

Sprækkeundersøgelse og beskrivelse af fjeldbeskaffenhed ved Nuuk

En forundersøgelse af to tunneler, henholdsvis til
Qinngorput og Ulaajuk, udført for Nuuk Kommune
af GEUS og ASIAQ

Peter Roll Jakobsen og
Håkon Gjessing Karlsen



Sprækkeundersøgelse og beskrivelse af fjeldbeskaffenhed ved Nuuk

En forundersøgelse af to tunneler, henholdsvis til
Qinngorput og Ulaajuk, udført for Nuuk Kommune
af GEUS og ASIAQ

Peter Roll Jakobsen og
Håkon Gjessing Karlsen

Sammenfatning	3
Projekteret tunnel til Qinngorput.....	3
Projekteret tunnel til Ulaajuk.....	4
Indledning	5
Formål.....	6
Udførte undersøgelser	6
Metoder	7
Flyfoto	7
Sprækkeparametre.....	7
Opmålingsteknik	7
Vurdering af fjeldkvalitet ved brug af Q-metoden.....	7
Projekteret tunnel til Qinngorput	10
Geologi	10
Flyfototolkning	12
Sprækkeopmåling.....	12
Sprækkesystemer.....	12
Sprækkestørrelse	13
Sprækkeanalyse.....	16
Sprækkeintensitet.....	16
Samlet sprækkeintensitet og RQD	16
Beskrivelse af fjeldets kvalitet	17
Generel beskrivelse.....	17
NMT fjeldkvalitet, Q-metoden.....	18
Projekteret tunnel til Ulaajuk	20
Flyfototolkning	20
Rekognoscering i området	20
Tilgængelighed	20
Visuel bedømmelse	20
Sprækker	22
Beskrivelse af fjeldets kvalitet	23
Forslag til yderligere undersøgelser	24
Projekteret tunnel til Qinngorput:.....	24
Projekteret tunnel til Ulaajuk:.....	24
Referencer	26

Sammenfatning

Det er udført indledende forundersøgelser af sprækker og fjeld-beskaffenhed i forbindelse med planlægningen af to tunneller henholdsvis til Qinngorput og Ulaajuk. Undersøgelserne har haft til formål at indsamle basisviden om de fysiske forhold og klargøre behovet for mere omfattende undersøgelser.

Projekteret tunnel til Qinngorput

Ved den projekterede tunnel til Qinngorput er der udført en flyfotoanalyse, geologiske observationer i felten og en sprækkeundersøgelse. Sprækkeundersøgelsen er udført langs målelinier, hvor de sprækker, der skærer de to linier, er blevet indmålt og beskrevet.

Fjeldryggen som den projekterede tunnel vil komme til at gennemskære, består hovedsagelig af den grålige Nuuk gnejs, med bånd/linser af metagabbro og amfibolit. Metagabbro og amfibolit eroderes kraftigere end Nuuk gnejs, og der er en større opsprækning i disse bjergarter.

Der er observeret 3 sprækkesystemer; et stejltstående system der stryger ca 130°, et system der er udviklet parallelt med foliationen i gnejsen som er stejltstående og stryger ca 40° og et subhorizontalt system der stryger ca 40°. Desuden er der enkelte tilfældigt orienterede sprækker.

Den foliationsparallelle opsprækning forårsager blokfald på den sydøstlige side af den undersøgte fjeldryg, samt et overhæng på fjeldsiden, der som følge heraf er mere stejl end den nordvestlige side af fjeldryggen.

De fleste sprækker har en sprækkesporslængde fra 1 til 6 m, men ca. 30% af sprækkerne har en sprækkesporslængde >10 m.

På baggrund af de registrerede sprækkeparametre er der lavet en beskrivelse af fjeldets kvalitet, hvor Q-metoden er anvendt. Q-metoden beskriver kvaliteten af fjeldet, med henblik på at bestemme hvilken sikring der skal foretages i tunnelen ved anvendelse af NMT (Norwegian Method of Tunneling). Der er beregnet vejledende Q-værdier for metagabbro/amfibolit og for Nuuk gnejs. Metagabbro/amfibolit har den laveste værdi og den kategoriseres iflg. Q-metoden som dårlig. Nuuk gnejsen kategoriseres iflg. Q-metoden som god. Alt i alt kan man ud fra nærværende undersøgelse sige at fjeldet er velegnet til anlæggelse af en tunnel. En endelig bedømmelse af konstruktion og sikring må dog foretages i selve tunneltraceen.

Ved den projekterede tunnel til Qinngorput anbefales det at der foretages en sprækkeundersøgelse af fjeldet i den projekterede tunnel trace, med henblik på at vurdere stabilitet og forekomsten af større sprækker.

Det anbefales at der foretages en detaljeret geologisk kortlægning langs tunnel traceen, med henblik på at identificere gabbroiske og mafiske bånd i gnejsen, der kan være stærkere opsprækket og udgøre sprækkezoner samt zoner med afvigende geotekniske egenskaber i forhold til gnejsen generelt.

Desuden anbefales det at sprækkeopmålingerne suppleres med geofysiske undersøgelser. VLF (Very Low Frequency, induktiv elektromagnetisk metode) kan bruges til at lokalisere store sprækker samt sprække- og knusningszoner, og kan bruges til at vurdere sprækkernes vandføring. Georadar kan bruges til at detektere enkelte sprækker og opmåle sprækker og sprækketæthed.

Projekteret tunnel til Ulaajuk

Ved den projekterede tunnel til Ulaajuk er der foretaget en flyfototolkning og en rekognosering.

Det geologiske kort viser, at der løber en forkastning med en retning på ca 130° gennem det undersøgte område. Ud fra flyfoto er der udtegnet større lineamenter, hvor der er en markant erosion i fjeldet. Den ene af de store lineamentre er sammenfaldende med forkastningen, der er angivet på det geologiske kort. Desuden er der mindre lineamenter der repræsenterer større sprækker i fjeldet. Disse sprækker stryger ca. 130°. Erosionen langs den sydvestlige spids af Ukkusissat er tildels styret af disse sprækker.

Ved rekognoseringen blev der observeret 4 sprækkesystemer, men en egentlig sprækkeanalyse er ikke foretaget.

Ved den projekterede tunnel til Ulaajuk må det på baggrund af tilstedeværelsen af forkastningen på kraftigste anbefales, at der udføres detaljerede undersøgelser af opsprækningsgrad og fjeldbeskaffenhed i forbindelse med evt. tunnelbyggeri.

Det anbefales at der laves en detaljeret fotogrammetrisk flyfotoanalyse af de flyfoto som ASIAQ har fået taget i 1:5000.

