

NFF Internasjonalt Forum 2015

Hva kjennetegner
den norske tunnel-
byggemetoden?

Eivind Grøv

Sjef forsker SINTEF
Professor II NTNU



NFF Internasjonalt Forum 2015
– Den norske tunnelmetoden i et internasjonalt perspektiv

DATO: 21/9 2015
Kl. 15:00
STED: Norconsult AS,
Vestfjordgaten 4, Sandvika

Arrangør:
**NORSK FORENING FOR
FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK**

Foto: NPRA

Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Denne presentasjonen er basert på:

- Artikkel Kleivan mfl. 87
- Artikler av Barton mfl. fra 1992
- Artikkel Grøv 2012
- NFF Publikasjon nr. 23
- NFF Fellesmerkenotat



Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Rolf Selmer Olsen:
Professor ved NTH (1962-82)

- "Far" til faget ingeniørgeologi i Norge
- Særegent fag internasjonalt
- Basert sine lærebøker i stor grad på empiri, samlet erfaringer fra anleggsbesøk
- Betrakter bergmassen som byggemateriale

624.13

S

2. eks

II

MAG.

F o r e l e s n i n g e r

i

Ingeniørgeologi II

av

Rolf Selmer-Olsen

mai

1959.

BIBLIOTEKET
VEGDIREKTORATET

 Nasjonalbiblioteket
Depotbiblioteket

Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Ett viktig prinsipp knyttet til materialstivheten:

- Bergmasse: generelt høy e-modul 25-300 GPa
- Betong/sprøytebetong; lav e-modul ca. 30GPa

I andre geologiske regimer:

- Bergmasse/løsmassene har liten e-modul
- Betong har høyere e-modul enn berg-
/løsmassene

Bergmassen er byggematerialet og ingeniørgeologi er faget vs. sikringsmaterialene er fokus og betongteknologi er faget

Overgangssoner er viktige å gjøre rede for

Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Prinsippene i norske tunnelkontrakter er beskrevet i en klassisk artikkel fra Kleivan mfl. fra 80-tallet

NORWEGIAN PRACTICE OF RISK SHARING IN TUNNELLING CONTRACTS

E. Kleivan, Civil Engineer
G. Aas, Civil Engineer

Ing. A. B. Berdal A/S
Selmer-Furuholmen A/S

Norway
Norway

GENERAL ON RISKS IN THE TUNNELLING INDUSTRY

Because ground conditions along a tunnel alignment are normally hard to predict accurately, tunnel contracts tend to contain a larger element of risk than most other contracts.

One consequence of unexpected difficult ground conditions could be a bankrupt contractor who, without reservations and hoping for the best, did sign a lump sum contract for a tunnel. But it could also be an equally unhappy owner who, facing a delay in the commissioning of his new hydro-scheme due to late completion of one particular tunnel section, is about to lose large revenues. Angry disputes, arbitration, and lawsuits frequently become part of the picture.

