



Statens vegvesen



GJELDENDE REGELVERK:

- Bergsikring
- Vann- og frostsikring

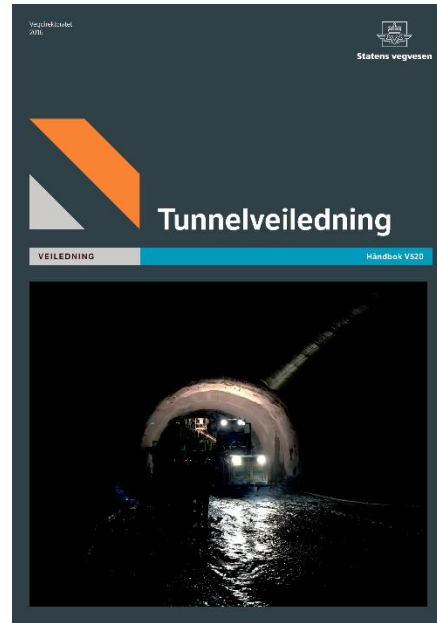
Tunneldagene 2018



Statens vegvesen

Tunneldagene 2018

Gjeldende regelverk for tunneler





Tunneldagene 2018

Gjeldende regelverk for stabilitetssikring

- Det norske konseptet for tunnelbygging baseres på at berget brukes som selvstendig byggemateriale.
- Sikringsklasser, med sikringsomfang og sikringsmetoder, skal bestemmes fra tabell 6.1 ved hjelp av bergmasseklasser i henhold til Q-metoden.
- Kontroll av utført permanent sikring skal utføres i henhold til Eurokode 7 (NS-EN 1997-1) før tunnelen kles med vann- og frostsikring. Eventuell supplerende sikring skal utføres og dokumenteres.



Tunneldagene 2018

Fastsettelse av sikringsklasse

- Geologisk kartlegging skal utføres i hele tunnelens lengde og i hele tunnelprofilet.
 - Bergart, strukturer, sprekkegeometri, bruddsoners orientering og bredde, og eventuell leire skal registreres.
 - Spenningsforhold og vannlekkasjer skal vurderes og registreres.
- Dokumentasjon av utført sikring, sammen med geologiske registreringer i tunnel, injeksjon, m.m. skal presenteres samlet.



