

VEDLEGG B; Grunnlag for beregning av Q-verdi i 20 rørskjerm-prosjekter

Oversikt over beregning av Q-verdi, grunnforhold og rørskjermdesign for alle prosjektene, i forbindelse med delkapittelet som omhandler relasjoner i Q-systemet.

1. Holmestrand	
Kilde for data: (Myhre (2014), Drageset, 2013)	
RQD	15
J_n	15
J_r	1.5
J_a	6
J_w	1
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,025
ESR	1 (Klasse E)
Spennvidde /ESR	Høyde: 7,65m+3.05m/1=11

Generelle data fra Holmestrand-prosjektet:

I data fra Holmestrand-prosjektet hentet fra Myhre (2014), er det beregnet Q-verdier for problemområdet der rørparaplyen ble installert, i tillegg til at NGI har beregnet en samlet Q-verdi på 0,125 for hele området med løsmasse. For å få en lik vurdering av alle prosjektene i denne oppgaven er det likevel valgt å beregne en ny Q-verdi etter de betingelsene gitt i denne masteroppgaven, som er basert på beskrivelsen av geologien i området.

Problemområdet bestod av en strekning med liten til manglende bergoverdekning, med tidvis løsmasser/morene i hengen. Det ble registrert svært varierende bergmassekvalitet gjennom problemområdet. Løsmassene bestod av sand, leire og silt med underliggende morene.

Området med manglende overdekning var på ca. 60 meter. Morenen fra kjerneprøvene bestod av en blanding av oppløst, kantet og avrundet materiale. NGI vurdere GSI på morenen til å være 25. Estimert kohesjon var 1,5 MPa og friksjonsvinkel på 27°. Det antas å være en del fint materiale i morenen.

Vannforholdene var uvisse i forkant av driving, men forholdene ble funnet til å være relativt tørre. Tunnelen skulle krysse to kryssende svakhetssoner med bredde 4,6 meter og 1 meter.

Geometri på tunnel:

Radius: 7,65m

Høyde: 7,65m+3.05m \approx 11 meter

Type tunnel: Jernbanetunnel, type undergrunnsanlegg E.

Rørskjerm:

Tunnelprofilen ble delt i to, der toppskiven ble drevet ut først. Det var i denne delen rørparaplyen ble montert. Det ble benyttet 15 meter lange stålrør med diameter på 114 mm, veggtykkelse 6,3 mm og perforering for hver meter. For å hindre at rørene skulle brette ble det lagt inn 12 m lange kamstålbolter med diameter 32 mm. Rørene ble boret med en c/c på 0,3 m og ny paraply ble satt inn hver 7 meter, slik at det ble en dobbel rørparaply. Injeksjonsmasse med $v/c=0,8-0,5$ og injeksjonstrykk opp mot 15 bar ble brukt. Stiffen ble sikret med 12 m lange injiserbare bolter, påmontert armeringsnett og sprutet inn med sprøytebetong. Som permanent sikring ble det påført sprøytebetong på tunnelveggene og montert stålbuer av typen HEB200 med en c/c på 1 meter. Deretter ble det montert armeringsnett mellom og bak stålbuen, før alt ble dekket med sprøytebetong. Det er ikke målt setninger i området i etterkant (Drageset, 2013).

Komplikasjoner: Vanskelig å oppnå trykk uten at injeksjonsmassen kom rennende tilbake i tunnelen på utsiden av rørene. Det var også et par tilfeller hvor løsmasse kom rennende inn i tunnelen etter sprenging. Løsningen på dette ble å bore 3 dreneringshull per 7. meter (Drageset, 2013).

Resultat:

Sikringskategori: 7 (Fiberforsterket sprøytebetong > 15cm og forsterkede ribber med sprøytebetong og bolting, med c/c 2,3 m)

Bergmassekvalitet: F (ekstremt dårlig).

2. Takaoka tunnel

Kilde for data: Furukawa et al. (2007)

RQD	10
J_n	20
J_r	1
J_a	8
J_w	0,5
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,003125
ESR	1
Spennvidde /ESR	10

Generelle data fra Takaoka tunnel:

Grunnen tunnelen skulle drives gjennom bestod av ukonsolidert løsmasse gjennom hele tunnelens lengde på 3990m, med grunnvannsnivå over tunnelen. Løsmassene var lakustrine og estaurine avsetninger og bestod av grus, sand og vulkansk aske. Det var også risiko for kvikksand i området.

Komplikasjoner under driving: Kollaps av sandig materiale. Dette ble løst ved tilpasning av metoden underveis.

Arealet på tverrsnittet av tunnelen er angitt til å være 80,1-83,3m², som gir et tverrsnitt på ca. 10 meter, når tunnelen har hesteskofasong.

Type tunnel: Jernbanetunnel, type undergrunnsanlegg E.