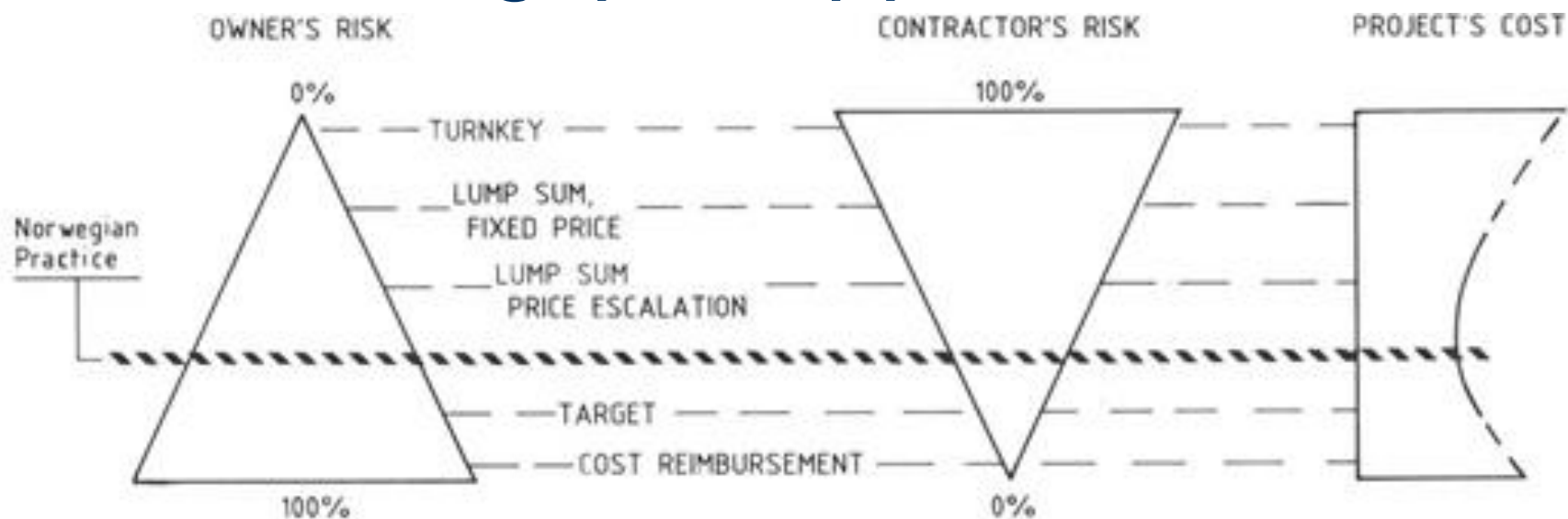
In the field of international tunnelling contracts practice, considerable efforts have been made to find ways to share the everpresent risk of for instance changed ground conditions. The work of the International Tunneling Association (ITA) Risk Sharing Group is probably the most important endeavour in progress at this time.

The diagram in Fig. 1 is, however, borrowed from a publication by the British agency CIRIA (Construction Industry Research and Information Association), and illustrates in a cursory way the sharing of risk between owner and contractor, according to the type of contract for the work.

This paper will focus on a principle of risk-sharing that was introduced to Norwegian tunnel contracts 15-20 years ago, a principle that has been accepted and appreciated by contractors as well as by owners. Hopefully, this paper may also be regarded by ITA as a contribution to their work.

Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Risikodelingsprinsipp



Time is money, and more so in tunnelling than in most other industries. The crux of the risk-sharing matter is therefore to find a fair and simple way of adjusting the contractual construction time to the actual ground conditions. The contract should therefore include, as a minimum, agreements on:

Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Hva inneholder disse 2 artiklene prinsipielt?

- Geotechnical investigation techniques
- Numerical modelling
- Tunnelling equipment & materials
- Contractual aspects



NORWEGIAN METHOD OF TUNNELLING

Reprinted from
WORLD TUNNELLING
June 1992

Printed by KSC Printers Ltd.
Tambridge Wells, Kent, U.K.

Barton, Grimstad,
Opsahl, Bakken og
Johansen

Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden? Hva er norske grunnprinsipper?

1. Sonderboring er akseptert som en undersøkelsesmetode under driving
2. Vann håndteres med injeksjon, forinjeksjon eller betong
3. Bergmassen er et byggemateriale med løpende selvbærende egenskaper
4. Sikring utføres med bolter og sprøytebetong
5. Drenert struktur, ikke behov for dimensjonering med statisk vanntrykk
6. Vann- og frostsikring opptrer strukturelt uavhengig av stabilitetssikringen

Norske grunnprinsipper må gjelde

Grunnleggende prinsipp ved norsk tunnelteknologi må gjelde også ved TBM som drivemetode.

KOMMENTAR

Eivind Grøy

Spesialrådgiver SINTEF Bygghelse/
Professor i ved NTNU

I slutten av oktober gikk Jernbaneverket ut med nyheter om at de hadde valgt TBM som drivemetode for byggingen av dobbeltsporetunnelen mellom Oslo og Ski, eller Follobanen. Det synes jeg er et godt valg, og jernbaneverket gratuleres. TBM ønskes velkommen til norske tunnelprosjekter igjen. I pressensidningen Jernbaneverket sendte ut i forbindelse med TBM-valget, ble det vist en skjoldmaskin. Det overrasker meg ikke, for tidligere har det også vært snakket om skjoldmaskin, men jeg stiller meg undrende til valget.

