved driving fra både Åsland og Ski er det foreløpig tenkt at all segmentproduksjon og lagring av segmenter vil foregå fra Åsland. Anslått arealbehov ved Åsland er som en følge av dette i overkant av 115.000 m². Ved søndre påhugg i Ski er behovet anslått til ca. 50.000 m².

Dersom det skal drives med fire maskiner fra Åsland er arealbehovet anslått til ca. 130.000 m².

For å oppfylle regelverkets krav til rømningsveier sprenges det ut tverrforbindelser mellom tunnelene for hver 500. meter eller tettere. Tverrforbindelsene kan drives parallelt med at tunnelboringen pågår.

Det er vurdert ulike maskintyper, både åpen- og skjoldmaskiner (*Jernbaneverket, 2008 og Aas-Jakobsen, 2009*). Ved bruk av en åpen maskin må injeksjon og sikringsarbeider utføres som ved konvensjonell driving. Mye av tiden vil gå med til vanntetting, mens tunnelboringen bare vil utgjøre en mindre del. Dette medfører at man ikke kan utnytte fullt ut potensialet for de høye inndriftene som en TBM normalt kan oppnå. Ved bruk av en slik maskin vil man heller ikke sitte igjen med noen gevinst i forhold til konvensjonell tunneldriving med hensyn til bergsikring. Vann- og frostsikring må etableres i etterkant på samme måte som ved konvensjonell driving.



Figur 7. Dobbelskjoldmaskin (Illustrasjon: Herrenknecht 2011)

Ved bruk av en skjoldmaskin kan det installeres enten en single-shell lining eller en double-shell lining bak maskinen.

Dersom det velges single-shell lining, monteres det betongsegmenter med vanntette pakninger mot stålskjoldet bak borhodet. For å sikre at det blir tett i pakningen mellom elementene, må disse monteres med strenge krav til presisjon. I tillegg fylles mellomrommet mellom elementene og berg med sementmørtel. Tunnelmannskapene arbeider beskyttet under stålskjoldet. Betongsegmentene monteres i en ring over hele tunnelprofilen og fungerer som en vanntett betongutforing langs hele tunnel lengden. Betongforingen erstatter både bergsikring, injeksjon samt vann og frostsikring. En slik løsning er i dette tilfelle basert på at man kan tillate innlekkasje en begrenset tid før betongforingen er installert. Lekkasje punktene vil normalt være eksponert vel et døgn før de innhentes av betongforingen. For noen områder kan dette aksepteres. For sårbare områder der dette ikke er akseptabelt må det forberedes andre tiltak. Dette kan være vanninfiltrasjonsbrønner som er boret og ferdig installert fra overflaten forut for tunneldrivingen. Et annet alternativ er å utføre forinjeksjon fra tunnelbormaskinen.

Double-shell lining kan være et alternativ dersom det kan aksepteres en lengre periode med lekkasjer. Da monteres det betongelementer uten vanntette pakninger bak borhodet som ved single-shell lining, men krav til nøyaktighet ved montering av elementene er mindre. Denne liningen tjener som bergsikring. Vann- og frostsikringen ivaretas ved at liningen i etterkant kles med membran som støpes inn.

Dersom det blir aktuelt å bruke TBM for bygging av tunnelen på Follobanen, er bruk av en skjoldmaskin med single-shell lining vurdert som en hensiktsmessig løsning. For noen av trasealternativene for Follobanen er det stor overdekning og dermed høyt grunnvannstrykk (opp til 17 bar). Dette er en utfordring for en løsning med betongsegmenter med vanntette pakninger. Betongen må dimensjoneres for tåle vanntrykket og det må stilles høye krav til pakningene.

Det finnes flere typer av skjoldmaskiner, for dette prosjektet er det en dobbeltskjoldmaskin som så langt er anbefalt. En dobbeltskjoldmaskin har grippere for fiksering av maskinen under boring slik som på en åpen maskin, og det monteres betongsegmenter inne i et teleskopskjold samtidig som det bores. Dette medfører at denne maskintypen har nær samme høye inndrift som en åpen maskin under boring i god bergkvalitet. Maskinen er også utstyrt med hydrauliske sylindere som kan presse bakover mot segmentene. I spesielle tilfeller f. eks

dårlig/svakt berg hvor det er kan være vanskelig å få nok feste med gripperne, kan boringen likevel fortsette ved at disse sylindrene anvendes til å gi trykk mot borehodet.

En enkeltskjold maskin har også vært vurdert for Follobanen. Denne maskintypen har kortere skjold og er uten gripper. Fremmatning skjer ved å trykke mot betongelementene. Det vil da være bedre plass for bormaskiner til å utføre sonder-/injeksjonsboring. Ulempen med denne maskintypen er at det ikke kan bores under montering av betongsegmentene. Inndriften blir dermed lavere enn den inndriften som en dobbeltskjoldmaskin gir.

4. VEIEN VIDERE

4.1 Vurdering av miljømessige konsekvenser

Jernbaneanlegget vil i tillegg til de vurderingene som nå gjøres med hensyn til drivemetode for den 20 km lange tunnelen på Follobanen også gjennomføre en miljøanalyse for å verifisere konsekvensene for omgivelsene ved de to ulike drivemetodene.

4.2 Massehåndtering

Uansett drivemetode, så skal det tas ut ca. 4,5 millioner m³ masse for bygging av tunnelene med tverrslag og tverrforbindelser mellom løpene. Det pågår utredninger med hensyn til hva massen kan anvendes til og hvor den skal fraktes.

Det er i utgangspunktet forutsatt at massetransporten skal foregå med bil ut fra riggområdene. Ved konvensjonell driving med sprengning, vil massetransporten skje ut fra ni ulike angrepspunkter. Da vil bruk av bil sannsynligvis være mest aktuelt.

Ved driving med TBM vil massetransporten skje ut fra ett eller to angrepspunkter. Dersom en stor andel av massen skal fraktes til et mottak som ligger innenfor en radius på 2 – 3 km, vil Jernbaneanlegget vurdere mulighetene for å benytte et lukket transportbånd til dette.

Ved bruk av TBM må det påregnes at massene inneholder mye finmateriale. Det vil bli vurdert om en del av dette er egnet som tilslagsmateriale til betongen som skal inn i tunnelen igjen.

4.3 Valg av drivemetode

Jernbaneanlegget vil på grunnlag av kostnadmessige-, fremdriftsmessige- og miljømessige forhold fatte en beslutning med hensyn til hvilken metode som vil være best egnet for driving av de to nesten 20 km lange tunnellopene på Follobanen. Det er fire mulige utfall av disse vurderingene:

1. Konvensjonell driving ved sprengning av hele tunnelen
2. Driving ved TBM; enten to maskiner fra Åsland og to fra Ski eller fire maskiner fra Ski.
3. En kombinasjon av begge drivemetodene; Sprengning over ett parti og TBM på resten.
4. Begge drivemetoder legges ut på anbud.

Jernbaneanlegget legger mye ressurser i å få frem et godt beslutningsgrunnlag slik at det til slutt kan fattes en riktig beslutning med hensyn på drivemetode.

Tunnelen skal bygges med en kvalitet som er god i et livsløpsperspektiv. Det skal velges en metode som er optimal i forhold til kostnader, fremdrift og miljømessige forhold og som gir forutsigbarhet under gjennomføringen av arbeidene.

Referanser:

Aas-Jakobsen (2008): Rapport nr. UOS-00-A-10022. Sammenstilling av geologiske-, hydrogeologiske- og naturforhold.

Aas-Jakobsen (2009): Rapport nr. UOS-00-A-10025. Rapport Tunnel System, TBM study Technical report ILF.

Aas-Jakobsen (2009): Rapport nr. UOS-00-A-10024. Rapport Tunnel System, TBM study. Oslo-Ski by TBM. Amberg Engineering.

NORSK TUNNELTEKNOLOGI – SKAL VI VIDEREUTVIKLE EGEN TEKNOLOGI FOR EKSPORT ELLER KOPIERE EUROPEISKE STANDARDLØSNINGER FOR IMPORT?

Norwegian Tunnelling Technology – shall we develop our own technology for export or copy the European standard practice for import?

Daglig leder Ola Woldmo, Woldmo Consulting AS

SAMMENDRAG

Foredraget omhandler utviklingen innenfor norsk tunnelteknologi, en teknologi som tradisjonelt har vært ansett som innovativ og trendsettende internasjonalt. Det stilles spørsmål om hvorvidt vi har maktet å opprettholde denne tradisjonen og hvorvidt vi har evne og vilje til å ta tilbake dette hegemoniet internasjonalt. Norske samferdselsbygherrer har signalisert et stort kapasitetsbehov i tiden fremover og har i flere år etterlyst nye løsninger for vann- og frostsikring av tunneler. Det søkes forbedringer eller alternativer til dagens typisk norske hvelvløsninger som har utfordringer knyttet til inspeksjon av permanent sikring, brann klassifisering og ikke minst drift og vedlikehold av kjørelegeme og permanente elektro-mekaniske installasjoner i tunnelene.

Nye metoder forutsettes å bygge videre på den norske tradisjonen hvor forinjeksjon, fjellbolter og sprøytebetong utgjør permanent bergsikring.

Det har imidlertid vært liten utvikling nasjonalt og blikket har i stedet vært rettet mot løsninger som benyttes i sentrale deler av Europa. I disse landene utføres det svært sjelden forinjeksjon og sprøytebetong og forsterkningsbolter ansees kun som midlertidig arbeidssikring, vanntetting og permanentsikring ivaretas av drenerte membraner og kompletteres med full betongutstøpning. Dette er løsninger som vil redusere behovet for norsk spisskompetanse og neppe vil gi lavere prosjektkostnader. Hvorvidt slike løsninger er teknisk optimale og kostnadseffektive er det nok delte meninger om blant aktørene i Europa.

Utviklingen kan bare påvirkes av et felles norsk bransjeløft. Norske myndigheter må stimulere til nytenkning og utvikling og det må stilles midler til rådighet til de som ønsker å bidra.

SUMMARY

This lecture deals with the development within Norwegian tunnel technology, a technology that has traditionally been seen as innovative and trend-setting internationally. Further on the question of whether we have managed to maintain this tradition and whether we have the ability and willingness to take back this hegemony internationally. The Norwegian transport network clients have indicated a great need for capacity and have for several years requested new solutions for water and frost protection of tunnels. They sought improvements or alternatives to today's typical Norwegian umbrella solutions as they have challenges related to the inspection of permanent rock support, fire rating and not least the operation and maintenance cost of the roads and tracks and the permanent electro-mechanical installations in tunnels. New methods are expected to be based on the Norwegian tunnelling tradition

utilizing pre-excavation grouting, rock bolts and sprayed concrete as permanent rock support. However, there has been little development on national level and eyes have instead been focused on solutions that are used in central Europe. In these countries they rarely implement pre-excavation grouting and sprayed concrete and reinforcement bolts are regarded only as temporary labor protection. Waterproofing and permanent support are handled by drained membranes and permanent concrete linings. These are solutions that will reduce the need for Norwegian expertise and most probably not will contribute to lower project costs. Whether such solutions are technically optimal and cost effective is a subject for discussions among industry players in Europe.

The development can only be influenced by a joint Norwegian industry effort. Norwegian authorities must encourage innovation and development and there must be funds available to those who wish to contribute.

1. HISTORISK TILBAKEBLIKK.

I Norge har vi sprengt og boret mer enn 5000 km samferdselstunneler og mer enn 3500 km vannkrafttunneler og i tillegg til dette bygget mer enn 500 fjellhaller for kraftstasjoner og lagring i fjell. All denne erfaringen som inkluderer kontraktsfilosofi, prosjektering, byggemetoder, tekniske løsninger samt utstyr og materialer som inngår, er det vi dag karakteriserer som Norsk tunnelteknologi.

Vår tunneltradisjon har bakgrunn i gruvedrift som var en stor og viktig industri for Norge allerede på 1600 tallet. Bergseminaret på Kongsberg var den første høyere læreanstalt i Norge og norsk bergingeniørutdanning feiret sitt 250 års jubileum i 2007. Kunnskapen ble utnyttet i de første store infrastrukturprosjektene slik som jernbanetunnelene på Bergensbanen og Ofofbanen som ble bygget rundt år 1900 og ved Bjørkåsen kraftverk ved Narvik, den første kraftstasjon bygget i fjell i Norge allerede i 1923.

Norske tunnelbyggere har lang tradisjon i planlegging, prosjektering og bygging i bergarter av varierende kvalitet og under varierende vanntrykk. Bygging av store fjellhaller og lange og dype tunneler er en norsk egenart. Vi har utviklet kunnskap og metoder som har gjort disse prosjektene mulig og vi har i motsetning til andre land få, om noen, prosjekter som har opplevd massive problemer i form av gjennomførbarhet eller som har måttet avsluttes uten ferdigstillelse.

En viktig forutsetning for innovasjon og utvikling er at markedet har behov for bedre løsninger og har ressurser tilgjengelig for utvikling og gjennomføring. Disse forutsetningene var i høy grad til stede i perioden fra 1970 til 1990 da tunnelindustrien i Norge var i rask utvikling og nøytt stor anerkjennelse internasjonalt. I denne perioden var norske byggherrer også egenregientreprenører og i besittelse av stor kompetanse og tilgang på økonomiske ressurser til utvikling av metoder og utstyr. Statens vegvesens bidrag til utvikling av datastyrte borerigger og NVE /Statkrafts bidrag til utvikling av "hard rock" TMB drift er gode eksempler på dette. På samme tid ble våtsprøytemetoden og bruk av fiberarmering i sprøytebetong utviklet av norske entreprenører med Furuholmen og Høyer Ellefsen /ROBOCON i ledelsen sammen med de norske material leverandørene.

Som et eksempel på hvordan det norske tunnelmiljøet ble oppfattet internasjonalt på den tiden vil jeg bruke et sitat fra tunnelmagasinet Tunnels & Tunnelling.

“Norway is only a small country in terms of population, but it looms large when it comes to tunnelling. No wonder then that Tunnels & Tunnelling has found the country to be a fruitful field for construction site visits, not only to see how they do it, but also to see new equipment and techniques in action, frequently for the first time anywhere in the world. It is indeed the tunnelling laboratory in the world.

Chief Editor David Martin, T&T 1990 “

I denne perioden var norske aktører involvert i flere prosjekter i Sør Amerika og Kina. Men byggeentrepriser var det få av og de som ble gjennomført ga ofte ikke det økonomiske resultatet som var forventet. Men på denne tiden så norske myndigheter potensialet i eksport av norsk underjordteknologi og ga massiv støtte til slik eksport. Advisory Group of Norway (AGN) var en sammenslutning av en norsk konsulent og entreprenører som solgte varer og tjenester til kraftverksbygherrer i Kina. AGN fikk tilført solide menneskelige ressurser fra moderfirmaene og mange titalls millioner kroner i eksportstøtte fra norske myndigheter. AGN nøt stor anerkjennelse i Kina og brakte erfaring og overskudd hjem til sine eiere. AGN begrenset etter hvert sin aktivitet til ren utleie av seniorrådgivere og klarte ikke endre konseptet og følge utviklingen når kineserne følte at de hadde tilegnet seg kunnskapen de trengte. AGN er i dag et sovende selskap som eies av Norconsult.

Norwegian Tunnelling Network ble etablert av 17 medlemmer av NFF Internasjonal komité i 2009 og dette nettverket har som mål å tilrettelegge for eksport av norsk tunnelteknologi i det internasjonale markedet. Dette arbeidet krever langsiktighet, men det er også en forutsetning at det er menneskelige og økonomiske ressurser tilgjengelig og at det tilbys attraktive produkter i form av innovativ teknologi fra de norske aktørene.

2. UTVIKLING AV NORSK TUNNELTEKNOLOGI

Norsk tunnelteknologi er et felles begrep som benyttes om prosjektering, bygging, drift og vedlikehold av tunneler og bergrom. Det har i flere omganger vært gjort forsøk på å definere hva som er unikt med den norske måten å bygge tunneler på. Begrepet NMT - Norwegian Method of Tunnelling ble på åttitallet introdusert som en betegnelse på hvordan vi bygger våre tunneler. NFFs Internasjonal komité har i 2011 nedsatt en gruppe som har som mandat å definere og varemærke begrepet norsk tunnelteknologi slik at det skal være mulig og definere begrepet og videre verifisere hvilke aktører som behersker faget. Dette er særlig blitt aktuelt etter at begrepet er dukket opp i anbudsforspørsler internasjonalt og hvor begrepet synes å være synonymt med boring og sprengning og permanent sikring med bolter og sprøytebetong. NFF mener det er viktig å definere begrepet og beskytte det fortrinnet som ligger i å beherske norsk tunnelteknologi og vurderer en sertifiseringsordning som kan bidra til å fremme norsk eksport og forhindre at begrepet kommer i vanry internasjonalt.

Så kommer det unngåelige spørsmålet om hvorvidt norske byggherrer er tilfreds med den tunnelteknologi som konsulenter, entreprenører og leverandører leverer i dag? Her tror jeg svaret vil variere med hvem som blir spurt. Kraftverks-byggherrer er nok stort sett fornøyde med konseptet, byggetekniske løsninger, byggeprosessen, byggekostnader og drift & vedlikeholdskostnader. Det er i denne sektoren nordmenn historisk har tilegnet seg mye av sin kunnskap om tunnelbygging og her er vi nok fortsatt gode og det er også i denne sektoren vi har vår største eksportandel i dag. Men mangel på utfordringer i form av nye vannkraftprosjekter og det faktum at norske entreprenører i hovedsak har mannskap og maskinpark tilpasset store samferdselstunneler har nok medført at aktørene ikke har den

spisskompetansen og innovasjonsviljen som var rådene for 20 år siden. Men det finnes hederlige unntak, slik som da Veidekke nylig satte verdensrekorden i inndrift for en 15 m² vannkrafttunnel med en ukeinndrift på 175 m i Kjosnesfjorden. Et annet eksempel på innovasjon og nye løsninger er Elkem Saudafaldene og AFs håndtering av stadige vanninnbrudd på mer enn 5000 l/min og under høyt trykk i en tilløpstunnel på Sauda anleggene.

I samferdselssektoren vil nok byggherrene svare mer nyansert. Det er 5 år siden Statens vegvesen gikk ut til bransjen og oppfordret til å bidra til utvikling nye vann- og frostsikringsmetoder. Etter en lang periode med isolerte hvelvløsninger som den norske løsningen stilles det spørsmål til om hvorvidt dette er en optimal løsning med tanke på inspeksjon av permanentsikringen og drift og vedlikeholdskostnader for hvelv og elektro-mekaniske installasjoner i livsløpsperioden for tunnelene.

I Norge har vi en lang tradisjon med et konsept hvor en kombinasjon av forinjeksjon, rensk, forsterkningsbolter, forbolter, sprøytebetong og sprøytebetongbuer utgjør permanent bergsikring. Vi har utviklet vår sprøytebetongteknologi i flere tiår gjennom elementer som NB Publikasjon nr. 7 Sprøytebetong til bergsikring, Betongopplæringsrådets opplæring og sertifiseringsprogram for sprøyteledere, vi har de mest avanserte og automatiserte sprøytebetong-riggene i verden og et forskningsmiljø som jobber kontinuerlig med forståelse av parametere for bestandighet og utvikling av bruk av materialet sprøytebetong.

At Norge er vel ansett i faget sprøytebetong viser den store deltagelse på det 6th International Symposium on Sprayed Concrete i Tromsø i september 2011. Her møttes byggherrer, forskere, konsulenter, entreprenører og leverandører fra 23 land for å utveksle kunnskap og erfaring. Under denne konferansen ble det presentert erfaringer med vanntett tunnelsikring basert på sprøytebetong. Konsulentfirmaet Mott MacDonald fortalte om sine løsninger for Cross Rail tunnelene i London basert på vanntett sprøytebetong som permanent sikring og endelig overflate ut mot trafikkkarealet. Den samme teknologien ble presentert av Jernbaneverket slik den var benyttet ved bygging av Gevingåstunnelen. Et forskningsprosjekt som verifiserer slike membranløsningers frostbestandighet og evnen til å oppta vanntrykk ble presentert av Sintef. Tre internasjonale leverandører presenterte sine produkter tilpasset en slik løsning. Denne metoden har fortsatt et stort utviklingspotensial i forhold til en optimal løsning, men forfatteren mener og har en oppfatning av at mange internasjonale miljøer også mener, at nettopp det norske miljøet har de beste forutsetninger for å drive utvikling av et slikt konsept videre.

Vann- og frostsikringsløsninger bør tilpasses tunnelens trafikkbelastning slik norske spesifikasjoner differensierer kravene i dag. Norske leverandører av vanntette tunnelhvelv har vist stor evne til utvikling og har hatt suksess med eksport både i Norden og til store deler av verden. Disse konseptene bør utvikles videre og har definitivt sin plass som en vanntett og kosteffektivt løsning i tunneler og bergrom. Men det er også behov for utvikling av nye vann og frostsikringsmetoder for samferdselstunneler med høy trafikk og høy hastighet. Dette må være løsninger som gir tette tunneler med et fuktmiljø som ikke gir redusert livs lengde på elektro-mekaniske installasjoner og som har overflater som gir godt lys og visuelt miljø og lett kan rengjøres.

Utviklingen bør ikke fokuseres mot vann- og frostsikring av tunneler alene. Det er mange elementer som kan forbedres og det er viktig å tenke helhet og samvirkning mellom de forskjellige byggeprosessene. Grunnlaget for alt etterarbeid i tunnelen ligger i sprengningen,

det bør legges mye mer ressurser i sprengningsprosessen for å optimalisere konturen. Store investeringer i denne prosessen vil betale seg i form av mindre sikring og enklere utførelse av vann- og frostsikring.