Rørskjerm:

Tunnelen ble delt inn i to stoller, og den øverste stollen ble drevet ved mekanisk ekskavasjon. Ved valg av metode ble det lagt vekt på å finne en forboltingsmetode det tidligere hadde vært

god erfaring med i vannbærende løsmasse. Metoden som ble valgt er beskrevet som lang forbolting med et «twin pipe double packer system» til injeksjon av boltene, og vann/glass injeksjonsmasse. AGF-R stålrør med diameter 60 cm ble tilpasset til metoden. Rørene var 12 meter lange, og overlapp mellom hver skjerm var 3 meter. Det ble satt ca. 34 rør per skjerm. Stålrørene hadde injeksjonsdyser og påmontert tilbakeslagsventil. Rundt hvert stålrør var der også en injeksjonsmansjett. Målet var å få dannet solide jord/betong-peler, for å konsolidere grunnen mellom stålrørene. Pelene skulle ha diameter på 1.5 meter der det var vanninnsig, og 1 meter ellers. C/c mellom rørene var i begynnelsen 0,6 meter, men ble satt til 0,45 meter, etter kollaps av løsmasse mellom rørene. Det ser ut til at injeksjonstrykket ved injeksjon av stålrørene var litt under 1-1,7 MPa. Det ble regelmessig boret dreneringshull i tunnelen under driving (Furukawa et al., 2007).

AGF står i dette tilfellet for «All Ground Fastened»

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 1 m),
Bergmassekvalitet: G (Usedvanlig dårlig).

3. The Fort Canning Tunnel, Singapore	
Kilde for data: (Zeidler og Schwind, 2007)	
RQD	10
J_n	20
J_r	1
J_a	8
J_w	0,5
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,003125
ESR	1
Spennvidde /ESR	15

Generelle data fra «The Fort Canning» tunnel:

Grunnen i området tunnelen skulle drives gjennom bestod av løsmasse, kombinert med høy grunnvannsstand. Tunnelen ble drevet gjennom residuale sedimenter av kolluviale avsetninger, med en overdekning på mellom 3 og 9 meter. Løsmassene bestod av sandsteinsblokker i en matriks av hard sandig silt, eller sandig leire med silt. Forholdet mellom blokker og matriks varierte mellom 70-30% og 30-70%. De ble antatt at de verste forholdene var tilstede i taket av tunnelen. Grunnvannsnivået lå ca. 1 meter under overflaten, det vil si 2-8 meter over tunnelen.

Bredde på tunnel: 15m

Type: Veitunnel med liten overdekning.

Rørskjerm:

AGF-rør med diameter 114mm, veggtykkelse på 6mm og lengde 12.5m, c/c:0,4 m. Monteringsvinkel var 7% og overlapp mellom hver skjerm var 3,5 meter. Injeksjonsmassen var to-komponent polyurethane.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 1 m), Nesten sikringskategori 9 (Spesiell vurdering).

Bergmassekalitet: G (Usedvanlig dårlig).

4. The Dulles Corridor Metro Rail Project

Kilde for data:(Gall og Zeidler, 2008, Rudolf et al., 2007)

RQD	10
J_n	20
J_r	1
J_a	8
J_w	0,66
SRF	10
Beregnet $Q - verdi$	0,004125
ESR	0,8
Spennvidde /ESR	$8/0,8 = 10$

Generelle data fra «The Dulles Corridor Metro Rail Project»:

Flere tunneler som skulle drives i residuale løsmasser og bergmasse som var så forvitret at den var løsmasseaktig. De residuale løsmassene bestod av fin sandig silt og leire og siltig fin sand. Grunnvannsnivået lå rett under tunnelen noen plasser rakk det opp til tunnelen. Overdekning var ca. 3-12 meter.

Høyde tunnel: 8 m

Type tunnel: Undergrunnsbane med stasjon. Type undergrunnsanlegg: F.

Rørskjerm

Metoden ble betegnet som «Pipe Arch Canopies», med retningsstyrt drilling. Lengden på rørene i hver rørskjerm var rett under 18 meter og minimum 4.6 meter overlapp mellom hver skjerm. Metoden er også beskrevet som systematisk injisert stålrørsbue. Profilet ble delt i to stoller, der inndriften på øverste stoll ikke skulle overgå 0,9 m, inndriften på nederste stoll skulle ikke overgå 1,8 m. Under driving ble det dreneringsrør i tunnelveggen. Det ser ut til at

stålrørene som ble benyttet i rørskjermen hadde en diameter på 150mm, og de hadde en monteringsavstand på ca. 0,3m.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 1,7 m),
Bergmassekvalitet: G (Usedvanlig dårlig).

