

Kort om Q systemet

Q-systemet er i utgangspunktet en numerisk klassifisering av bergmasser i tunneler og bergrom. Det ble første gang publisert i 1974 av Nick Barton, Reidar Lien og Johnny Lunde ved Norges geotekniske institutt (NGI), og har vært et viktig bidrag til utviklingen av bergteknikk siden det ble lansert. I utgangspunktet uttrykker verdien av *Q* kvaliteten av berggrunnen med hensyn til stabilitet i tunneler og bergrom. En høy *Q*-verdi tilsier god stabilitet, mens en lav *Q*-verdi betyr dårlig stabilitet. De seks parametrene som benyttes for å komme frem til *Q*-verdien, er koblet sammen ved følgende uttrykk:

$$Q = RQD/J_n \times J_r/J_a \times J_w/SRF$$

Verdien for hver av de seks inngangsparametrene bestemmes ved å sammenholde beskrivelser /klassifisering i tabeller med ingeniørgeologiske observasjoner i felt, i tunneler og/eller ved logging av borekjerner. Tallverdien av *Q* er definert ved følgende 6 parametre. Inngangsverdiene for disse er gitt i Tabell 1:

- RQD (rock quality designation) et mål for oppsprekningsgraden,
- J_n tall for antall sprekkesett (joint set number),
- J_r ruhetstall for sprekkeflaten (joint roughness number),
- J_a sprekkes forvitring, hvorvidt sprekkeflatene er friske, har belegg eller sprekken har fylling (joint alteration number),
- J_w reduksjonsfaktor for vann (joint water reduction factor),
- SRF reduksjonsfaktor for spenninger (stress reduction factor) relatert til svakhetssoner, bergtrykk, svelling etc.

Disse er parametrene er kombinert i uttrykket for *Q*. Her angir hver av kvotientene:

- RQD/ J_n \approx relativ variasjon i blokkstørrelse (oppsprekningsgrad),
- J_r/J_a \approx skjærfasthet på sprekkeflatene,
- J_w/SRF \approx aktive spenninger.

De 4 første parameterne i uttrykket for *Q*-verdien gjelder oppsprekningen som opptrer i bergmassene. Aktive spenninger representerer tilstanden bergmassene befinner seg i. *Bemerk at verken orientering av sprekke i forhold til fjellrommet eller bergartsmaterialets fasthet er inkludert i Q-systemet.*

Q-verdiene kombinert med bergrommets spennvidde eller høyde samt krav til sikkerhet brukes i et sikringsdiagram (Figur A), som er basert på gjennomsnittet av utført sikring i mer enn 1000 tunneler og bergrom.

Q-systemet benyttes normalt som en empirisk metode til å angi sikring i tunneler og bergrom. Nøyaktigheten av metoden er det ikke mulig å angi. Den vil også i stor grad avhenge av hvordan inngangsparametrene er målt eller beskrevet.

I oppsprukne bergmasser er det viktig å følge oppskriften i *Q*-systemet ved at det er egenskapene til det dårligste sprekkesettet som skal benyttes for J_r og J_a .

Grimstad og Barton (1993) har også angitt et uttrykk for å beregne bergmassens deformasjonsmodul. I tillegg er det publisert bruk av *Q*-verdier flere andre bergmekaniske formål. Det er usikkert hvorvidt et uttrykk som omfatter så ulike parametre som *Q* kan gi riktige svar i mange av disse tilfellene.

Begrensninger:

Q-verdien nyanserer ikke mellom ulike typer ustabilitet (som sprakefjell, store vannproblemer, blokk-nedfall, sprakefjell etc.) av berggrunnen. Dette kan lett gi gale svar, særlig i svært dårlige bergmasser (der $Q < 1$). Spesielt gjelder dette for svelling og "squeezing" der det er viktig å gjøre spesielle vurderinger og beskrivelser for at alle de faktorer som innvirker, kan bli vurdert, ikke minst de geometriske som vanskelig kan medtas generelt i noe system. Det samme kan være tilfelle for en del svakhetssoner. For svakhetssoner bør det også gjøres tilleggsberegninger for å sjekke resultatene. Legg merke til at heller ikke tykkelsen av svakhetssoner er medtatt i *Q*-systemet.

