



TBM for dummies: Geologisk rapport og konkurransegrunnlag for TBM-tunneler

Andreas Ongstad, Norconsult

Geologisk rapport og konkurransegrunnlag for TBM-tunneler

1. Prosjektet Arna - Bergen og Nye Ulriken tunnel
2. Grunnundersøkelser for TBM-tunnel på Nye Ulriken tunnel
3. Ingeniørgeologisk rapport for TBM-tunnel
4. Konkurransegrunnlag og beskrivelse

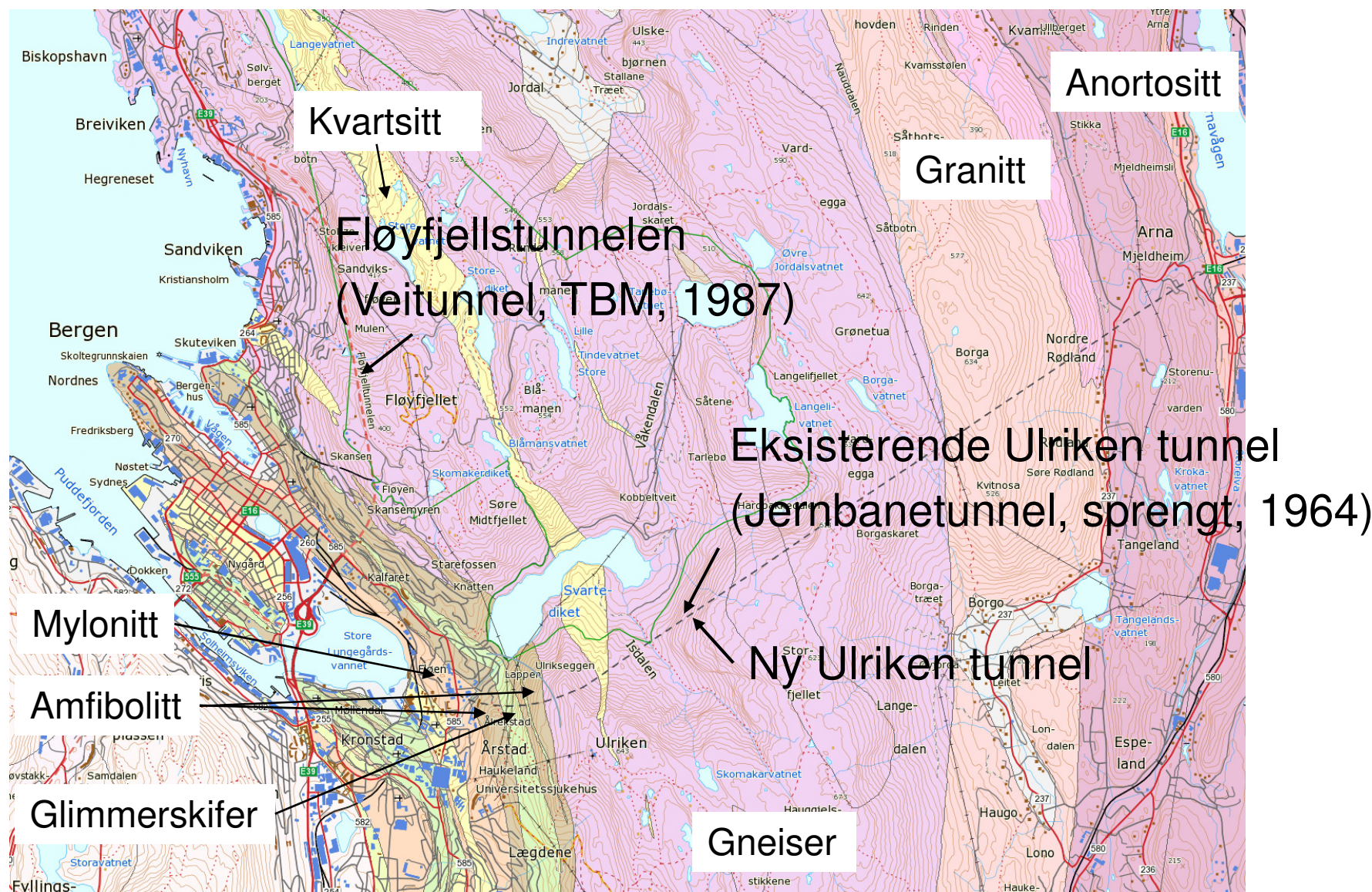
Prosjektet Arna – Bergen og Ulriken tunnel