5. Elite Tunnel, Israel	
Kilde for data: (Wittke et al., 2006)	
RQD	10
J_n	20
J_r	1
J_a	8
J_w	0,66
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,004125
ESR	1
Spennvidde /ESR	12

Generelle data fra Elite tunnel:

I grunnen der tunnelen skulle drives var det leirig sand, fin sand og mye kalk øverst i profilet, delvis sementert grus og sand med svak kohesjon i nedre del av profilet. Grunnvannsnivået lå ved overflaten, til 1 meter under overflaten.

sand, medium dense:
 $E = 100 \text{ MN/m}^2$, $\nu = 0.35$
 $\varphi' = 30^\circ$, $c' = 0$

sand, dense:
 $E = 250 \text{ MN/m}^2$, $\nu = 0.35$
 $\varphi' = 30^\circ$, $c' = 0$

Type tunnel: Veitunnel med ca. 12 meters tverrsnitt

Rørskjerm

I rørskjermen ble det brukt 12 meter lange stålrør med en diameter på 168 mm og en veggtykkelse på 7 mm. Monteringsavstanden mellom rørene var 0.4 m. Overlapp mellom hver rørskjerm var 3 meter. Hvert rør ble forsterket med 4 kamstålsbolter med diameter på 32mm, og rørene ble fylt med betong av typen B25. Inndriften var satt til 1 meter.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 1,7 m),
Bergmassekvallitet: G (Usedvanlig dårlig).

6. Yxhugget, Norra länken, Stockholm	
Kilde for data: Andersson et al. (2011)	
RQD	15
J_n	15
J_r	1,5
J_a	6
J_w	0,66
SRF	10
Beregnet $Q - verdi$	0,0165
ESR	1
Spennvidde /ESR	15

Generelle data fra Yxhugget:

I et 7 meter strekke av tunnelen manglet bergoverdekningen helt eller delvis. Massene i taket av tunnelen her var en siltig-sandig tett bunnmorene. Den manglende overdekningen kom som en overraskelse under driving. Bergmassen i området består av middel- til grovkornet rød

granitt, med innslag av gneis. Sprekkefrekvensen i området var generelt høy og sprekkeene inneholdt rikelig med leire og kloritt. Overdekningen var ca. 16 meter. Grunnvannsnivå lå 8-9 meter over taket på tunnelen. Forholdene var relativt tørre under driving.

Bredde på tunnel: 15 meter.

Rørskjerm:

Salvelengden ble satt til 1,5 meter. Etter hver salve ble det montert en gitterbue. Vegg og gitterbue ble dekket med fiberarmert sprøytebetong. Injiserbare stag ble montert gjennom annenhver gitterbue, slik at det ble 3 meter mellom hver rørskjerm. For at gitterbuene ikke skulle forflytte seg under boring av stålrørene, ble de forankret med bolter og sprøytebetong før de ble boret inn. Metoden som ble benyttet her refereres til som «Composite Pile Roofing». Og stålrørene som ble benyttet var «TITAN Hollow Bar 40//16». Legden på stålrørene varierte fra 9-15 m. Om rørene ble boret 9 meter i berg uten å treffe på moren, ble boringen avsluttet. Om de ble boret gjennom morene var c/c 0,4m, der hele lengden på stålrørene var boret i berg ble c/c 0,8 meter. Dette ble løst ved at annenhver spile ble boret først i hver skjerm. Etter stagene var installert ble hullåpningen tildekket av en plugg med «sladrør», for å få bekreftet at injeksjonsmassen dekket hele staget. Til slutt ble det injisert med vct 0,5. Stoppkriteriene ble satt til 1,5 MPa, eller 700 liter pr. hull. De selv borende stagene hadde en ytre diameter på 40 mm og en indre diameter på 16 mm. Injeksjonsmassen kommer ut fra enden av rørene og fyller hulrommet mellom omliggende masse og røret fra enden og så ut mot stuff.

I dette tilfellet var drivingen vellykket, og valg av metode ansees som riktig.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 1,7 m),
Bergmassekvallitet: F (Ekstremt dårlig).

7. Erlangshan tunnel

Kilde for data: Wang et al. (2009)

RQD	10
J_n	20
J_r	1
J_a	6
J_w	1 Virker sannsynlig i forhold til grunnforhold og prosjekt beskrivelse.
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0.008333
ESR	1
Spennvidde /ESR	7

Generelle data fra Erlangshan tunnel:

Tunnelen ble drevet i ukonsolidert løsmasse med liten overdekning.

Dette tilfellet er litt usikkert på grunn av manglende informasjon om grunnvannsforhold og sammensetningen av løsmassene. Det er utført et litteratursøk for å forsøke å få tak i denne informasjonen. Det virker ikke som vann har vært et problem i dette prosjektet, setter derfor sprekkevannstall til 1.

Høyde: 7 meter

Rørskjerm:

Den permanente sikringen var stålribber med c/c 1,0 meter. Overdekningen var ca. 10 meter. Fremdrift var satt til 1,5 meter. Stålrørene i rørskjermen hadde en diameter på 102 mm og en veggtykkelse på 10mm, lengden på rørene var 30 meter. C/c mellom rørene var 0,4m, og hver skjerm hadde 28 rør. Rørene ble injisert med c/v-ratio 1/0,5, under 0,5-1,0 MPa.

Resultat:

Sikringskategori: 7 (Fiberforsterket sprøytebetong > 15cm og forsterkede ribber med sprøytebetong og bolting, med c/c 2,3 m)

Bergmassekvalitet: F (ekstremt dårlig).