Det anbefales at der laves detaljerede sprækkeopmålinger, der kan vise opsprækningsgrad og variationen af opsprækningen på fjeldet.

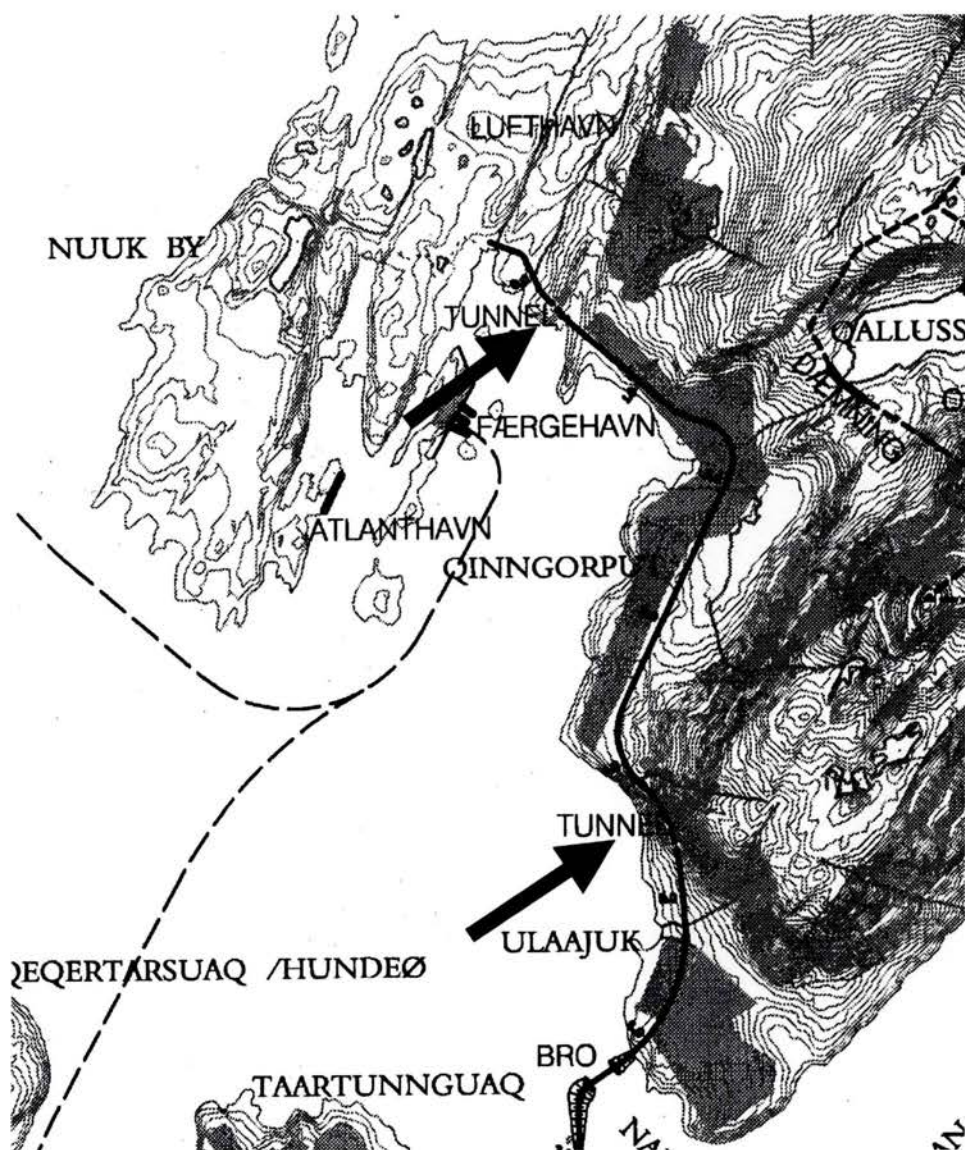
Det anbefales at der foretages en detaljeret geologisk kortlægning langs tunnel traceen, med henblik på at identificere gabbroiske og mafiske bånd i gnejsen, der kan være stærkere opsprækket og udgøre sprækkezoner samt zoner med afvigende geotekniske egenskaber i forhold til gnejsen generelt.

Det anbefales det at sprækkeopmålingerne suppleres med geofysiske undersøgelser. VLF kan bruges til at lokalisere store sprækker samt sprække- og knusningszoner, og kan bruges til at vurdere sprækkernes vandføring. Georadar kan bruges til at detektere enkelte sprækker og opmåle sprækker og sprækketæthed.

Indledning

Nuuk Kommune har anmodet ASIAQ og GEUS om at udføre en forundersøgelse af fjeldets beskaffenhed, med særlig henblik på vurdering af opsprækning i forbindelse med projekterede tunneler til Qinngorput og Ulaajuk (Fig. 1). Der skulle lægges særlig vægt på området ved den projekterede tunnel til Qinngorput.

Der er tidligere blevet lavet en vurdering af bjergartskvaliteten i forbindelse med tunnelbyggeri (Norconsult, 2001). I rapporten konkluderes at specielt opsprækningsgraden og forekomsten af forkastninger er af stor betydning for stabiliteten og de hydrologiske forhold både under tunneldriften og efterfølgende.



Figur 1. Kort over området omkring Nuuk, hvor beliggenhed af de projekterede tunneller er markeret med pile (fra Nuuk kommune, 2000)

Formål

Formålet med denne undersøgelse er at give et skøn over fjeldets beskaffenhed, med særlig henblik på opsprækning i forbindelse med tunnelbyggeri til Qinngorput, samt til Ulaajuk i den sydlige del af Ukkusissat.

Ved den projekterede tunnel til Qinngorput udføres en indledende undersøgelse af opsprækningen af fjeldet for at kunne give en generel vurdering.

På den sydlige del af Ukkusissat foretages der flyfototolkning og en rekognoscering for at få et generelt førstehåndsindtryk.

Baseret på disse forundersøgelser gives en foreløbig vurdering af fjeldets opsprækning og kvalitet og en række anbefalinger vedrørende videre undersøgelser.

Udførte undersøgelser

Feltarbejdet er udført fra 16/7 til 20/7 2001.

Der er udført flyfotoanalyse af området ved den projekterede tunnel til Qinngorput, syd for lufthavnen, samt den sydlige del af Ukkusissat. Flyfoto er optaget 1999 for ASIAQ i målestoksforhold 1:5000. Ud fra flyfoto er sprækker og eventuelle forkastninger udtegnet.

Desuden er der udført sprækkeopmåling i området hvor der er projekteret tunnel til Qinngorput.

For området ved Ukkusissat, hvor der er projekteret en tunnel til Ulaajuk, er der udført en flyfototolkning samt en rekognoscering i felten, hvor orienteringen af de mest prominente sprækker er målt, og hvor der er lavet feltbeskrivelse og en fjeldklassifikation baseret på GI notat.