I Norge er vi ledende i bruk av forinjeksjon som en planlagt og budsjettert del av byggeprosessen, men denne teknologien har også et potensial for utvikling. Vi bør ta i bruk undersøkelsesmetoder og beregningsmodeller som gir bedre mengdeestimat og dermed bedre budsjettering. Vi må utnytte erfaringer og fokusere på videreutvikling og optimalisering av bore-mønstre og kunnskap omkring injeksjonstrykk. Videre må vi i større grad ta i bruk de fordelene kosteffektive og bestandige injeksjonsmaterialer gir. Det er bred enighet om at forinjeksjon bidrar til øket stabilitet og redusert sikringsbehov for en gitt bergmasse, men vi må kvantifisere og verifisere den effekten. Denne kunnskapen er etterspurt internasjonalt og er en oppgave for forskningsmiljøet.

Når det gjelder tunnelutstyr har vi fortsatt et forsprang i Norge. Både borerigger, sprøyterigger og injeksjonsrigger her til lands har større mobilitet, kapasitet og automatiseringsgrad enn utstyr som benyttes i andre land. Høye krav til framdrift og pressede enhetspriser samt godt kvalifiserte folk på stuff, høye lønninger og tilgang på høyteknologisk utstyr er nok hovedårsakene til dette. Vi har allikevel et stort potensial i å utvikle disse maskinene videre og utnytte de mulighetene som profilering og automatisk prosessstyring gir. I denne sammenheng er norske teknologibedrifter som Bever Control og AMV særdeles viktige bidragsyttere.

3. EUROPEISKE STANDARDLØSNINGER

Som et ledd i å forbedre den norske praksis og spesifikasjoner for vann- og frostsikringsløsninger har blikket blitt rettet mot de løsninger som benyttes i sentrale deler av Europa. I disse landene utføres det svært sjelden forinjeksjon og kvaliteten på sprøytebetong og bolter er slik at disse materialene kun er egnet som midlertidig arbeidssikring. Vanntetting og permanent sikring ivaretas av drenerte plastmembraner som monteres mellom sprøytebetong og full utstøpning. Dette er løsninger som teoretisk sett er overlegne vår sprøytebetong baserte hvelvløsninger, men det finnes også svakheter ved disse metodene.

Teknisk sett er en helsveiset membran lagt på en drenerende fiberduk med et fullt utstøpt betonghvelv som beskyttelse en 100 % vanntett løsning. Dette er ingen billig metode, men dersom systemet er tett har det også god bestandighet. Problemet er imidlertid at slike membraner er svært sårbare for ”punktering”. Selv i drenerte konsepter er en punktlekkasje gjennom membranen katastrofal da den ikke kan spores fra lekkasjen på luftsiden som ofte vil trenge gjennom betongutføringen i svinnsprekker, støpeskjøter og boltegjennomføringer. Etterinjeksjon gjennom membran hvelv er ikke mulig da det vil punktere membranen og tette drenasjesjiktet.

Denne byggemetoden har vært benyttet i Europa i årtier og har i regelen en meterpris som ligger tre til fem ganger høyere enn vårt norske meterpris nivå på vann- og frostsikrede tunneler. Med utstøpte løsninger vil forinjeksjon nedprioriteres da vannlekkasjer forutsettes ivarettatt av membransystemet. I tilfeller med fare for grunnvannssenkning utføres det oftest en kontinuerlig vanntett membranløsning rundt hele tunnelprofilen som tar fullt vanntrykk. Slike løsninger kan utføres uten stor tunnelkompetanse da forinjeksjon ikke er en del av konseptet og bolter og sprøytebetong bare har 2 – 3 års krav til bestandighet. Montering av membran og utstøpning av hvelv er ofte lite mekanisert og krever mye arbeidskraft som i

regelen er rimelig arbeidskraft fra lavkostland i Europa. Denne byggemetoden vil gjøre det norske tunnelmarkedet attraktivt for mobile internasjonale entreprenører.

4. HVEM KAN PÅVIRKE UTVIKLINGEN

Spørsmålet blir hvorvidt vi ønsker å videreutvikle norsk tunnelkompetanse mot nye kosteffektive løsninger som også kan eksporteres eller hvorvidt vi skal akseptere at framtidens norske tunneler skal bygges av multinasjonale aktører i totalprosjekter med vel prøvede om noe dyre standardløsninger.

Skal vi snu trenden må vår anleggsnæring vitaliseres og til det trenger vi gode menneskelige ressurser. Næringen må gjøres attraktiv for unge ingeniører med mot og ideer. De som sto bak nytenkningen og utviklingene i norske tunneler på sytti- og åttitallet var ikke bare herrer med grått hår. Mangelen på rekruttering til anleggsbransjen er illevarslende nok for kapasiteten og er i enda større grad et faresignal i forhold til innovasjon og utvikling. Og da snakker vi ikke bare om å forbedre eksisterende metoder, men med utgangspunkt i vår erfaring og kunnskap må skapes en kultur for å tenke nytt og utradisjonelt.

Tradisjonen for nytenkning og innovasjon synes å være lavest der hvor ansvaret for beslutningene og budsjettene i infrastruktur prosjekter ligger. Hos rådgivere og offentlige byggherrer er innovasjon og nye løsninger gjerne forbundet med risiko og økede kostnader og insitamentet for utvikling er lavt. Men hos leverandører og til dels entreprenører er innovasjon og forbedring en del av hverdagen og nødvendig for å prestere i en konkurranseutsatt hverdag.

Kontraktsformer og spesifikasjoner er byggherrens ansvar og selv om det gjerne er et ønske om samarbeid og utvikling setter norske konkurranseregler og ”laveste pris vinner” prinsippet i offentlig anskaffelser en effektiv stopper for utnyttelse av kreativitet og gode totalløsninger hvor også livsløpskostnader teller med i regnestykket. Endring i kontraktsform og overføring av ansvar for drift og vedlikehold kan være veien å gå. Mer prosjekteringsansvar bør plasseres hos entreprenøren, dette vil også tilføre konsulentene ny kunnskap og skape et større insitament for å utvikle nye og kostnadseffektive løsninger. Funksjonsbeskrivelser med definerte og målbare krav til funksjonalitet og kontroll over livsløpskostnader vil medføre høyere byggekostnader enn i dag, men vesentlig lavere totalkostnader i form av reduserte driftsforstyrrelser og reduserte vedlikeholdskostnader i prosjekters levetid. Anbudsfasene må være lange nok og gi tilbydere nok tid til innhenting av grunnlagsinformasjon og utvikling av gode løsninger spesifikt for hvert prosjekt. Og sist, men ikke mist må det være slik at beste tilbud vinner anbudskonkurransen, ikke nødvendigvis det laveste slik tilfelle er i dag.

Utviklingen kan bare påvirkes av et felles norsk bransjeløft. Norske myndigheter må stimulere til nytenkning og utvikling og det må stilles midler til rådighet til de som ønsker å bidra. Betongbransjen har sitt ”COIN” program med et budsjett på 200 mil over 8 år som finansierer samarbeid og utvikling innefor betongfaget. Teksten nedenfor er sakset fra COIN programmets hjemmeside.

” COIN ” – Concrete Innovation Centre, SINTEF

Betongmiljøet slår tilbake. Senterets hovedmål er å bli ledende i Europa innen betongforskning. Det skal utvikles avanserte materialer, effektive konstruksjonsteknikker og nye designkonsepter kombinert med mer miljøvennlig materialproduksjon. Fiber skal erstatte tradisjonell stangarmering.

Betongmiljøet i Norge var veldig innovativt og på flere områder verdensledende på 80- og 90-tallet. Kompetansen var i ferd med å forvitne, men nå vil COIN igjen bringe norsk betongforskning fram i en internasjonal lederrolle.

Gjennom å utvikle nye og avanserte materialer, nye konstruksjonsteknikker og nye designkonsepter vil Concrete Innovation Centre (COIN) få norsk betongforskning fram i ledelsen. For når betong brukes riktig, har materialet svært lang levetid og nesten ingen vedlikeholdskostnader. Betong er et unikt produkt, men også et materiale som sliter med et visst imageproblem.

Jeg vil mene at denne ingressen beskriver mange likhetstrekk med situasjonen i tunnelbransjen. NFF bør være pådriver for å etablere et tilsvarende program for revitalisering og utvikling av vår tunnelteknologi. NFF og anleggsmiljøet må bli en synlig samfunnsaktør og våre politikere må informeres og påvirkes til å forstå verdien i å ha nasjonal kapasitet til å gjennomføre alle prosjektene som ligger i norsk transportplan og andre visjonære infrastruktur planer. Vår bransje står foran store utfordringer slik som oppgradering av veger og jernbane, et nasjonalt nettverk med høyhastighetstog, mulige kabeltunneler som erstatning for store kraft-overføringslinjer og mulig oljeutvinning og ilandføring underjord i sensitive havområder.

Tunnelbransjen trenger sitt eget TUIN prosjekt!

**TOLERANSEGRENSER FOR FISK VED UNDERSJØISKE
SPRENGNINGSARBEIDER**

Undertittel

PARAMETRE FOR LADNING OG SPRENGNING – AVSTANDER**TOLERANCE LIMITS FOR FISH IN SUBSEA BLASTING WORKS**

Tagline

PARAMETERS FOR CHARGING AND BLASTING - DISTANCES

Senioringeniør Per Helge Thom, Kystverket

1. SAMMENDRAG

Kystverket foretar utdyping langs hele norskekysten og i den sammenheng utstrakt undervannssprengning der det påtreffes fjell som begrenser dybden.

Oppdrettsvirksomhet, hovedsakelig som laksoppdrett har etter hvert blitt svært vanlig og i de fleste tilfeller av undervannssprengning langs norskekysten må en ta hensyn til dette forholdet.

Ved utdyping av Lovund havn på helgelandskysten ville sprengningsarbeider foregå ca. 300 m fra oppdrettsmerder for laks og ca. 800 m fra torskemerder. Fisken i disse anleggene var fra 3 – 5 kg og i god kondisjon.

Kystverket foretok i samarbeid med Nordlandsforskning, Sea Farm Invest og Nova Sea en kasusstudie av kystverkets utdypingsarbeider i Lovund havn sommeren 2004 der hensikten var å studere reaksjonene til fisk i merder i ulike avstander fra sprengningsområdet med ønske om å finne parametre som kunne brukes i videre planlegging av undervannssprengninger i nærhet av slike oppdrettsanlegg.

Nordlandsforskning foresto den praktiske gjennomføringen av forsøkene der fisk(laks) i mindre ”bur” ble plassert i ulike avstander fra sprengningssonen. Det ble også gjort forsøk med ”luftgardin” mellom sprengningsområdet og laksemerdene. Trykkmålinger ble utført og prøver av fisk ble analysert for hver av de 5 detonasjoner som dannet grunnlaget for undersøkelsen. Fisken ble også filmet slik at en kunne studere bevegelsesmønster og eventuelle skader i detonasjonsøyeblikket.

Ved fordemning 0,5 m på 6 m vanddyp og nummerering av salven etter et gitt mønster, ville en kunne sprengre relativt store salver inntil 120 m fra laksemerdene uten at det oppstod skader på fisken. Også nærmere salven enn 100 m ble det registrert liten eller ingen skader på fisk, men for Kystverket ble grensen satt til 120 m.

2. SUMMARY

Norwegian Coastal Administration makes dredging along the Norwegian coast and in the context extensive underwater excavation where the rock is encountered which limits the depth.

Fish farms, primarily salmon farming, have become very common and in most cases of underwater blasting along the Norwegian coast, one must take account of this relationship. The dredging of Lovund port on the Helgeland coast would be about blasting. 300 m from the breeding cages for salmon and approx. 800 m from the cod cages. The fish in these plants were from 3 to 5 kg and they are in good condition.

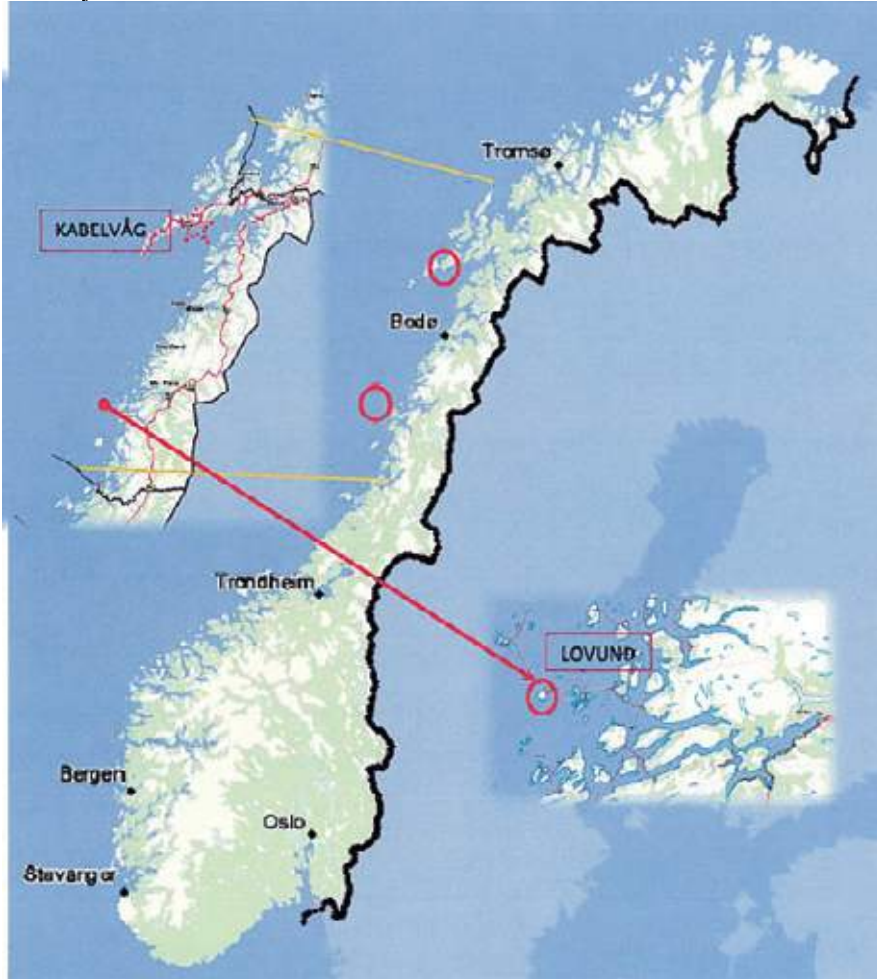
NCA conducted in collaboration with Nordland Research Institute, Sea Farm Invest and Nova Sea a case study of coastal deepening work in Lovund harbor in the summer of 2004 where the purpose was to study the reactions of fish in cages at different distances from the blast area with the desire to find parameters that could be used in future planning of underwater explosions in the vicinity of such farms.

Nordland Research Institute performed the practical implementation of the experiments in where fish (salmon) in small "cages" were placed at different distances from the blasting zone. It was also tried with "air curtain" between the blasting area and salmon cages. Pressure measurements were performed and samples of fish were analyzed for each of the five detonations that formed the basis for the study. The fish were filmed during the experiment to study the movement patterns of potential damage.

By taking special pre-caution and number of blasts for a given pattern, would be able to blow up a relatively large amounts up to 120 m from salmon cages without experiencing damage to the fish. Also more amount than 100 m were recorded little or no damage to fish, but for NCA the limit was set to 120 m.

3. INNLEDENDE ARBEIDER

Kystverket har prosjektert oppgradering av fiskerihavna Lovund havn i Lurøy kommune på Helgeland ned til -5 m(LAT) samt bygging av ny og større havn i tidsrommet 2004 – 2005. Arbeidene skulle utføres i egenregi av Kystverkets eget produksjonsteam Kystverket Produksjon.

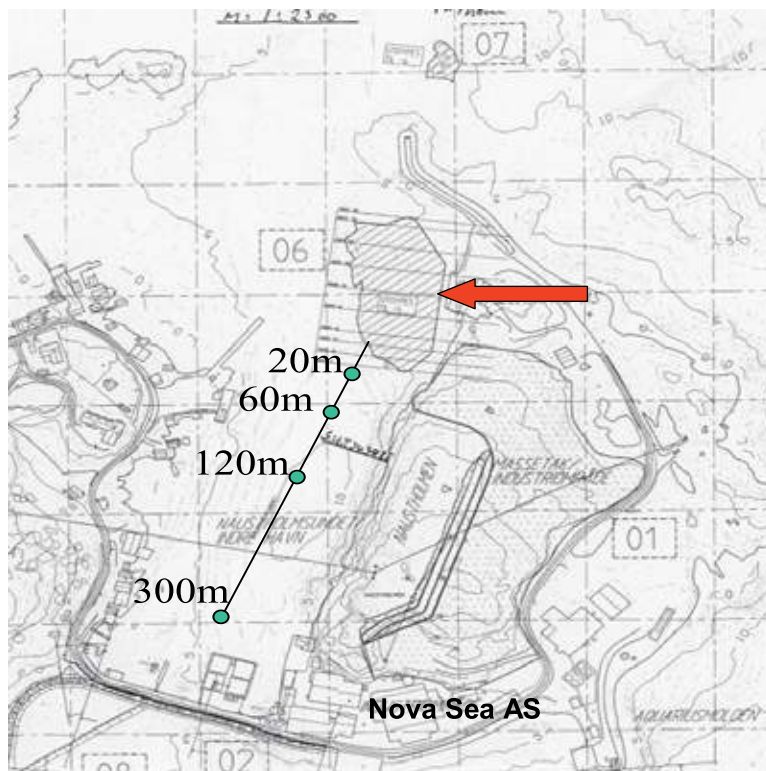


Figur 1. Kart som viser Kystverket Nordlands regionkontor og Lovund fiskerihavn

Ca. 300 m fra sprengningsområdet befant det seg 4 større lakseoppdrettsmerder hvor slaktefisk ble oppbevart i påvente av slakting. Her var til enhver tid ca. 400 tonn laks i merdene og Kystverket krevde at merdene skulle være tømt for laks før sprengningsarbeidene kunne starte. Dette var en omfattende operasjon og Nova Sea AS som produserte laksen ville få vansker med sin drift gjennom halvåret sprengningsarbeidene ville foregå. Det ble derfor besluttet å gjøre forsøk med prøvesprengning av mindre salver og med bare 100 laks i merdene for å se hvordan fisken klarte seg. Nova Sea AS stilte med fisk, Sea Farm Invest som

eide fisken stilte med veterinær og nødvendig utstyr, Nordlandsforskning ble engasjert til å samordne forsøket og laget rapporten etter forsøket.

Salvene ble planlagt med få nummer og med fordemning på 0,5 m.



Figur 2. Lovund fiskerihavn. Rød pil viser sprengningsfelt. Grønt felt markere lakseburplassering i forhold til sprengningsfelt

Det ble kun utført en prøvesprengning da det ikke så ut til å stresse laksen nevneverdig. 300 m fra detonasjonsområdet ble det registrert at fisken ble litt urolig i detonasjonsøyeblikket for deretter å roe seg helt. Prøver av fisken ble tatt umiddelbart etter sprengningen, og det ble ikke målt noen unormale verdier. Ingen skader ble registrert og ingen død fisk ble funnet.

Ca. 800 meter fra sprengningsområdet og bak flere holmer lå en annen lokasjon plassert. Her var fiskeslaget torsk. Denne fisken reagerte voldsomt på detonasjonen og det gikk lang tid før fisken roet seg og kom inn i normalt bevegelsesmønster igjen. Heller ikke her ble det registrert skadet eller død fisk.

Foreløpig konklusjon på prøvesprengningen var at fisken ikke tok fysisk skade av sprengningen og anleggsarbeidet kunne gjennomføres som planlagt med fisk i merdene men med noen restriksjoner i lade- og sprengningsarbeidet. Sprengningsarbeidene startet opp samtidig som produksjon av laks, ca. 100 tonn pr. dag, gikk som normalt.

4. FORSKNING

Etter at prøvesprengningene var utført med tilfredsstillende resultat, besluttet Kystverket å engasjere Nordlandsforskning videre til et forsøk på å finne parametre som kunne være retningsgivende for liknende sprengningsarbeider i fremtiden. Vi viste ikke om liknende studier av dette forholdet fra tidligere, og literatursøk førte ikke til noen treff. Kun forsvaret hadde en hemmeligstemplett rapport fra forsøk utført på finnmarkskysten tidlig på 1970-tallet. Her ble det sprengt ladninger i åpent vann(ikke plassert i borehull i fjell) der det ble målt trykkbølger i ulike avstander fra detonasjonen.

Alle impliserte parter i utdypingsarbeidet på Lovund ble med på forskningen der alle bidro med sin ekspertise på de ulike områder. Forskningen videre ble kun utført på laksefisk.

4.1 Beskrivelse av forsøksopplegget

Forsøkene ble utført i perioden april - juni 2004. Det ble plassert ut fisk i "bur" i avstand 20 m, 60 m, 120 m og 320 m fra detonasjonsstedet. Sprengstoffet som ble brukt var av typen "slurry"dynamitt og ble plassert i borehull med diameter 75 mm. Pallhøyden var fra 2 til 5 m og det ble brukt ca. 250 – 400 kg sprengstoff pr. salve. Kun 5 salver inngikk i forsøkene. Det ble videre plassert ut hydrofoner i en avstand på 120 m fra detonasjonssted for måling av trykkbølger. I en serie ble det oppkoplet en enkel boblegardin 55 m fra detonasjonssted og hydrofoner for å måle trykkforskjellene i tilfellet med luftgardin og uten.