For noen uker siden skrev jeg en artikkel i Bygghelsestatus som var rettet mot valg av TBM kontra konvensjonell boring og sprengning, og tok for meg dette på en generert grunnlag. I det foregående ønsket jeg å kommentere hvordan noen grunnprinsipper ved norsk tunnelteknologi også må gjelde gjeldende selv om drivemetoden er TBM.

Søke grunnleggende prinsipper

For driving av tunnel med konvensjonell boring og sprengning er det gjennom flere år etablert noen grunnleggende prinsipper som våre tunneler bygges etter. Kort kan noen av disse listes som følger:

- Sonderboring er akseptert som en undersøkelsesmetode under driving.
- Vann håndteres med injeksjon, forinjeksjon, fortrinnsvis, systematisk eller behovsrett.
- Bergmassen er et byggemateriale med løpende selvbærende egenskaper.
- Sikring utføres med bolter og sprøytebetong, tyngre sikring ved behov i henhold til geologiske forhold påtruffet under driving.
- Drenert struktur, ikke behov for dimensjonering med statisk vanntrykk.
- Vann- og frostsikring utføres strukturelt uavhengig av stabilitetssikringen.

Dobbeltskjold TBM

En dobbeltskjold TBM opererer primært som en åpen TBM, ved å sprengne "gripsone" opp mot tunnelveggen. Dette åpner for muligheten til å drive uten betongelementer i geologiske forhold hvor slike ikke er påkrevd. En dobbeltskjold TBM kan også skrive fra på betongelementer dersom berget ikke er helt tett til å åpne trykket. Dette betyr at man kan drive i et område som er vanskelig å bygge med åpen TBM. En åpen TBM i så fall er spesialfart for å gjøre sonderboring, injeksjonsboring, sikring som sprøytebetong/bolting ved snar, slik tilskudd som skal bygge gjennomføringer av tunnelen. Dette betyr at man kan drive i et område som er vanskelig å bygge med åpen TBM.

De TBMer man har i dag som defineres som "åpne", kan i utgangspunktet drive tunnel under de samme geologiske forholdene som konvensjonell boring og sprengning.

Dersom de geologiske forholdene hadde vært så dårlige at man ikke kunne benytte en åpen TBM, så hadde sannsynligvis heller ikke konvensjonell tunneldriving vært en mulig drivemetode. Da må man derfor søke etter annet gjennomføringsmetode ved å anvende andre typer TBM, som eksempelvis skjoldmaskiner, EPB-teknologi eller slurrymaskiner avhengig av grunnforholdenes egenskaper. Disse er bygget for å håndtere svak berg, løsemasser og "raming ground". I tillegg tilfeller er man også på grensen av, eller utenfor de geologiske betingelser som muliggjør rasjonell tunneldriving ved konvensjonell boring og sprengning.

Søke grunnleggende prinsipper

For driving av tunnel med konvensjonell boring og sprengning er det gjennom flere år etablert noen grunnleggende prinsipper som våre tunneler bygges etter. Kort kan noen av disse listes som følger:

- Sonderboring er akseptert som en undersøkelsesmetode under driving.
- Vann håndteres med injeksjon, forinjeksjon, fortrinnsvis, systematisk eller behovsrett.
- Bergmassen er et byggemateriale med løpende selvbærende egenskaper.
- Sikring utføres med bolter og sprøytebetong, tyngre sikring ved behov i henhold til geologiske forhold påtruffet under driving.
- Drenert struktur, ikke behov for dimensjonering med statisk vanntrykk.
- Vann- og frostsikring utføres strukturelt uavhengig av stabilitetssikringen.

Kan bruke dobbeltskjold TBM

Det gode med en dobbeltskjold TBM er at den kan drive tunnel som en åpen TBM, uten å sette betongelementer. Derved kan en slik type TBM faktisk tilfredstille de søke prinsipene nevnt over på én betingelse: at byggherren faktisk iverksetter injeksjon, bolting og alt det som er ved kjente metoder fra norsk tunnelteknologi. En dobbeltskjold TBM er imidlertid mindre egnet for konvensjonell injeksjon og slurrybetong enn en åpen TBM da tilgangen til berget umiddelbart bak kutterhodet er meget begrenset. Den vanste betongforlengen kan plasseres cirka 15 meter bak kutterhodet. Skal man injisere tungt på stoff og sette betongforleng, eller droppe injeksjon og slurrybetong er dimensjonering av sprekkvanntrykk innad til reanblæres mot den tette betongforlengen? Det er et spørsmål om valg av tilbering.