Metoder

Flyfoto

Ud fra flyfotos er de lineamenter udtegnet, der er tolket som sprækker. Flyfoto er optaget 1999 for ASIAQ i målestoksforhold 1:5000.

Sprækkeparametre

Ved sprækkeopmåling og sprækkeanalysen er følgende sprækkeparametre anvendt:

Orientering: Strygning, hældning og hældningsretning er målt for hver sprække. Sprækkernes orientering er vist i et stereonet, hvor polen til sprækkeplanerne er udtegnet

Sprækkesystem: Et sprækkesystem er parallelt orienterede sprækker. Sprækkesystemer defineres således ud fra sprækkernes orientering. I et stereonet vil et sprækkesystem blive udtegnet samlet. Ikke systematiske sprækker udtegnes spredt i stereonettet.

Sprækkeform og ruhed: Sprækkens form beskrives i meter størrelse (ondulerende eller planar). Sprækkefladernes ruhed beskrives i cm til dm størrelse (ru, glat eller slickenside). Sprækkens form og ruhed har specielt betydning i vurdering af bjergartens stabilitet ved tunnel bygge-ri.

Sprækkeafstand: er den gennemsnitlige afstand vinkelret på et sprækkesystem.

Sprækkeintensitet: er det gennemsnitlige antal sprækker per meter for et sprækkesystem.

Samlet sprækkeintensitet (antal sprækker/m³): er det kumulative gennemsnitlige antal sprækker per m³.

Disse parametre tjener bl. a. som input i Q-metoden som anvendes til at vurdere stabilitet og designe tunnelsikring.

Opmålingsteknik

Sprækkedata er indsamlet langs 2 målelinier, der er udlagt vinkelret på hinanden. Langs med linien er sprækkernes skæring med denne indmålt, og den enkelte sprækkes orientering er målt. Desuden er sprækkesporslængden målt og sprækkens form beskrevet.

Den vinkelrette afstanden mellem sprækkerne i et næsten horisontalt sprækkesystem er ikke repræsenteret i målelinieindmålingerne, idet de ikke skærer linierne. De er derfor målt direkte i nogle snit i klinten ud mod Qinngorput.

Vurdering af fjeldkvalitet ved brug af Q-metoden

Ved anlæggelse af tunneller efter NMT (Norwegian Tunneling Method) udføres der løbende en beskrivelse af fjeldets stabilitet for at vurdere, hvilken grad af sikring der kræves ved anlæg af en tunnel. Til denne vurdering anvendes Q-metoden, hvor stabiliteten angives med et tal, den såkaldte Q-værdi (Barton et al., 1974; Grimstad & Barton, 1993; Barton & Grimstad, 1994a og 1994b). Q-værdien fremkommer ud fra seks parametre der har betydning for fjeldets stabilitet.

Ved at anvende Q-metoden kan man løbende vurdere, hvilken sikringskonstruktion det er nødvendigt at bruge ved tunnelbyggeri (f.eks. tykkelse af sprøjtebeton, rock bolts og armeringsjern). Man kan således løbende designe sikringskonstruktionen, og derved undgå oversikring, og på den måde reducere de totale anlægsudgifter.

På grundlag af seks parametre beregnes Q-værdien efter følgende formel:

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

De seks parametre er:

RQD står for Rock Quality Designation, og er et klassifikationssystem til at beskrive opsprækningsgraden af en bjergartsmasse. RQD er oprindeligt defineret ud fra borekerner, men kan også beregnes ud fra antal sprækker/m³ ud fra følgende formel

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

hvor J_v er antal sprækker/m³.

J_n er en parameter, der beskriver antal sprækkesystemer. Et sprækkesystem er parallelle eller subparallelle sprækker med en bestemt sprækkeafstand. Herudover forekommer ikke systematiske sprækker.

J_r er et tal der beskriver ruheden på en sprækkeflade. Ruheden beskrives i to skalaer (se ovenfor).

J_a er et tal for sprækkefyld. Denne parameter afhænger af fyldets art og tykkelse. Der er tre hovedkategorier: a) Bjergartskontakt (d.v.s. ingen fyld); b) bjergartskontakt efter mindre end 10 cm shear deformation (d.v.s. tyndt lag fyld); c) ingen bjergartskontakt, selv efter shear deformation (d.v.s. tykt lag fyld). Parameteren beskrives for hvert sprækkesystem, men den parameter der er mindst favorabel for tunnelen vælges ved beregning af Q-værdien.

J_w er en lokalitet-specifik parameter der beskriver vandforholdene for tunnelen (sprækkevands tal). Det er som regel vanskeligt at udføre målinger af vandføring i sprækker under sprækkeopmåling. Derfor gives der et estimat af vandforholdene i den planlagte tunnel. Hydrauliske test udført i borer kan være nyttige i beskrivelse ved af vandforholdene.

SRF (Stress Reduction Factor) beskriver stress forholdene omkring en tunnel, eller mere specifikt forholdet mellem stress og bjergartens styrke. Der er fire hovedkategorier: a) svaghedszoner som skærer tunnelen og som kan medføre nedfald, b) kompetente bjergarter der ikke er deformerbare og, som kan afstedkomme, at bjergarten sprænges eller splintres, c) plastisk deformerbare bjergarter d) svellende bjergarter

De enkelte parametre bestemmes ved geologisk kortlægning ud fra tabeller som giver parameterværdierne med tilhørende beskrivelse (Tabel 1). Parvis giver de seks parametre et udtryk for de tre hovedfaktorer som er afgørende for stabiliteten i tunneler:

RQD/J _n =	opsprækningsgrad
J _r /J _a =	bjergartens minimale friktion
J _w /SRF =	aktiv spænding

1. Rock Quality Designation		RQD
A	Very poor	0 - 25
B	Poor	25 - 50
C	Fair	50 - 75
D	Good	75 - 90
E	Excellent	90 - 100
Note: i) Where RQD is reported or measured as ≤ 10 (including 0), a nominal value of 10 is used to evaluate Q. ii) RQD intervals of 5, i.e., 100, 95, 90, etc., are sufficiently accurate.		