- Ny tunnel skal bygges på strekningen Arna – Fløen, som er den mest trafikkerte enkeltsporede strekningen i Nord-Europa.
- Dobbeltspor på strekningen vil mer enn fordoble kapasiteten, legge til rette for økt hastighet og åpne for mer fleksibilitet med ruteplaner.
- Entreprisen UUT21 Nye Ulriken tunnel er den store tunnelentreprisen på prosjektet.
- Andre entrepriser er blant annet ny Arna stasjon, rehabilitering av eksisterende tunnel og jernbaneteknikk.
- Detaljplan og byggeplan utarbeidet for konvensjonell tunneldrift.
- Konkurransesgrunnlag utarbeidet for alternative drivemetoder for enkeltspordelen av tunnelen: Konvensjonelt eller TBM
- Opp til markedet å bestemme drivemethode

UUT21 Nye Ulriken tunnel

- Ny jernbanetunnel parallelt eksisterende tunnellop i drift
- 7,8 km ny jernbanetunnel, hvorav
 - 750 m dobbeltspor (sprenges)
 - 7050 m enkeltsporstunnel (fullprofilbores).
- I tillegg to diagonaltunneler for krysningsspor mot eksisterende tunnellop, tverrpassasjer for hver 500 m, portal- og brukonstruksjoner, samt arbeider i dagen i Arna og i Fløen.
- Enkeltsporsdelen (TBM):
 - Teoretisk tunnelprofil diameter 9,17 m (66 m²) (ekskludert entreprenørens toleranser).
 - Valgt TBM-diameter 9,33 m.

Nye Ulriken tunnel - Geologi



Ingeniørgeologisk rapport for TBM: Utførte undersøkelser for TBM på Ulriken

- Forelå ingeniørgeologisk rapport for konvensjonell drift
- Utførte supplerende undersøkelser av bergmassen når TBM ble aktuelt.
- Bergartsprøver tatt i tunnel for undersøkelse av bergartenes mekaniske egenskaper:
 - DRI, BWI, CLI
 - Kvartsinnhold
 - CAI (Cerchar abrasivitet indeks)
- Enaksiell trykkfasthet ikke utført, men erfaringsdata fra Fløyfjellstunnelen i samme berggrunnsformasjon.
- Supplerende kartlegging av tetthet og utholdenhet på sprekker og stikk i eksisterende tunnelløp.
- Utførte undersøkelser og resultater beskrevet i ingeniørgeologisk rapport

- Normalt gjøres det et større omfang av grunnundersøkelser og kartlegging for TBM-tunnel enn vanlig konvensjonell tunnel.
- Viktig å vite mest mulig om de geologiske forholdene og hvilke geologiske risikoer som forventes.
- Bergartenes mekaniske egenskaper og bergmassens egenskaper med hensyn til oppsprekning har stor betydning for bergets borbarehet med TBM.
- Dårlige geologiske forhold har stor innvirkning på TBM-driften. Når TBM-en først har kjørt seg fast i problemene kan det være vanskelig å komme til for utbedringer, i motsetning til konvensjonell drift der fleksibiliteten er langt større.

Ingeniørgeologisk rapport for TBM: Beskrivelse av oppsprekning

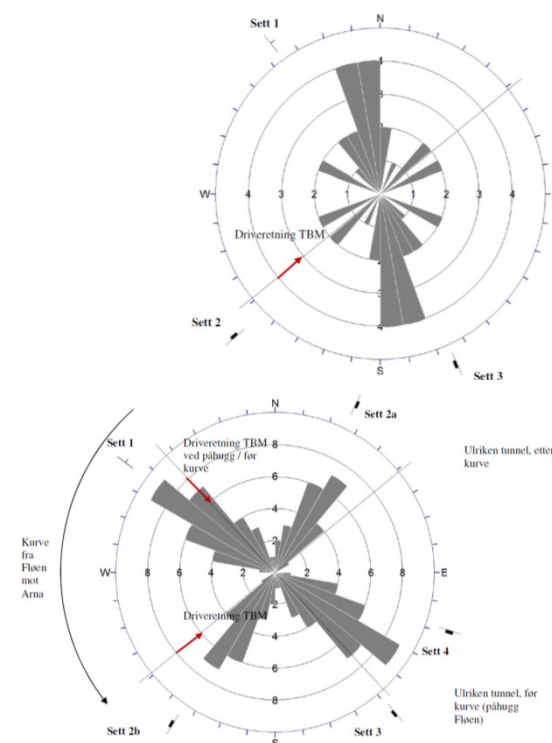
- Beskrivelse av bergmassens oppsprekning mht.
 - gjennomgående sprekker
 - utslukkende sprekker og stikk
 - sprekkeavstand
 - partier med massivt berg
 - sprekkesett, sprekkemønstre
 - markerte enkeltsprekker
 - sprekkers ruhet og overflateegenskaper
 - slepper og sleppemateriale
 - variasjoner langs tunneltraseen