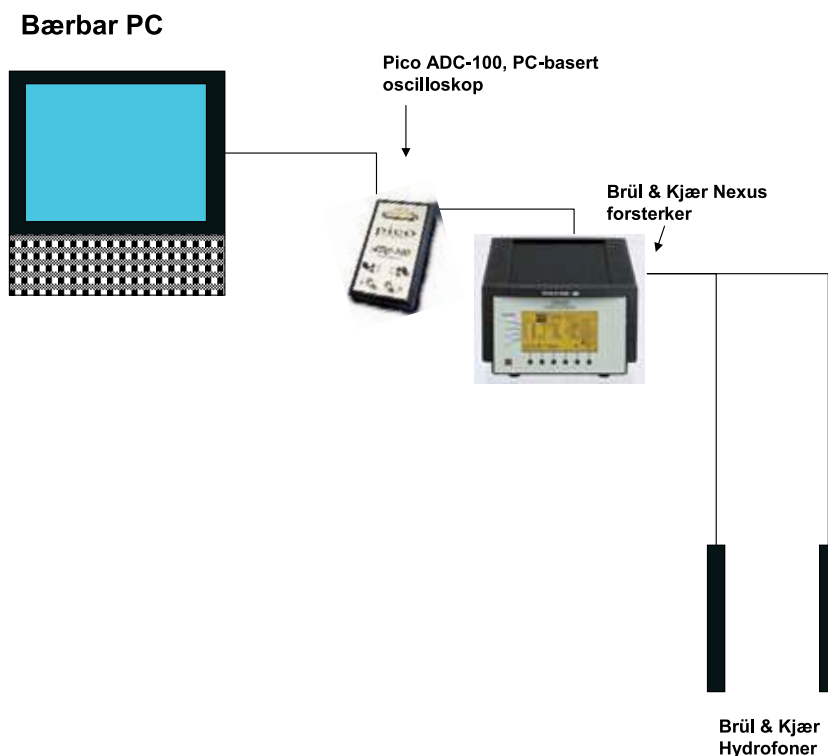
Figur 3 Boblegardin 55 m fra detonasjonssted. Lengde 120 m. (Foto Per Helge Thom Kystverket Senter for utbygging 2004)

4.2 Hvilke målinger ble utført

Det ble foretatt målinger av trykkbølge(120 m), tatt ut laks for prøver før og like etter detonasjon samt en time etter for å måle kortisolinnhold i blodplasmaet(indikasjon på stress). Videre ble alle indikasjoner på ytre skader registrert og det ble tatt prøver av vev fra lever og gjeller for histologiske undersøkelser. Laksens bevegelser ble filmet kun i ventemerder ca 300 m fra detonasjonssted.

MÅLING AV TRYKKBØLGE

Figur 4 viser et skjematisk oppsett for måling av trykkbølge ved de ulike detonasjonene i april og juni måned 2004, målt 120 meter fra detonasjonspunktet .



Figur 4. Forsøksoppsett for måling av trykkbølge 120 meter fra detonasjonspunkt.

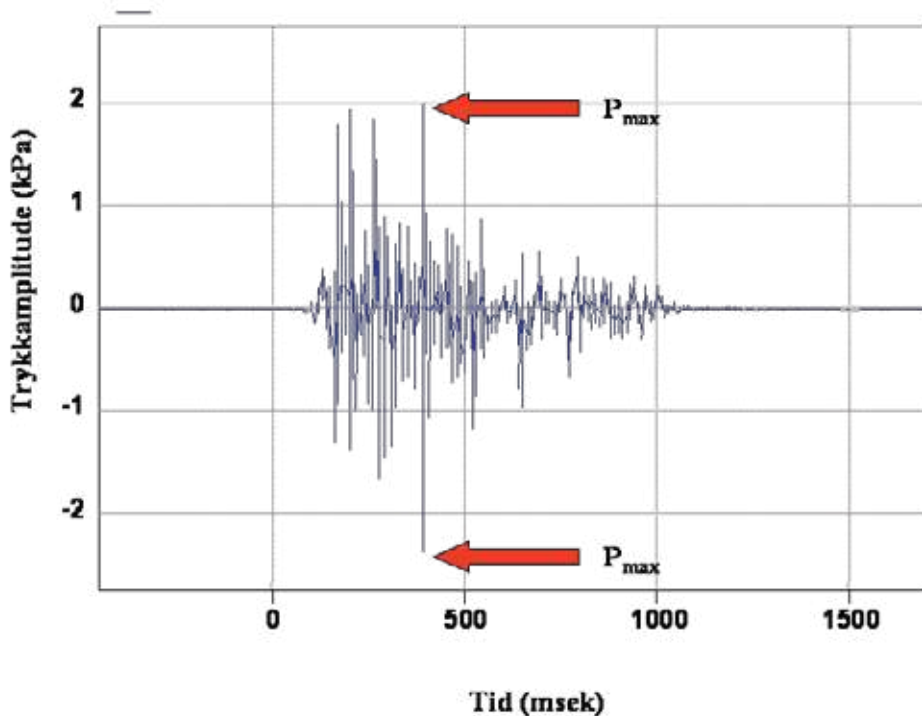
En benyttet to Brüel & Kjær (Danmark) hydrofoner (type 8104) nedsenket til 2 meters vanddyp. Hydrofonene var koblet til en Nexus forsterker type 2692D (Brüel & Kjær, Danmark) via 10 meter lange koaksialkabler. Det ble videre benyttet et oscilloskop (Pico ADC 100, Pico Technology Ltd, UK) koblet til en bærbar pc. En benyttet programmet PicoLog for Windows (Pico Technology Ltd, UK, ver 5.08.6) for å uttrykke trykkmålingene grafisk (se Figur 4).

4.3 Berging av teoretisk $P_{\max}$ ved sprenginger på havbunnen

Maksimaltrykket ($P_{\max}$) ved et gitt tidspunkt ved sprenginger på havbunnen kan uttrykkes etter følgende formel (Nedwell & Thandavamoorthy, 1989):

$$P_{\max} = 2,5 \times 10^6 \times \frac{W^{0,27}}{R^{1,13}} \text{ Pa}$$

hvor W er vekten (kg) på ladningen og R = avstanden (m) til eksplosjonen.



Figur 5. Undervannssprengning i Lovund havn den 10.06.2004 målt 120 meter fra detonasjonspunkt. Detonasjonsdyp ca. 5 m og 255 kg "slurry" ble benyttet. Røde piler indikerer $P_{\max}$ positiv og negativ.

EFFEKTEN AV UNDERVANNSEKSPLOSJONER

Avhengig av hvordan sjokkbølgen og, den skadelige effekten av sprengningen forandrer karakter med avstand fra sprengningspunktet, så kan en grovt dele inn avstanden fra sprengningspunktet i 3 soner (Larsen *et al.*, 1993; Kjellsby & Kvalsvik, 1997):

1. Nærfeltsonen
2. Overgangssonen
3. Fjernsonen

Nærfeltsone (eller dødelighetszone) karakteriseres akustisk med at sjokkpulsamplituden (det maksimale; positive trykket i sjokkpulsen) vil stige i løpet av noen få ti eller hundretalls mikrosekunder til trykk tilsvarende flere tusen kPa (kilopascal) som tilsvarer flere titalls atmosfæretrykk. Trykkøkningen er et resultat av en sammenpressing av vannpartiklene og vil derfor etterfølges av en tilsvarende fortynning. Denne fortynning vil langt underskride det statiske trykket i vannet og vil derfor representere et undertrykk (Larsen *et al.*, 1993). Undertrykk er farlig for fisk med svømmeblære fordi det vil føre til en hurtig og kraftig ekspansjon av svømmeblæren, ofte med omfattende indre skader og døden til følge (Yelverton *et al.*, 1975; Gaspin *et al.*, 1976; Larsen *et al.*, 1993).

I Overgangsonen (eller skadesonen) er sannsynligheten for momentant dødelighet liten. Sjokksjokkamplituden er nå under 1000 kPa (< ca. 9 atmosfærer). I den grad forekommer dødelighet så rammes det helst fisk som står nært bunnen, overflaten eller som blir utsatt for en sjokkbølge direkte konsentrert eller fokusert på fisken (Larsen *et al.*, 1993).

I fjernsonen vil lyden om sommeren avbøyes imot bunnen på grunn av lydhastighetsprofilen i sjøen. Lyden i fjernfeltet vil derfor normalt bestå av multiple lydrefleksjoner og lydtrykket vil være betydelig svekket. En forventer derfor normalt ikke skader i fjernsonen om sommeren, men en kan ikke utelukke at fiskeri blir stresset. I tilfeller med lydbølger, som når fisken direkte. Vil lydtrykket være mindre svekket og det kan oppstå tegn på stress og mindre skader i fisken (Larsen *et al.*, 1993).

DISKUSJON

Kystverket igangsatte utbedring av Lovund Havn i Lurøy kommune, hvor en grunne skulle fjernes og dybdeforhold justeres til – 5 m på laveste lavvann. Dette medførte mudring og et betydelig sprengningsarbeid som varte i ca. 5 måneder med daglige sprengninger.

Det er utført en del studier i forbindelse med detonering av militære sprenglegemer og høyeksplosiver i de frivannsmasser (Hubbs & Rechnitzer, 1952; Ferguson, 1962; Gaspin *et al.*, 1976; Ogawa *et al.*, 1976a; Ogawa *et al.*, 1976b; Teleki & Chamberlain, 1978; Larsen, 1990; Larsen *et al.*, 1993; Kjellsby & Kvalsvik, 1997). Dette er imidlertid sprengning som frigjør all energi til vannet, i motsetning til sprengning i fjell (Nedwell & Thandavamoorthy, 1989; Rickman, 2000). Det ble i den forbindelse definert et behov for å etablere kunnskap om toleransegrenser hos fisk og definere hva som er sikker avstand fra denne type installasjoner og sprengningsområde og vurdere boblegardinens dempingseffekt på trykkbølgen.

TRYKKAMPLITUDEN VED DETONASJON I FJELL UNDER VANN



Figur 6. Selve detonasjonøyeblikket den 30.04.2004 i Lovund Havn tatt 120 meter fra spreningspunktet (Foto: Robert A. Eliassen, Nordlandsforskning)

Som figur 20 illustrerer var detonasjonen tydelig fra overflaten, men det målte maksimaltrykket ($P_{\max}$) ved alle fem detonasjoner utgjorde kun 3 til 27 % av beregnet $P_{\max}$ etter Nedwell & Thandavamoorthy (1989) (se s. 7). Det kan være flere plausible forklaringer til dette avviket bl.a. ble retningen på ladningen bevisst rett vekk fra målepunktet på grunn av det nærliggende lakseslakteriet (se **Error! Reference source not found., s.Error! Bookmark not defined.**). I tillegg vil type sprengstoff, ladningsdyp, ladningsforsinkelse, vær, bunnforhold, type måleutstyr og vanntemperatur påvirke målingen av trykkbølgen (McPherson, 1991; Kjellsby & Kvalsvik, 1997; Rickman, 2000).

En tilsvarende detonasjon i de frivannmasser som eks. detonasjon III med en ladning på 365 kg ville ha gitt en $P_{\max}$ på ca 1100 kPa ved 120 meter (Nedwell & Thandavamoorthy, 1989; McPherson, 1991; Kira *et al.*, 1999). Da detonasjonen ble avfyrt med forsinkelse vil det antageligvis være mer riktig å beregne teoretisk $P_{\max}$ utifra høyeste enkelt ladning som var 19 kg, og som vil gi en $P_{\max}$ på ca. 495 kPa (Munday *et al.*, 1986). Målte maksimaltrykk ved detonasjon III var 6,88 kPa, og utgjorde 1,4 % av kraften beregnet fra $P_{\max}$ i de frivannmasser. Målte maksimaltrykk ved detonasjonene i forsøket utgjorde fra 0,1 til 1,4 % av kraften beregnet fra $P_{\max}$ i de frivannmasser. Nedwell & Thandavamoorthy (1989) viste at $P_{\max}$ i en nedgravd ladning på sjøbunnen ble redusert til 5 %, og impulsen med ca 30 % av den opprinnelige kraften med en tilsvarende ladning detonert i de frivannmasser. Årsaken til dette er at sprengingslegemet i et borehull i fjell ikke er i direkte kontakt med vannet, slik at sjokkbølgen først må vandre gjennom fjellet, og eventuelle dempingsmateriale før bølgen når vannet. I tillegg forsvinner mye av den utløste energien i selve knusingen og forskyving av det omliggende fjellet (Rickman, 2000).

4.4 Effekten av boblegardin på trykkamplituden

En boblegardin eller en luftgardin dannes ved hjelp av å injisere komprimert luft inn i vannsøyla. Boblegardinen er en vegg av luftbobler som stiger opp i fra et rør fra sjøbunnen. Slike boblegardiner har vist seg å redusere $P_{\max}$ over gardinen (Strange, 1963). Undersøkelser har vist at en liten mengde luftbobler i vannsøyla øker kompresjon av vannet, og derfor reduserer hastigheten og kraften på en undervannseksplisjon (Domenico, 1982a; b; Rickman, 2000). I vår undersøkelse ble det gjort en detonasjon med boblegardin, den 30.04.2004 (detonasjon II). Selv om dette var en sprenging med den tredje største ladning (322,5 kg dynamitt) gav den laveste $P_{\max}$ på 0,655 kPa. Tilsammenlikning gav en ladning 239 kPa et maksimaltrykk på 2,336 kPa. Boblegardin kan synes til å ha en effekt på trykkamplituden, men en sprenging er for lite til å si noe om hvor effektive denne trykkreduksjon faktisk er.

SPRENINGSEFFEKTER PÅ FISK

Sommeren 1989 ble det rapportert forsinket dødelighet hos oppdrettet torsk og laks i Altafjorden etter sprenginger med høyeksplosiver (Larsen, 1990; Larsen *et al.*, 1993; Sverdrup *et al.*, 1994). En del arbeid som er gjort viser en sammenheng mellom økt dødelighet og skader på fisk og undervannssprenginger (Hubbs & Rechnitzer, 1952; Ferguson, 1962; Gaspin *et al.*, 1976; Ogawa *et al.*, 1976a; Ogawa *et al.*, 1976b; Teleki & Chamberlain, 1978; Larsen *et al.*, 1993; Kjellsby & Kvalsvik, 1997).

4.5 Trykkrelatert dødelighet hos fisk

Ingen dødelighet på laks eller torsk ble registrert 1 time etter detonasjon ved noe tidspunkt i dette forsøket. Tre ulike parametere i sjokkbølge har blitt brukt som forklaringsmodell for dødelighet etter undervannseksplisjoner: trykk (Teleki & Chamberlain, 1978); impuls (Yelverton *et al.*, 1975; Gaspin *et al.*, 1976) og energi fluks tetthet (Ogawa *et al.*, 1976a) Yelverton *et al.* (1975) har vist at trykkbølgens letale (LD_{50})¹ impuls var uavhengig av faktorer som sprengingsdyp og fiskens dyp, og argumenterte derfor at sjokkbølgens impuls var et bedre egnet mål for å forutsi fiskedødelighet ved varierende forhold enn trykk (maksimaltrykk; $P_{\max}$). Larsen *et al.* (1993) derimot viste selv om fiskens dybde varierte fra 0 – 5 meter, og sprengingsdybden fra 3 – 5 meter og fiskens størrelse fra 0,8 – 10 kg var det høy korrelasjon mellom sjokkamplituden (maksimaltrykk) og dødelighet. De konkluderte med at $P_{\max}$ var et brukbart mål for å forutsi fiskedødelighet under relativt konstante sprengings- og fiskedybde (Larsen *et al.*, 1993).

Den letale trykkamplituden (LD_{50}) er for torsk beregnet til å være ca. 2700 kPa (Larsen *et al.*, 1993), mens gjentatte sprengnings forsøk på laks (1-1,5 kg) med $P_{\max}$ på ca. 2000 kPa gav ingen akutt eller forsinket dødelighet (Sverdrup *et al.*, 1994). Tilsvarende verdi for karpe er ca. 1200 kPa (Yelverton *et al.*, 1975). Keevin *et al.* (1995) viste at dødeligheten hos bluegill (*Lepomis macrochirus*) økt plutselig ved $P_{\max}$ over 500 kPa. Det høyeste målte maksimaltrykket i denne undersøkelsen ble målt til 6,88 kPa og er bare liten brøkdel av den sjokkamplituden som har vist seg å gi dødelighet hos fisk (Ferguson, 1962; Christiansen, 1973; Yelverton *et al.*, 1975; Larsen *et al.*, 1993; Keevin *et al.*, 1995). Laksesmolten var av en midlere størrelse på ca 225 g, og selv om mindre fisk tar lettere skade enn stor fisk (Yelverton *et al.*, 1975) synes ikke størrelsen på fisk her å ha betydning på grunn av den lave kraften på trykkamplituden.

¹ den trykkimpuls som dreper 50 % av fisken i et forsøk

4.6 Effekten av tennsatser med forsinkelse på dødelighet

Under detonasjon avfyrt alle borehull samtidig, men på grunn av ulik forsinkelse i tennsatser fikk en flere ”små” eksplosjoner i stedet for en stor eksplosjon i dette forsøket. Trykkamplituden vil dermed være direkte relatert til ladningen i hvert enkelt borehull i stedet for en summasjon av alle ladningene i alle borehull (Munday *et al.*, 1986). En kan ikke se bort fra at dette hadde en ”positiv” effekt på trykkamplituden og dermed overlevelsen til forsøksdyrene i dette eksperimentet. Så langt en kjenner til finnes det ingen felttester som kan gi noe mål på effektiviteten til denne teknikken å redusere dødeligheten på marint liv ved detonasjon. Men hvis trykkbølgen kan deles opp i en serie mindre bølger i hurtig rekkefølge som fisken dynamisk kan reagere på som en enkel hendelse ville dette effektivt kunne redusere risikoen for dødelighet. Ogawa *et al.* (1976b) gjennomførte et laboratorium forsøk på responstiden til fisk til trykkendringer. De fant at trykkpuls perioder under 100 msek ikke gav noen skadelige effekter, men med en gang trykkpuls varigheten økte over 100 msek kunne man se utviklingen av indre skader på fisken.

4.7 Subletale sprengingseffekter på fisk

Laksesmolten benyttet i dette forsøket var av suboptimal kvalitet. Av ukjent årsak var fiskens allmenn tilstand ved forsøksstart redusert. Ved forsøksstart hadde en fisk med et forhøyet plasmakortisol² (291 - 317 nM) og dårlig osmoregulatorisk-kapasitet³ (~ 190mM klor). Det ble allikevel vist en positiv sammenheng mellom økt trykkamplitude og økt plasmakortisol. De detonasjonene som gav høyeste $P_{\max}$ gav også en mer ”stresstet” fisk. Disse resultatene er i avvik i forhold til et laboratorium studie gjort av Sverdrup *et al.* (1994) som eksponerte laks for en serie av 10 undervannseksplisjoner (2 MPa). De fant midlertidig endringer i det vaskulære⁴ endotelium i aorta og ulike arterier. Denne midlertidige forringelsen av det vaskulære system varte ca. 1 dag, og etter en uke var fiskens vaskulære endotelium tilbake i normal tilstand. Dette hadde effekt på primære stresshormonene adrenalin og kortisol med at man fikk en forsinket økning av hormonene i plasma etter eksplosjonene. Kortisol var redusert 6 og 12 timer etter detonasjon, og først etter 48 timer var plasmakortisol høyere enn kontroll før start av eksperimentet. En plausibel forklaring til dette er at $P_{\max}$ ved detonasjon i vårt eksperiment kun var 0,3 % av kraften i beskrevet forsøk (Sverdrup *et al.*, 1994). Denne lave kraften i trykkbølgen var antageligvis ikke nok til å endre egenskapene til det vaskulære system til at det hindret en normal stressreaksjon med bl.a. økning i plasmakortisol 1 time etter detonasjon. Bruken av plasmakortisol bekrefter tidligere observasjoner at økningen i plasma kortisol nivået gir oss mulighet til skille mellom ”graden” av stress av de ulike behandlingene⁵ (Iversen *et al.*, 1998; Sandodden *et al.*, 2001; Finstad *et al.*, 2003; Iversen *et al.*, 2003; Iversen & Eliassen, 2004; Iversen *et al.*, 2004a; Iversen *et al.*, 2004b). Dette viser at kortisol, som fysiologisk parameter i fisk, vil kunne brukes i utvikling av modeller for risikovurderinger i forbindelse med undervannssprenging.

Osmolaliteten og plasmaklor økte ved ett eller flere prøvetakingspunkt etter detonasjon ved alle fem eksperiment. Økningen er for rask til at den kan forklares som en stressrelatert effekt. Normalt registrer man en forringelse i den osmoregulatoriske kapasitet ca. 1 døgn etter påført stressor (Iversen *et al.*, 1998; Iversen *et al.*, 2004a; Iversen *et al.*, 2004b). En mulig forklaring kan være at trykkamplituden var nok til å gi mindre skader på gjellene med den effekten at dette gav en umiddelbar innfluks av salter inn i fisken. Det ble ikke vist noen histologiske endringer på gjellene som kan understøtte dette. I og med at Sverdrup *et al.* (1994) ikke fant

² ustresst laksesmolt ligger mellom 20 – 100 nM

³ en ”god” smolt har klorverdier under 150 mM i sjøvann

⁴ vaskulære= sirkulasjonssystemet (blodårer og lignende)

⁵ stressor = i dette tilfellet eksplosjonene

slike endringer i klorverdiene, er det mer sannsynlig at fiskens allmenntilstand før forsøk start har forsterket effekten av detonasjonene i negativ retning.