8. Istanbul Metro	
Kilde for data: Ocak (2008)	
RQD	10
J_n	20
J_r	1
J_a	10
J_w	1, velger denne verdien da leire er tilnærmet tett.
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,005
ESR	1
Spennvidde /ESR	6,3

Generelle data fra Istanbul Metro:

Mye av tunnelen er drevet gjennom en formasjon som består av sandstein, siltstein, leirstein og skifer, men store deler av tunnelen går også gjennom leire. Overdekningen varierer mellom 11 og 42 meter.

Høyde av tunnel: 6,3 meter

Type tunnel: Undergrunnsbane.

Rørskjerm:

Profilen ble delt i to stoller, hvor den øverste stollen drives 2.4 meter foran den nederste stollen. Den øverste stollen hadde et areal på 28m², og den nederste 8m².

Ekskavasjonslengden i de områdene med dårligst geologi ble satt til 0,6-0,8 meter. Antall rør benyttet i rørskjermen i de dårligste delene var maksimum 30. Stålrørene som ble bruke hadde en diameter på 114mm, en veggtykkelse på 6.3mm og en lengde på 9 meter. De ble installert med en vinkel på 6-8° grader. C/c varierte mellom 0,3 og 0,4 meter og hver skjerm hadde 24-30 rør. Overlapping mellom skjermene var 3 meter. Etter rørene var boret inn ble åpningen lukket med gips. Injeksjonsmassen hadde c/v-ratio på 75%, og ble injisert med 3-3 bars trykk. Det ble på forhånd laget flere hull langs stålrørene for å få injeksjonsmassen fordelt rundt hele røret. Skjermene overlapper med 3 meter. Injeksjonen fortsetter til injeksjonsmassen kommer ut «sladrerøret». Under driving i områdene med leire sikres også sålen med 16-24 jordnagler som er bores 10-12° nedover, med en lengde på 12 meter. Her brukes en overlapping på 6 meter. Litt dårlig engelsk i artikkelen, virker som forfatteren har brukt «face» i stedet for «sole», jeg har derfor tolket det som såle.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 1,7 m),
Bergmassekvalitet: G (Usedvanlig dårlig).

9. La Perosa Tunnel, Italia	
Kilde for data: (Pelizza og Peila, 1993, Società Italiana, 1991)	
RQD	10
J_n	19
J_r	1
J_a	7
J_w	1
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,007519
ESR	1
Spennvidde /ESR	13,5

Generelle data fra La Perosa Tunnel:

Grunnen der tunnelen skulle drives gjennom bestod hovedsakelig av morene bestående av svakt konsolidert løsmasse med altererende lag av grus, sand, silt og leire, med noen større blokker. Vannmålinger ble utført i hullene etter kjerneboring, for å se om grunnvannsstanden lå i profilet. Tolker kilden slik at grunnvannsstanden lå under tunnelen.

Tunnel: Veitunnel, hvor ekskavasjonsflaten hadde et areal på 100m², antatt spennvidde er 13,5 meter.

Rørskjerm:

Metoden som er brukt betegnes som «Pipe Umbrella». Stålrørene som ble benyttet hadde en diameter på 101 mm, en tykkelse på 10 mm og hullet som ble boret hadde en diameter på 120 mm. Lengden på rørene var 12 meter, med en overlapp på 9 meter. De ble boret mellom 33 og 39 rør per skjerm. Lengden på seksjonen hvor rørparaplyen ble brukt var 400 meter.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 1,7 m),
Bergmassekvalitet: G (Usedvanlig dårlig).

10. Nathpa Jhakri Hydroelectric Project	
Kilde for data: (Carrieri et al., 2002)	
RQD	10
J_n	19
J_r	1
J_a	7
J_w	0,5
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,003759
ESR	1 (1,6 men pga. lav Q-verdi skal ESR settes til 1)
Spennvidde /ESR	12

Generelle data fra Nathpa Jhakri:

Tunnelen ble drevet gjennom en forkastningssone, kalt «Daj Khad Shear Zone». Minste overdekning i dette området var 175 meter og partiet bestod av sterkt oppknust glimmerskifer. Usikkert hvordan vannforholdene var, men plantegningene viser at det er installert mange dreneringsrør rundt profilet, så antar derfor at det har vært noe vann der. I borekjernene var det funnet sprekkefylling med leire, men dette var ca. 100 meter over tunnelen.

Tunnelspenn: ca. 12 meter.

Type tunnel: tilløpstunnel, hydroelektrisk, underjordsanlegg klasse C, ESR 1,6. Men siden Q-verdi er under 0,1, blir ESR 1 i dette tilfellet.

Rørskjerm:

Det ble benyttet stålrør med diameter 114mm og tykkelse 8,8 mm, c/c mellom rør var ca. 0,5m. Helning på rørene fra horisontal retning var ca. 7°. Rørene var 12 meter lange, avstand mellom hver skjerm var 8.75 meter, slik at det ble 3,25 meter overlapp.