Sprekkeutholdenhet

Kan defineres ved sprekkeklasser

Tabell 1: Sprekkeklasser (Etter Bruland/NTNU)

Sprekkeklasse (Sprekk – Sp / Stikk – St)	Typisk sprekkeavstand (cm)	Område for sprekkeavstand (cm)
0	∞	240 – ∞
0-I	160	120 – 240
I-	80	60 – 120
I	40	30 – 60
II	20	15 – 30
III	10	7.5 – 15
IV	5	4 – 7.5

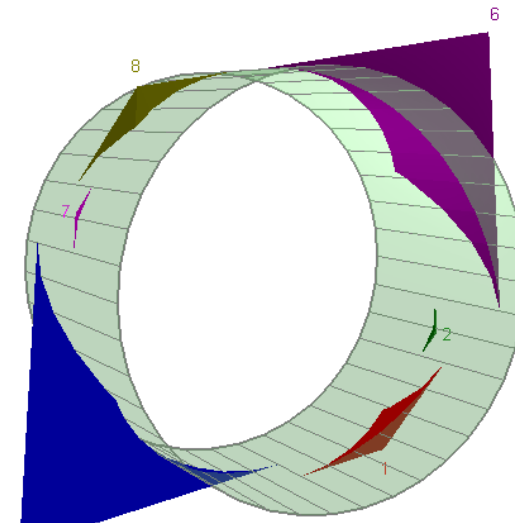


- Estimert over bergmassekvalitet
 - Bergmasseklassifisering (Q-verdi)
 - Sprekkeklassefordeling (St./Sp.)
 - Antall sprekkesett
 - (Sikringsklasse TBM)

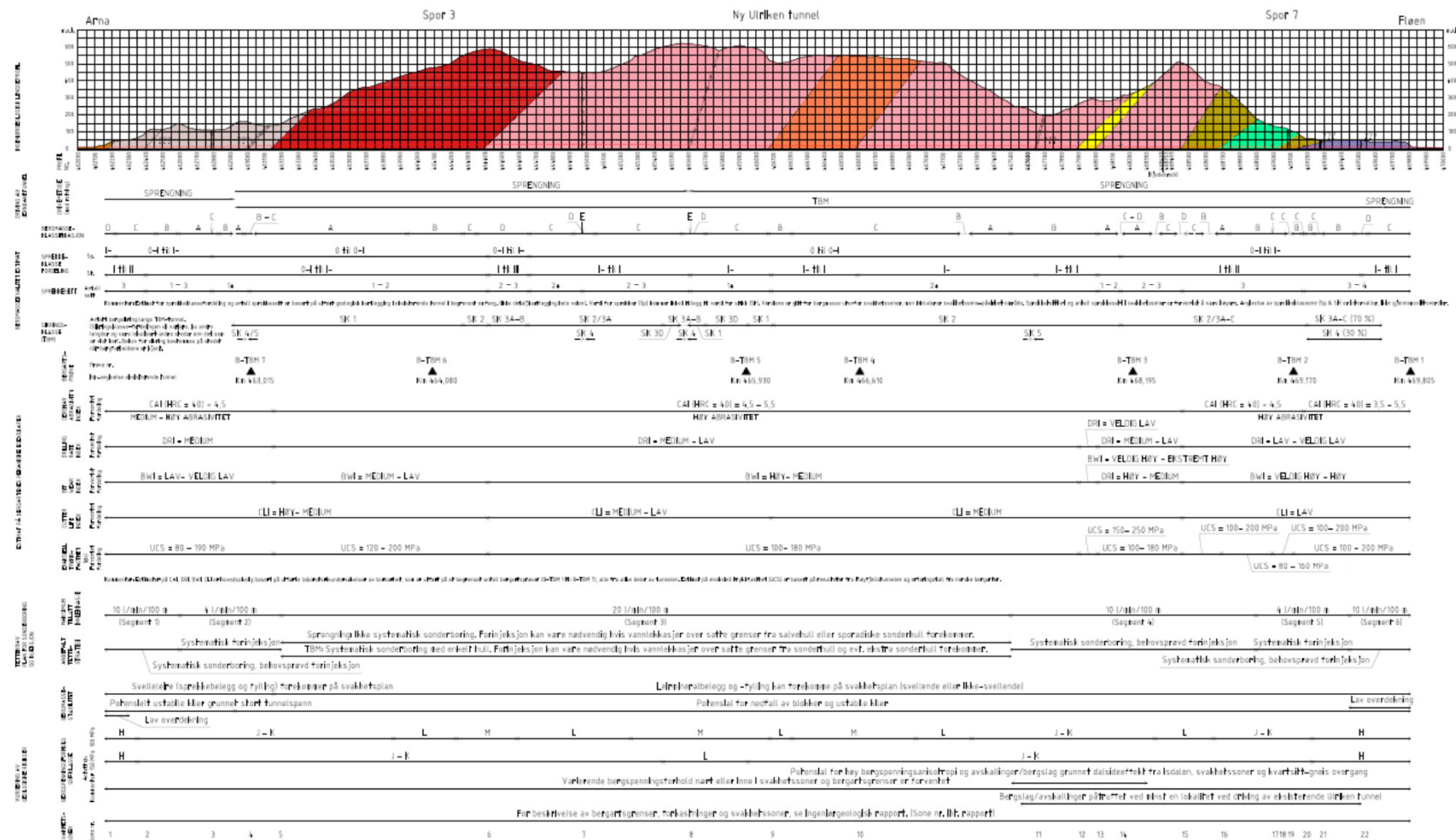
Prosentvis fordeling /
antatt fordeling langs
tunneltraseen
- Estimert på bergartenes mekaniske egenskaper
 - Cerchar Abrasivity Index (CAI)
 - Drilling Rate Index (DRI)
 - (Bit Wear Index (BWI))
 - Cutter Life Index (CLI)
 - Enaksiell trykkfasthet (UCS)
 - Kvartsinnhold
 - (Boreklasse TBM)