4.8 Effekten av gjentatte sprenginger

Effekten av gjentatte sprenginger ble ikke gjort i dette forsøket, men i et forsøk ble fisk plassert 25, 65, 80 og 360 meter fra sprengingspunkt og utsatt for 30 detonasjoner⁶ á 1 kg TNT. Det ble kun registrert dødelighet ved 25 meter. Den forventede dødeligheten var etter et skudd 1,6 % og etter 3-4 skudd hadde den midlere dødelighet nådd 50 % (Larsen *et al.*, 1993). Selv om kraften i vår undersøkelse er lave kan en ikke se bort fra at gjentatte sprenginger og mudring over tid kunne føre fisken over i en kronisk stressituasjon. Tidligere undersøkelser har vist at den fysiologiske stressresponsen kan variere med antall "episoder" med ulike stressorer (Schreck, 1982; Pickering, 1993; Bonga, 1997; Barton, 2000; 2002). Eksempelvis etterfølges håvingen av en lengre transport uten tilstrekkelig tid for fisken å komme seg mellom hver stressbelastning, vil dette medføre en kumulativ stressrespons med lang "rekonvalesens" tid (Iversen *et al.*, 1998; Sandodden *et al.*, 2001; Finstad *et al.*, 2003; Iversen *et al.*, 2003; Iversen *et al.*, 2004a). En kumulativ stressrespons uten en lang nok rekonvalesens kan medføre at fiskens allmenntilstand blir sterkt redusert med dårlig evne til å avvike potensielle predatorer, dårligere sykdomsmotstand, sjøvanntoleranse og overlevelse (Schreck, 1982; Pickering, 1993; Bonga, 1997; Iversen *et al.*, 1998; Einarsdottir *et al.*, 2000a; Sandodden *et al.*, 2001; Finstad *et al.*, 2003; Iversen *et al.*, 2003; Iversen *et al.*, 2004a). Da havneutbedringstiltak ofte har en langvarig tidshorisont med gjentatte sprengninger som påvirker primærstress responsen hos fisk bør man gjennomføre en undersøkelse for å studere langtidseffekten av slikt arbeid i nærheten av kommersielle oppdrettsanlegg over tid.

4.9 Toleransegrensemodell for undervannsprengninger på fisk

De fleste toleransegrensemodeller som benyttet for å estimere "drapsradius" for fisk for undersjøiske demolisjonsarbeid vurderer kun akutt dødelighet ved en enkel detonasjon. Ingen av de eksisterende modellene gir noe godt bilde på effektene av gjentatte detonasjoner.

Young (1991) utviklet en modell for å estimere en sikkersone på 90 % sjanse for overlevelse ved undervannsprenging (frie vannmasser) for fisk med svømmeblære. Likningen er som følger (inkludert konvertering til metriske mål):

$$R_{safe} = 43xW_f^{-0,13}xW^{0,28}xDw^{0,22}$$

hvor R_{safe} = sikkeravstand i meter; W_f = vekt av fisk i pound; W = ladningsvekt (pound); og D_w = detonasjonsdybde (i feet). I følge Young (1991) ville detonasjon III som gav den høyeste målte P_{max} (6,880 kPa) ha en sikkerhetssone⁷ på minimum 255 meter fra sprengingspunktet. Ingen dødelighet ved 20 meter ble påvist i dette eksperimentet.

Utifra felldataene i dette forsøket estimerer en at en sikker sone på 120 meter er tilstrekkelig ved denne type gjentatte maksimaltrykkamplituder produsert i dette forsøket. Det forutsetter at en benytter en serie detonasjon (forsinkelse), god pakking og dekking av borehull, og kun en detonasjon per dag. Det ble blant annet ikke registrert noen sen effekter i torskoppdrettsanlegget 800 meter nord for havnearbeidet. Problemet derimot ligger i å estimere hvor lenge fisk tolerer en økt belastning av gjentatte detonasjon uten at fisken pådrar seg sen skader på grunn av en kumulativ stressrespons. Flere slike undersøkelser bør

⁶ i de frivannmasser

⁷ $W_f=225$ g; $W=19$ kg og $D_w=5$ m

gjennomføres før en kan lage en god toleransegrense modell for fisk for gjentatte nedgravde detonasjoner.

REFERANSER

- Barton, B.A., 2000. Salmonid fishes differ in their cortisol and glucose responses to handling and transport stress. *North American Journal of Aquaculture* 62, 12-18.
- Barton, B.A., 2002. Stress in fishes: A diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integr. Comp. Biol.* 42, 517-525.
- Bonga, S.E.W., 1997. The stress response in fish. *Physiol. Rev.* 77, 591-625.
- Christiansen, E.A., 1973. The effects of underwater explosions on swimbladder fish. *Naval Ordnance Laboratory Technical Report (NOLTR)*, 73-103 s.
- Domenico, S.N., 1982a. Acoustic wave propagation in air-bubble curtains in water-Part I: History and theory. *Geophysics* 47, 345-353.
- Domenico, S.N., 1982b. Acoustic wave propagation in air-bubble curtains in water-Part II: Field experiments. *Geophysics* 47, 354-375.
- Einarsdottir, I.E., Nilssen, K.J. & Iversen, M., 2000a. Effects of rearing stress on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) antibody response to a non-pathogenic antigen. *Aquac. Res.* 31, 923-930.
- Einarsdottir, I.E., Nilssen, K.J., Oren, S.O. & Iversen, M., 2000b. Temperature influence on Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) antibody response to a cellular antigen. *Polar Biol.* 23, 231-235.
- Ferguson, R.G., 1962. The effects of underwater explosions on yellow perch (*Perca flavescens*). *Canadian Fish Culturist* 29, 31-39.
- Finneran, J.J., Schlundt, C.E., Carder, D.A., Clark, J.A., Young, J.A., Gaspin, J.B. & Ridgway, S.A., 2000. Auditory and behavioral responses of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and beluga whale (*Delphinapterus leucas*) to impulsive sounds resembling distant signatures of underwater explosions. *J. Acoust. Soc. Am.* 108 (1), 417-431.
- Finstad, B., Iversen, M. & Sandodden, R., 2003. Stress-reducing methods for releases of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in Norway. *Aquaculture* 222, 203-214.
- Gaspin, J.B., Wiley, M.L. & Peters, G.B., 1976. Experimental investigations of the effects of underwater explosions on swimbladder fish II; 1975 Chesapeake Bay tests. *Naval Surface Weapons Center, Silver Spring MD*, 65 s.
- Gelfand, B.E. & Takayama, K., 2004. Similarity criteria for underwater explosions. *Combustion Explosion and Shock Waves* 40, 214-218.
- Hubbs, C.L. & Rehnitz, A.B., 1952. Report on experiments designed to determine effects of underwater explosions on fish life. *California Fish and Game* 38, 333-366.
- Iversen, M. & Eliassen, R.A., 2004. Aqui-S™ sedation in Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.): Changes in primary and secondary stress responses at different water temperatures. *Nordlandsforskning Nf-rapport nr: 1*, 32.
- Iversen, M., Finstad, B. & Nilssen, K.J., 1998. Recovery from loading and transport stress in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. *Aquaculture* 168, 387-394.
- Iversen, M., Eliassen, R.A. & Gill, L., 2004a. Transport of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts in Puerto Montt, Chile. The effects of high and low transport densities on primary, secondary and tertiary stress responses. *Nordlandsforskning NF-rapport 18*, 26.
- Iversen, M., Finstad, B., McKinley, R.S. & Eliassen, R.A., 2003. The efficacy of metomidate, clove oil, Aqui-S and Benzoak® as anaesthetics in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts, and their potential stress-reducing capacity. *Aquaculture* 221, 549-566.

- Iversen, M., Finstad, B., McKinley, R.S., Eliassen, R.A., Carlsen, T., C. & Evjen, T., 2004b. Stress responses in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts during commercial well boat transports, and effects on survival after transfer to sea. *Aquaculture* In print, 22.
- Keevin, T.M., Foley, G.L., Hempen, F.L. & J., S.D., 1995. Explosive pressure related internal organ damage in bluegill (*Lepomis macrochirus*).
<http://www.denixosd.mil/denix/public/ES-programs/conservation/waterX/water4.html>, 1-14.
- Kira, A., Fujita, M. & Itoh, S., 1999. Underwater explosion of spherical explosives. *Journal of Materials Processing Technology* 85, 64-68.
- Kjellsby, E. & Kvalsvik, K., 1997. Begrensing av skade på marin fauna ved undervannssprenging. Forsvarets Forskningsinstitutt, FFI/Rapport - 97/04847, 35 s.
- Larsen, T., 1990. Skader på oppdrettsfisk etter sprengninger i Altafjorden. *Norsk Fiskeoppdrett* 7, 18-19.
- Larsen, T., Kjellsby, E. & Olsen, E., 1993. Effekter av undervannssprengning på fisk. Havforskningsinstituttet, Senter for Marine Ressurser, Nr. 11, 18 s.
- McPherson, J.A., 1991. Engineering and design: Underwater blast monitoring. Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers, 5 s.
- Munday, D.R., Ennis, G.L., Wright, D.G., Jeffries, D.C., McGreer, E.R. & Mathers, J.S., 1986. Development and evaluation of a model to predict effects of buried underwater blasting charges on fish populations in shallow water areas. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 1418, 104.
- Nedwell, J.R. & Thandavamoorthy, T.S., 1989. Pressure impulse during shallow underwater blasting. ISVR Technical Report No. 178, 45 s.
- Ogawa, T., Fukuyama, I. & Ito, I., 1976a. Injuries to fish due to underwater pressure waves. *Journal of Industrial Explosives Society, Japan* 37, 291-299.
- Ogawa, T., Fukuyama, I. & Ito, I., 1976b. Injuries to fish due to underwater pressure waves. 4. Dynamic response to internal organs. *Journal of the Industrial Explosives Society, Japan* 40, 40.
- Pickering, A.D., 1993. Growth and Stress in Fish Production. *Aquaculture* 111, 51-63.
- Rickman, D.D., 2000. Analysis of water shock and bubble screen effectiveness on blast effect mitigation test series, Wilmington Harbor, North Carolina. US Army Engineer research and development Center, Vicksburg, 100 s.
- Sand, O., 1992. Hørsel og sidelinjesans. In: Døving, K. & Reimers, E. (Eds.), *Fiskens fysiologi*, John Grieg Forlag, s. 92-106.
- Sandodden, R., Finstad, B. & Iversen, M., 2001. Transport stress in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): anaesthesia and recovery. *Aquac. Res.* 32, 87-90.
- Schreck, C.B., 1982. Stress and Rearing of Salmonids. *Aquaculture* 28, 241-249.
- Simenstad, C.A., 1974. Biological effects of underground nuclear testing on marine organisms. I. Review of documented shock effects, discussion of mechanisms of damage, and predictions of Amchitka test effects, Naval Ordnance Laboratory Technical Report (NOLTR) 12, 150 s.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J., 1987. Introduction to biostatistics. Freeman, New York, s. 178-179.
- Strange, J.F., 1963. The attenuating effects of a bubble screen on underwater shock. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (WES), Vicksburg, Mississippi. Miscellaneous Paper No. 2-553.
- Sverdrup, A., Kjellsby, E., Kruger, P.G., Floysand, R., Knudsen, F.R., Enger, P.S., Serckhanssen, G. & Helle, K.B., 1994. Effects of Experimental Seismic Shock on Vasoactivity of Arteries, Integrity of the Vascular Endothelium and on Primary Stress Hormones of the Atlantic Salmon. *Journal of Fish Biology* 45, 973-995.

- Teleki, G.C. & Chamberlain, A.J., 1978. Acute effects of underwater construction blasting on fishes in Long Point Bay, Lake Erie. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 35, 1191-1198.
- Todd, S., Stevick, P., Lien, J., Marques, F. & Ketten, D., 1996. Behavioural effects of exposure to underwater explosions in humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 74, 1661-1672.
- Wardlaw, A.B., 1998. Underwater explosions test cases. Naval Surface Weapons Center, Silver Spring MD, 56 s.
- Yelverton, J.T., Richmond, D.R., Hicks, W., Sanders, K. & Fletcher, E.R., 1975. The relationship between fish size and their response to underwater blast. Defence Nuclear Agency, Report No. 36777, 42 s.
- Young, G.A., 1991. Concise methods for predicting the effects of underwater explosions on marine life. Naval Surface Warfare Center (NAVSWC), 91-220.
- Nordlanddsforskning – rapport nr. 19 - 2004

KONKLUSJONER.

Detonasjon på havbunnen gav en lav maksimaltrykkamplitude, og utgjorde 0,1 til 1,4 % av kraften beregnet fra $P_{\max}$ i de frivannmasser.

Ingen trykkrelatert akutt dødelighet ble registrert 20, 60, 120 eller 320 meter fra detonasjonspunktet.

Det ble vist en positiv sammenheng mellom økt trykkamplitude og økt plasmakortisol. De detonasjonene som gav høyeste $P_{\max}$ gav også en mer ”stresset” fisk. Bruken av plasmakortisol bekrefter tidligere observasjoner at økningen i plasma kortisol nivået kan gi oss mulighet til skille mellom ”graden” av stress av de ulike detonasjonene ved slike lave trykkamplituder.

Ut fra feltdataene i dette forsøket estimerer en at en sikker sone på 120 meter er tilstrekkelig ved denne type gjentatte maksimaltrykkamplituder produsert i dette forsøket. Det forutsetter at en benytter en serie detonasjon (forsinkelse), god fordemning av borehull, og kun en detonasjon per dag.

VIKTIGE FORBEHOLD

Effekten av gjentatte sprenginger ble ikke gjort i dette forsøket. Selv om kraften i vår undersøkelse er lave kan en ikke se bort fra at gjentatte sprenginger og mudring over kunne føre fisken over i en kronisk stressituasjon. En kumulativ stressrespons uten en lang nok rekonvalesens kan medføre at fiskens allmenntilstand blir sterkt redusert med dårlig evne til å avvike potensielle predatorer, dårligere sykdomsmotstand, sjøvannstoleranse og overlevelse. Det er derfor viktig å estimere hvor lenge fisk tolerer en økt belastning av gjentatte detonasjon uten at fisken pådrar seg sen skader på grunn av en kumulativ stressrespons. Flere slike undersøkelser bør gjennomføres før en kan lage en god toleransegrense modell for fisk for gjentatte nedgravde detonasjoner.

FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK
BERGMEKANIKK/GEOTEKNIKK 2011

ROGFASTPROSJEKTET.

The Rogfast-project.

Prosjektleder Tor Geir Espedal, Statens Vegvesen Region vest

SAMMENDRAG

Rogfast er betegnelsen på en 25 – 26 km lang undersjøisk tunnel som planlegges under Boknafjorden i Rogaland. Tunnelen skal bidra til at reisetiden på E39 Kyststamvegen mellom Stavanger og Bergen kortes ned med ca. 35 minutter. Prosjektet er nå under planlegging. I NTP forutsettes det oppstart i 2017, mens det lokalt er et ønske om å forsere oppstarten til 2014 hvis mulig.

Rogfasttunnelen går gjennom et område med komplisert geologi med flere skyvedekker og forkastninger. Tunnelen vil gå gjennom fyllitt og glimmerskifer og muligens også granittiske og diorittiske gneiser.

Tunneltraseen er planlagt som en to-løps tunnel med tverrsnitt 2 x T 9,5. Det vil bli en arm opp til Kvitsøy og et toplanskryss i fjell. Dimensjonerende hastighet vil være 100 km/t og max. stigning vil være 7%. Max. dybde vil være 390 m.

Tunnelen vil bli langsluftet og det planlegges etablert tre doble sjakter. Dimensjonerende branneffekt vil i utgangspunktet være 100 MW. Det skal gjennomføres en full ROS-analyse for å klarlegge hvilken standard som må bygges inn for å få tilfredsstillende sikkerhet mot brann og andre uønskede hendelser.

Rogfast vil grovt sett generere et masseoverskudd på ca. 6 mill. m³ masse. Disse må anvendes til samfunnsnyttige formål, og det forutsettes at det meste fylles ut i sjø i nærheten av tunnelpåhuggene. De utfylte arealene vil bli verdifulle sjørettede næringsarealer etter at prosjektet er realisert.

Det foreligger godkjente kommunedelplaner i alle de tre berørte kommunene (Randaberg, Kvitsøy og Bokn). Det er nå startet opp arbeid med reguleringsplanlegging i alle tre kommunene, og det ventes at det kan foreligge godkjente reguleringsplaner tidlig i 2013 for hele prosjektet.

SUMMARY

Rogfast is the name of the 25 – 26 km long subsea tunnel planned to cross the Boknafjord in the county of Rogaland. The tunnel will contribute to a shortening of the travel time up to 35 minutes on the E39 – The Coastal Trunk Road between Stavanger and Bergen. The project is now being planned. In NTP it is predicted to start in 2017, but there is a local wish to start in 2014 if possible.

The Rogfast tunnel will pass an area with complicated geology with several thrust nappes and fault zones. The tunnel will pass through phyllite and mica schist and probably also granitic and dioritic gneisses.

The tunnel is planned to have two tubes with a cross-section of 2 x T 9,5. There will be a separate tunnel to the island of Kvitsøy and a two level crossing (?) with the main tunnel. The tunnel will be designed for a speed of 100 km/h and the maximum grade will be less than 7%. The maximum depth below sea level will be 390 meter.

The ventilation of the tunnel will be based longitudinal ventilation and there will be three double shafts. The tunnel will be planned to handle fires up to an effect of 100 MW. There will be work on a Risk & Security Analysis to find out what standard which is needed to have enough security against fire and other events.

Rogfast will generate about 6 millions m³ of rock masses. These masses will have to be used in a way that benefits the society in general. It is considered that the best way to use it is to fill it into the sea just outside the tunnel. The filled in area will be valuable areas for sea-related establishments when the project is finished.

There is approved plans for the project in all the three municipalities (Randaberg, Kvitsøy, Bokn). The detailed planning has now started in all three municipalities, and it is expected that there will an approval of the detailed plans early in 2013 for the whole project.

BAKGRUNN OG HISTORIKK

Utvikling av E39 Kyststamvegen er et ledd i strategien for å utvikle en effektiv nord – sør trafikk mellom tyngdepunktene på Vestlandet, og å utvikle landsdelens kontakt med kontinentet. E39 Kyststamvegen er derfor et prioritert gjennomgående vegsystem for alle vestlandsfylkene. I samspill med havneknutepunktene langs kysten er E39 Kyststamvegen sett på som en av bærebjelkene til en framtidig økonomisk utvikling både for landsdelen og for landet.



Figur.1 Tunneltraseen krysser Boknafjorden fra Harestad i Randaberg kommune i sør til Arsvågen i Bokn kommune i nord.

En ferjefri veg med høy standard langs vestlandskysten har derfor lenge vært et overordnet mål for Rogaland, og et felles mål for vestlandsfylkene. Kryssingen av Boknafjorden skjer i dag på ferjesambandet mellom Mortavika og Arsvågen. Sambandet har hatt en meget sterk trafikkvekst siden åpningen i 1992, og har hatt store kapasitetsproblemer i perioder med stor trafikk. Nye gassdrevne ferjer fra 2007 har økt kapasiteten, men fjerner ikke de

grunnleggende hindringer for en effektiv transportløsning som ethvert ferjesamband representerer.

Reisetiden mellom Bergen og Stavanger er i dag på rundt 4 timer og 15 minutter med bil. Med Rogfast vil denne reisetiden bli redusert til 3 timer og 40 minutter.

De overordnede mål for E39 Rogfast kan dermed sammenfattes slik:

- Bidra til å utvikle E-39 til en viktig forbindelsesveg for Vestlandet som en del av en nasjonal transportkorridor langs vestlandskysten.
- Bidra til å utvikle et sammenhengende godstransportsystem med tilførsel mot de sentrale havnene og andre knutepunkt langs vestlandskysten.
- Utvikle et felles bo- og arbeidsmarked for Nord-Jæren og Vestlandet.

Boknafjorden er en terskelfjord som er dyp langt inne, men med en terskel som går i en bue fra Tungenes i sør, via Kvitsøy til Arsvågen i nord. For å unngå for lange og bratte stigninger må en undersjøisk tunnel følge den terskelen. Det ligger også godt til rette for en tilknytning til Kvitsøy, som vil gi dette øysamfunnet ferjefri fastlandsforbindelse.

Prosjektet består av en lang toløps tunnel på 25 – 26 km mellom Harestad i Randaberg og Arsvågen i Bokn. Armen til Kvitsøy er 3 - 4 km lang og vil bli bygget med et eller to løp.

Det er godkjente kommunedelplaner for E 39 Rogfast i Randaberg, Kvitsøy og Bokn kommuner. Prosjektet er grovt kostnadsregnet til i underkant av 8 mrd.kr, og er i hovedsak tenkt finansiert med bompenger. I NTP er den statlige andelen forutsatt å bli 500 mill.kr.