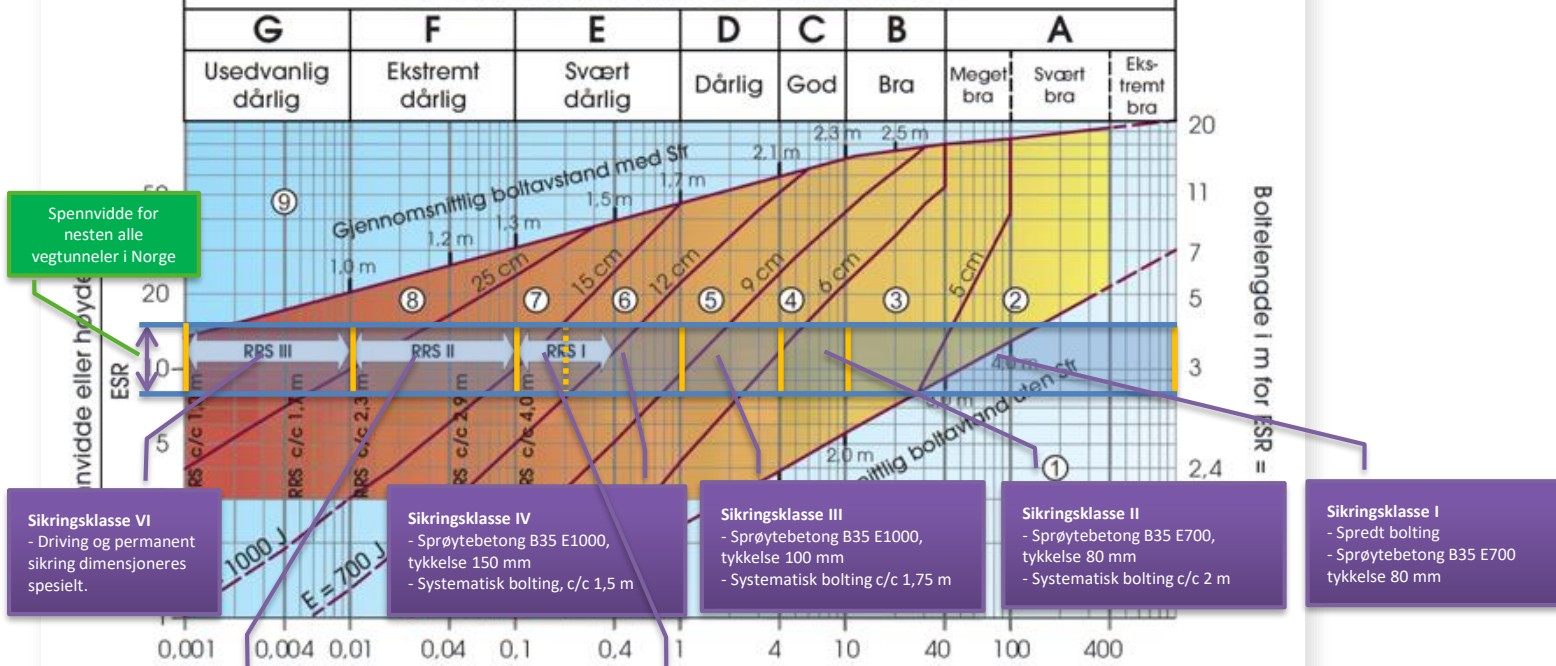
Tunneldagene 2018

Sikringsklasser – tabell 6.1

Bergmasse klasse	Bergforhold Q-verdi (sprengt berg)	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1m. Q = 100 – 10	Sikringsklasse I - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3 – 1 m Q = 10 – 4	Sikringsklasse II - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm - Systematisk bolting c/c 2 m
D	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse. Midlere sprekkeavstand < 0,3 m. Q = 4 - 1	Sikringsklasse III - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm - Systematisk bolting c/c 1,75 m
E	Svært dårlig bergmasse. Q = 1 - 0,2	Sikringsklasse IV - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m
	----- Q = 0,2 - 0,1	----- - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m - Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c buer 2–3 m, Buene boltes systematisk, c/c bolt = 1,5 m, boltelengde 3–4 m - Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig bergmasse. Q = 0,1 - 0,01	Sikringsklasse V - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150–250 mm - Systematisk bolting, c/c 1,0 – 1,5 m - Armerte sprøytebetongbuer Buedimensjon D60/6+4, ø20 mm, c/c buer 1,5– 2 m Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3–6 m Doble buer kan erstattes med gitterbuer. - Armert sålestøp, pilhøyde min. 10 % av tunnelbredden
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse, Q < 0,01	Sikringsklasse VI - Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt

- Sikringsangivelse i tabellen gjelder utsprengt tunneltverrsnitt for T8,5 – T12,5. Bergsikring i andre tverrsnitt skal dimensjoneres spesielt.
- Salvelengden skal reduseres senest fra og med sikringsklasse IV.
- Det skal ved driving inn mot svakhetssoner og andre kritiske partier etableres en sikringssone foran sonen. Avstanden til sonen fra stoff bestemmes på grunnlag av tilgjengelig informasjon og grad av usikkerhet, minimum 8–10 meter.
- Minimum tykkelse på sprøytebetong i saltvannssonen skal være 100 mm.
- I sikringsklasse I kan behovet for systematisk bruk av sprøytebetong vurderes. Sprøytebetong skal sprøytes ned til minimum kjørebanenivå.
- For beskrivelse av stabilitetssikring, se håndbok V520.