Prosentvis fordeling /
antatt fordeling langs
tunneltraseen

- Risikobergarter
 - Mekanisk meget svake bergarter (gripperfeste, tyteberg)
 - Mekanisk meget sterke bergarter (kutterslitasje, inndrift)
 - Bergarter med høyt kvartsinnhold, kvartsitt (kutterslitasje)
- Bergmassestabilitet
 - Detaljstabilitet (blokknedfall, små kiledannelser)
 - Totalstabilitet (store kiledannelser, liten overdekning)
 - Svakhetssoner (orientering, plassering, karakter, mektighet)
 - Svelleleire-potensial
- Vurdering av bergspenningsforhold
 - Forventet bergspenningsnivå (SRF-klasse)
 - Sprakeberg, tyteberg
- Vannforhold
 - Risiko for oversvømmelse



Norconsult



Beskrivelse:

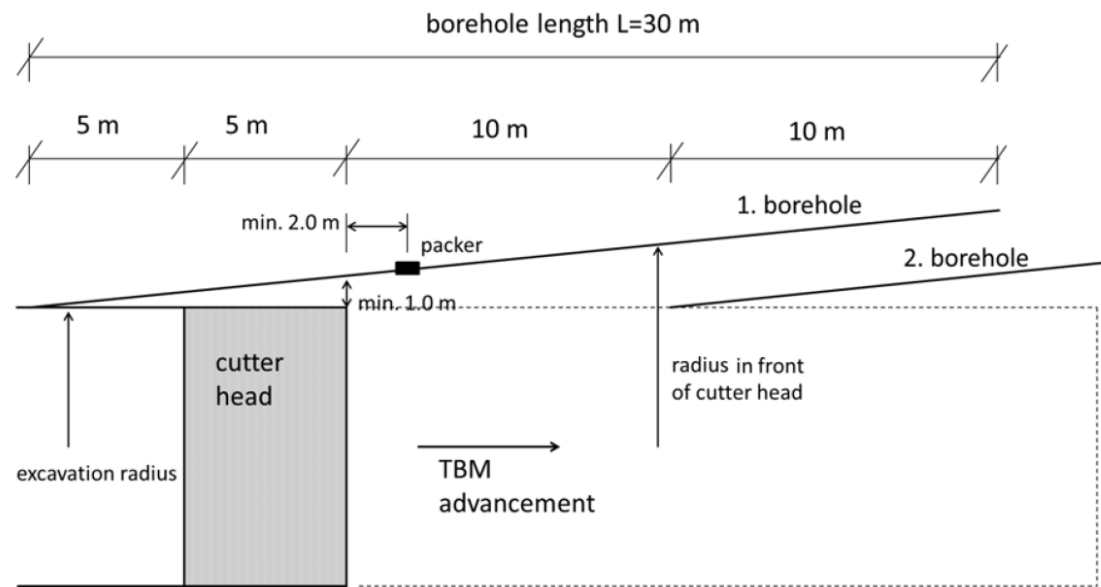
Hvordan beskrive boring av TBM-tunnel?