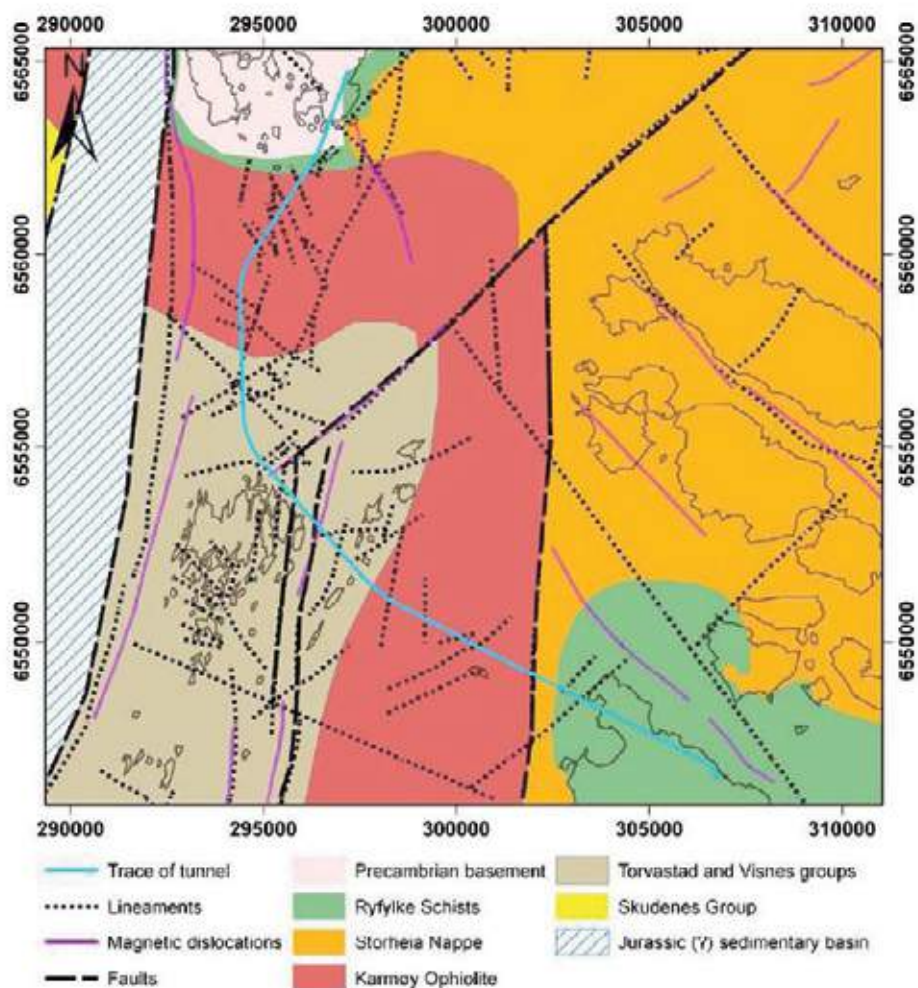
Det arbeides nå med et omfattende program for grunnundersøkelser (seismikk, kjerneboring og generell geologisk kartlegging). Dette vil pågå i hele 2011 og danne grunnlag for reguleringsplan for prosjektet.

I NTP forsettes det oppstart av prosjektet i 2017. Lokalt ønsker man imidlertid å forsere oppstarten til 2014.

GEOLOGI

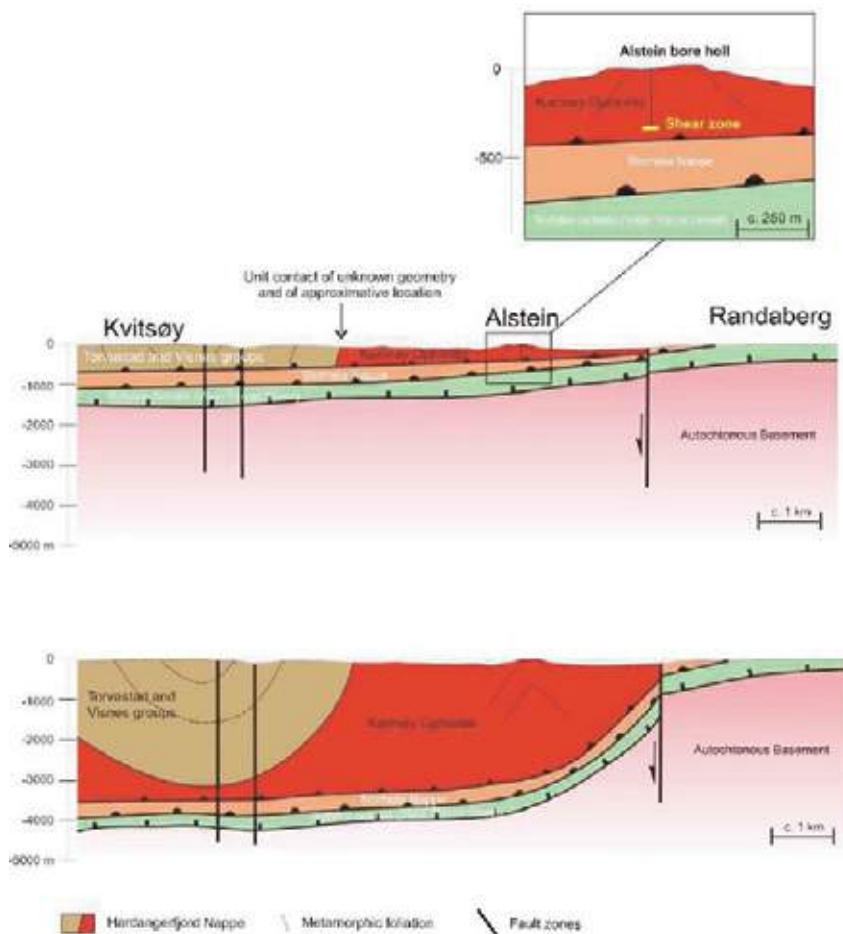
NGI har laget en samlerapport (NGI: Rogfast – Geologisk samlerapport, 25. juni 2010) som sammenfatter en rekke tekniske rapporter, masteroppgaver i flere ulike fagdisipliner som geologi, refraksjonsseismikk, akustikk, magnetometri og ingeniørgeologi. I tillegg er det tatt inn erfaringer fra utførte tunnelanlegg i regionen. I et sammendrag fra denne samlerapporten kan man lese at Rogfasttunnelen går gjennom et område med komplisert geologi i form av flere skyvedekker og forkastninger, hvor mange bergartstyper er representert. Det er definert fire skyvedekker over grunnfjellet, som hovedsakelig består av granittiske og diorittiske gneiser.

Tunnelen ventes å gå gjennom fyllitt og glimmerskifer de første ca. 6,3 km fra Randaberg, inntil den treffer en antatt forkastning i dette området. Dersom fyllitten er tynn, kan tunnelen komme ned i grunnfjellet før den når forkastningen. Avhengig av spranghøyden i forkastningen, ventes tunnelen deretter å gå inn i Karmøyofiolitten med gabbroiske gneiser, gangbergarter, vulkanske bergarter og sedimenter, samt ultrafmafiske bergarter (mørke og kvartsfrie). Hvis spranghøyden er større, kan tunnelen komme inn i Storheiadekket med granittiske og diorittiske gneiser, som ligger under Karmøyofiolitten, eller helt ned til fyllitten.



Figur 2 Geologisk kart over området. Blå strek markerer tunneltraseen.

Det er antatt å være flere forkastninger mellom Alstein og Kvitsøy, som kan gi variasjoner mellom de nevnte bergartstypene i tunnelen. På Kvitsøy og på småøyene øst og sør for Kvitsøy opptrer det i tillegg til de nevnte bergarter i Karmøyofiolitten også grønnstein og klorittskifer. Bergartsfordelingen mellom Kvitsøy og Bokn er svært usikker, men antas å gå gjennom en stor forkastning en snau kilometer nord for Kvitsøy, og deretter gå inn i tynne lag av de nevnte dekker og etter hvert inn i grunnfjellsgneiser. Folding eller undulering av dekkene kan føre til at tunnelen går inn og ut av dekkene flere ganger. Nær Arsvågen på Bokn vil tunnelen gå i fyllitt fram til påhugget.

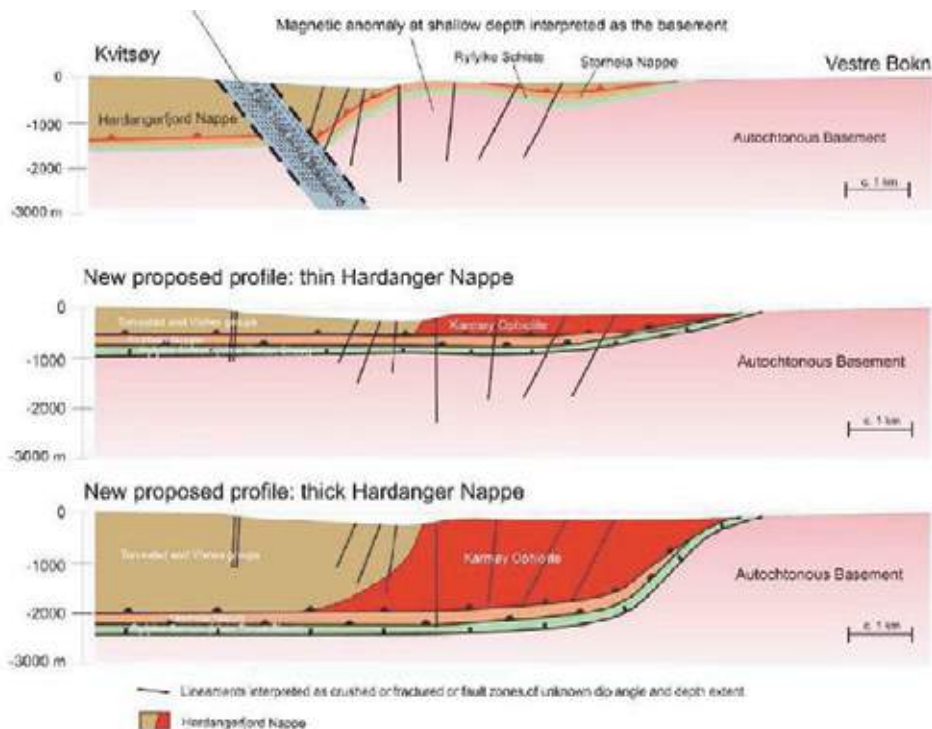


Figur 3 Mulige geologiske modeller for strekningen Randaberg – Kvitsøy

Utførte sprekkemålinger viser at det står både et framherskende sprekkesett og foliasjon i retning nordnordøst-sørsørvest både ved Randaberg og på Kvitsøy. Foliasjonen har lav

fallvinkel mot vest på Randaberg og varierer mye på grunn av folding på Kvitsøy. Ved Arsvågen står både hovedsprekkene og foliasjonen omtrent nord-sør med varierende fall mot øst. Mange steder opptrer det et sett med tverrsprekker. Tunnelen vil krysse under mange djuprenner med lave seismiske hastigheter. Basert på målinger i regionen, antas det å være moderate til høye horisontale spenninger i berggrunnen langs Rogfasttunnelen.

Refraksjonsseismiske målinger i nær alle djuprennene langs tunneltraseen viser hastigheter fra 2200 m/s til 6300 m/s, med 8% av lengden mindre enn 4000 m/s, og 84,5 % over 4500 m/s. Disse tallene er konvertert til bergmassekvalitet etter Q-systemet, kalibrert mot erfaringer fra tunneler i nærheten, som grunnlag for sikringsestimat. Basert på alle seismiske profilene forventes nær 50% av tunnellengden å ha Q-verdier over over 4, dvs. middels god bergkvalitet, mens 25% ligger i intervallet $Q=1-4$. Dette antas å være en konservativ prognose da de seismiske profilene er målt i djuprennene, som normalt har lavere hastighet enn gjennomsnitt for hele tunneltraseen. Tunnelene i Finnfast og Rennfast-prosjektene har omtrent samme variasjonsområde for Q-verdier, men har mindre prosentandel med Q-verdi mindre enn 1. Fordelt på ulike energiabsorpsjonklasser er det estimert ca. 3 m³ fiberarmert sprøytebetong, 6,2 sikringsbolter og 2,9 forbolter pr meter tunnel basert på en enkelt tunnel med tverrsnitt T 9,5.

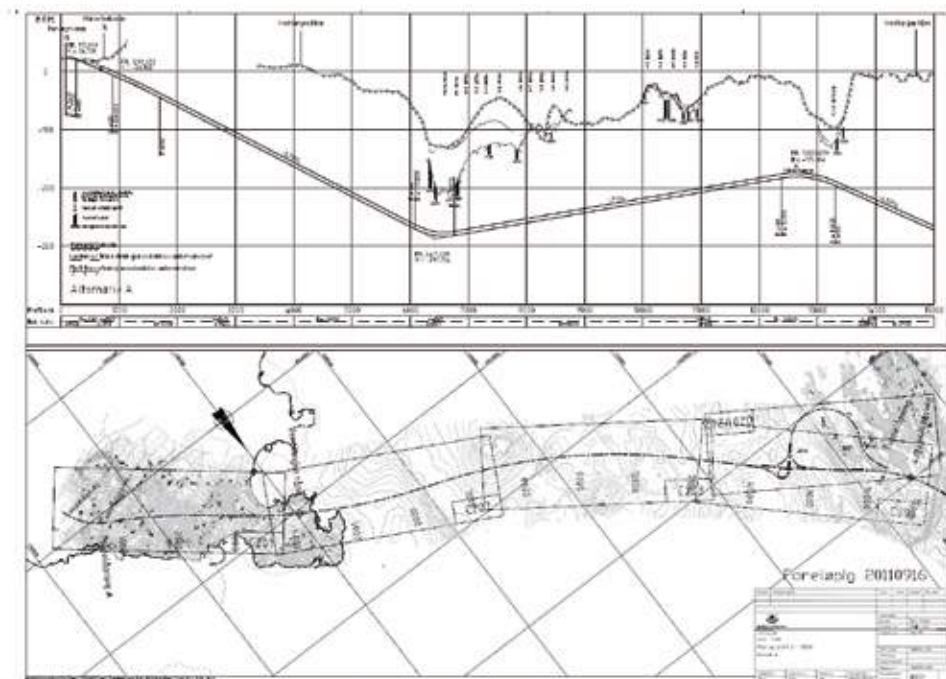


Figur 4 Mulige geologiske profiler for strekningen Kvitsøy – Vestre-Bokn.

Det er utført en studie av potensialet for vannlekkasjer i tunnelen, basert på erfaringer fra tunneler i samme området. Det er erfart lite lekkasjer i fyllitt og glimmergneis, mens det er moderate lekkasjer i de andre bergartene, avhengig av spenninger og sprekkeretninger. Ut fra de samme studiene er det estimert lite injeksjonsbehov over 66% av tunnellengden og lite til moderat injeksjonsbehov over ytterligere 27% av tunnellengden. Over bare 7% av tunnellengden antas det å være stort til meget stort injeksjonsbehov.

TUNNELTRASEEN

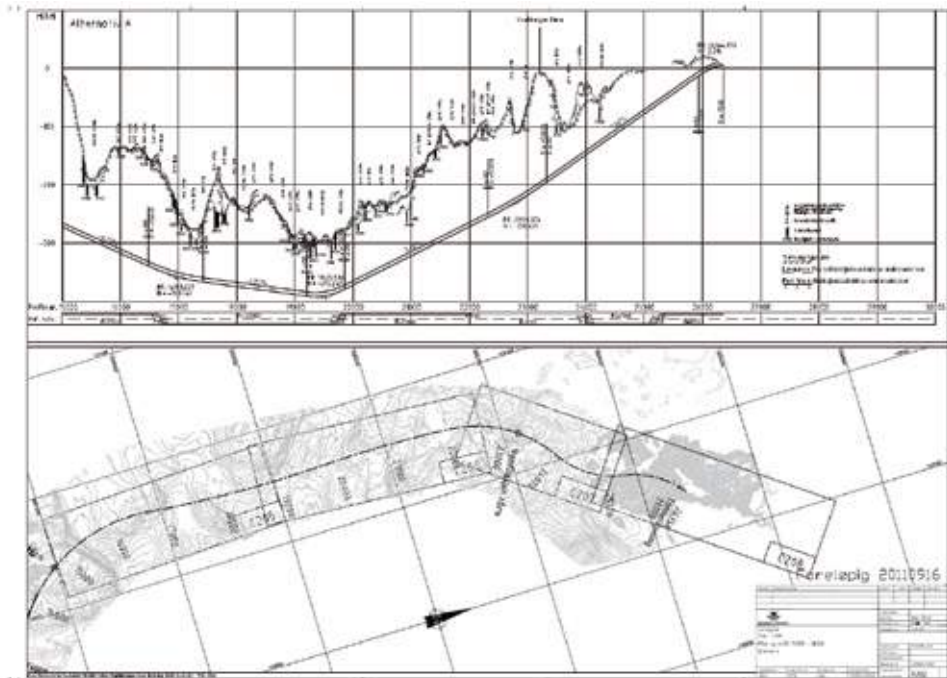
Tunnelen er planlagt som en to-løps tunnel med tverrsnitt 2 x T9,5. Armen opp til Kvitsøy var opprinnelig planlagt som en ettløps tunnel, men mye tyder nå på at denne armen også må ha to løp av branntekniske og sikkerhetsmessige hensyn. Linjeføringen er dimensjonert etter dimensjoneringsklasse S9, dvs. med dimensjonerende hastighet på 100 km/t. På grunn av lengden er monotonien forsøkt brutt ved å legge inn store horisontale radier mellom 3.800m og 20.000m.



Figur 5 Tunneltraseen fra Randaberg til Kvitsøy.

Max stigning på tunnelen er 7%. Den ligger i stigningen opp mot Arsvågen og har en lengde på ca. 3,5 km. For øvrig er stigningene 5% eller mindre. Det vurderes å legge inn et ekstra krabbefelt i 7% stigningen opp mot Arsvågen.

Max. dybde er 390 m u.h. Den ligger omtrent midtveis mellom Kvitsøy og Arsvågen.



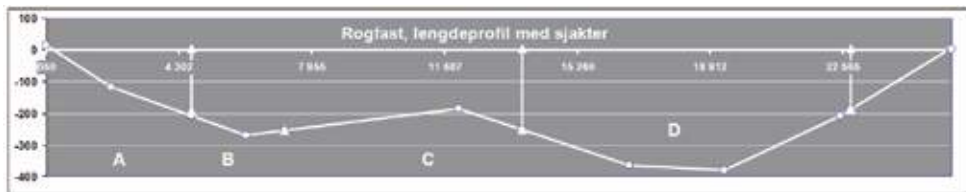
Figur 6 Tunneltraseen fra Kvitsøy til Randaberg.

Krysset mellom Rogfast og tunnelarmen til Kvitsøy er foreslått laget som et toplanskryss med form som et trompetkryss med fire ramper. Kryss i tunnel på TERN-vegnett er ikke tillatt dersom man skal følge EU's tunnelsikkerhetsdirektiv. I forbindelse med kommunedelplanen for Rogfast har imidlertid Vegdirektoratet innvilget fravik fra dette kravet. Krysset skaper imidlertid et brudd i forutsetningen om at de to løp i hovedtunnelen skal være separate brannceller. En mulig løsning på dette kan være å introdusere brannrør i tunnelløpene til Kvitsøy.

VENTILASJON

Det er lagt til grunn et ventilasjonsprinsipp med langslufting og tre doble sjakter. Dette gir et enkelt og fleksibelt ventilasjonsanlegg som kan bygges ut i takt med trafikken. De tre sjaktene vil bli plassert på Golfbanen på Tungenes på fastlandet i sør, på Kvitsøy og på øya Kråka nær Arsvågen i nord.

En gjennomført ventilasjonsberegning viser at stempeleffekten fra trafikken i lange perioder blir stor nok til å blåse lufta på langs av tunnelen så lenge det er enveis trafikk. Ved tovegstrafikk (avvikssituasjon) og ved stor trafikk i en retning trengs det ekstra skyvkraft fra impulsifter i tunnelhengen.



Figur 7 Lengdeprofil med tre ventilasjonssjakter.

I utgangspunktet vil tunnelen bli dimensjonert for 100 MW brann. I ROS-analysen vil det bli belyst scenarier med høyere branneffekter. I hovedtunnelen blir det lufttette sluser mellom løpene. Ved brann i hovedtunnelen blir røyken ført i trafikkretningen fram til nærmeste sjakt eller portal. Krysset med arm til Kvitsøy skaper spesielle utfordringer, men hovedprinsippet vil være at trykkdifferansen mellom nord- og sørgående løp justeres slik at det blir nok overtrykk til å unngå røykspredning til begge løp i kryssområdet. Ved en stor brann i nordgående løp nær portalen på Randaberg eller i sørgående løp nær portalen i Arsvågen, vil den varme røyken gi stor oppdrift (skorsteinseffekt).

Det er i utgangspunktet ikke forutsatt renseanlegg for støv og sot. Når trafikken nærmer seg 10.000 kjøretøy pr. døgn, må det imidlertid vurderes å etablere et slikt renseanlegg for å øke kapasiteten ved tovegstrafikk og redusere energibehovet ved normal trafikk.

RISIKO OG SÅRBARHET

Rogfasttunnelen vil bli mellom 25 og 26 km lang og ha en trafikkmengde i åpningsåret på nærmere 5000 i ÅDT. Når bompengene faller bort etter, om lag 20 år vil trafikken stige til ca. 13.000 i ÅDT. Standardkravene til norske vegtunneler er beskrevet i Håndbok 021 – Vegtunneler. Disse standardkrav gjelder for tunneler inntil 10 km lengde. For lengre tunneler må det gjøres særskilte vurderinger. Rogfast er i denne kategorien og en risiko- og sårbarhetsanalyse vil være et svært sentralt redskap for å definere en standard i tunnelen som gir en god og trafiksikker tunnel. Det ble gjennomført en slik analyse i 2006 i forbindelse

med kommunedelplanen for prosjektet. I forbindelse med reguleringsplanleggingen av prosjektet vil man imidlertid gjennomføre en ny gjennomgang av risiko- og sårbarheten i prosjektet.

Den ROS-analysen som skal gjennomføres skal dekke

- Normalsituasjonen
- Avvikssituasjoner / driftsperioden
- Anleggsperioden

Gjennomføringen av ROS-analysen skal følge kravene i veilederen for risikoanalyser i vegtunneler (2007) der det er angitt fem trinn i risikoanalyseprosessen. Disse er:

- Beskrivelse av analyseobjekt, formål og vurderingskriterier. Avgrensning, hensikt og krav.
- Identifisere sikkerhetsproblemer. Hvilke uønskede hendelser kan inntreffe og hvor.
- Vurdere risiko. Hvor ofte kan de uønskede hendelsene inntreffe og hva er konsekvensene?
- Foreslå tiltak. Hva er effektive risikohåndterende tiltak?
- Dokumentere. Beskrive datagrunnlag, framgangsmåte og resultater av vurderingen.