Rørene ble festet til gitterdragere (ISHB200), c/c mellom gitterdragerne var 0,75 meter, og det ble derfor 10 gitterdragere mellom hver skjerm. Radielle bolter for å feste gitterdrageren til profilet. For å sikre stoff før hver skjerm ble installert ble det satt inn dreneringshull, «Jet-grouted» fiberglassrør på 14 meter rett inn foran stoff, armeringsnett og sprøytebetong.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 1,0 m),
Bergmassekvalitet: G (Usedvanlig dårlig).

11. Tujiangchong Tunnel

Kilde for data: (Yang et al., 2008)

RQD	10
J_n	19
J_r	1
J_a	6
J_w	1
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,008772
ESR	1
Spennvidde /ESR	12

Generelle data fra Tujiangchong Tunnel:

Kvaliteten på bergmassen i området der tunnelen skulle drives var veldig dårlig. Tunnelen skulle bygges 15 meter under en annen vei. Begrensning av setninger på overflaten var derfor et viktig element. De øverste 6 meterne bestod hovedsakelig av fyllmasse under den overliggende veien. De resterende 9 meterne bestod av dekomponert leirholdig skifer, med en kohesjon på 0,05 MPa, og friksjonsvinkel på 20°. Er ikke nevnt noe om vannforhold i denne prosjektbeskrivelsen. Er ikke lagt inn drening i plantegningene, og etter å ha studert kart og profil, antas det at det var lite vann tilstede.

Type tunnel: Veitunnel.

Bredde: ca. 26, om begge tunnelene regnes (12 om en tunnel regnes). De ligger vegg, i vegg og skjermene legges over begge.

Rørskjerm:

Det ble valgt å bruke en 2-lags rørskjerm, med diameter 108 mm og veggtykkelse på 6 mm. I det ytterste laget hadde rørene en lengde på 19 meter, og en c/c på 0,42 meter. Rørene i det

indre laget var 40 meter med c/c på 0,4 meter. Det ble brukt en fempunktsanordning ved plasseringen av rørene mellom øverste og nederste skjerm. For å forsterke rørene, ble kamstålsbolter med diameter på 22 mm satt inn i hvert stålrør, før rørene ble gyst. Her ble det ikke brukt selvborende stålrør, men først boret hull, for så å presse stålrørene på plass. Annethvert hull ble boret og installert først.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 1,7 m),
Bergmassekvalitet: G (Usedvanlig dårlig).

12. Caldecott Fourth Bore	
Kilde for data: (Thapa et al., 2013, Thapa et al., 2007)	
RQD	10
J_n	16
J_r	1,3
J_a	6
J_w	1
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,013542
ESR	1
Spennvidde /ESR	15

Generelle data fra Caldecott Fourth Bore:

Grunnen hvor tunnelen skulle drives bestod av en svak skifer som var sort i fargen og siltig. Den var sterkt oppsprukket og knust. Kohesjon var 0,065 MPa. Grunnvannet lå like over profilet til tunnelen, og det ble ikke målt innsig av betydning.

Type tunnel: Veitunnel, med tverrsnitt på ca. 15 meter.

Rørskjerm:

På grunn av liten overdekning og blokkete oppknust skifer i de første 52 meterne av tunnelen fra det vestre påhugget, ble det valgt å installere en enkelt lang «Pipe Canopy». Rørene som ble benyttet hadde en diameter på 203 mm og var 52 meter lange. Det ble benyttet 51 rør med en c/c på 0,5 meter. Rørene ble injisert på innsiden. Den opprinnelige planen var en mer klassisk rørparaply, som de også benevnte som «Pipe Canopy». ”

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 2,3 m),
Bergmassekvalitet: F (Ekstremt dårlig).

13. Trojane Tunnel, Slovenia	
Kilde for data: (Volkmann et al. (2006), Schubert et al., 2005, Alwag, 2007)	
RQD	15
J_n	15
J_r	1,4
J_a	8
J_w	1
SRF	10
Beregnet $Q - verdi$	0,0175
ESR	1
Spennvidde /ESR	11

Generelle data fra Trojane Tunnel:

Bergmassen i området hvor rørskjermen installeres er dominert av oppsprukket myk leirstein, med noen mer kompetente blokker av sandstein. Bergmassen inneholder også leirsoner. Kohesjon ble målt til 0,001-0,054 MPa, friksjonsvinkel 18°-20°. Er ikke nevnt noe om vannproblemer, velger derfor verdien 1 for J_w . Overdekning var ca. 15 meter.

Type tunnel: Veitunnel med spennvidde på ca. 11 meter

Rørskjerm

Finner ingen beskrivelse av metoden. Med tanke på at dette prosjektet er presentert av Alwag, antas at rørene AT 114 er benyttet, da dette er stålrørene som benyttes i den rørskjermvarianten de representerer. Antar derfor en diameter på 114 mm, veggtykkelse 6,3 mm og perforering av rørene for hver meter.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 2,3 m),
Bergmassekvalitet: F (Ekstremt dårlig).