BERGMASSEKVALITET OG BERGSIKRING



$$RQD = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$



Tunneldagene 2018

Gjeldende regelverk for vann- og frostsikring

- Vegtunneler skal sikres mot vann og is. Det skal ikke være lekkasjevann eller isdannelse i trafikkrommet, i nødutganger, i nisjer til tekniske bygg eller i ventilasjonssjakter.
- Lekkasjer i vegger og heng skal samles opp ved at det monteres en vanntett avskjerming som fører vannet ned til grøft og frostfritt ut av tunnelen via drenssystemet. Over gitte frostmengder skal avskjermingen/hvelvet isoleres.
- Vann- og frostsikringskonstruksjoner skal være godkjent av Vegdirektoratet. Det gjelder også modifikasjoner av allerede godkjente konstruksjoner.



Tunneldagene 2018

Gjeldende regelverk for vann- og frostsikring

- Seksjoner med vann- og frostsikring skal endetettes mot tunnelvegg og andre konstruksjoner i tunnelen.
- Konstruksjonen skal bygges opp slik at kuldebroer unngås.
- Konstruksjonen skal ikke regnes inn i stabilitetssikringen.



Statens vegvesen

Tunneldagene 2018

Godkjente vann- og frostsikringsløsninger

- Hvelv av betongelementer
- Hvelv av sprøytebetong
- Kontaktstøpt vann- og frostsikringshvelv med membran
- Tunnelportaler



Tunneldagene 2018

Konstruksjonstyper – tabell 7.1

Vann- og frostsikring	Frostmengder ⁽¹⁾ (kap.7.2)	Tunnelklasser						Føringskant	Membran Type I, II, III	PE-skum	Frost-isolasjon XPS
		A	B	C ⁽⁴⁾	D	E	F				
Hvelv av sprøytebetong ⁽²⁾	F ₁₀ < 8 000 h°C	X	X	X				X	III	(X)	-
	F ₁₀ ≥ 8 000 h°C	X	X	X				X	-	X	-
Hvelv av betongelementer ⁽³⁾	F ₁₀ < 8 000 h°C			(X)	X	X	X	-	I, III	-	-
	F ₁₀ ≥ 8 000 h°C			(X)	X	X	X	-	I, III	-	X
Kontaktstøpt vann-/frostsikrings-hvelv med membran	Alle F ₁₀			(X)	(X)	(X)	(X)	-	II	-	-
Tunnelportal		X	X	X	X	X	X	-	I		-

X Skal benyttes som hovedløsning.

(X) Alternativ, prosjektspesifikk løsning.

(1) Ved frostmengde F₁₀ ≥ 8 000 h°C skal hvelvet frostisoleres. Ved F₁₀ < 8 000 h°C kan hvelvet utføres uisolert.

(2) Sprøytebetong i heng og vegger, med føringskant av betong. Sprøytebetong i heng, kombinert med veggelementer av betong kan benyttes i tunnelklasse D, E og F. Sprøytebetong i heng kombinert med veggelementer av betong i profilutvidelser; f.eks. havarinisjer.

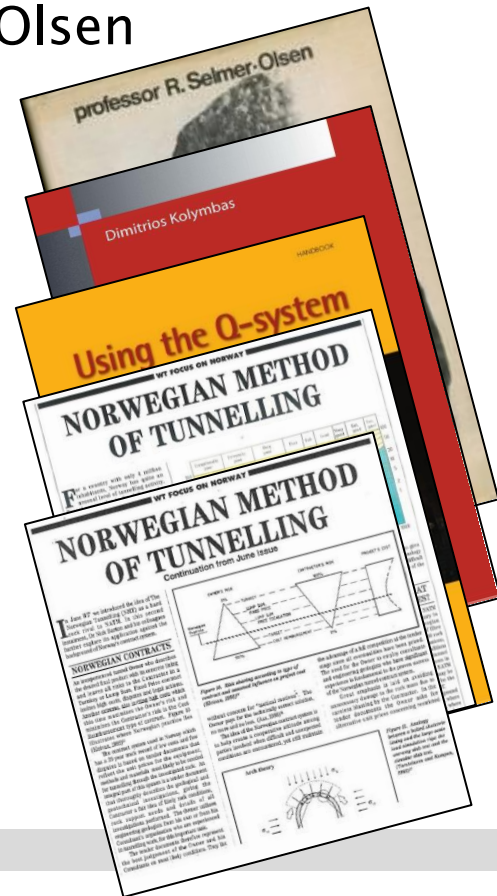
(3) Betongelementer: helhvelv, eller veggelementer kombinert med sprøytebetong i heng.