Rogfasttunnelen er i utgangspunktet plassert i høyeste sikkerhetsklasse (F), to løp med to felt i hvert løp, med tilhørende sikkerhetsutsyr. I utgangspunktet betyr dette en tunnel med mye innebygd sikkerhet. Overordnede sikkerhetsvurderinger tilsier imidlertid at det er forhold man må være spesielt oppmerksom på.

Rogfast er en meget lang, undersjøisk tunnel med til dels stor stigning. Risikoen for en storulykke og to samtidige hendelser må vurderes spesielt. Opplevd risiko er et annet aspekt som må undergis en grundig vurdering. Klassifiseringen i HB021 tar ikke hensyn til lengder som overstiger 10 km. Dimensjonerende brann er i HB021 satt til 100 MW. Det må undersøkes om det kan gi noen sikkerhetsmessig gevinst å øke dimensjonerende brann til 200 MW.

Armen til Kvitsøy gir spesielle utfordringer. For en trafikant til/fra Kvitsøy vil tunnelen være 12 – 15 km lang. Det betyr at den må ha samme klasse som hovedtunnelen. Det stiller andre krav enn det som opprinnelig var forutsatt (ettløps tunnel).

Kryss inne i tunnel er også spesielt, og er i utgangspunktet ikke tillatt på TERN-vegnettet. Selv om det er godkjent fravik på dette punkt må krysset vies spesiell oppmerksomhet i ROS-analysen. Blant annet må overgang fra enveistrafikk til toveistrafikk (når man skal til Kvitsøy) vies spesiell oppmerksomhet.

Eksempler på tiltak som skal vurderes :

- Gangbare tverrforbindelser mellom tunnellop (nødutganger). Minimumsavstand ifølge HB021 er 250 m. Effekten av å redusere denne avstanden til 125 m vil bli vurdert.

- Gjennomkjøringsmulighet for beredskapskjøretøy i tverrtunnel vil bli vurdert. En mulig løsning vil være å etablere kjørbare tverrtunneler for hver 1250 – 1500 m i tunnelen.
- Tunnelarmen til Kvitsøy er opprinnelig planlagt som en ettløps tunnel. Det vil bli vurdert å etablere denne også med to løp.
- Krabbefelt i stigninger som overstiger 5%. Vil gjelde ca. 3,5 km stigning opp mot Arsvågen, der det kan være aktuelt å anlegge et tredje felt oppover for å gi de tyngste kjøretøyene eget krabbefelt.
- HB021 angir en avstand på 250 m mellom havarinisjer i tunnelen. Det skal vurderes å redusere denne avstanden, eller å erstatte havarinisjene med eget sammenhengende havarifelt.
- Det vil bli vurdert kjørbare tverrforbindelser til bruk for avvikssituasjoner som trafikkulykker og vedlikehold/vegarbeid. Dette vil innebære toveistrafikk i et løp for deler av tunnelen. Et eksempel på det er å etablere kjørbare tverrforbindelser for all trafikk hver 4 km.
- HB021 angir ingen spesielle tiltak for å få kjøretøy til å holde avstand. Tiltak som kan minske risikoen for påkjøring bakfra ulykker og reduksjon av risikoen for spredning av brann vil bli vurdert.
- Kjøring i lange tunneler kan føre til trøtthet, uoppmerksomhet og angst. Tiltak som vil bli vurdert er å variere tverrsnittet gjennom tunnelen, for å bidra til å bryte den rommessige monotonien trafikantene blir utsatt for, bruk av lys, markering av spesielle punkter m.m.
- Effekten av aktive slokkesystem vil bli vurdert (deluge, sprinkler, vanntåke).
- I forhold til brann / redningstjenesten vil effekten av egen oppstillingsplass for farlig gods og beredskapskjøretøy bli vurdert. I tillegg må det vurderes egen vegtrafikksentral for tunneler i området og driftsbygg for brann / redningstjeneste ved tunnelmunning.

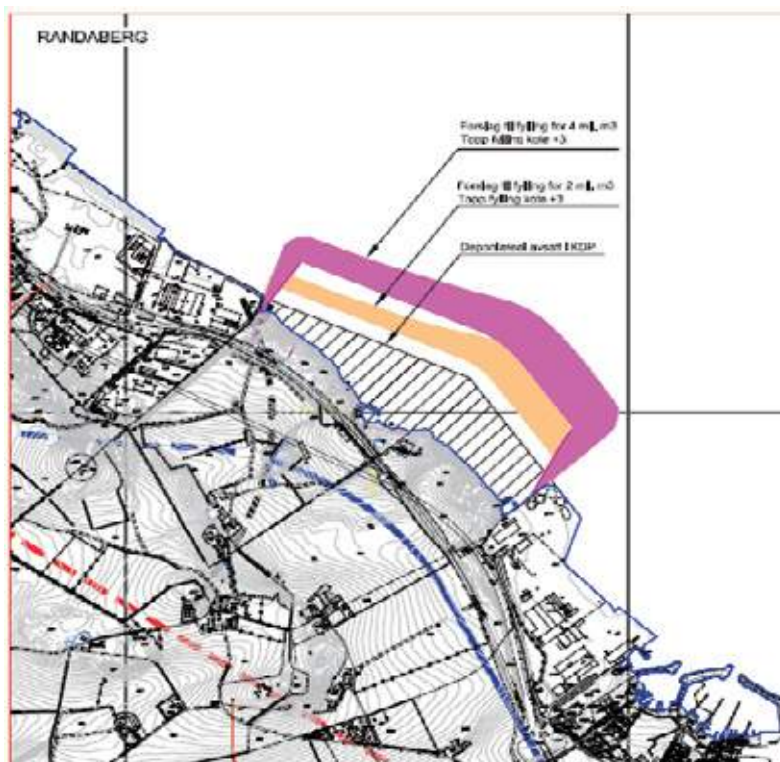
ROS-analysen for prosjektet skal gjennomføres i løpet av høsten 2011.

MASSEDISPONERING

Rogfast vil generere et stort masseoverskudd. Grovt beregnet vil masseoverskuddet bli på ca. 6 mill.pfm³. En optimal utførelse av byggingen av prosjektet tilsier drift av 8 tunnelstuffer samtidig, for å minimalisere byggetiden. Det innebærer i utgangspunktet tre angrepspunkter, Randaberg, Kvitsøy og Bokn. Fra Kvitsøy vil armen drives først, og deretter må drivingen fortsette i begge tunnelløp både mot Randaberg og mot Bokn. En slik strategi for tunneldrivingen vil føre til at ca. halvparten av massene tas ut på Kvitsøy, mens ¼-del tas ut på henholdsvis Bokn og på Randaberg.

Fylkesmennene stiller nå krav til at overskuddsmasser skal brukes til samfunnsnyttige formål. Det betyr at de ikke vil akseptere formålsløs dumping av et masseoverskudd. I

prosjektplanleggingen har det derfor blitt et viktig moment å starte planleggingen av bruken av masseoverskuddet tidlig. På Bokn og i Randaberg ligger det godt til rette for at massene kan brukes til utfylling i sjø eller på land, hvor arealene som oppstår kan brukes til næringsformål. På Kvitsøy derimot er dette betydelig vanskeligere, fordi alle utfyllinger vil måtte foregå i en sårbar skjærgård. Dersom resultatet blir at man ikke kan drive en vesentlig del av tunnelen fra Kvitsøy, vil det ha betydning for byggetiden, og prosjektet kan bli betydelig dyrere. I tillegg må man ta høyde for betydelig større massedeponi i Randaberg og på Bokn.



Figur 8 Aktuelt utfyllingsområde i Randaberg.

VIDERE PLANLEGGING

Kommunedelplanen for Rogfast ble endelig godkjent i 2011. Planen innbefatter også plan for vegtilknytning i dagsonene i Randaberg, Kvitsøy og Bokn. Det er nå varslet oppstart av reguleringsplanlegging av Rogfast. Reguleringsplanleggingen skal omfatte utarbeidelse av

arealplaner og tekniske planer som skal gi grunnlag for behandling i den enkelte berørte kommune. I tillegg skal den tekniske planleggingen være ført så langt at det er mulig å utarbeide kostnadsoverslag med +/- 10% usikkerhet. Cowi a.s. er engasjert som konsulent for å bistå med reguleringsplanleggingen.

Det foreligger nå forprosjekt på de vesentligste elementer i prosjektet. ROS-analysen er svært sentral i det videre arbeid, og vil være styrende for videre framdrift i prosjektet. Den ventes ferdigstilt i løpet av 2011.

Reguleringsplanene for dagsonene skal ferdigstilles innen sommeren 2012, slik at de kan legges ut til offentlig ettersyn etter sommeren 2012. Forhåpentligvis kan man klare å få godkjente reguleringsplaner for de vesentligste delene av prosjektet tidlig i 2013.

Det vil også bli gjennomført en studie av bruk av TBM på prosjektet. Begrensede muligheter for å deponere masse på Kvitsøy kan aktualisere bruk av TBM for å få ned byggetiden.

Kåseri av Gunnar Berg

Historien om Telemarkkanalen - og ingeniørenes spor langs Telemarkvassdraget -

Gjennom mer enn 1000 år har det blitt fraktet store mengder brynestein, jernmalm og trelast ned vassdraget. På 1600-tallet ble Telemark landets ledende trelastsenter og store mengder tømmer ble fløtet ned til sagene ved Ulefoss og Skien. De gamle jernverkene brukte vassdraget til transport av malm, trekull og andre produkter. Det var hardt arbeid å få alt dette forbi fosser og stryk. I 1800 ble det nedsatt en kommisjon for å se på ”farbargjørelsen” ved Vrangfoss. Det førte til dannelsen av Kanalvesenet, forløperen til Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen (NVE).

Kanaliseringen av vassdraget ble vedtatt i 1854, samme år som Norges første jernbane ble åpnet. Landets ledende tekniske kompetanse dro til Telemark. Johan Tullin Thams var den første bestyrer på kanalanlegget. Han ble senere kanaldirektør med Alexander Waligorski som assistent. Peter Andreas Blix og Jens T.P. Vogt, to av de som stiftet Norske Ingeniørers og Arkitekters Forening, var også med. Kanaleksperter Engebret Scot var konsulent. Norsjø-Skienkanalen ble åpnet for 150 år siden. Arbeidet med Bandakkanalen ble satt i gang i 1887 med Gunnar Sætren som byggeleder. Han ble den første direktøren i Vassdragsvesenet.

Sam Eyde deltok som ung ingeniør. Det første elektrisitetsverket i Norge, Laugstøl Bruk, ble åpnet i Skien i 1885. Mennene bak det var Gunnar Knudsen og H.C.Hansen. Da Bandakkanalen ble åpnet i 1892, ble det betegnet som ingeniørkunst. Konger og fint folk valfartet til det fantastiske anlegget.

Sluseanleggene gjorde Heddalsvatnet til en ”buk i havet”. Dermed kunne Sam Eyde legge Norsk Hydros første industrianlegg til Notodden. 25 år gammel ble Sigurd Kloumann byggeleder for byggingen av Norsk Hydros første fabrikk. Driften ble satt i gang 2. mai 1905. Kloumann ledet også industrireisingen på Rjukan.

En tur på Telemarksvassdraget er ikke bare en reise i vakker natur. Det er også en reise gjennom Norges samferdselshistorie, gjennom landets industrihistorie fra oppgangssag til gassteknologi og en reise gjennom vasskraftens historie fra fossefall og fram til i dag. De ingeniører som er nevnt var ikke alene, men gjennom sin iherdige innsats bidro de til å bygge landet. Deres livsverk la grunnlaget for vår velstand. I dag er Telemarkskanalen en langsom og uanselig turistattraksjon. I sin storhetstid var den helt uunnværlig, men nå har de fleste glemt hvilken sentral og viktig rolle den spilte i utviklingen av Telemark og Norges industrihistorie. Uten de vakre sluseanleggene ville Telemark ha sett annerledes ut.

Gunnar Berg som er sivilingeniør fra NTH, har arbeidet som byplanlegger og byplansjef i Porsgrunn kommune. Han var tilknyttet Telemarkskanalen som fylkesarkitekt i perioden 1997 – 1999 og som prosjektleder på Telemarkskanalen i perioden 1999 – 2001. Gunnar Berg var visepresident i NIF i 1999 - 2001 og President i Tekna i perioden 2001 - 2005.



Sivilingeniør Heidi Berg
ViaNova Systems AS

NYTT FRA AKTIVITETEN I NFF

Innlegget gitt muntlig på konferansen uten utgivelse av skriftlig referat.

LØRENTUNNELEN (RV.150 RING 3 ULVEN – SINSEN)

Siv.ing Jørn Audun Gjennestad, Veidekke Entreprenør AS

SAMMENDRAG

Lørentunnelen bygges for å føre dagens Ring 3 under bakken fra Økern til Sinsen. Hensikten med prosjektet er å bedre det lokale bydelsmiljøet og øke trafikkkapasiteten og sikkerheten.

Utfordringene med prosjektet knytter seg til at det skal sprenges og bygges i tettbebygd strøk, med store trafikkmengder rett utenfor anleggsgjerdet. Det er viktig at både byggherre, rådgivende og entreprenør tar hensyn til omgivelsene og 3. part i alle planer og utførelse.

To av suksesskriteriene for prosjektet var at de strenge kravene til innlekkasje og rystelser ble overholdt. Dette ble utført ved systematisk forinjeksjon og ved å ha stort fokus på gode sprengningsplaner.

SUMMARY

The purpose of the project Lørentunnelen is to excavate a tunnel for the road Ring 3, between Økern and Sinsen. This will make the local environment better, and improve the capacity and safety of the road.

The main challenges of the project has been with blasting and construction work in a densely populated area. There is heavy traffic just outside the plant. It is important that the client, consultants and the contractor takes the environment and the 3. person into consideration in all planning and execution of the work.

The criteria of success in this project were to controll the water leakage by executing systematically pregrouting, and controlling the vibrations by focusing on good plans for blasting.

BAKGRUNN**Rv. 150 Ring 3 Ulven – Sinsen**

Rv. 150 Ring 3 er en stamvegrute for både gjennomgangstrafikk og lokaltrafikk i Oslo. Ring 3 er definert som strekningen som strekker seg fra Ryen-krysset og til E18 ved Fornebu.

Prosjektet Rv. 150 Ring 3 Sinsen – Ulven strekker seg fra Sinsenkrysset via Økernkrysset til avkjøring ved Ulvensplitten. Store Ringvei, som den het før, var ferdig mellom Økern og Sinsen i 1962, til allerede da sprengt kapasitet. Sinsenkrysset, som er et 3 plans kryss, sist ombygget i 1994, vil bli minimalt berørt av prosjektet. Det er et av Oslos knutepunkt hvor Riksvei 4, med ÅDT 36 200 og Ring 3 møtes med ÅDT 75 000.

Området rundt Økern er et annet knutepunkt i Oslo. Her møtes Ring 3 med ÅDT 75 000 med Østre Aker vei / Riksvei 163 med ÅDT 38600. I tillegg medfører Lørenveien og Økernveien mye lokaltrafikk. Krysset og strekningen Ulven - Sinsen har vært svært ulykkesbelastet. I perioden 2001 -2004 ble det registrert totalt 95 trafikkulykker med personskade, derav to dødsulykker og to med alvorlig personskade.

Strekningen går gjennom tett bebyggelse, og strekningen tilfredsstiller ikke krav til vegbredde, trafiksikkerhet og støy- og luftforurensing.

Målet for prosjektet er:

- Bedre miljø
- Økt trafiksikkerhet
- Mer effektiv trafikkavvikling
- Tilrettelegge for bo- og næringsutvikling i tråd med kommunedelplan for Økernområdet.

Prosjektet hadde en oppstart i februar 2005, mens de store entreprisene startet opp i 2008, etter en runde med omprosjektering. Det er flere delfrister for prosjektet, men trafikken vil bli satt på i nytt veisystem sommeren 2013. Byggherre er Statens Vegvesen Region Øst og det er selskapene Dr. Ing Aas Jakobsen og Norconsult som nå i samarbeid har prosjekteringen. Prosjektet har en økonomisk styringsramme på 3,8 mrd 2011-kr, gjennom Oslopakke 3.

Prosjektet som skal skille lokaltrafikken og gjennomgangstrafikken. For å få til dette og for å nå prosjektets målsetting, skal følgende gjøres:

- Ring 3 legges i tunnel mellom Økern og Sinsen (Lørentunnelen)
- Østre Aker vei legges i tunnel forbi Økern (Økerntunnelen)
- Etablere flere nye lokalvegforbindelser internt på Økern.
- Tilrettelegge for nytt kollektivknutepunkt på Økern, og oppgradere Økern T-banestasjon.



Figur 1 De store entreprisene ved prosjekt Rv. 150 Ring 3 Uleven - Sinsen

Det omfattende arbeidet er delt inn i flere entrepriser. De store byggeentreprisene er:

ENTREPRISE	PERIODE	ENTREPRENØR
E01 - Forbredende arbeider	2005-2006	Betonmast og Hafslund Entreprenør AS
Groftarbeid, nye gangveger, nedmontering høyspent og omfattende kabelarbider.		
E24 Omlegging Ring 3 og VA	2008	Veidekke Entreprenør AS
Omlegging Ring 3, frigi byggegrop Økern, bygge ny rundkjøring og kulvert for anleggsadkomst.		
E03 Lokalveg Hasle-Valle-Ulven	2008-2010	NCC Construction AS
Etablere vegnett for å frigi byggegrop på Økern, som vil inngår i fremtidig lokalvegnett.		
E23 Økern T-bane	2008-2011	Veidekke Entreprenør AS
Oppgradere Økern til et kollektivknutepunkt med blant annet å oppgradere T-bane til metrostandard og etablere nye ramper for buss. I tillegg er det veibygging tilknyttet Østre-Aker vei og lokalveiene.		
E20 Lørentunnelen	2008-2013	Veidekke Entreprenør AS
Etablere byggegrop og bygge kulverter på Økern og Sinsen, spreng og innrede Lørentunnelen, to løp av T12,5, ferdig innredet, klar for elektro og tekniske entrepriser.		
E22 Økern	2009-2013	Veidekke Entreprenør AS
Etablere fremtidig kryss / knutepunkt på Økern. Forlenge kulvert for Lørentunnelen på Ring 3 og bygge Økerntunnelen i betong for Rv 163 Østre Aker vei.		
E27 Avsluttende arbeider	2014	Kommer ut senere.
Reetablere gammelt kjøremønster på Ulvensplitten, bygge om rundkjøringer til permanente lokalveger.		

Tabell 1 De store entreprisene på prosjektet Rv 150 Ring 3 Ulven – Sinsen

Lørentunnelen

Kontrakten for entreprisen E20 Lørentunnelen ble tildelt Veidekke Entreprenør AS i august 2008. Kontraktsummen er på 622 mill kr. Det er en tradisjonell enhetspriskontrakt, som er delt i tre elementer: Dagsone Økern, Fjelltunnel og Dagsone Sinsen.

Lørentunnelen blir bygget med to løp, med tre felt i hver retning. Lengden blir ca 1200m, hvorav 915m er i fjell. På Økern består Lørentunnelen av ca 170m betongtunnel og den vil også få en påkjøringstunnel i betong fra Østre Aker vei. På Sinsen bygges det ca 75m med portal. Det vil også bygges to ventilasjonstårn, samt teknisk bygg, fordelt på hver side. Tunnelen blir vann og frostsikret med betongelementer i vegg og tak, også i nisjene. Den bygges etter Vegdirektoratets høyeste sikkerhetsklasse.

Her kommer det en kort beskrivelse av hovedarbeidene:

Dagsone Økern:

- Spunting - 3000m².
- Injisere gjennom rør i spunt og foringsrør for å kunne etablere en tett byggegrop.
- Utgraving av løsmasser - 26 000 m³
- Spreng ut 45 000 m³ - minste avstand til Ring 3 var ca 5m.
- Bygge 50 m betongtunnel med to løp - ca 6300m³ betong. Tverrsnittet varierte fra T12,8 til en bredde på ca 20 m. Tunnelen skal være tett, da grunnvannstand skal tilbake til opprinnelig nivå.
- Området tilbakefylles over kulvert og det etableres nye av og påkjøringsramper til Ring 3.

Dagsone Sinsen:

- Spunting - 1000 m²
- Injisere gjennom rør i spunt
- Grave ut løsmasser - 28 000 m³
- Injisere hele byggegrop før videre sprengning.
- Sprengning av - 50 000 m³, tett på Ring 3.
- Bygge betongtunnel - to løp av ca 75m, med teknisk bygg og fundament for ventilasjonstårn. Ca 5600 m³ betong.

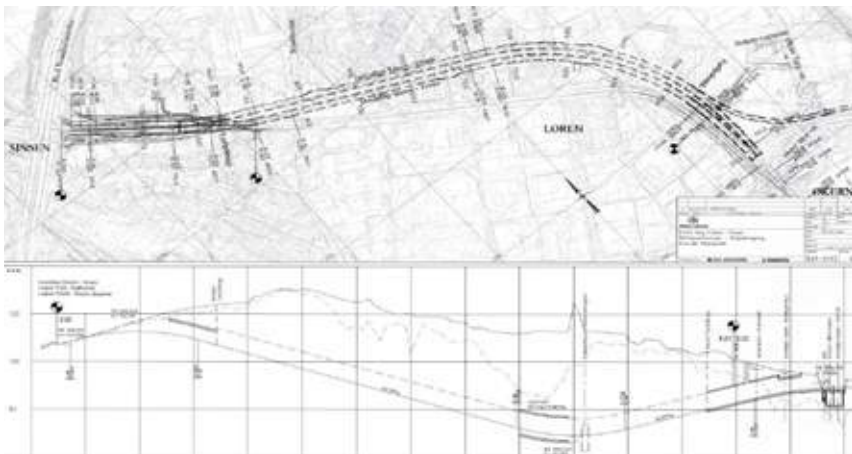
Fjelltunnelen:

- Sprengning 200 000 fm³.
- Systematisk sikring, såle til såle, med sprøytebetong. Totalt har det gått ca 10 000 m³.
- Det er sikret systematisk med bolter, totalt nesten 20 000 stk i tunnelen. Ved dårlig fjell eller lav fjelloverdekning er det også sikret med sprøytebetongbuer.
- Tunnelen tettes med systematisk forinjeksjon - totalt ca 4600 tonn.
- Det er bygget en pumpestasjon i lavbrekket.
- Tunnelen vann og frostsikres - ca 40 000 m², med betongelementer i vegg og tak.