14. Birgl Tunnel, Østerrike	
Kilde for data: (Volkman et al., 2006, Alwag, 2007)	
RQD	10
J_n	20
J_r	1
J_a	10
J_w	1
SRF	10
Beregnet $Q - verdi$	0,005
ESR	1
Spennvidde /ESR	12

Generelle data fra Birgl Tunnel:

Bergmassen består av leirete kataklastisk materiale som ligger i en forkastningssone. Massen inneholder også noen linseformede kompetente blokker. Kompresjonsstyrken til massen er under 0.2 MPa, kohesjon 0,06MPa og friksjonsvinkel 20°-30°. Overdekning var 30-50 meter.

Type tunnel: Jernbanetunnel med en spennvidde på ca. 12 meter

Rørskjerm

Finner ingen beskrivelse av metoden. Med tanke på at dette prosjektet er presentert av Alwag, antas at rørene AT 114 er benyttet, da dette er stålrørene som benyttes i den rørskjermvarianten de representerer. Antar derfor en diameter på 114 mm, veggtykkelse 6,3 mm og perforering av rørene for hver meter.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 1,7 m),
Bergmassekvalitet: G (Usedvanlig dårlig).

15. Fiumelatte Tunnel, Italia	
Kilde for data: (Pelizza og Peila, 1993, Structurae, u.d.-b)	
RQD	10
J_n	17
J_r	1,2
J_a	6
J_w	1
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,01176
ESR	1
Spennvidde /ESR	10

Generelle data fra Fiumelatte Tunnel:

Tunnelen er drevet gjennom debrismateriale bestående av kalkstein. Satellittbilder over området viser at tunnelen antageligvis er bygget under rasviften til en fjellrygg. Antar de geologiske forholdene ut fra dette.

Type tunnel: Veitunnel. Spennvidden til tunellen er ikke angitt, men ved å studere bilde fra Structurae (u.d.-b), antas et tverrsnitt på ca. 10 meter.

Rørskjerm:

Diameteren på borhullene som rørboltene ble installert i var 95 mm, diameteren på stålrørene var 84 mm, med en tykkelse på 4,5 mm. Stålrørene var 12 meter lange, og overlapp var på 4 meter. Hver rørskjerm hadde 12 rør. C/c mellom rørboltene er ikke nevnt.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 2,3 m),
Bergmassekvalitet: F (Ekstremt dårlig).

16. Delle Tanze Tunnel, Italia	
Kilde for data: (Pelizza og Peila, 1993, Stragiotti et al., 1979)	
RQD	17
J_n	14
J_r	1,5
J_a	4
J_w	0,6
SRF	5
Beregnet $Q - verdi$	0,05464
ESR	1
Spennvidde /ESR	7

Generelle data fra Delle Tanze Tunnel:

Kalkholdig, mylonittisk skifer, med høyt innhold av muskovitt. Oppsprukket bergmasse, bruddflatene var sjelden helt glatte. Det var målt høy vanninnstrømning i tunnelen, 40 L/s. Overdekning var 100-160 meter.

Type tunnel: Jernbanetunnel med ett spor. Areal på kryssseksjonen: 42 kvadratmeter. Antar derav en spennvidde på 7 m, da tunnelen er hesteskoformet.

Rørskjerm:

Diameteren på borhullene som rørboltene ble installert i var 95 mm, diameteren på rørboltene var 84 mm, med en tykkelse på 4,5 mm. Rørboltene var 12 meter lange, og overlapp var på 3 meter. Hver rørskjerm hadde 9-12 rør. C/c mellom rørboltene er ikke nevnt.

Resultat:

Sikringskategori: 7 (Fiberforsterket sprøytebetong > 15cm og forsterkede ribber med sprøytebetong og bolting, med c/c 2,9 m).

Bergmassekvalitet: F (ekstremt dårlig).

17. Cernobbio Tunnel, Italia	
Kilde for data: (Pelizza og Peila, 1993, Structurae, u.d.-a)	
RQD	12
J_n	15
J_r	1,2
J_a	6
J_w	0,9
SRF	10
Beregnet $Q - verdi$	0,0144
ESR	1
Spennvidde /ESR	11

Generelle data fra Cernobbio Tunnel:

Massene tunnelen ble drevet gjennom er alluviale avsetninger bestående av grus og stein.

Type tunnel: veitunnel. Etter å ha vurdert bilde vist på nettsiden Structurae (u.d.-a), antas spennvidden til å være ca. 10 meter.

Rørskjerm:

Diameteren på borhullene som rørboltene ble installert i var 150 mm, diameteren på rørboltene var 148 mm, med en tykkelse på 6 mm. Rørboltene var 18 meter lange, og overlapp var på 5 meter. Hver rørskjerm hadde 18 rør. C/c mellom rørboltene er ikke nevnt.

Resultat:

Sikringskategori: 7 (Fiberforsterket sprøytebetong > 15cm og forsterkede ribber med sprøytebetong og bolting, med c/c 2,3 m), nesten sikringskategori 8.

Bergmassekvalitet: F (ekstremt dårlig).