(4) For tunneler i tunnelklasse C skal det i innkjøringssonene benyttes løsninger som inkluderer veggelementer av betong. Vegg-elementene skal minst benyttes til og med halve lengden av overgangssone for belysning. I øvrige del av tunnelen skal det benyttes føringskant av betong. Over føringskant og veggelementer benyttes hvelv av sprøytebetong.

Norsk tunnelteknologi – et rent ingeniørgeologisk domene?

Faget ingeniørgeologi – arven fra Selmer-Olsen

- Da Rolf Selmer-Olsen ble ansatt som førsteamanuensis ved Geologisk Institutt på NTH i 1955, utviklet han i løpet av få år et lite innføringsfag i geologi for bygningsingeniørstudenter til en hel fagpakke, som etter hvert ble kalt ingeniørgeologi. Selmer-Olsen var fagets første professor fra 1962.
- Omtrent samtidig, fra 1957 til 1965, utviklet man i Østerrike en metode for sekvensiell driving av tunneler som ble kalt «Die Neue Österreichische Tunnelbauweise», NÖT, eller New Austrian Tunneling Method, NATM, på engelsk.
- I 1974 kommer Q-systemet utviklet av Barton, Lien og Lunde et. al.
- Den norske tunnel(bygge)metoden ble først presentert i begynnelsen på 1990-årene som «The Norwegian Method of Tunnelling», NMT. To artikler av Barton, Grimstad, Aas et. al ble publisert i World Tunnelling i løpet av 1992.



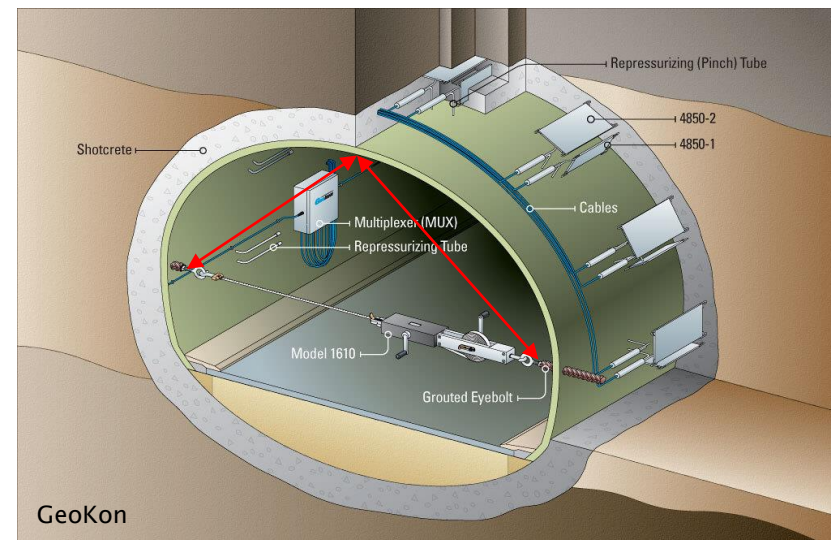
Norwegian Method of Tunnelling – NMT



Norsk tunnelteknologi – et rent ingeniørgeologisk domene?