Videre har inngangsparameteren for oppsprekningsgrad, RQD, begrensninger når det gjelder angivelse av massivt berg (liten oppsprekningsgrad) og sterkt oppsprukket berg.

Det kan neppe være riktig å benytte *Q*-systemet for sikringsbestemmelse når det forekommer store vannlekkasjer inn i et bergrom, slik det antydes for parameteren J_w . Da vil det normalt først være behov for å tette bergmassene før sikringen gjøres (og da har vannlekkasjene (og J_w) forhåpentligvis avtatt til et nivå hvor *Q* er mer anvendelig).

Q-systemet inkluderer svellende berg (i tillegg til svelleleire som sprekketrylling). Dette er et område med flere uavklarte forhold i dag (2012) og der det er vanskelig å klassifisere egenskapene. Det har vært flere alvorlige blokkeringsras i tunneler med svellende bergarter der Q systemet har vært benyttet.

Tabell 1: Inngangsparametrene i Q-systemet med tallverdier.

OPPSPREKNINGSTALL (Rock quality designation)		RQD
A	Meget sterkt oppsprukket (> 27 sprekker pr. m ³)	0 - 25
B	Sterkt oppsprukket (20 - 27 sprekker pr. m ³)	25 - 50
C	Moderat oppsprukket (13 - 19 sprekker pr. m ³)	50 - 75
D	Lite oppsprukket (8 - 12 sprekker pr. m ³)	75 - 90
E	Meget lite oppsprukket (0 - 7 sprekker pr. m ³)	90 - 100
Anm.: i) Når RQD ≤ 10 (inkludert 0), blir verdien 10 brukt ved utregning av Q-verdi ii) RQD intervaller på 5, dvs. 100, 95, 90, osv. er tilstrekkelig nøyaktig		
TALL FOR SPREKKESETT		Jn
A	Massivt, ingen eller få sprekker	0,5 - 1,0
B	Et sprekkese	2
C	Et sprekkese + sporadiske sprekker	3
D	To sprekkese	4
E	To sprekkese + sporadiske sprekker	6
F	Tre sprekkese	9
G	Tre sprekkese + sporadiske sprekker	12
H	Fire eller flere sprekkese, meget sterkt oppsprukket, sukkerbitberg osv.	15
J	Oppknust berg, jordaktig	20
Merknad: i) Ved tunnelkryss brukes (3 × Jn) ii) I portaler brukes (2 × Jn)		
SPREKKERUHETSTALL		Jr
a) Bergkontakt, og b) bergkontakt før 10 cm skjærdeformasjon		
A	Diskontunerlig, hakkete (ru eller glatte)	4
B	Ru, bølgete	3
C	Glatte, bølgete	2
D	Glidespeil, bølgete	1,5
E	Ru, plane	1,5
F	Glatte, plane	1,0
G	Glidespeil, plane	0,5
Anm.: Første del av beskrivelsen gjelder ruhet/glatthet. Andre delen gjelder ujevnheter i størrelsesorden dm, m		
c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon		
H	Sprekketrylling med leir, silt, sand, grus eller knust berg - tykk nok til å hindre bergkontakt	1,0
Merknad: i) Når sprekketryllingen i det aktuelle sprekkese er mer enn 3 m, adderes 1 til ruhetstallet. ii) Jr = 0,5 brukes for plane sprekker med glidespeil og lineasjon der lineasjon er orientert langs sannsynlig bevegelsesretning.		