18. Serre la Voute	
Kilde for data:(Pelizza og Peila, 1993, Ceccucci et al., 2008, Structurae, u.d.-d)	
RQD	12
J_n	15
J_r	1,5
J_a	4
J_w	0,60
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,018
ESR	1
Spennvidde /ESR	11

Generelle data fra Serre la Voute:

I den delen av tunnelen hvor rørskjerm ble benyttet, ble den drevet gjennom skredmasser. Massene består av kvartære avsetninger og løst grunnfjell. Det litt uklart hvordan forholdene på stedet var, men etter å ha vurdert bilder og litteratur, antas det at tunnelen ble drevet gjennom den delen av skredmassene som består av løst grunnfjell, og at det er noe vann tilstede. Strekningen med disse forholdene var på 160 meter. Den utglidende prosessen er pågående under og etter driving av tunnelen. Vann ser ut til å være knyttet til større bevegelse av massene.

Type tunnel: veitunnel med to felter. Etter å ha sett på tunnelen ved hjelp av «google street view», som det er linket videre til på nettsiden Structurae (u.d.-d), antas spennvidden til å være ca. 10 meter.

Rørskjerm:

Diameteren på borhullene som rørboltene ble installert i var 180 mm, diameteren på rørboltene var 140 mm, med en tykkelse på 10 mm. Rørboltene var 14 meter lange, og overlapp var på 4 meter. Hver rørskjerm hadde 18 rør. C/c mellom rørboltene er ikke nevnt.

Resultat:

Sikringskategori: 7 (Fiberforsterket sprøytebetong > 15cm og forsterkede ribber med sprøytebetong og bolting, med c/c 2,3 m), nesten sikringskategori 8.

Bergmassekvalitet: F (ekstremt dårlig).

19. Pietratagliata Tunnel, Italia

Kilde for data: (Pelizza og Peila, 1993, Structurae, u.d.-c)

RQD	10
J_n	20
J_r	1
J_a	8
J_w	1
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,00625
ESR	1
Spennvidde /ESR	11

Generelle data fra Pietratagliata Tunnel:

Finner ingen geologisk beskrivelse av området, annet enn at seksjonen på 32 meter med rørskjerm er drevet gjennom skredmasser med leire.

Type tunnel: veitunnel med to felter. Etter å ha sett på tunnelen ved hjelp av «google street view», som det er linket videre til på nettsiden Structurae (u.d.-c), antas spennvidden til å være ca. 10 meter.

Rørskjerm:

Diameteren på borhullene som rørboltene ble installert i var 160 mm, diameteren på rørboltene var 101 mm, med en tykkelse på 10 mm. Rørboltene var 18 meter lange, og overlapp var på 4 meter. Hver rørskjerm hadde 13 rør. C/c mellom rørboltene er ikke nevnt.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 2,3 m),
Bergmassekalitet: G (Usedvanlig dårlig).

20. Serena Tunnel, Italia

Kilde for data: (Pelizza og Peila, 1993, Grasso et al., 1991)

RQD	10
J_n	18
J_r	1
J_a	8
J_w	0,66
SRF	10
Beregnet Q – verdi	0,004583
ESR	1
Spennvidde /ESR	13

Generelle data fra Serena Tunnel:

Massene tunnelen ble drevet gjennom består av komplisert geologi, dannet av elveavsetninger bestående av grovt, kalkholdig, leirholdig, dårlig sortert materiale. Finner ingen mer detaljert beskrivelse av de 50 meterne rørskjermen ble installert i.

Type tunnel: Jernbane med dobbelt spor. Spennvidde er ca. 13 meter.

Rørskjerm:

Diameteren på borhullene som rørboltene ble installert i var 120 mm, diameteren på rørboltene var 114 mm, med en tykkelse på 7 mm. Rørboltene var 12 meter lange, og overlapp var på 9 meter. Hver rørskjerm hadde 30-44 rør. C/c mellom rørboltene er ikke nevnt.

Resultat:

Sikringskategori: 8 (støpt betongforing, eller forsterkede betongribber med c/c 1,7 m),
Bergmassekvalitet: G (Usedvanlig dårlig).