- Eksempel fra UUT21 Nye Ulriken tunnel
- Ikke andre nyere norske prosjekter å hente eksempler fra ved utarbeidelse av beskrivelsen.
- SVV Prosesskode skrevet for konvensjonell drift
- JBV's Tekniske spesifikasjoner for tunneldrift skrevet for konvensjonell drift
- Mye fra «scratch»
- God sveitsisk samarbeidspartner med bred TBM-erfaring.

- Krav i forhold til tunnelboremaskin
 - Teoretisk tunnelprofil (uten entreprenørens toleranser for boring og målenøyaktighet), evt. TBM-diameter (med entreprenørens toleranser)
 - Maskintype som håndterer den forventede geologien
 - Sikkerhetstiltak (NS-EN 16191:2014 Sikkerhetskrav – tunnelmaskiner)
 - Vedlikehold og reparasjoner
- Sonderboring/injeksjon
 - Utstyr for sonderboring og injeksjon på TBM og bakrigg
- Stabilitetssikring
 - Utstyr for stabilitetssikring på TBM og bakrigg
- Rigg for TBM
 - Strøm, vann, kommunikasjon
 - Logistikk og massetransport
 - Reservedeler

Beskrivelse: Sonderboring og injeksjon

- Prosesskodens beskrivelse og oppgjørsregler stort sett egnet for beskrivelse uten mye tilleggstekst.
- Til forskjell fra konvensjonell sonderboring/injeksjon er plassering av boransett for borhull langt bak stoffen, og pakkerplassering langt foran. Nødvendig med lange borehull.
- Boring gjennom kutterhode kan være risikabelt. Egen prosess for dette, med oppgjør pr. borehull.



Beskrivelse: Fullprofilboring

Oppgjørsprinsipper

- Til motsetning fra konvensjonell drift kan sikring utføres samtidig som tunneldriving (fullprofilboring).
- Sikringsomfanget (utført fra selve tunnelbormaskinen) får betydning for framdriften så snart sikringstida overstiger tida fra et gripperskifte til det neste.
- Oppgjør for fullprofilboring pr. meter tunnel er koblet opp mot hvor mye sikringsarbeid som utføres. Oppgjør iht. utførte sikringsklasser med ulikt sikringsomfang.
- Fullprofilboringen inkluderer ikke kostnader for stabilitetssikringen, men merkostnadene sikringen medfører denne.

Beskrivelse: Fullprofilboring

Oppgjørsprinsipper

Inkludert i fullprofilboringen

- boring ved forventede bergforhold
- abrasivitet på bergartene opptil en antatt øvre CAI-verdi
- trykkfasthet på bergartene opptil en antatt øvre UCS-verdi
- oppsprekning på bergmassen ned til en gitt gjennomsnittlig avstand mellom sprekker/stikk (stikk-klasse).
- boring i forhold til varierende sprekkeretninger
- moderate innlekkasjer av grunnvann, her inntil 10 l/s på stigning og 5 l/s på synk
- vasking/spyling av bergoverflaten etter boring
- transport av de borede massene fram til påhugget.

Ikke inkludert:

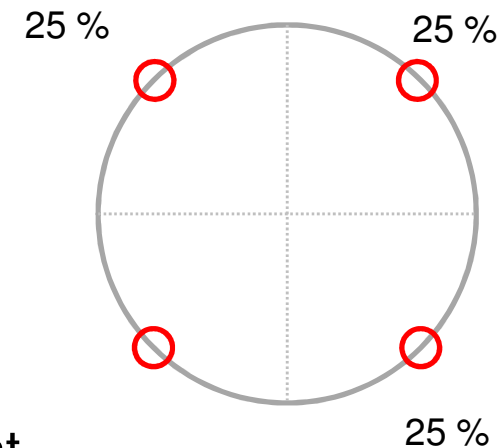
- boring på synk (egen prosess: meter tunnel på synk)
- videre massetransport fra påhugg
(egen prosess: prosjektert fast volum)
- restriksjoner for tunneldriften i bebygde områder med liten overdekning, knyttet til strukturlyd fra fullprofilboring og topphammerboring
(egen prosess: meter tunnel med restriksjoner)
- «ekstreme» geologiske forhold

Beskrivelse: Fullprofilboring. Kompensasjonsregler ved "ekstreme" geologiske forhold

- TBM-inndriften nært knyttet til bergets beskaffenhet.
- Vurderinger av bergartsparemetere og bergmasseparemetere, som innvirker på entreprenørens planlegging og framdriftsplan.
- Kan være aktuelt å definere boreklasser for ulike bergartstyper ved store variasjoner i bergartenes mekaniske egenskaper.
- Egne prosesser for tilfeller der entreprenøren mener bergforholdene er betydelig vanskeligere enn forutsatt.