TALL FOR SPREKKEFORVITRING (sprekkebelegg, sprekketrylling etc.)		ca. φ _r	Ja
a) Bergkontakt			
A	Sammenvokste sprekker med harde mineraler som kvarts, feltspat, epidot		0,75
B	Uomvandlete sprekketryllinger, bare overflateoksidasjon	25 - 35°	1
C	Svakt omvandlete sprekketryllinger. Uoppbløtelig mineralbelegg, sandpartikler, oppknust berg, u/ leir	25 - 35°	2
D	Siltig eller sandig sprekketrylling, litt leir (ikke svelleleire)	20 - 25°	3
E	Oppbløtelig sprekketrylling med lav friksjon, f. eks. kaolinit, eller glimmer. Også kloritt, talk gips, grafitt o.a. Kun små mengder svelleleire.	8 - 16°	4
b) Bergkontakt før 10 cm skjærdeformasjon (tynn mineraltrylling)			
F	Sandige partikler, oppknust berg, ikke leir.	25 - 30°	4
G	Sterkt overkonsolidert (hardpakket) uoppbløtelig trylling av leirmateriale (kontin. tykkelse < 5 mm)	16 - 24°	6
H	Middels eller litt overkonsolidert trylling av oppbløtelig leirmateriale (kontinuerlig tykkelse < 5 mm).	12 - 16°	8
J	Trylling av svelleleire (kontinuerlig tykkelse < 5 mm). Ja verdiene avhenger av prosentvis innhold av svelleleire.	6 - 12°	8 - 12
c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon (tykk mineraltrylling)			
K	Soner eller bånd av knust eller desintegrert berg og leir. Sterkt overkonsolidert (hardpakket) uoppbløtelig trylling.	6 - 24°	6
L	Soner eller bånd av knust eller desintegrert berg og leir. Middels til litt overkons. oppbløtelig trylling.		8
M	Soner eller bånd av knust eller desintegrert berg og leir. Ja verdiene avhenger av prosentvis innhold av svelleleire.		8 - 12
N	Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir. Sterkt overkonsolidert.		10
O	Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir. Middels til litt overkonsolidert.		13
P	Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir. Inneholder svelleleire. Ja verdiene avhenger av prosentvis innhold av svelleleire.		13 - 20

SPREKKEVANNSFAKTOR		ca. vanntrykk (kg/cm ²)	J _w	
A	Tørre bergrom, fukt eller spredte drypp.	< 1	1	
B	Dryppregn. Stedvis utvasking av sprekkefylling.	1 - 2,5	0,66	
C	Strålelekkasjer eller høyt trykk i massivt berg med sprekker uten fylling.	2,5 - 10	0,5	
D	Stor innlekkasje eller høyt trykk. Utvasking av sprekkefylling.	2,5 - 10	0,33	
E	Meget stor innlekkasje eller vanntrykk ved utsprenning. Avtagende med tiden.	> 10	0,2 - 0,1	
F	Meget stor innlekkasje eller vanntrykk ved utsprenning. Ikke avtagende.	> 10	0,1 - 0,05	
Merknad: i) Faktorene C til F er antatte. J _w verdien økes når dreneringstiltak blir utført. ii) Spesielle stabilitetsproblemer ved isdannelse er ikke vurdert.				
SPENNINGSFAKTOR			SRF	
a) Svakhetssoner som skjærer tunnelen og som kan medføre nedfall				