2. Joint Set Number		J_n
A	Massive, no or few joints	0.5 - 1.0
B	One joint set	2
C	One joint set plus random joints	3
D	Two joint sets	4
E	Two joint sets plus random joints	6
F	Three joint sets	9
G	Three joint sets plus random joints	12
H	Four or more joint sets, random, heavily jointed, "sugar cube", etc.	15
J	Crushed rock, earthlike	20
Note: i) For intersections, use $(3.0 \times J_n)$ ii) For portals, use $2.0 \times J_n$		

3. Joint Roughness Number		J_r
a) Rock-wall contact, and b) rock-wall contact before 10 cm shear		
A	Discontinuous joints	4
B	Rough or irregular, undulating	3
C	Smooth, undulating	2
D	Slickensided, undulating	1.5
E	Rough or irregular, planar	1.5
F	Smooth, planar	1.0
G	Slickensided, planar	0.5
Note: i) Descriptions refer to small scale features and intermediate scale features, in that order.		
c) No rock-wall contact when sheared		
H	Zone containing clay minerals thick enough to prevent rock-wall contact	1.0
J	Sandy, gravelly or crushed zone thick enough to prevent rock-wall contact	1.0
Note: i) Add 1.0 if the mean spacing of the relevant joint set is greater than 3m. ii) $J_r = 0.5$ can be used for planar slickensided joints having lineations, provided the lineations are oriented for minimum strength.		

4. Joint Alteration Number		ϕ_r approx.	J_a
a) Rock-wall contact (no mineral fillings, only coatings)			
A	Tightly healed, hard, non-softening, impermeable filling, i.e., quartz or epidote		0.75
B	Unhealed joint walls, surface staining only	25-35°	1.0
C	Slightly altered joint walls. Non-softening mineral coatings, sandy particles, clay-free disintegrated rock, etc.	25-30°	2.0
D	Silty- or sandy-clay coatings, small clay fraction (non-softening)	20-25°	3.0
E	Softening or low friction clay mineral coatings, i.e., kaolinite or mica. Also chlorite, talc, gypsum, graphite, etc., and small quantities of swelling clays.	8-16°	4.0
b) Rock-wall contact before 10 cm shear (with mineral fillings)			
F	Sandy particles, clay-free disintegrated rock, etc.	25-30°	4.0
G	Strongly over-consolidated non-softening clay mineral fillings (continuous, but < 5mm thickness)	16-24°	6.0
H	Medium or low over-consolidation, softening, clay mineral fillings (continuous, but < 5mm thickness)	12-16°	8.0
J	Swelling-clay fillings, i.e., montmorillonite (continuous, but < 5mm thickness). Value of J_a depends on percent of swelling clay-size particles, and access to water, etc.	6-12°	8-12
c) No rock-wall contact when sheared (thick mineral fillings)			
KL	Zones or bands of disintegrated or crushed rock and clay (see G, H, J for description of clay condition)	6-24°	6, 8, or 8-12
N	Zones or bands of silty- or sandy-clay, small clay fraction (non-softening)		5.0
OP	Thick, continuous zones or bands of clay (see G, H, J for description of clay condition)	6-24°	10, 13, or 13-20

5. Joint Water Reduction Factor		approx. water gain, g/gm ²	J_w
A	Dry excavations or minor inflow, i.e., < 5 l/min locally	< 1	1.0
B	Medium inflow or pressure, occasional outwash of joint fillings	1-2.5	0.66
C	Large inflow or high pressure in competent rock with unfilled joints	2.5-10	0.5
D	Large inflow or high pressure, considerable outwash of joint fillings	2.5-10	0.33
E	Exceptionally high inflow or water pressure at blasting, decaying with time	> 10	0.2-0.1
F	Exceptionally high inflow or water pressure continuing without noticeable decay	> 10	0.1-0.05
Note: i) Factors C to F are crude estimates. Increase J_w if drainage measures are installed. ii) Special problems caused by ice formation are not considered.			

6. Stress Reduction Factor		SRF		
a) Weakness zones intersecting excavation, which may cause loosening of rock mass when tunnel is excavated				
A	Multiple occurrences of weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock, very loose surrounding rock (any depth)		10	
B	Single weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock (depth of excavation ≤ 50 m)		5	
C	Single weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock (depth of excavation > 50m)		2.5	
D	Multiple shear zones in competent rock (silty-free), loose surrounding rock (any depth)		7.5	
E	Single shear zones in competent rock (silty-free) (depth of excavation ≤ 50 m)		5.0	
F	Single shear zones in competent rock (silty-free) (depth of excavation > 50m)		2.5	
G	Loose, open joints, heavily jointed or "sugar cube", etc. (any depth)		5.0	
Note: i) Reduce these values of SRF by 25-50% if the relevant shear zones only influence but do not intersect the excavation.				
b) Competent rock, rock stress problems				
H	Low stress, near surface, open joints	$\sigma_1/\sigma_3 > 200$	$\sigma_3/\sigma_1 < 0.01$	2.5
J	Medium stress, favourable stress condition	200-10	0.01-0.3	1
K	High stress, very tight structure. Usually favourable to stability, may be unfavourable for wall stability.	10-5	0.3-0.4	0.5-2
L	Moderate slabbing after > 1 hour in massive rock	5-3	0.5-0.66	5-50
M	Slabbing and rock burst after a few minutes in massive rock	3-2	0.66-1	50-200
N	Heavy rock burst (strain-burst) and immediate dynamic deformations in massive rock	< 2	> 1	200-400
Note: i) For strongly anisotropic virgin stress field (if measured): when $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reduce σ_1/σ_3 to 0.75. When $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, reduce σ_1/σ_3 to 0.5. Where σ_1 = unconfined compression strength, σ_1 and σ_2 are the major and minor principal stresses, and σ_2 = maximum tangential stress (estimated from elastic theory). ii) Few case records available where depth of crown below surface is less than span width. Suggest SRF increase from 2.5 to 5 for such cases (see H).				
c) Squeezing rock: plastic flow of incompetent rock under the influence of high rock pressure				
O	Mild squeezing rock pressure	σ_1/σ_3	1-6	5-10
P	Heavy squeezing rock pressure	σ_1/σ_3	> 6	10-20
Note: iv) Cases of squeezing rock may occur for depth $H > 350 Q^{1/3}$ (Singh et al., 1992). Rock mass compression strength can be estimated from $q = 7 \rho Q^{1/2}$ (MPa) where ρ = rock density in gm/cc (Singh, 1993).				
d) Swelling rock: chemical swelling activity depending on presence of water				
R	Mild swelling rock pressure			5-10
S	Heavy swelling rock pressure			10-15