Anstiftelseskomiteen er marginalt høyere enn for en åpen TBM.

Nyttetypologier viser imidlertid en enkeltkjold TBM, og om valget faller på en slik maskin så må denne betongforlengen være med gjennomgående fra start til avslutning. Tunnelen kan simpelthen ikke drives uten betongforleng med en enkeltkjold TBM. Da holder stabilitet og vassretthet på denne, og den må dimensjoneres for fullt statisk vanntrykk. Dette betyr også med grunnleggende prinsipp i norske tunneler.

Bakymmet

Bakymmet min blir ytterligere forsterket gjennom det faktum at tunnelen skal drives med

og prøvet teknologi fra leverandøren og i tild med prinsippene listet over. Dagens åpne TBMer kan utstyres med pors for å gjøre betongstøtstoff med halvhøytet som ved konvensjonell boring og sprengning, om ønskelig samtidig som det er fremdrift på maskinen.

I artikkelen fra Fjellsprenningskonferansen 2011 refereres det også til ulike typer segmentforlenger av betong som kan benyttes, og Jernbaneverket valgte på det tidspunktet vår betongelementer som monteras med vannrette pålengger. Omstilling for den beslutningen er at dette i følge artikkelen vil erstatte både berginjeksjon, injeksjon snar vann- og frostsikring. Dessverre så betyr det imidlertid med minst fem av de søke prinsippene våre tunneler er bygget etter. Tilærningens betyr noe.

Med oppstart om lag to år frem i tid er spørsmålet om man har flyttet denne grensen for prøvet teknologi tilstrekkelig til at den dekker de områder av Follo-tunnelen som har størst overdekning.

Velger noe uløst

I dette prosjektet tenker man innført en TBM-type som er tilpasset andre geologiske forhold enn i det som forventes ved Follobanen. I stedet for å bygge videre på kjente søke prinsipper satser man altså på noe som er uløst i den norske tunnelteknologien. Betongforleng og andre tilskudd på TBM kan utvilsomt, er eller minn skjult reservedittak for spesielle og vanskelige forhold. Enten man driver med TBM eller konvensjonell boring og sprengning, er det forsvarett ved injeksjon samt bolter/sprøytebetong som sikrer stabilitet. Prøvende kledning/tilskudd er det innvendige miljøet. Å se LCA/MLCC problematikken med en nykk betongforleng i disse bergmassene synes unødige, enten det er for TBM eller konvensjonell boring og sprengning.

Paradoksalt nok, den refererte artikkelen fra Fjellsprenningskonferansen i 2011 konkluderer i forkant av en glimrende artikkel skrevet av Ola Waldrens, "Norsk tunnelteknologi - Skal vi videreføre egen teknologi for eksport eller kopiere europeiske standardløsninger for import?" Temaet var aktuelt i 2011 og er det så så akseptert, så må vi ta tak i det vi er gode på og utvide dette videre.



Eivind Grøy

overdekning tilvarende et statisk vanntrykk på lag 17 bur. Et slikt vanntrykk kombinerer med skjoldmaskin representerte det som er på grensen av prøvet teknologi i dag. Dette gjør svakhet ved pålengger og settler i skjellene mellom elementer, problematikken knyttet til utvasking av tilskuffing og ikke minst i overgang mellom skjold og segmenter. Med oppstart om lag to år frem i tid er spørsmålet om man har flyttet denne grensen for prøvet teknologi tilstrekkelig til at den dekker de områder av Follo-tunnelen som har størst overdekning.