A	Hyppig opptreden av svakhetssoner som inneholder leir eller kjemisk omvandlet berg med svært svake sidebergarter. Alle dybder med avspent sideberg.		10	
B	Enkle svakhetssoner som inneholder leir eller kjemisk omvandlet berg. Anleggets dybde ≤ 50 m.		5	
C	Enkle svakhetssoner som inneholder leir eller kjemisk omvandlet berg. Anleggets dybde > 50 m.		2,5	
D	Hyppig opptreden av svakhetssoner i kompetente (stive) bergarter (uten leir). Avspent sideberg. Alle dybder.		7,5	
E	Enkle svakhetssoner i kompetente (stive) bergarter. Anleggets dybde ≤ 50 m.		5	
F	Enkle svakhetssoner i kompetente (stive) bergarter (uten leir). Anleggets dybde > 50 m.		2,5	
G	Ukonsoliderte, åpne sprekker, sterkt oppsprukket, sukkerbitberg. Alle dybder.		5	
Merknad: i) SRF-verdiene reduseres med 25 - 50% når svakhetssonene bare innvirker på stabiliteten, men ikke skjærer anlegget.				
b) Harde, kompetente bergarter. Bergtrykksproblemer		σ_c/σ_1	σ_θ/σ_c	SRF
H	Lave spenninger, åpne sprekker. Utfall av blokker pga. for lav spenning. Vanligvis nær overflaten.	>200	<0,01	2,5
J	Middels høye spenninger, gunstige spenningsforhold.	200-10	0,01-0,3	1
K	Høye spenninger. Vanligvis gunstige stabilitetsforhold, men kan være ugunstig for veggstabilitet.	10-5	0,3-0,4	0,5-2
L	Moderat avskalling etter > 1 time i massivt berg.	5-3	0,5-0,65	5-50
M	Avskalling og bergslag etter få minutter i massivt berg.	3-2	0,65-1	50-200
N	Intenst bergslag og umiddelbart deformasjonsbrudd i massivt berg.	<2	>1	200-400
Merknad: ii) I tilfeller med sterkt anisotrop, jomfruelig spenningsfelt (dersom målinger foreligger) når $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ reduseres σ_c til $0,75 \sigma_c$. Når $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ reduseres σ_c til $0,5 \sigma_c$ hvor σ_c = enaksial trykkstyrke, σ_1 og σ_3 er henholdsvis største og minste hovedspenning og σ_θ = maksimal tangentialspenning (antatt fra elastisitetsteorien). iii) Når tunnelhengens dybde under fjelloverflatene er mindre enn spennvidden, økes SRF fra 2,5 til 5 unntatt ved høye horisontalspenninger.				
c) Tyteberg: plastisk flyting av inkompetente bergarter under påvirkning av høye spenninger		σ_θ/σ_c	SRF	
O	Moderat tyteberg.	1-5	5-10	
P	Intenst tyteberg.	>5	10-20	
Merknad: iv) Tilfeller av tyteberg kan forekomme når dybder $H > 350Q^{1/3}$ (Singh et al., 1992) Bergmassenes trykkstyrke kan estimeres fra $q = 0,7\gamma Q^{1/3}$ (MPa) hvor γ er bergmassens egenvekt i kN/m ³ (Singh, 1993)				
d) Svellende berg: Kjemisk svelleaktivitet som avhenger av tilgangen på vann			SRF	
R	Moderat svelling.	5-10		
S	Intens svelling.	10-15		
Merknad: For Jr og Ja brukes verdiene for det sprekkesett eller diskontinuiteter hvor utglidning mest sannsynlig vil skje.				