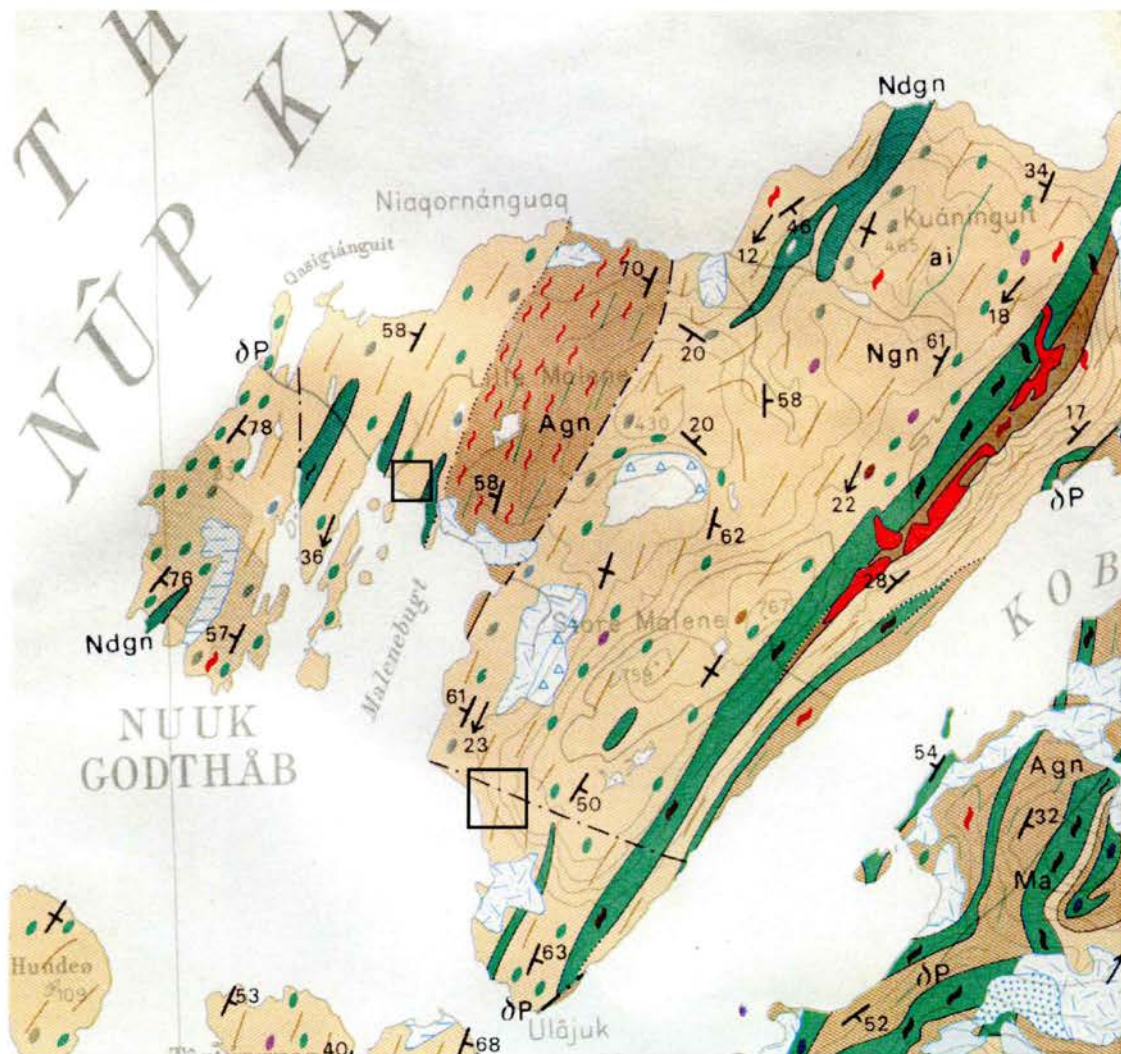
Note: J_r and J_a classification is applied to the joint set or discontinuity that is least favourable for stability both from the point of view of orientation and shear resistance (where $r = \sigma_3 \tan^{-1}(J_r/J_a)$).				
$Q = \frac{RQD}{J_n} = \frac{J_r}{J_a} = \frac{J_w}{SRF}$				

Tabel 1. Parameterværdier til bestemmelse af Q-værdien (fra Barton & Grimstad, 1994a)

Projekteret tunnel til Qinngorput

Geologi

Bjergarterne i det undersøgte område består af Nuuk Gnejs med indslag af amfibolit og metagabbro (Fig. 2). Under feltarbejdet blev der primært observeret en grålig folieret gnejs, og bånd af amfibolit og metagabbro.



Figur 2. Geologisk kort over området ved Nuuk (udsnit af GGU, 1984). De undersøgte områder er markeret med rammer.

Ngn: Nuuk Gnejs; Ndgn: Nuuk dioritisk gnejs og metagabbro; Agn: Amîtsoq gnejs; stiblet linie: forkastning.

De mørkere bjergarter har generelt været udsat for en stærkere erosion end Nuuk Gneisen generelt (Fig. 3). Opsprækningen i disse bånd var ligeledes stærkere end i den grålige Nuuk Gnejs (Fig. 4)



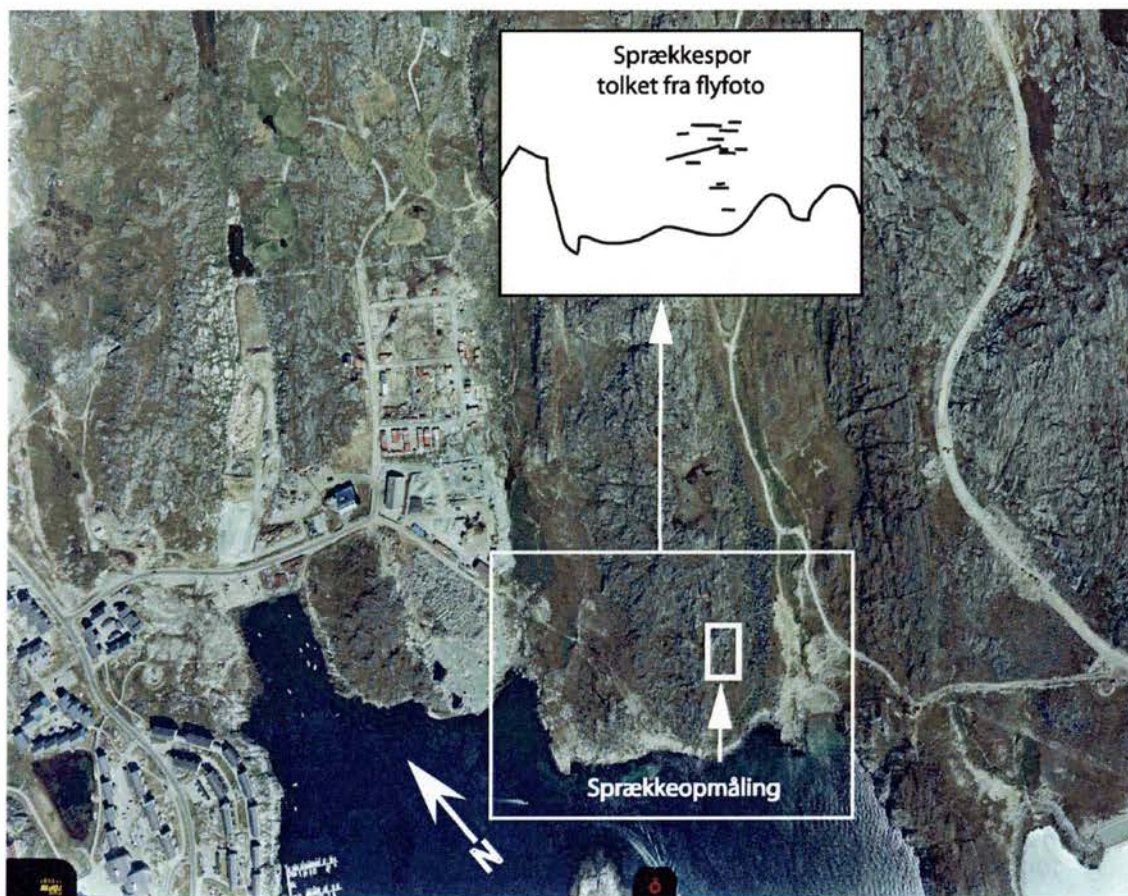
Figur 3. I et mafisk bånd er der sket en stærkere erosion end i den omgivne gnejs, og der er aflejret løsmateriale i erosionsskåret.