KORT OM GEOLOGI OG UTFORMING:

Bergartene i tunnel består i hovedsak av Oslofeltets sedimentære bergarter. Det er i hovedsak leirskifer, mørk skifer og knollekalk. Det er også mange mindre og større intrusive gangbergarter bestående av Mæenitt, syenittporfyr, diabas og rombeporfyr.

Tunnelen går under to dyprenner. Den ene knyttet det seg spesielt stor usikkerhet til, da det var forventet lav bergoverdekning, 7-12m over lengre utstrekking, med 25-30m løsmassemekthet over. Det ble her også forventet dårlig fjell. På grunnlag av dette, var det usikkert hvor tett tunnelen ville bli med injeksjon, og hvordan den skulle sikres permanent. Det ble derfor beskrevet ytterligere tiltak, dvs. 2x90m vanntett utstøping rundt hele profilet, som skulle utføres etter sonen var drevet i gjennom.



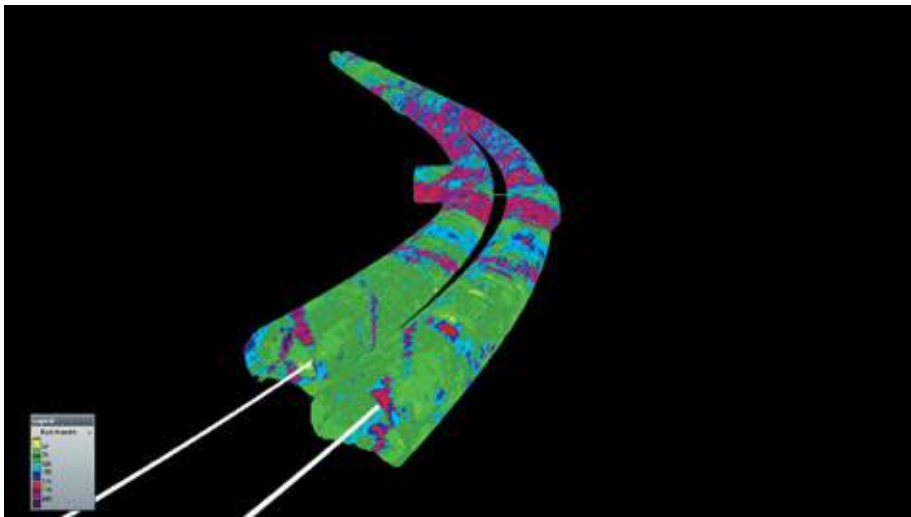
Figur 2 Lørentunnelen i plan og profil.

Tunnelen er lagt i en trase i en bue nord for dagens Ring 3. Den går ned til et lavbrekk for å komme under dyprennen. Her er det også sprengt og bygget en pumpestasjon.

GEOLOGISK KARTLEGGING:

Byggherre Statens Vegvesen stilte med ingeniørgeologer på hvert skift. De stod for den geologiske kartleggingen. Dette ble utført før sikring med sprøytebetong, og var godtgjort med timepris for utstyr og heft.

Det ble også utført systematisk bruk av borparameterlogging (BPT) eller også kalt MWD-logger (Measurement while drilling). Det ble overlevert data fra boring for injeksjon, salver, sikring og eventuelt sonderhull. På grunnlag av så mye data genererte dette en god datamodell over bergkvaliteten.



Figur 3 Modell som viser fjellels hardhet i Lørentunnelen etter tolking av MWD-logg fra boreriggen.

MWD måler parametere på boreriggen som borsynk, matekraft, rotasjonskraft, hammerkraft, rotasjonshastighet, vanntrykk og vannmengde. Ut fra dette genereres en modell av tunnelen som viser fjellels hardhet, sprekker og vann.

Geologene fikk da en føling med hva som ventet de neste 20m av tunnelen, slik at en kunne starte med sikring i forkant av de dårlige sonene. Det var et hjelpemiddel for å sikre en god injeksjon, da de kunne tolke sprekker, permeabilitet og vannet i fjellet. I tillegg får de en ekstra kontroll av egen kartlegging og det er et bra verktøy for å sikre god sluttdokumentasjon.

Ut fra den geologiske kartleggingen, MWD og forundersøkelsene, beskrev geologene injeksjonsopplegget og bestilte sikring. Det siste ble utført ved å lage sikringsklasser ut fra hva behovet for permanent sikring trolig ville bli. Det ble i etterkant kontrollert, og supplert med sikring bak stuff, der dette var nødvendig.

FOKUSOMRÅDER / SUKSESKRITERIER FOR PROSJEKTET:

Sprengning i tettbebygd område:

Sprengningsarbeidet i dagssonene på Økern og Sinsen foregår i områder med både tett bebyggelse og mye trafikk. Begge byggegropene ligger parallelt med dagens Ring 3, på det minste bare 5m fra, som har svært mye trafikk. Det var også strenge krav til rystelser på nærliggende bebyggelse. Spesielt ved Gamle Løren skole som hadde krav på 15 mm/s – og med en minste avstand på 15m.

Sprengningsarbeidet krevde god planlegging, og det ble utarbeidet en omfattende sprengningsplan. Planen ble utarbeidet av skytebas Geir Jørgensen fra GJ Entreprenør AS, som utførte dagsprengingen, sammen med representanter fra Veidekke. Dette ble kvalitetssikret av en uavhengig ekspertgruppe, slik kontrakten krevde, bestående av Jan Mehren og Bjørn Buen, og i samspill med Statens Vegvesen, hovedsakelig ved Arild Neby.

Alle skjæringsflater ble sømboret. Det ble her også utført presplitting med 80g detonerende lunte i annethvert sømhull. Dette bidrar til en penere skjæring, mindre pigging og det dempet rystelsene. Resultatet var vellykket.

Salvene var små i starten, men normalsalvene lå på 1200-1500m³. De største salvene var på 2500m³ og 3000m³. Dekkingen ble utført med stein i front, og doble matter over. Det ble også brukt fiberduk.

Den største utfordringen var å få sperret av områdene. Det var på det meste 14 poster, hvorav 6 bufferbiler for å sperre trafikken. Det var gitt tillatelse til å stoppe trafikken på Ring 3 i to 1-timers vinduer om dagen. Sperringen skulle være under 10 min, men dette ble som regel utført på ca 3-4 minutter.

Sprengningsarbeidene i dagssonene må sies å ha gått svært bra. Arbeidet ble gjennomført effektivt, spesielt med tanke på omgivelsene, og det var heller ingen uhell eller skader.

Tett tunnel:

Et annet suksesskriterium for prosjektet var å bygge en tett tunnel. Tunnelen går under et setningssensitivt område, med stedvis stor løsmassemektighet. Det er tett med bebyggelse over. Ved prosjekteringen ble det satt strenge krav til innlekkasje som ble videreført i kontrakt. Disse var, avhengig av hvor det var, enten 10 l/min/100m eller 7 l/min/100m på begge løpene til sammen. 3,5 l/min/100m på da et løp er en utfordring.

Det var lagt opp til systematisk forinjeksjon. Hovedsakelig var det lagt opp til skjermer annen hver salve, som også ble gjennomført. Skjermene var som regel 21m eller 24m lange, så det vil si at overlappen førte til dobbel skjerm gjennom hele tunnelen. Det ble på normalt profil, T12,5, boret 52 hull.

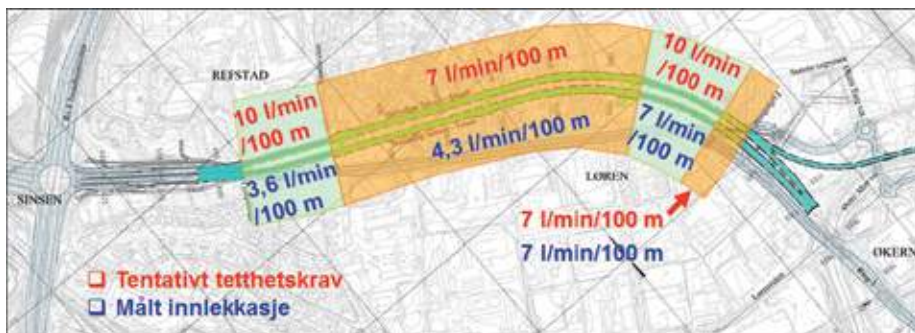
Type injeksjonsmiddel som ble brukt var ved normale forutsetninger industrisement, slik det var beskrevet. Det ble likevel benyttet mikrofin sement i områder som var ekstra sensitive, lav overdekning, våte eller der vi slet med å oppnå ønsket tetthet med industrisementen. Stoppkriteriene var som regel et trykk på 80 bar og/eller 1500 l/hull, men dette ble noe redusert der avtagende overdekningen tilsa at dette var nødvendig.

Under dyprennen ble det valgt å gå på med tettere skjermer, det vil si hver 5,5 meter. Her ble det også vurdert om de første hullene skulle injiseres som en sperreskjerm. Injeksjonsmiddel var mikrofin sement, og ønsket makstrykk var 40 bar i heng. Forundersøkelsene antok at fjelloverdekningen skulle være 6-7m. Boring fra tunnelen, ut i løsmassene, skulle ut fra stikning og lengde teoretisk tyde på 3m fjelloverdekning. Hullene viste seg å ha betydelig avvik i retning, etter at de ble kontrollert med avviksmål, og virkelig overdekning viste seg å være 5,5m.

Det ble også benyttet regulerbar avbinding, styrt herding. Dette ble gjort ved behov, der vi injiserte med mikrofin sement, da det er der effekten er størst. Det er et nyttig virkemiddel for å oppnå ønsket trykk. Vi hadde periodevis litt problemer med å få til den ønskede effekten. Det er svært viktig å holde en god kontroll på at man får tilsatt riktig mengde med akselerator. Tiltaket ble å installere mengdemåler også på akseleratorpumpen.

Totalt ble det injisert 2800 tonn med industrisement og 1850 tonn med mikrofin sement, på 3800 timer. Det ble boret 220 000 m med injeksjonshull. Mengdene er omtrent som det beskrevne i kontrakten, men med en økning på mikrofin sement.

Resultatet av injeksjonen totalt sett må sies å være svært vellykket. Total innlekkasje er godt under de krav som ble satt i prosjekteringsfasen. I de områdene hvor en hadde størst grunn til å frykte større innlekkasje, så det ut til å være svært tørt. Det er noen få områder som har noe større lekkasje enn ønskelig. Det ble forsøkt etterinjeksjon med koloidal silika, uten ønsket resultat.

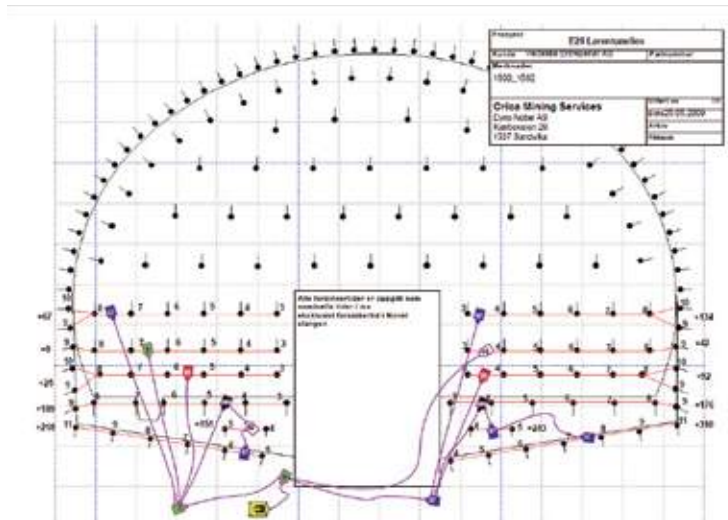


Figur 4 Tetthetskrav (rødt) og oppnådd innlekkasje (blått). Tallene er samlet innlekkasje på begge løp.

Konsekvensen av å legge såpass mye resurser og krefter i injiseringen ble at den vanntette utstøpingen under dyprennen har utgått. Effekten av en slik utstøping ville ha blitt liten, da dette området ble svært tett. Dette viser at hvis man går systematisk til verks, følger valgt strategi og har stor tålmodighet i injeksjonsarbeidet så er det fullt mulig å oppnå svært tette tunneler.

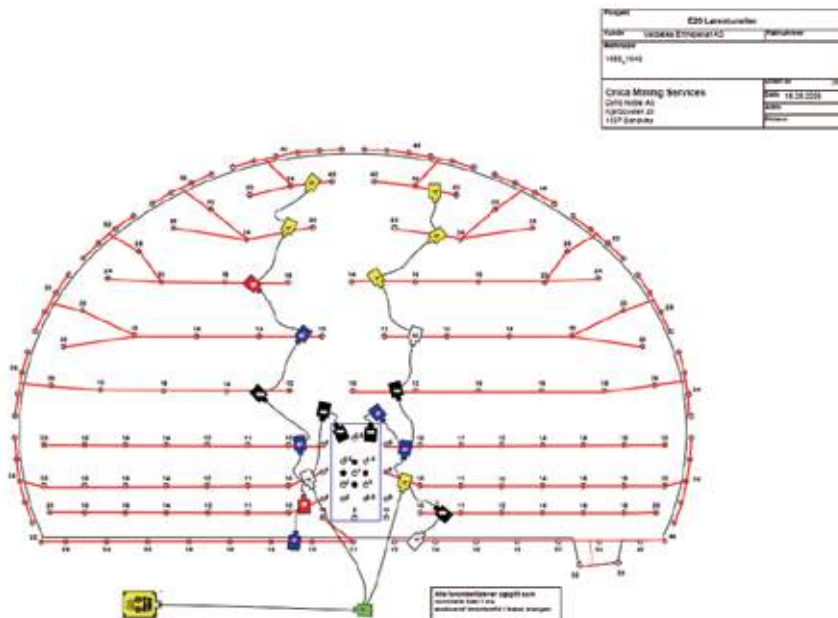
Tunnelsprengning:

De strenge kravene til rystelser fikk vi naturlig nok også i tunnelen. Det var viktig å optimalisere salveplanen for å overholde kravene til rystelsene, i tillegg måtte det i starten utføres svært forsiktig sprengning. Veidekke fikk bistand fra Orica, og salveplanen for oppstart ble utarbeidet av Arve Fauske. Dette ble dessverre den siste planen han utarbeidet, og vi kan med stolthet melde at den fungerte utmerket.



Figur 5 Tennplan for sidestross ved oppstart tunnelsprengning.

Tunnelen ble drevet fra Økern. De første salvene ble delt i tre, med pilot, sidestross og oversalve. Salvelengde var 2,5m. Dette ble gjort først og fremst for å hindre ukontrollert steinsprut, men også for å sikre at vi ikke skulle overskride rystelsene.



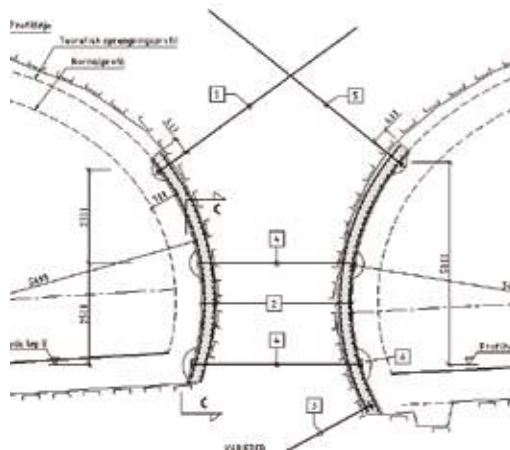
Figur 6 Tennplan for full salve.

Figur 7 Skjema med sikringsklasser for profil T12,5 og T12,8

I hovedsak var sikringen sprøytebetong og kombinasjonsbolter, dvs. CT-bolt fra Vik Ørsta. Det ble i dårligere soner satt sprøytebetongbuer og forbolter. Det ble mange av dem. Veidekke fant en svært effektiv måte å montere disse buene på. Ferdig valsede armeringsjern, med riktig radius, ble sveiset sammen på verksted med et tverrstykke. Fire seksjoner ble så montert på stoff med radielle festebolter. Dette gjorde at heften på stoff var liten.

Det skal sies at dette var svært effektivt, men resultatet på en del av sprøytebetongbuene ble dårlig. Da vi ikke var flinke nok med å sprøyte en jevn bue som underlag før montering, ble det hulrom bak noen av buene. Ved innsprøyting av buene bygget det seg for mye betong på jernene, og som førte til hulrom bak. I etterkant har vi derfor boret kontrollhull i buene for å kontrollere for hulrom. For så å tette hullrom ved injisering / gysing. Det ble også utført en omfattende kontroll med kjerneboring. Dette er ikke noe noen ønsker i en slutfase av et prosjekt, og det koster også både tid og penger.

Mot enden av tunnelen, på Sinsen, blir stabben mellom løpene smalere. I denne sonen fikk vi også dårlig fjell, med større blokker som raste ut i stabbesiden. Dette skjedde når gjennomslag var sprengt på vestgående løp, og det var 18m igjen å drive på østgående løp. Løsningen ble å sikre med doble armeringsnett som ble innsprøytet, først på det vestgående løpet før en utførte det samme ettersom østgående ble drevet til gjennomslag. De armerte sprøytebetongveggene ble spent opp med stag, som var boret og satt gjennom stabben.



Figur 8 Sikring av stabbe mot gjennomslag.

DRIVING OG FREMDRIFT

Arbeidene startet ved prosjektet i september 2008. Tiden fram til mai 2009 ble i hovedsak brukt til å ta ut byggegropen / forskjæringen på Økern. Første salve i tunnelen ble sprengt 26. mai. Gjennomslag på første løpet var 10. feb 2011, og siste salve ble sprengt 10. mars. Dette gir en drivetid på ca 21 mnd. Dette gir et snitt på ca 12-13m inndrift per løp per uke det var drift. Den uken med best inndrift ble det drevet 41m på begge løp til sammen. Når ikke inndriften var den største så skyldes det store mengder med injeksjon. Pumpetid per skjerm varierer, på det meste var den på 55 timer. Det normale lå på ca 20 timer, og det ble da pumpet ca 20 tonn.

Veidekke valgte å drive tunnelen på veksel, med en 3-boms rigg av type Atlas Copco XE3. Den var utstyr med 20-fots bom med stangmagasin. Halvveis i prosjektet fikk vi oppgradert den med automatisk stanghåndtering, Auto RHS, som et testanlegg for Atlas Copco i Norge. Dette gjør at borestrengen ved langhullsboring blir matet inn og trukket ut helt automatisk. Systemet fungerte meget tilfredsstillende, allerede fra første skjermen.

Det ble også stort sett benyttet en injeksjonsrigg, levert av Atlas Craelius. Den hadde 3 linjer, mulighet for styrt herding. Lastingen på stuff ble gjort med Cat 988H, på to dumpere til mellomlager, eller rett på bil. Fremdriften gikk som planlagt. Det ble tidlig en nokså forutsigbar drift.

Allerede før gjennomslag var de komplimenterende arbeidene i tunnelen i gang. Dette arbeidet pågår fortsatt, og prosjektet er nå inne i en periode med stort fokus på vann og frostsikring i tunnelen og betongarbeider på Sinsen. Dette vil foregå til i slutten av februar, da elektro og tekniske entrepriser overtar tunnelen.

SHA OG YTRE MILJØ

SHA har som alltid, vært et fokusområde. Det er viktig at en tenker sikkerhet i alle ledd, både for egne arbeidere, og her spesielt også for 3. part i og med at anlegget ligger der det gjør. Gode risikovurderinger og Sikker Jobb Analyser er svært viktig. Prosjektet har blitt gjennomført uten skader med fravær.

Lørentunnelen var også et av de Overlege dr.med. Bente Ulvestad hos STAMI har benyttet til å måle luft og påvirkning av arbeidernes luftveissystem. På dette prosjektet så vi spesielt at det støv med finpartikler fra injeksjon utgjør en fare. Dette må vi og bransjen ha et fokus på.

Det var ved prosjektet også strenge krav til å skåne det ytre miljø så mye som mulig. Det var strenge føringer for rensing av tunnelvann. Støyende arbeider skulle ikke skje mellom 23:00 og 07:00 i tunnelen. Statens Vegvesen har også hatt et omfattende oppfølgingsprogram, spesielt med tanke på skader på omkringliggende bebyggelse. Det være seg målinger av grunnvann, setninger og rystelser, samt filming og kartlegging i forkant. I tillegg har de fokusert på å gi mye informasjon om prosjektet og fremdriften til alle som er berørt.

SAMMARBEID

Det har allerede fra starten i prosjektet vært et fokus på godt samspill mellom byggherre og entreprenør. Det ble utarbeidet en samarbeidsplakat, som sier at vi skulle bruke hverandres kompetanse. Det er også beskrevet i kontrakt et Konfliktløsningsråd, bestående av tre uavhengige personer som vil gi råd eller mekle i konflikter. Det har i kontrakten ikke vært mange store saker, og de har alle blitt løst med litt rådgivning fra Konfliktløsningsrådet.