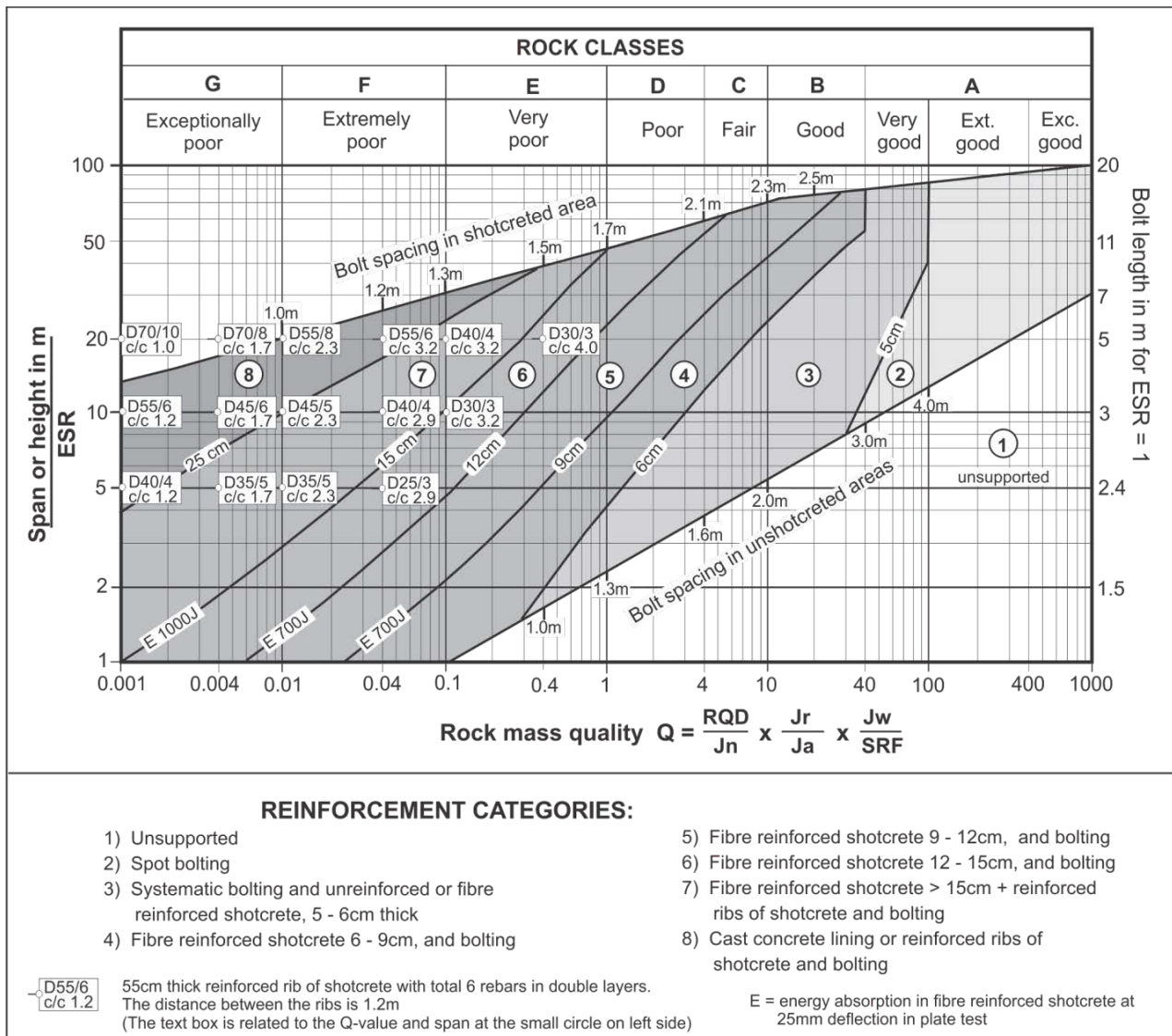
1.1 Sikring estimert etter Q-systemet

Sikringsbestemmelsen er mer komplisert enn for RMR, men den dekker langt flere forhold. Som for all bruk av klassifikasjons-systemer er det en forutsetning at brukeren har tilstrekkelig bakgrunn og forstår oppbygningen av bergmassene på det enkelte stedet.

I tillegg til bestemmelse av Q-verdien (kvaliteten av berggrunnen) er det i Q-systemet innført en såkalt ESR faktor som går på brukskrav, dvs. den dekker kravet til sikkerhet mot nedfall i tunnelen eller bergrommet ved den bruken det har. Dette er vist i Tabell 2. Diagrammet i Figur A gjelder sikring i tunnelens heng.

For å finne sikring i veggene må bergmassekvaliteten i veggene beregnes etter følgende:

- for $Q > 10$: bruk $Q_{vegg} = 5Q$;
- for $0,1 < Q < 10$: bruk $Q_{vegg} = 2,5Q$;
- for $Q < 0,1$: bruk $Q_{vegg} = Q$.



Figur A: Q-systemets sikringsdiagram etter revidering, slik det er presentert på www.ngi.no

Tabell 2: ESR (Excavation support ratio) for ulike bruksområder av bergrommet

TYPE	BESKRIVELSE	ESR
A	Midlertidige gruverom etc.	ca. 3 - 5
B	Vertikale sjakter a) sirkulære b) rektangulære	ca. 2,5 ca. 2,0
C	Permanente gruverom, vanntunneler (ikke trykksjakter), tverrslag, pilottunneler etc.	1,6
D	Lagerhaller, renseanlegg, lite trafikkerte vei- og jernbanetunneler, svingekamre, adkomsttunneler etc.	1,3
E	Stasjonshaller, sterkt trafikkerte vei- og jernbanetunneler, tilfluktsrom, portaler etc.	1,0
F	Haller for kjernekraftverk, jernbanestasjoner, sportshaller, fabrikkhaller etc.	0,8
G	Viktige anlegg med lang funksjonstid, tunneler for gassrørledninger	0,5