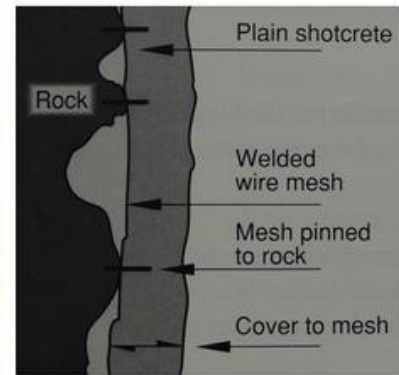
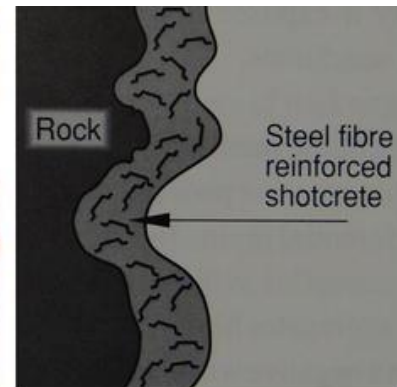
NATM vs. NMT

- Verdien av numeriske analyser for bergmasse
- Double-shell NATM vs Single-shell NMT
- Tørrsprøyting vs våtsprøyting
- Nettarmering vs fiberarmering
- Krumme vegger vs rette vegger
- Observasjon vs empiri
- Dokumentasjon



Norsk tunnelteknologi – et rent ingeniørgeologisk domene?

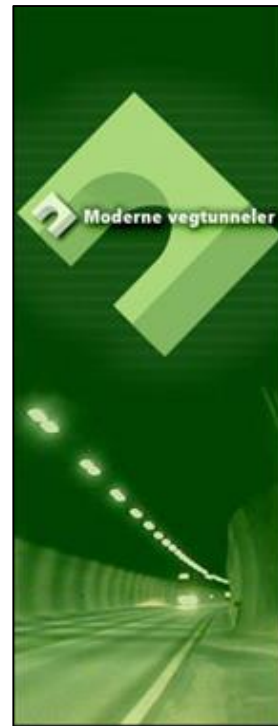
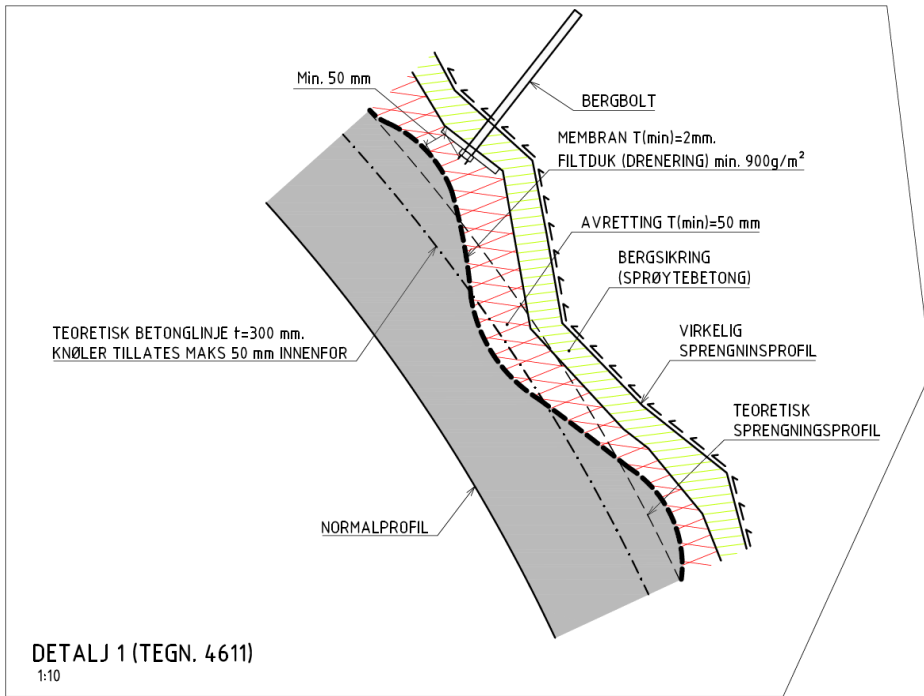
NATM vs. NMT