Bergartsegenskaper

- Prøvetaking ved kjerneboring, oppgjør pr. prøvetaking á 4 prøvepunkter i profil.
- Prøving av abrasivitet/trykkfasthet, oppgjør pr. test á 4 prøver ved positive tester. Negative tester kompenseres ikke.
- Kompensasjon ved høy abrasivitet/trykkfasthet: Tillegg for antall meter tunnel med høy abrasivitet/trykkfasthet, justert for omfang av antall positive prøvepunkter i profilet (25, 50, 75 eller 100%).



Beskrivelse: Fullprofilboring. Kompensasjonsregler ved "ekstreme" geologiske forhold

Oppsprekning

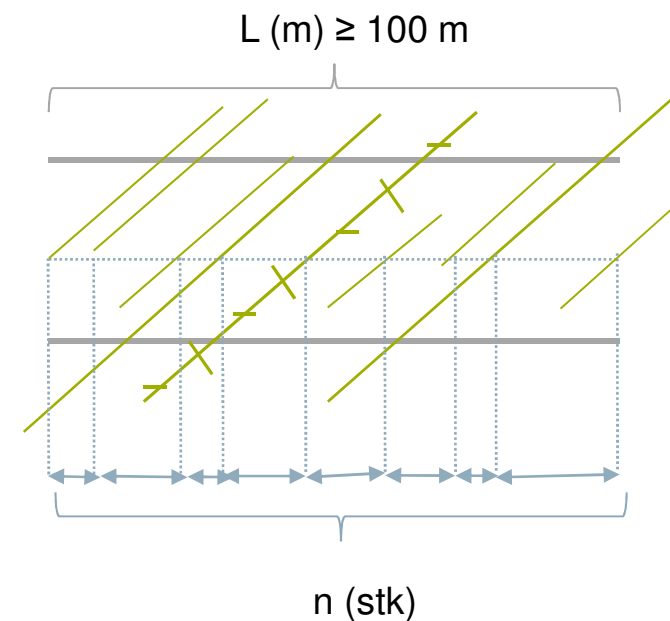
- Kompensasjon ved lav oppsprekningsgrad, lavere enn 120 cm sprekke-/stikkavstand (stikkklasse I-) i snitt over en strekning på mer enn 100 m. Tillegg for meter tunnel med lav oppsprekning.

Grunnvannsforhold

- Vannproblemer utover hhv. 5 og 10 l/s på synk og stigning. Tillegg pr. time med vannproblemer

Andre forhold

- Stillstand i fullprofilboring som skyldes byggherrens aktiviteter, og som ikke er prissatt ved egne prisbærende prosesser. Timer med stillstand i fullprofilboring.



Gjennomsnittlig sprekkeavstand,
 $s = L/n$

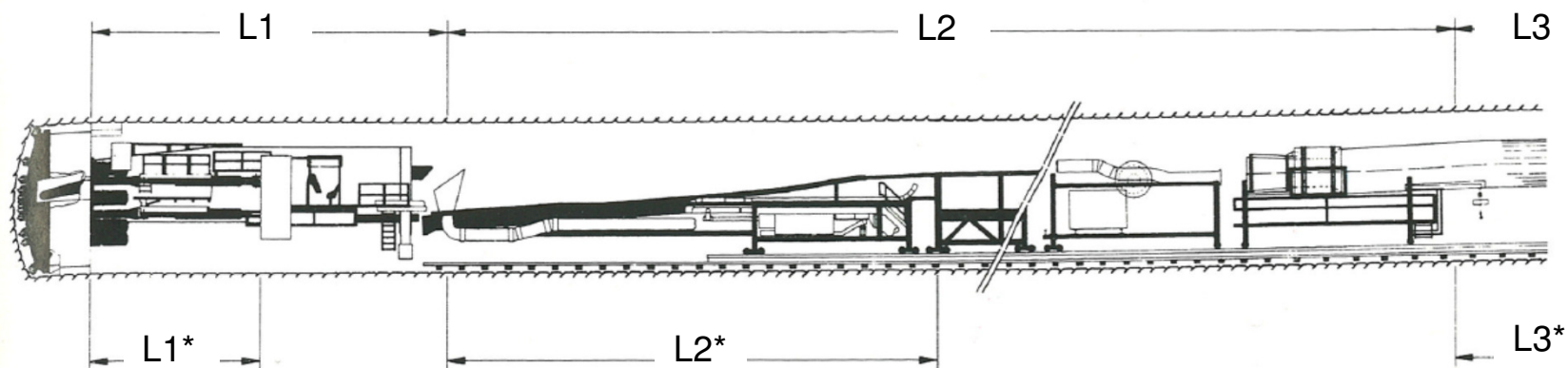
Alle sprekker og slepper regnes også som stikk.