Velger noe uløst

I dette prosjektet tenker man innført en TBM-type som er tilpasset andre geologiske forhold enn i det som forventes ved Follobanen. I stedet for å bygge videre på kjente søke prinsipper satser man altså på noe som er uløst i den norske tunnelteknologien. Betongforleng og andre tilskudd på TBM kan utvilsomt, er eller minn skjult reservedittak for spesielle og vanskelige forhold. Enten man driver med TBM eller konvensjonell boring og sprengning, er det forsvarett ved injeksjon samt bolter/sprøytebetong som sikrer stabilitet. Prøvende kledning/tilskudd er det innvendige miljøet. Å se LCA/MLCC problematikken med en nykk betongforleng i disse bergmassene synes unødige, enten det er for TBM eller konvensjonell boring og sprengning.

Paradoksalt nok, den refererte artikkelen fra Fjellsprenningskonferansen i 2011 konkluderer i forkant av en glimrende artikkel skrevet av Ola Waldrens, "Norsk tunnelteknologi - Skal vi videreføre egen teknologi for eksport eller kopiere europeiske standardløsninger for import?" Temaet var aktuelt i 2011 og er det så så akseptert, så må vi ta tak i det vi er gode på og utvide dette videre.



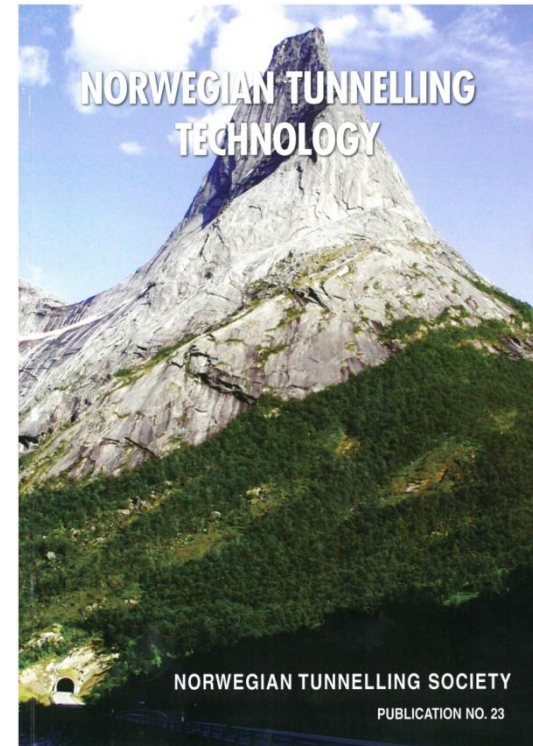
Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Norwegian Tunnelling Technology NFF

Publication no.23

Våren 2014 til WTC

Iguassu Falls



"The main benefits in the Norwegian tunneling are fast and safe tunnel excavation at affordable costs; that is cost and time efficient tunneling

Purpose of publication; clarify the content and comprehensiveness of Norwegian tunneling and elements that makes it unique."

Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Den norske tilnærmingen til underjordsdrift er tuftet på fire pilarer som fellesmerke legger til grunn:

- Bergmasseklassifisering
- Risikodeling
- Beslutningsprosesser
- «State of the art» arbeidsmetoder

Notat til NFF IK for fellesmerkediskusjonen, av A. L. Berggren, O. Woldmo og E. Grøv

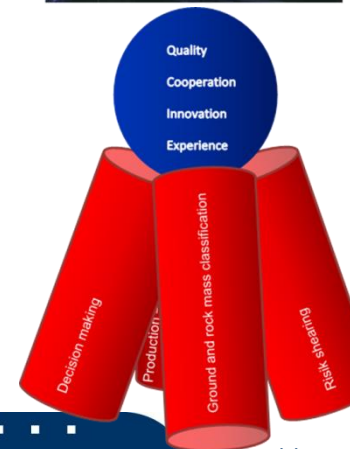
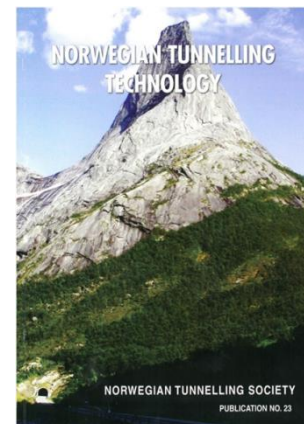


Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Fellestrekk fra alle artiklene

I det følgende presenteres noen fellestrekk ved alle disse 5 referansene.