Ved oppstart av nye arbeider / faser har det blitt gjennomført oppstartsmøter for å avklare forventninger, planer, tekniske løsninger, kvalitetskrav og gjennomføring. Dette har bidratt til god kvalitet, forutsigbarhet og et begrenset konfliktnivå.

OPPSUMMERING

Det er i dag to år igjen til endelig overlevering av prosjektet, men tunnelen begynner å nærme seg ferdig. Veidekke mener at vi vil overlevere et produkt med høy kvalitet etter en god gjennomføring, og håper at Statens Vegvesen mener det samme. Prosjektet har blitt gjennomført på en slik måte at 3. part har blitt skånet så mye som mulig. Og resultatet vil bli, både for omgivelsene og billistene, en stor forbedring fra dagens løsning.

Det har ved prosjektet blitt fokusert på teknikk, og også forsøkt nye metoder, både fra byggherre og Veidekke. Fokuset har vært å få en tett tunnel, da etter å ha fokusert mye på injeksjon. De strenge kravene til rystelser har også blitt fulgt opp, med å fokusere på gode sprengningsplaner og nøyaktig boring og lading.

Prosjektet har også lært oss at ved å utnytte kompetanse fra byggherres, prosjekterende, leverandører, underentreprenører og egen kompetanse, så bidrar dette til god kvalitet og forutsigbar drift. Det har også bidratt til et begrenset konfliktnivå. Veidekke vil takke alle partene for et godt samarbeid, og ikke minst alle arbeiderne for den store innsatsen de har lagt ned. Veidekke har lært mye i prosessen, og vi har vist nok en gang at vi kan håndtere store kompliserte samferdselsprosjekter i by og tettbebygde strøk.

FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK

BERGMEKANIKK/GEOTEKNIKK 2011

HAR VÅR MODERNE OG EFFEKTIVE TUNNELSPRENGNING REDUSERT
KVALITETEN PÅ VÅRE SAMFERDSELSTUNNELER.

HAVE OUR MODERN AND EFFICIENT TUNNEL BLASTING REDUCED THE
QUALITY OF OUR TRAFFIC TUNNELS.

Veteran Oddvar Brøndbo

Veteranconsult ANS

SAMMENDRAG

På de siste 30 år har vår bore og sprengningsteknikk i tunnel blitt tilført en enorm utvikling.

- Vi har gått fra knematerdrift til datastyrte borerigger, boremaskinene har gått fra luft til hydraulisk drift.

- Borstengene har øket fra 3.2m. til over 6 meter.

- Borhulldiameteren har øket fra 32 mm, til 64 millimeter, en firedobling av utboret volum pr. m.

- Patronert sprengstoff er erstattet med Emulsjon i bulk.

Har alle fremskrittene kommet det ferdige byggverket, tunnelen, til gode?

SUMMARY

During the last 30 years, the drilling and blasting technique in tunneling has developed enormously

From the jackleg to computerized drilling rigs, drilling machines

- From air to hydraulic operation.

-The blast advance has increased from 3.2 m. to more than 6 meters.

- Drill hole diameter has increased from 32 mm to 64 inches, a four times increase of drilled volume per meter.

- Cartridge based NG explosives are replaced with emulsion in bulk.

Have all this improvements contributed to a better tunnel?

INNLEDNING

I vinter kom det en rekke artikler i Norsk fagpresse.

Norsk tunnelteknologi

Norsk tunnelteknologi er ledende i verden. Til tross for dette har man ennå ikke fått et internasjonalt gjennombrudd. Dersom norske entreprenører velger å samarbeide er det ingen tvil om at dette vil bli meget konkurransedyktige enheter, også internasjonalt

Varemerking av norsk tunnelteknologi?

Vil eksportere norsk tunnelteknologi

Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk (NFF) har i mange år vært en eksponent for at norske tunnelaktører skulle satse mer internasjonalt. NFF har ment at den norske metoden på å løse underjordsprosjekter på er unik og kunne med stor fordel vært brukt i utlandet. Det er også blitt hevdet at vi er i verdenstoppen med vår teknologi.

Jeg har selv deltatt i dette faget i over 30 år, fulgt med, og delvis bidratt til denne fantastiske utviklingen på å sprengne tunnel i norsk fjell. På 80 tallet var vi opplagt i verdenstoppen i å sprengne vannkraft tunneler. Uke og månedsindrifter ga oss verdensrekorder som står ennå.

Det å bygge samferdsel tunneler er en helt annen øvelse, i den øvelsen er vi ikke verdensmestre i mine øyne, vi er ikke norgesmestre en gang, i alle fall ikke i kvalitet.

Våre rallarer på 50-60 tallet bygget tunneler som har hundreårs kvalitet.

Moderne veitunneler som er sprengt med norsk teknologi, har holdbarhet som en svensk bil.

En av våre veitunneler må totalrenoveres etter så vidt har passert myndighetsalderen, stenges i to år, og en må bygge omkjøringsvei over tunnelen.

Flere tunneler som er under ti år, må stenges i flere måneder for utbedring av nedfall og ras.

Nødvendig vedlikehold og inspeksjon gjør at tunneler må nattestenges ofte.

Store overskridelser både på bygging og vedlikehold av våre nyeste veitunneler er ofte tilfellet.

Da er det lov, ja nærmest plikt til å komme med en kritisk bemerkning til foreningen som påstår at vi er verdensmestre i tunnelsprengning.

Jeg skrev en kritisk artikkel om emnet i bladet Byggeindustrien, som omtalte vår norske tunnelteknologi.

Det ble et satans rabalder, det var ventet, men det ble påstått at det var en del fakta feil i artikkelen, det vil jeg prøve å belyse i mitt foredrag.

UTVIKLINGEN AV BORE OG SPRENGNINGSTEKNIKKEN I GJENNOM 50 ÅR

Det vil være fornuftig å se seg tilbake og oppsummere utviklingen i vår tunnelteknologi.

Tidlig i 60 årene var det hovedsakelig knematerdrift i tunnel og gruver i Norden.

Enkle luftopererte bore rigger var på markedet, men ble som vanlig møtt med stor skepsis fra rallaren. Knemater og bbc 16 og 24, var utstyr en var fortrolig med, og kunne stole på.

Jeg ble personlig venn med en tunnelbas på 60 tallet, en av de siste rallare. Han satte rekorder i Norden, sikkert utover også, med knemater og BBC 24, skinnedrift og kastelaster. Rekordene ble satt i inndrift, ikke utførelse, litt i tråd med dagens rekorder. Han dro rundt i hele Norden og søkte anlegg med knemater og skinnedrift.

Jeg fikk også æren av å hjelpe han når han til slutt måtte gå over til borerigg på 70 tallet.

« Helvetes greier», utrykte han, en kan da ikke stå 15 meter bak stuffen og bore, en ser jo ingenting.

Stanglengden var 12 fot, helstangbor, eller 38 millimeter krone. Sprengstoffet var Dynamit, Gummidyanmit, Glynit, Lynit, Koronit og 17mm Gurit i konturen. Dette sammen med god boring ga tunnel med god kontur og stabilitet.

Da er vi i 70 årene.

Av en eller annen grunn kommer de store nyhetene midt på seklet. Hydrauliske bore maskiner kom for alvor inn på tunnelriggene i 1975, men her var skepsisen også stor. Noen store aktører torde ikke forlate sine luftdrevne sleperigger og Gardner pr 123 eller Atlas Copco, cop 126.

Jeg husker jeg var på et statkraftanlegg som var i oppstart, det ankom anlegget over 50 stk. PR 123, i en forsending. Det var langt inn i hydraulalderen, sist i 70 årene.

Stanglengden og borkronen økte med hydraulmaskinen, til 14 fot, kronediametern til 41mm, en helt grei utrustning. Dyno leverte over 20 tusen tonn med patronert sprengstoff i 1977, hovedvolumet var til tunnel.

Bulksprengstoff kom for alvor inn i tunnelsprenging midt på 70 tallet, bare Anolit og Anfo riktig nokk. Anoliten ble hoved sprengstoffet i norske tunneler i nesten 30 år, helt opp til våre dager.

Kutt og kontur ble ladet med Koronit og 17mm Gurit rørladninger til konturen.

Jeg husker en episode fra et anlegg som lå noe avsides, vi måtte forsyne sprengstoffet med båt til anlegget, en gang i måneden. Første forsyningen var som regel maks fulle containere, og vel så det.

Anolit var helt ukjent for stuffgjengen, de hadde drevet noen uker med patronert, akkorden var aktiv da jeg ankom anlegget.

Det var som vanlig stor motstand mot å forlate patronert sprengstoff, det å gå over til kunstgjødsel var ikke populært.

Det ble forhandlinger med basen, og resultatet ble at akkorden måtte økes med kr 1,50 pr time, for plunder og heft, for å ta i bruk den helvetes Anoliten.

Lading med Anolit kom i gang og det gikk bra, og etter noen skift var de bortimot begeistret. Etter et års tid hadde de vareopptelling, det var ikke så ofte på den tiden. En konteiner med 8 tonn Glynit, som ble brukt før Anoliten kom, ble oppdaget.

Anleggsledelsen ville bruke det opp i tunnelen, nye forhandlinger måtte til. Det ble enighet om en kompensasjon på kr 1,50 pr time, for å gå tilbake til den helvetes tungvinte Glyniten.

Tillegget varte anlegget ut, selvfølgelig.

Vi måtte ta i retur Glynit fra flere anlegg etter at Anoliten var kommet i gjenge.

Jeg er nesten forpliktet til å kommentere det sprengstoffet som har hatt hovedrollen i Norsk tunneldrift i over 30 år, nemlig Anolit. Dette enkle og billige sprengstoffet, som riktig brukt er det mest perfekte for å sprengte fjell, optimalt i en tunnel. Med en god primer og riktig boring ga dette enkle, utskjelte sprengstoffet « blank odd». Uten forskning, og uten formel fungerte dette sprengstoffet tilfredsstillende i de fleste sammenhenger. En kan ikke akkurat beskylde sprengstoffindustrien for å legge forholdene til rette for dette billige, enkle sprengstoffet. «Det enkle er ofte det beste» stemmer bra for dette stoffet. Beklageligvis ser det ut som enkelheten vil være den faktor som forbyr vår mulighet til å fortsette med dette stoffet. Uansett, Anolit ble hoved sprengstoffet for Norge i over 30 år, og for våre største tunnelprosjekter i Norge.

Det er vel verd en skål ved middagen i kveld, for Anfoen og. «Blank odd», forresten et fremmedord i våre dager.

Det at Anolit hadde masse røyk, og tålte dårlig vann, kan emulsjonsgjengen skåle for, ellers hadde dem ikke kommet på stuff.

80 årene var konsolideringens 10 år

Borerigger og boremaskiner ble større og mere kraftfull, flere kom på banen med boremaskiner og rigger.

Stanglengden økte til 16 fot, og noen prøvde med 18 fot på slutten av tiåret. Kronediameteren hadde samme tendensen til å øke med stanglengden, øket stivhet i stanga krevde økt stangdiameter, og borekrona måtte følge etter.

På sprengstoff-fronten ble det jobbet intenst med å forbedre våre rørladninger. Lengre hull gjorde 17mm rørladninger, som var halvmeter lange, noe tungvinte.

Dyno satte i gang en storstilt utvikling av spesialladninger for skånsom kontursprengning, og andre formål, som t.eks uttak av Larvikit. Flere nye sprengstoffblandinger og ladninger ble prøvd ut. Jeg var med på de fleste utprøvinger, både på Gullaug og ute på stuff.

Vi brukte gramvekt og millimetermål. Sprengstoff blandingen ble optimalisert for gunstig hastighet, riktig temperatur og god overføring.

Våre forskere på Gullaug blandet og prøvesprengte for måling av detonasjons hastighet og overføringsavstand mellom ladningene, til det beste for konturen. Resultatet ble 4 nye blandinger og 5 nye rørtyper, deriblant Larvikitrør, som er det nærmeste en kommer krutt.

Kun Larvikit rør, og Blå rør trenger det.lunte i horisontale hull. Andre typer rør som har skjøtehylser, og blir primet riktig, omsetter seg med god margin. Forstyrrelser fra nabohull med trykkforplantning gjennom slepper, er som regel årsaken til forsakere. Det kan delvis forhindres med låsefjær el. lignede.

90 årene gav oss de store forandringene.

1995 står for meg som det året vi hadde forlot gammel god tunnelsprengning

. Nu skulle vi ta i bruk våre nyvinninger med et «elghufs».

Data rigger med kraftige maskiner skulle bore 24 fot med 64mm krone. Det var faktisk mulig at det kunne blitt 30 fot, det var laget kurver og tabeller for denne stanglengden.

Denne stanglengden ble prøvd i et forsøk nordpå, det ble vel med forsøket, og godt er det.

Det ble arrangert studieturer til gruver i nabolandet for å studere lange kutter, til ettertanke, en drar ikke til en gruve som produserer stein, for å lære teknikker for bygging av samferdsel tunneler.

Når alt utstyr var ankommet, og stuffgjengen skulle ned å bore, var det kun renskespettet som var til å kjenne igjen.

Renskespettet måtte også vike, når du borer med 24 fot stenger, og 64mm krone snakker vi ikke om stuffrensk, vi snakker om det andre sprengningsskiftet. Enkelte renskesalver var på størrelse med sprengningssalva, med litt overdrivelse.

Galskapen tok heldigvis slutt, men prinsippet med lange salver og pigging på stuff har overlevd, dessverre for konturen, og Norsk tunnelteknologi.

Det kan være riktig å referere noen av argumentene som ble brukt i 1995, for økt stanglengde og økt borhulldiameter **Fordeler:** -Færre tennere pr. fm3

-Færre bormeter pr. fm3

-Boremaskiner bedre tilpasset borestålet

- Mindre problemer med lading
- Færre salveskjøter
- Bedre bryting, denne er vel i kombinasjon med en stor pigghammer.

Ulemper: -Økning i utboret volum

- Økning i sprengstoff-forbruk
- Krever godt utstyr og mannskap

Det er utelatt en viktig ulempe, nemlig at denne metoden ga en meget dårlig kontur, som ble kraftig opp bommet, og med enorme hakk i salveskjøtene.

Flere uttalelser fra miljøet (NTN)

«Til forskjell fra de fleste andre land utnytter man i Norge bergets egenskaper og kapasiteter som selvbærende materiale i stor grad, mens man ellers i Europa gjerne ser bort fra disse egenskapene og støper en massiv innvendig forsterkning som bærer tyngden av overliggende bergmasser i stedet.

De norske aktørene har utviklet stor kompetanse på sprenging av tunneler og forutsetter at berget er byggematerialet, forsterket med bergsikringsmidler etter behov, noe som gir kontroll med vann lekkasjer og stabile tunneler.» (NTN)

Denne uttalelsen stemmer dårlig med det som ble hevdet var god metode i 95, og som er likt i dag på mange måter.

Vi utnytter ikke bergets bæreevne og stabilitet, ved å sprengte så brutalt, det er min på stand.

Sprengstoffet på 90 tallet var hovedsakelig Anolit, Dynamit og rørladninger, men SSE emulsjon kom mot slutten av tiåret.

Et nytt «Elghufs», Emulsjon, SSE, nesten ikke ladd, fantastisk mot miljøet, effektive lade rigger, og et system som kunne lade hele salven, også konturen.

Det kom også nye regler for boring og opphold på stuff, denne nye EØS regelen som ikke tillot lading fra ladekorg, var dødsstøtet for tungvinte rørladninger i konturen..

Tiden fra århundreskiftet 2000, og fram til i dag har resultert i den nye moderne måten å sprengte tunnel på har fått godt fotfeste.

Anolit er ute fra norske tunneler, det er et fremskritt på mange måter, ikke for selve sprengningen, men lading, lagring og miljø etter sprengning, er et stort fremskritt.

.Det at spesial rørladning for kontur (Gule rør) er tatt bort til fordel for emulsjon ladet i streng, har redusert kvaliteten på konturen betraktelig.

Dersom noen fikk som oppdrag å finne det sprengstoffet som ødela konturen mest mulig, ville vedkommende fort velge emulsjon i bulk, med og uten slangetrekk. Sprengstoffet har en meget høy detonasjonshastighet i fullt tverrsnitt, over det dobbelte av en rørladning.

Tar en for seg den innerste meteren på en 18 fot salve, boret med datarigg som krever flat stuff, ladet med emulsjon i bulk, da blir en vitne til en meget kraftig, og brutal energiutløsning.

Vi må regne med at den innerste meteren er fulladet av emulsjon, også konturhullene.

Salva bryter normalt, dvs. meget tungt, og en god del står igjen, særlig i innerkontur og konturrasta.

En må ha viklet seg inn i flere finurlige formler, for ikke å ha oppdaget at det er noe som er helt galt. Flere timer med store pigghammere må til for å få rensket stuffen. Den energien som er tilført for brytningsfasen, og ikke har klart jobben, har for en stor del gått inn i sideberget, konturen.

Dette skjer for hver 5 meter, stort sett på alle salver.

Alle som har deltatt i sprengningsarbeid på stuff, vet at et sprengstoff som har delvis klart å bryte fjell, gjør størst skade på det omliggende berget, i dette tilfellet, konturen.

Den voldsomme energiutløsningen som har foregått i den innerste delen av salva, og ut i konturen, er ikke forenlig med utsagnet at vi bruker bergets egenskaper som byggemateriale. Dette nærmer seg vandalisme.

En stor pigghammer på 1,5 – 2 tonn klarer lett og gi den manglende indrift.

Får han noen timer på seg, produserer den flere billass med stein, som egentlig skulle vært sprengt ut.

Konturlading med SSE og såkalt synkront uttrekk er bare brukbart på kurs og i brosjyrer.

Skal en komme ned på en ladingkonsentrasjon, tilsvarende 22mm rørladning, og med korrekt bunnladning, vil den tynne strengen ha store vanskeligheter med å detonere stabilt. Omskytinger må til, det er ikke populært, så en god lader finner sine løsninger.

Emulsjon i streng må ha en kraftig bunnladning, dess tynnere streng, dess kraftigere bunnladning, en god formel som virker.

Hadde vi ikke byggherrer som omtaler kontursprengning i tunnel med mindre enn fire linjer i sin håndbok, hadde ikke et emulsjonssystem for konturlading vært mulig å operere uten reklamasjoner i stor skala.

Dette kan en lese fra hånd bok 021: **7.2.3 Sprengning**

Sprengningen skal utføres slik at en får jevnest mulig vegger og heng. En gjennomført kontursprengning (slettsprengning) med redusert ladning i nest siste rast og konturrast er nødvendig for å kunne oppnå dette. Sprengningsopplegget skal planlegges og tilpasses bergartene langs traséen, fordi enkelte bergarter er mer sprengningsømfintlige enn andre.

Av miljøhensyn skal det, hvis ikke annet er angitt i *den spesielle beskrivelsen*, benyttes emulsjonssprengstoff (slurry) ved sprengning av tunnel. I konturen benyttes sprengstoff som gir redusert effekt, tilsvarende maks 22 mm rørladning. Nest ytterste hullrad skal ha redusert ladning tilpasset avstanden til kontur. Profilkontroll skal skje så nær stuff at innstikkende knøler kan fjernes sammen med tunnelsprengningen.

Blir ikke konturen bra av dette, går en over til alternativ kontur med tettere boring. Med samme sprengstoff og ladesystem blir påkjenninga på konturen kraftig forsterket, og mer opp bommet.

Et avsnitt i samme bok, om å hugge skog i linja, som skal brukes til ved, er mere utfyllende.

En kan sprengre mye dårlig kontur etter disse retnings linjer.

Til alt overmål er det en feil der også, det står at ladningen på innerkonturen, skal tilpasses avstand til konturen.

Jeg lærte ganske tidlig at ladningen må tilpasses forsetninga, altså stikk mot det som står i denne håndbok, fra 2010.

Kan det være at ingen leser de få linjene som beskriver sluttproduktet, tunnelkontur.

For en byggherre som bestiller bygging av en tunnel, som skal vare i noen år, med stor trafikk, er dette meget viktig, etter min forstand.

Har utviklingen bidratt til en bedre kvalitet på tunnelkonturen?

Er alle nyvinninger innenfor boring og sprengstoff kommet tunnelen til gode?

Har vi verdens beste tunnelteknologi?

La oss summere opp:

Knematerdrift og patronert sprengstoff i 50- 60 årene.

Historien forteller oss at denne bore og sprengnings metoden var det beste som er utført når det gjelder fin, stabil kontur.

Meget skånsom sprengning ga fin kontur med lang levetid, også i store tverrsnitt. Rallaren kunne det å utnytte alle knep, for å få mest mulig ut av boring og sprengstoff. Det med god krumming på stoffen, som gav han bedre inndrift med minst mulig bore hull og sprengstoff, var velkjent. Konturen var han ikke opptatt av, den ble uansett bra med denne teknikken.

60 årene hadde fordelen med riggboring med korte salver og liten borhulldiameter.

Kilkutten ble borte, og grovhullskutten overtok, uten at det hadde virkning på konturen.

Ved riggboring mistet borer litt av kontakten med stoffen, men det ble ofte løst med en person som på sålen og kontrollerte retning og plassering av borehullet. Bruk av riktig sprengstoff ga i stort sett det samme gode resultatet.

Sprengstoffet var det samme som ble brukt på 50 tallet.

70 årene var det store ti året med utvikling.

Hydraulmaskiner kom for fullt 1975, Atlas Copco 1038 var en revolusjon innenfor boring. Borsynk som var utrolig, det at en slapp kondens og diesel/propan brennere var på miljø og sikkerhetsiden et datidens «Elghufs».

Dette sammen med innføringen av bulksprengstoff ga uttelling i inndrift og arbeidsmiljø.

.

For konturen derimot ble det tilbakeskritt, selv med rørladning.

Hydraulmaskinenes høyere borsynk resulterte i større boravik og feil ansett.