- Definert sikringsklasser for stabilitetssikring, som definerer sikringsnivå ved ulike bergkvaliteter.
- Sikringsklassene definerer også omfang av heft for tunnelboringen.
- Sikringsbehovet bestemmes underveis i tunneldriften, basert på de møtte geologiske forholdene.
- Det er forutsatt å skulle være fleksibilitet mht. omfang og utførelse på sikringen. Boltelengder, -mønster og sprøytebetongtykkelser kan være aktuelt å tilpasse underveis.
- Ikke intensjonen ved sikringsklassene å låse all stabilitetssikringen til et forhåndsbestemt design.

Beskrivelse: Stabilitetssikring

Arbeidsområder

- Arbeidsområder for stabilitetssikring:
 - L1* (arbeidsområde sikring i maskinområde)
 - L2* (arbeidsområde sikring i bakriggområde)
 - L3* (tunnel bak bakriggen)



Beskrivelse: Stabilitetssikring

Arbeidsområder

Arbeidsområde L1*

Område for arbeidssikring og tidlig permanentsikring

- (Forbolter)
 - Rensk
 - Armeringsnett inkl. montasjebolter
 - Bolter
(kombinasjonsbolt, polyesterforankret bolt v/ høye bergspenninger)
 - Stålprofiler, stålbuer og stålplater (tung sikring)
 - Sprøytebetong kun ved spesielt dårlige forholdt (knusningssone, sprakeberg)
 - All arbeidssikring forutsatt å skulle inngå som del av den permanente sikringen.
- } Alternative sikringsmetoder

Beskrivelse: Stabilitetssikring

Arbeidsområder

Arbeidsområde L2*

Område for permanent sikring

- Supplerende rensk
 - Supplerende bolter
(kombinasjonsbolt, polyesterforankret bolt, innstøpt bolt)
 - Gysing av kombinasjonsbolter
 - Armeringsnett (vegger)
 - Sprøytebetong (uarmert/fiberarmert)
- } Alternative sikringsmetoder

Arbeidsområde L3*

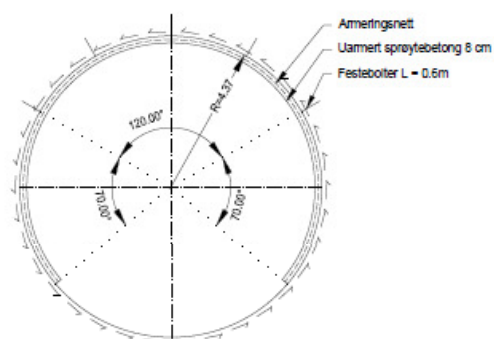
Hvis behov for senere supplerende permanent sikring

- Innstøpte bolter
- Bånd
- Fiberarmert sprøytebetong
- Tar sikte på å gjøre all sikring i L1* og L2*