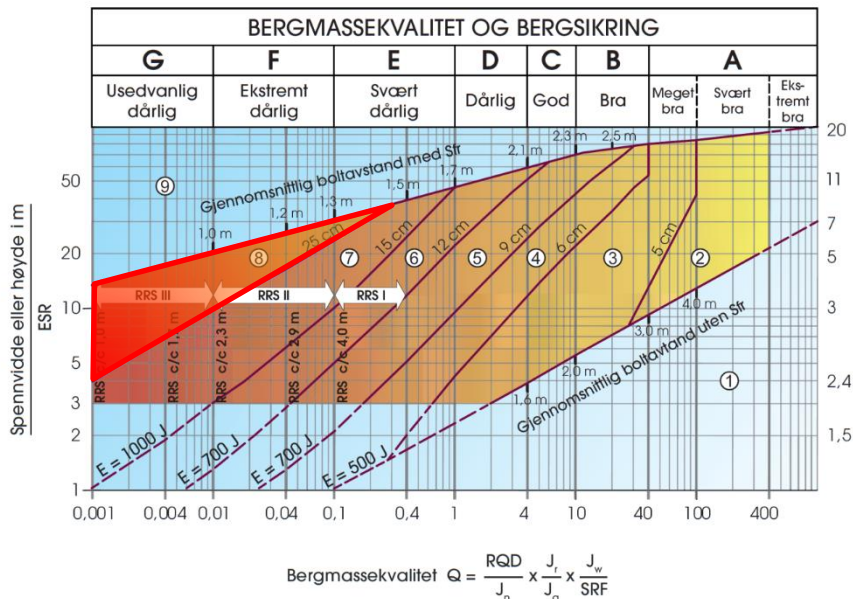
(Barton)

Norsk tunnelteknologi – et rent ingeniørgeologisk domene?

Moderne vegtunneler (2007–2011)



Bergmasseklassifisering – Q-systemet



Kun i bergmasse «Svært dårlig» til «Usedvanlig dårlig» altså hvor bergmassen har en E-modul i nærheten av løsmasser

Sikringskategorier

- Usikret eller spredt bolting
- Spredt bolting, **SB**
- Systematisk bolting, fiberforsterket sprøytebetong, 5-6 cm, **B+Sfr**
- Fiberforsterket sprøytebetong og bolting, 6-9 cm, **Sfr (E500)+B**
- Fiberforsterket sprøytebetong og bolting, 9-12 cm, **Sfr (E700)+B**
- Fiberforsterket sprøytebetong og bolting, 12-15 cm + forsterkede ribber med sprøytebetong og bolting, **Sfr (E700)+RRS I +B**
- Fiberforsterket sprøytebetong >15 cm + forsterkede ribber med sprøytebetong og bolting, **Sfr (E1000)+RRS II+B**
- Støpt betongforing, **CCA** eller **Sfr (E1000)+RRS III+B**
- Spesiell vurdering

Boltavstand er hovedsaklig basert på Ø20 mm

E = Energiabsorpsjon i fiberforsterket sprøytebetong

ESR = Utgravings sikringsgrad

Områder med prikkede linjer har ingen empiriske data

RRS - avstand relatert til Q-verdi

I **Si30/6 Ø16 - Ø20 (spennvidde 10m)**
D40/6+2 Ø16-20 (spennvidde 20m)

II **Si35/6 Ø16-20 (spennvidde 5m)**
D45/6+2 Ø16-20 (spennvidde 10m)
D55/6+4 Ø20 (spennvidde 20m)

III **D40/6+4 Ø16-20 (spennvidde 5m)**
D55/6+4 Ø20 (spennvidde 10m)
D70/6+6 Ø20 (spennvidde 20m)

Si30/6 = Enkelt lag med 6 armeringsjern, 30 cm tykkelse med sprøytebetong

D = Dobbel lag med armeringsjern

Ø16 = Armering diameter er 16 mm

c/c = RSS avstand, senter - senter