Følger av de tre bildene på høyre side på de neste lysarkene



Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

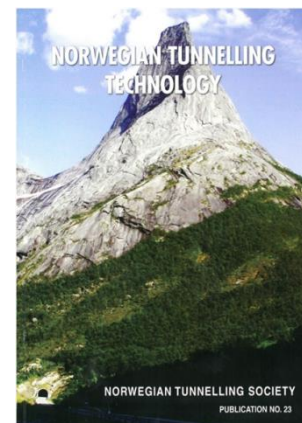
NORWEGIAN METHOD
OF TUNNELLING

Undersøkelser

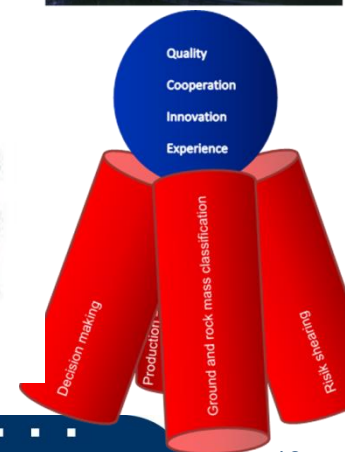
- Stort fokus på omfattende geologisk kartlegging
- Bergmassebeskrivelse
- Kritiske punkter, dedikerte undersøkelser
- Beskrive geologien, og Kleivan

Registered Firm
WORLD TUNNELLING
June 1992

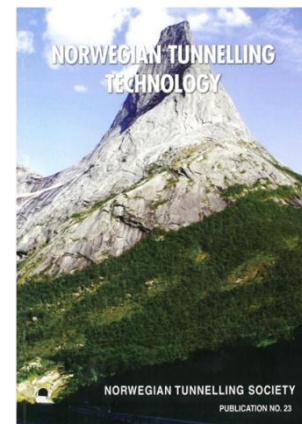
Printed by KSC Presses Ltd
Tunbridge Wells, Kent, U.K.



It should be noted that the "reference ground conditions" reflected in the Bill of Quantities are the predictions of the consultant, and based on the best judgement of the engineering geologist after an evaluation of all reports from the field.

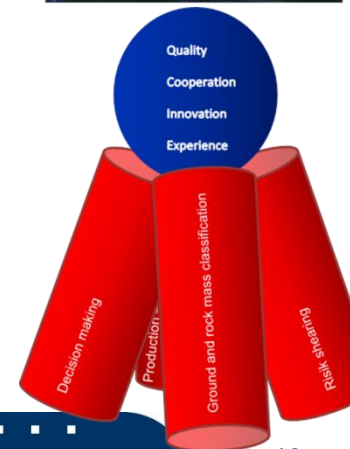


Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?



Undersøkelser

- Valg av tunnelmetode
- Basis for prognoser, planer og gjennomføring
- Tids- og kostnadsestimat
- Input til stabilitetsanalyser
- Beskrive forventet sikring
- Oppdatere underveis, målinger om nødvendig



Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Anvendelsesområder:

- Oppsprukket bergmasse, harde siden av skalaen
- Leirinfiserte soner
- Spenningsutsatt berg
- 'Hard rock' selvsagt

**WORLD
TUNNELLING**

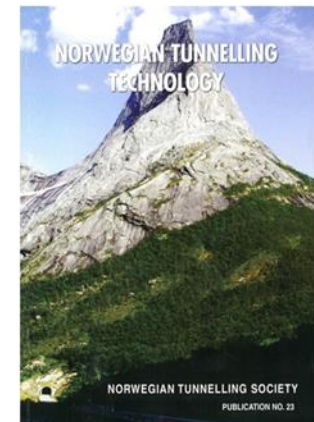
AND SUBSURFACE EXCAVATION

60 Wimpsey Street, London EC2A 3HD, England
Tel: 020 877 2026 Fax: 020 847 4046 Email: info@world-tunnelling.com

NORWEGIAN METHOD
OF TUNNELLING

Reprinted from
WORLD TUNNELLING
June 1992

Printed by KTC Presses Ltd,
Tunbridge Wells, Kent, U.K.



Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Drivemetoder

- Boring & sprengning
- 'Hard rock TBM'
- Håndutgraving in svakt bergmasse
- Prognosemodellen (for TBM så vel som for D&B)

**WORLD
TUNNELLING**

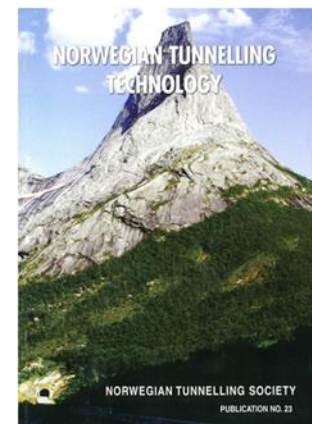
AND SUBSURFACE EXCAVATION

60 Wimpsey Street, London EC2A 3HD, England
Tel: 020 877 2000 Fax: 020 847 4000 Email: info@world-tunnelling.com

NORWEGIAN METHOD
OF TUNNELLING

Reprinted from
WORLD TUNNELLING
June 1992

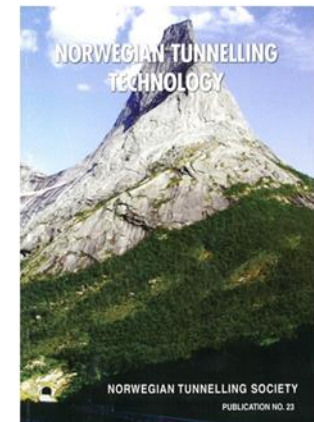
Printed by RSC Press Ltd,
Tottenham, North, Essex, U.K.



Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Drivemetoder

- Sonderboring foran stoff, akseptert undersøkelsesmetode
- Forinjeksjon som førsteforsvar for vannkontroll
- Vannsikring og bergsikring = to uavhengige struktur
- Ikke statisk vanntrykk som dimensjonerende designlast



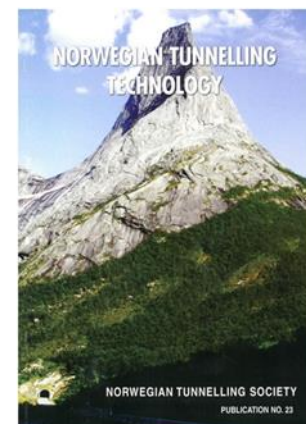


Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Permanent sikring består typisk av:

- Sprøytebetong, og bolter
- Sprøytebetongribber/buer
preferes, utstøpning om man må
- Bruker normalt ikke
nettarmering, tørrsprøyting,
stålbuer/ lattice girders
- Sikre for å styrke bergmassen
(strengthening)





Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Fleksibel sikringstilnærming

- Sikre i henhold til påtrufne geologiske forhold
- Entreprenør bestemmer arbeidssikring, risiko tid/kvalitet
- Prosjekteier bestemmer permanent sikring, 100år
- Byggherren eier grunnen
- Ekvivalenttid og enhetspriser



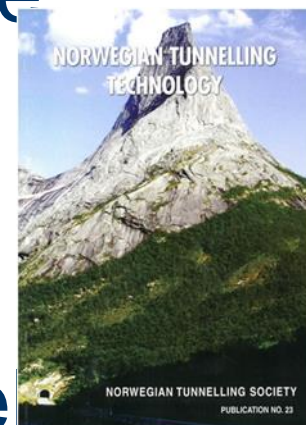


Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

Beslutningstaking

- Multiskilled/erfarne entreprenører/ arbeidere, høykapasitetsutstyr
- Utdannet og erfarne konsulenter
- Kompetente byggherrer
- Løsningsorienterte leverandører
- Kommunikasjon, kunnskap hos alle
- Forståelse, samarbeide for felles mål
- Lite hierarki, kort avstand til beslutningstaking, ofte på stuff