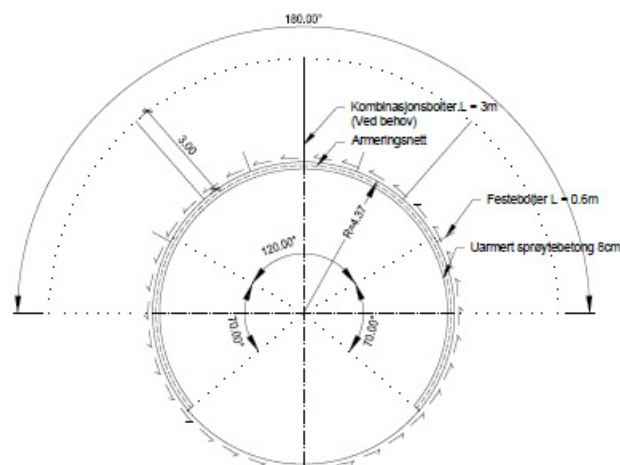
Beskrivelse: Stabilitetssikring

Sikringsklasser – Bolter, nett og sprøytebetong

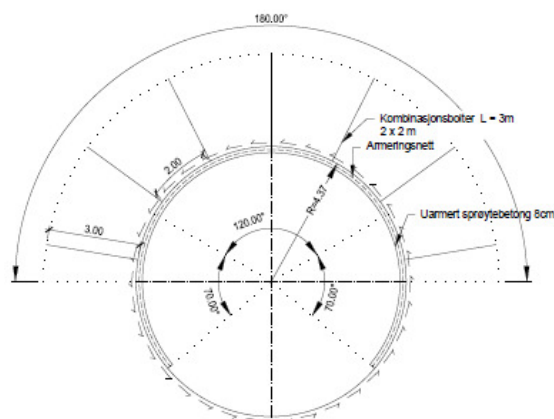
Sikringsklasse 1
Tverrprofil 1:100



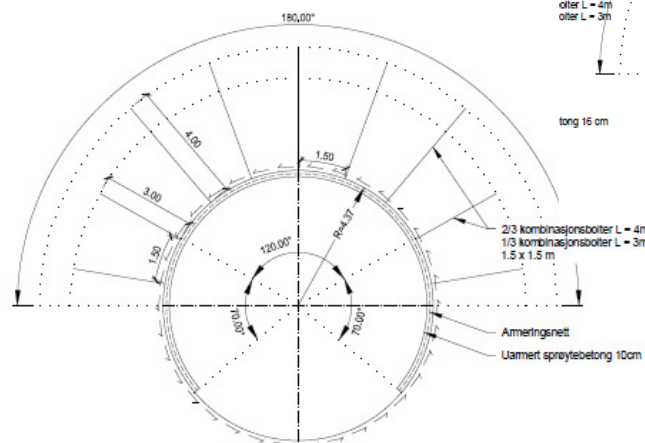
Sikringsklasse 2
Tverrprofil 1:100



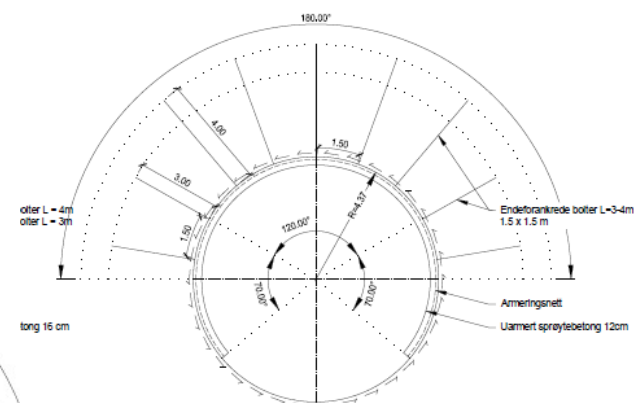
Sikringsklasse 3A
Tverrprofil 1:100



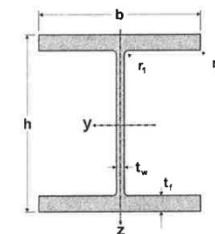
Sikringsklasse 3B
Tverrprofil 1:100



Sikringsklasse 3D
Tverrprofil 1:100



Norconsult



Beskrivelse: Stabilitetssikring

Oppgjørsregler

Oppgjør etter medgåtte mengder:

- Rensk: utført areal rensket (m²)
- Nett: utført areal sikret med nett (m²)
- Forbolter, sikringsbolter, festebolter: utført antall (stk)
- Sprøytebetong: utført sprøytet volum (m³)
- Stålprofil, stålbuer, stålplater:
Oppgjør etter vekt av stålprodukter (tonn), fordelt på:
 - Levering og lagring på anlegget
 - Transport og montering
- Det er skilt mellom arbeidssteder: L1*, L2* og L3*

- Rigg-prosesser
 - Riggkostnader for TBM
 - Montering og demontering av TBM og bakrigg
 - Starttunnel og startinstallasjoner
- Andre prosesser relatert til TBM-boring
 - Oppstart av boring
 - Boring mot gjennomslag, gjennomslag
 - Opprydding og transport av steinmasser ved geologiske nedfall i L1 og L2
 - Istandsetting av TBM underveis i boring (større reparasjon/bytte av alle deler utsatt for slitasje fra berget som ikke er slitedeler)

Takk for meg!