Figur 4. Billedet viser et mafisk bånd der er stærkere eroderet og opsprækket end den omgivne grålige gnejs

Flyfototolkning

Ved den projekterede tunnel til Qinggorput kan man kun erkende enkelte større sprækker på flyfotoet. De mest markante sprækker som træder frem på flyfotoet stryger ca. 130° (Fig 5). Bjergartens foliation følger fjeldryggens orientering. Ved den sydøstlige side af fjeldryggen ses en del blokke for foden af fjeldryggen.



Figur 5. Udsnit af flyfoto over området hvor der er projekteret en tunnel til Qingonput. På den indsatte skitsetegning er de sprækker der kan erkendes på flyfoto indtegnet. Området hvor der er foretaget sprækkeopmåling er markeret med en ramme.

Sprækkeopmåling

Sprækkesystemer

Sprækkeopmålingen er foregået langs to målelinier. Der er observeret 3 sprækkesystemer (Fig. 6). Et sprækkesystem der stryger i ca. 130° (system 1 i Fig. 6, foto Fig. 9), et der er parallelt med bjergartens foliation (system 2 i Fig. 6; foto Fig. 7) og et svaghældende sprækkesystem (system 3 i Fig 6, foto Fig. 7). Desuden er der enkelte sprækker med en anden orientering.

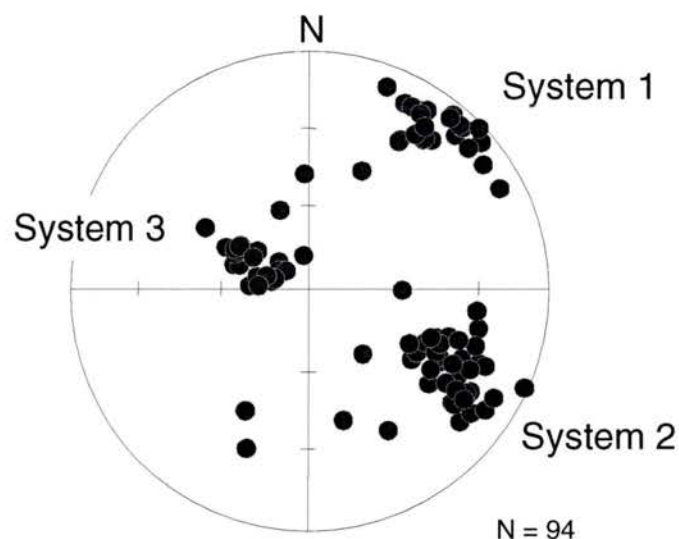


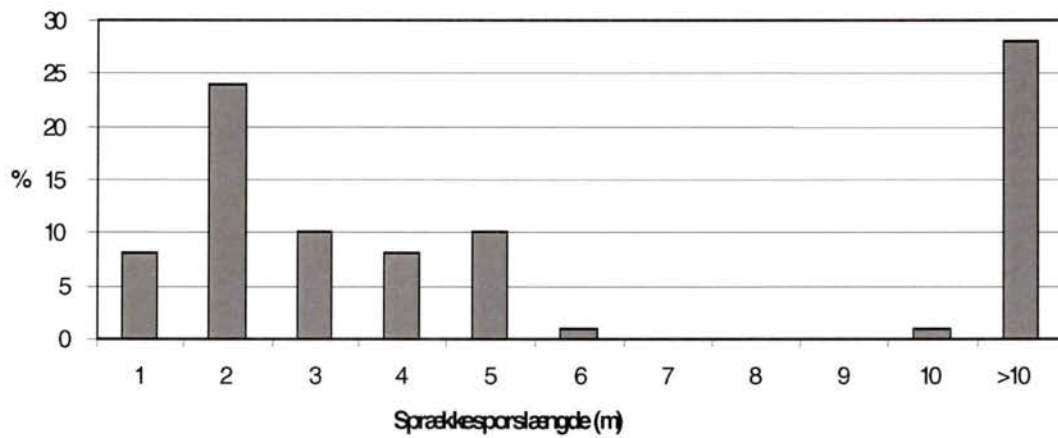
Fig. 6. Stereoplot af de målte sprækker ved Qinngorput. Sprækkerne hørende til system 1,2 og 3 er subparallelt orienteret og udtegnes samlet i grupper. Desuden ses at der er enkelte sprækker med tilfældig orientering.



Figur 7. Kystblotning ud mod Qinngorput. Her ses det svagthældende sprækkesystem (system 3), der skærer de foliationsparallelle sprækker (system 2) der hælder stejlt mod nordvest (til venstre i billedet).