Kilder til Vedlegg B

- Alwag. 2007. *Geotechnical Model for Tunnels Supported by a Pipe Umbrella* [Online]. Institute for Rock Mechanics and Tunnelling. Available: http://tunnel.tugraz.at/fileadmin/tunnel/files/fmt/FMT_2007_GVN.pdf.
- Andersson, H., Borchardt, P. & Dalmalm, T. Bergtunnel utan bergtäckning. Fjellsprengningsdagen, 2011 Oslo. Norsk Forening for Fjellspengningsteknikk, s. 30.1-30.10.
- Carrieri, G., Fiorotto, R., Grasso, P. & Pelizza, S. Twenty years of experience in the use of The Umbrella-Arch Method of support for tunneling. 4th International Workshop on Micropiles, 2002 Venice. Session IV.
- Ceccucci, M., Maranto, G. & Mastroviti, G. 2008. The Serre La Voute Landslide (North-West Italy). *Landslides and Engineered Slopes. From the Past to the Future, Two Volumes + CD-ROM*. CRC Press.
- Drageset, L. N. 2013. Jernbanetunnel Holm-Nykirke; "Rørparaplymetoden". Overraskende parti med lite overdekning. *Fjellsprengningsdagen 2013*. Oslo: Norsk Forening for Fjellspengningsteknikk.
- Furukawa, F., Hino, Y., Inoue, H., Inoue, H., Asari, K. & Yorita, J. 2007. Tunneling in water-bearing unconsolidated ground according to specifications for auxiliary methods revised to reflect varying soil conditions - Constructions in the north work section of the Takaoka tunnel on the Hokuriku-Shinkansen railway line. *Underground Space; The 4th Dimension of Metropolises, Three Volume Set +CD-ROM*. CRC Press.
- Gall, V. & Zeidler, K. Pre-Support Measures for Shallow NATM Tunneling in Urban Settings. North American Tunneling 2008 2008 San Francisco, USA. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc, 152-162.
- Grasso, P., Russo, G., Mahtab, A., Pelizza, S. & Zanello, C. 1991. Successful Application of Rock Reinforcement Around a Tunnel. *Il Consolidamento del suolo e delle rocce nelle realizzazioni in sotterraneo, Milano*, s. 139-148.
- Myhre, S. H. 2014. *Holmestrandtunnelen; Ingeniørgeologisk analyse av stabilitet og sikring for tunneldriving gjennom løsmasser*. Master of Science, Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet.
- Ocak, I. 2008. Control of surface settlements with umbrella arch method in second stage excavations of Istanbul Metro. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23, 674-681.

- Pelizza, S. & Peila, D. 1993. Soil and rock reinforcements in tunnelling. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 8, 357-372.
- Rudolf, J., Gall, V. & Zeidler, K. 2007. The dullets Corridor Metrorail Project - Tunneling aspects of the Metrorail extension to Washington, DC Dullets International Airport Phase I an Phase II. In: BARTÁK, J., HRDINA, I., ROMANCOV, G. & ZLÁMAL, J. (eds.) *Underground Space -the 4th Dimension of Metropolises*. London: Taylor & Francis Group.
- Schubert, P., Klopčič, J., Štimulak, A., Ajdič, I. & Logar, J. 2005. Analysis of characteristic deformation patterns at the Trojane tunnel in Slovenia. *Felsbau*, 5, s. 25-30.
- Società Italiana, G. 1991. Tunnelling in Italy: 1990. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 6, 299-316.
- Stragiotti, L., Armando, E., Barisone, G., Del Greco, O., Innaurato, N., Lunardi, P., Pelizza, S., Polino, R. & Ventosi, U. Tests And Site Investigations In The Design And Construction Of Four Tunnels Bored In The Calc-Schists Of Susa Valley (Italy). 4th ISRM Congress, 1979. International Society for Rock Mechanics.
- Structurae. u.d.-a. *Cernobbio Tunnel* [Online]. Wilhelm Ernst & Sohn Verlag. Available: <http://structurae.net/structures/cernobbio-tunnel> [Accessed 09.02.2015].
- Structurae. u.d.-b. *Fiumelatte Tunnel* [Online]. Wilhelm Ernst & Sohn Verlag. Available: <http://structurae.net/structures/fiumelatte-tunnel> [Accessed 09.02.15].
- Structurae. u.d.-c. *Pietratagliata Tunnel* [Online]. Wilhelm Ernst & Sohn Verlag. Available: <http://structurae.net/structures/pietratagliata-tunnel> [Accessed 10.02.2015].
- Structurae. u.d.-d. *Serre la Voute Tunnel* [Online]. Wilhelm Ernst & Sohn Verlag. Available: <http://structurae.net/structures/serre-la-voute-tunnel> [Accessed 10.02.2015].
- Thapa, B., Nitschke, A., Ramirez, I., McRae, M. & Gall, V. 2013. Lessons Learned from NATM Design and Construction of the Caldecott Fourth Bore. *2013 RETC Proceedings*,. Washington, DC, 24. Juli 26.
- Thapa, B. B., McRae, M. T. & Greunen, J. V. PRELIMINARY DESIGN OF THE CALDECOTT 4TH BORE. 2007 RETC Proceedings, 2007. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Volkman, G., Schubert, W. & Button, E. 2006. A contribution to the design of tunnels supported by a pipe roof. *The 41st U.S. Symposium on Rock Mechanics*. Golden: American Rock Mechanics Association.

- Wang, H.-t., Jia, J.-q. & Kang, H.-g. 2009. Analytical approach and field monitoring for mechanical behaviors of pipe roof reinforcement. *Journal of Central South University of Technology*, Vol.16, s.827-834.
- Wittke, W., Pierau, B. & Erichsen, C. 2006. New austrian tunneling method (NATM)—stability analysis and design. *WBI, Essen*.
- Yang, J. S., Gou, D. M. & Zhang, Y. X. 2008. Field measurements and numerical analyses of double-layer pipe roof reinforcement in a shallow multiarch tunnel. *Journal of the Transportation Research Board*, 2050, s. 145-153.
- Zeidler, K. & Schwind, T. 2007. Monitoring Successful NATM in Singapore. *Rapid Excavation and Tunneling Conference: 2007 Proceedings*. Toronto, Canada: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.