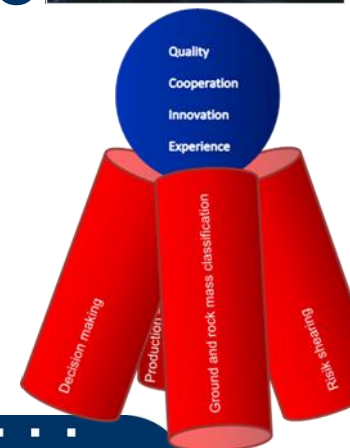




Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

State-of-the art utstyr

- Helse og miljø, kunnskap og holdning
- Effektiv produksjon ved å optimalisere alle ledd i verdikjeden
- Utnytte høy-kapasitet
- Data-assisterte operasjoner og kontinuerlig datainnsamling eksempel MWD
- Husk; HP-TBM'er og Våtsprøyte-metoden utviklet for norske krav



Den norske tunnelbyggemetoden med boring og sprengning

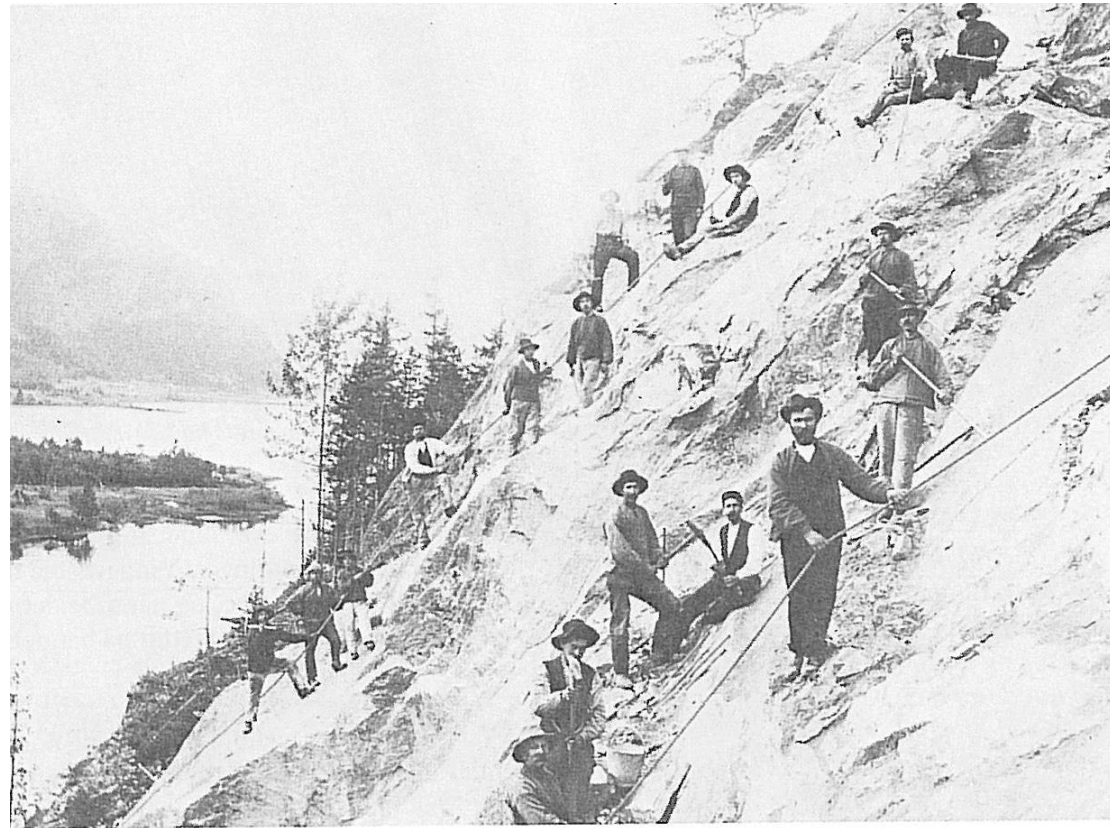
Oppsummert: Norsk tunnelbygging er en sammensatt prosess, miks-
turen består av:

- Myke og harde verdier
- Kultur, teknologi og empiri
- Prinsipp, jus og prosedyrer
- Respekt, integritet, menneskeverd

Metode, måte, filosofi eller konsept?

Hva kjennetegner den norske tunnelbyggemetoden?

JA; vi er avhengig av alle ledd i kjeden, "det svakeste ledd....."



TAKK FOR OPPMERKSOMHETEN