Sprækkestørrelse

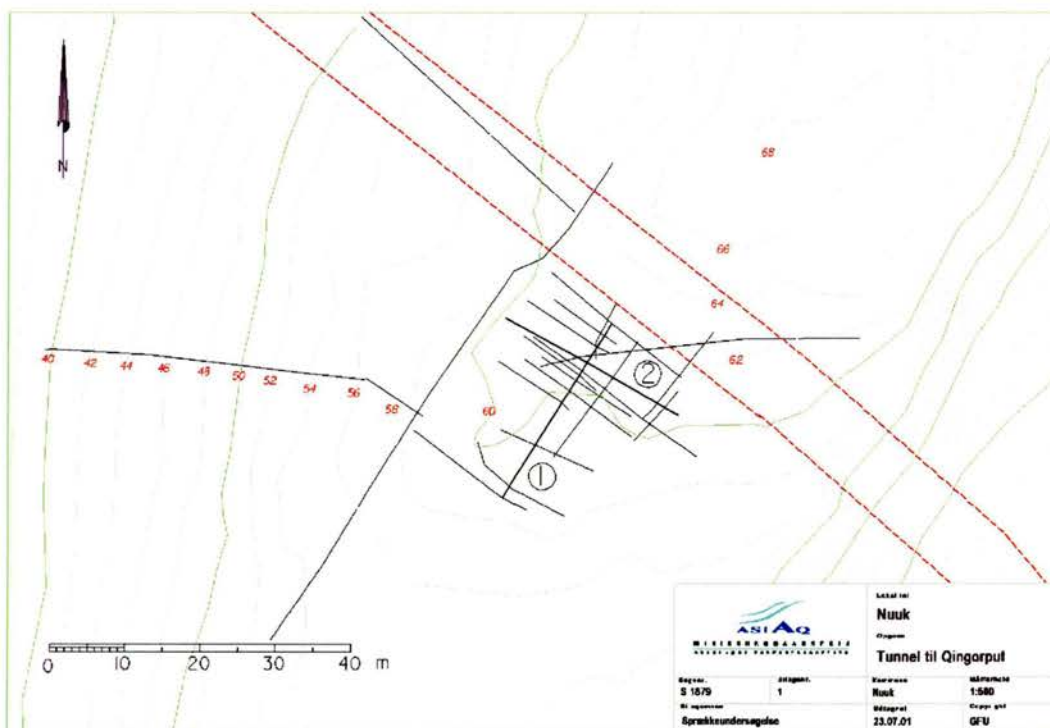
Sprækkesporslængden er målt for de sprækker der skærer målelinierne. Sammenlagt udgør sprækker med sprækkesporslængde fra 1 til 6 m 71 % og sprækker med sprækkesporslængde med >10 m sprækkesporslængde udgør 29 % af de målte sprækker (Fig. 8). De største og mest markante sprækker markerer sig tydeligt i terrænet (Fig. 9). De mest markante sprækker er indmålt med GPS (Fig. 10). De længste sprækker har sprækkesporslængder på op til 50 m lateralt, og de kan vertikalt følges op til 18 m (Fig. 10).



Figur 8. Den procentvise fordeling af sprækkesporslængder for sprækker målt langs målelinier



Figur 9. Billede af en af de mest markante sprækker som stryger ca. 130° og som hører til system 1.



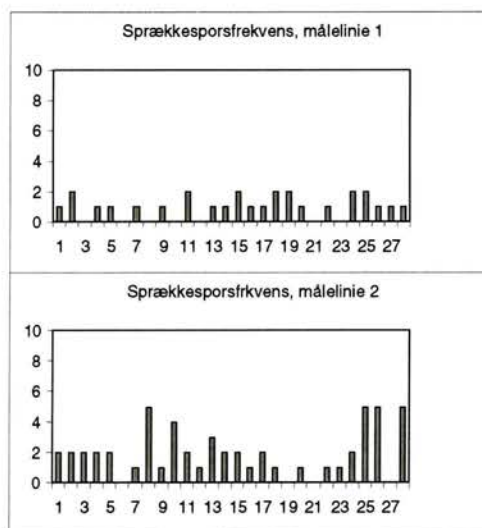
Figur 10. Kort der viser sprækkespor af de mest markante sprækker (tynde sorte linier). Sprækkesporene er indmålt med GPS. Målelinierne 1 og 2 er vist med tykke sorte linier. Tunneltraceens mulige placering er indtegnet med røde stiplede linier.

Sprækkeanalyse

Sprækkeintensitet

Den gennemsnitlige sprækkeafstand er beregnet for to af de tre sprækkesystemer ud fra opmålingerne langs opmålingslinierne og sprækkeafstanden er derefter omregnet til sprækkeintensiteten (sprækker pr. m). Sprækkesystemet der stryger 130° har en gennemsnitlig sprækkeintensitet på 0,86 sprækker/m og de foliationsparallelle sprækker har en gennemsnitlig sprækkeintensitet på 2,82 sprækker/m. Afstanden for det tredje sprækkesystem er målt direkte og den gennemsnitlige sprækkeafstand er 0,70 m, hvilket svarer til en sprækkeintensitet på 1,45 sprækker/m.

Sprækkeintensiteten varierer dog en del især for de foliationsparallelle sprækker. Det kommer til udtryk i figur 11, hvor sprækkesporsfrekvensen er udtegnet for de to målelinier. Her er det totale antal sprækker pr. løbende meter langs målelinien udtegnet. Frekvensen langs målelinie 2 varierer en del. Det hænger sammen med at det i høj grad er den litologiske sammensætning der styrer opsprækningsgraden.



Figur 11. Sprækkesporsfrekvens (samlet antal sprækker pr. m) for målelinie 1 og 2.

Samlet sprækkeintensitet og RQD

Den samlede sprækkeintensitet er summen af sprækkeintensiteten for de tre sprækkesystemer og den er beregnet til 5,2 sprækker/m³.

RQD er beregnet efter formlen $RQD = 115 - 3,3J_v$, hvor J_v er antal sprækker/m³. Idet graden for opsprækning varierer meget efter litologien er RQD beregnet for metagabbro/amfibolit og for den grå Nuuk gnejs. For metagabbro/amfibolit er RQD beregnet til 80, og for Nuuk gnejs er RQD beregnet til 95.

Beskrivelse af fjeldets kvalitet

Generel beskrivelse

Generelt består fjeldet ved den projekterede tunnel til Qingonput af grå gnejs med sprækker, hvilket ifølge GI's notat om fjeldklassifikation (GI, 1994) er klasse III fjeld 'fjeld med spalteflader' (Fig. 12).

I forbindelse med amfibolit- og metagabbrobåndene blev det observeret at bjergarten var stærkere opsprækket. Amfibolit og metagabbro indslagende hører ifølge GI's notat (GI, 1994) til klasse I fjeld 'råddent fjeld'.

Den sydøstlige side af den undersøgte fjeldryg er markant stejlere end den nordvestlige, og der er udpræget blokfald på den sydøstlige side (Fig. 13). Det skyldes at de lagparallelle sprækker hælder stejlt ind mod fjeldryggen og de er orienteret langs med ryggen. Ved erosion på den sydøstlige side vil fjeldet bryde langs disse sprækker, der ligeledes skaber et overhæng, hvorved denne fjeldside bliver stejlere.



Figur 12. Foto af den nordøstlige side af fjeldet hvor der er projekteret tunnel til Qingonput.



Figur 13. Foto af den sydøstlige side af fjeldet hvor der er projekteret tunnel til Qingonput. De lagparallelle sprækker dykker stejlt ind i fjeldvæggen og forårsager blokfald og et overhæng på en del af fladerne på fjeldsiden

NMT fjeldkvalitet, Q-metoden

Ved den projekterede tunneltrace til Qinngorput er RQD beregnet ud fra sprækkeopmåling, Jn er bestemt ved sprækkeopmålingen. Jr og Ja er bestemt ud fra beskrivelserne af sprækker under sprækkeopmålingen. Jw og SRF er visuelt bedømt under sprækkeopmålingen.

Det skal understreges at Q-værdien skal bestemmes i selve tunnelvæggene når den skal bruges til at vurdere sikringsgraden. Dels fordi at Q-værdien kan variere fra loft til vægge i et tunneltværsnit, dels at den kan variere fra meter til meter. Desuden kan der opstå sprængningsrelaterede sprækker under sprængningsarbejdet, der selvfølgelig også har betydning for stabiliteten.

De nedenfor beregnede Q-værdier er således kun vejledende værdier for bjergarterne ved Qinngorput der illustrerer variation og størrelsesordenen af Q-værdien. Q-værdien er beregnet for amfibolit- og metagabbrobåndene og for den grå gnejs, idet det antages at de repræsenterer to forskellige bjergartstyper med forskellig stabilitet. For amfibolit- og metagabbrobåndene er der desuden anvendt den største sprækkeintensitet for de subhorizontale sprækker (system 3) således, at vi her får en 'worst case'.

Q-værdien for amfibolit- metagabbrobåndene ved fjeldet ved Qinngorput er beregnet til:

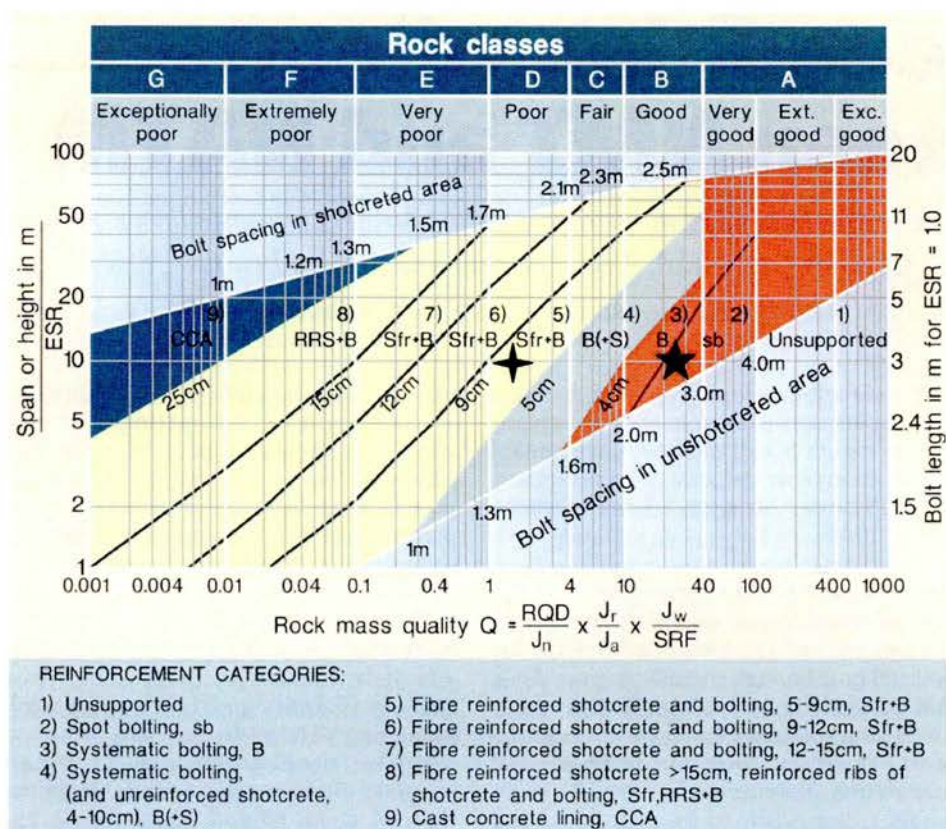
$$Q = 80/12 \times 3/3 \times 1/5 = 1,3$$

Denne værdi ligger i kategorien dårlig, og ved en tunneldiameter på 10 m viser tunneldesign diagrammet, at der skal sikres med en systematisk boltning og fiberarmeret sprøjtebeton, 5-9 cm (Fig. 14).

Q-værdien for den Nuuk gnejs ved fjeldet ved Qingonput er beregnet til:

$$Q = 95/12 \times 3/1 \times 1/1 = 24$$

Denne værdi ligger i kategorien god, og ved en tunneldiameter på 10 m viser tunneldesign diagrammet, at der skal sikres med en systematisk boltning (Fig. 14).



Figur 14. Q-systemets tunnel og hulrums design diagram. På diagrammet kan man ud fra den beregnede Q-værdi aflæse hvilken form for sikring man bør anvende (fra Barton & Grimstad, 1994b). Amfibolit- metagabbrobåndene: ✦ Nuuk gnejs: ★

Projekteret tunnel til Ulaajuk

Tunnelen er planlagt at skulle forbinde den vestlige og sydlige del af Ukkusissat.

Flyfototolkning

Der er udtegnet sprækkespor i terrænoverfladen ud fra flyfoto (Fig. 15). Udtegningen er udført i et tegneprogram, og er således ikke en egentlig stereografisk flyfoto analyse.

På flyfotoet er der to størrelsesordener af sprækker. Der er nogle meget store, regionalt gennemgående sprækker, der også fremstår tydeligt i morfologien som sprækkedale. To af de store sprækker støder sammen i området hvor den projekterede tunneltrace antagelig vil ligge. Den ene af disse store sprækker er på det geologiske kort angivet som en forkastning.

Sprækkerne der er en størrelsesorden mindre fremstår tydeligt på flyfoto og de fremstår også makant i felten. Det mest dominerende sprækkesystem stryger ca. 130°. På sydvestssiden af Ukkusissat kan man se at erosionen ved de stejle skråninger er styret af dette sprækkesystem.

Rekognoscering i området

Hensigten med rekognosceringen var at give en bedømmelse af grundfjeld og vurdering af sprækkerne og deres karakter. Der er taget udgangspunkt i GI-Notat Fjeldklassifikation fra 1994-06-13 (GI, 1994).

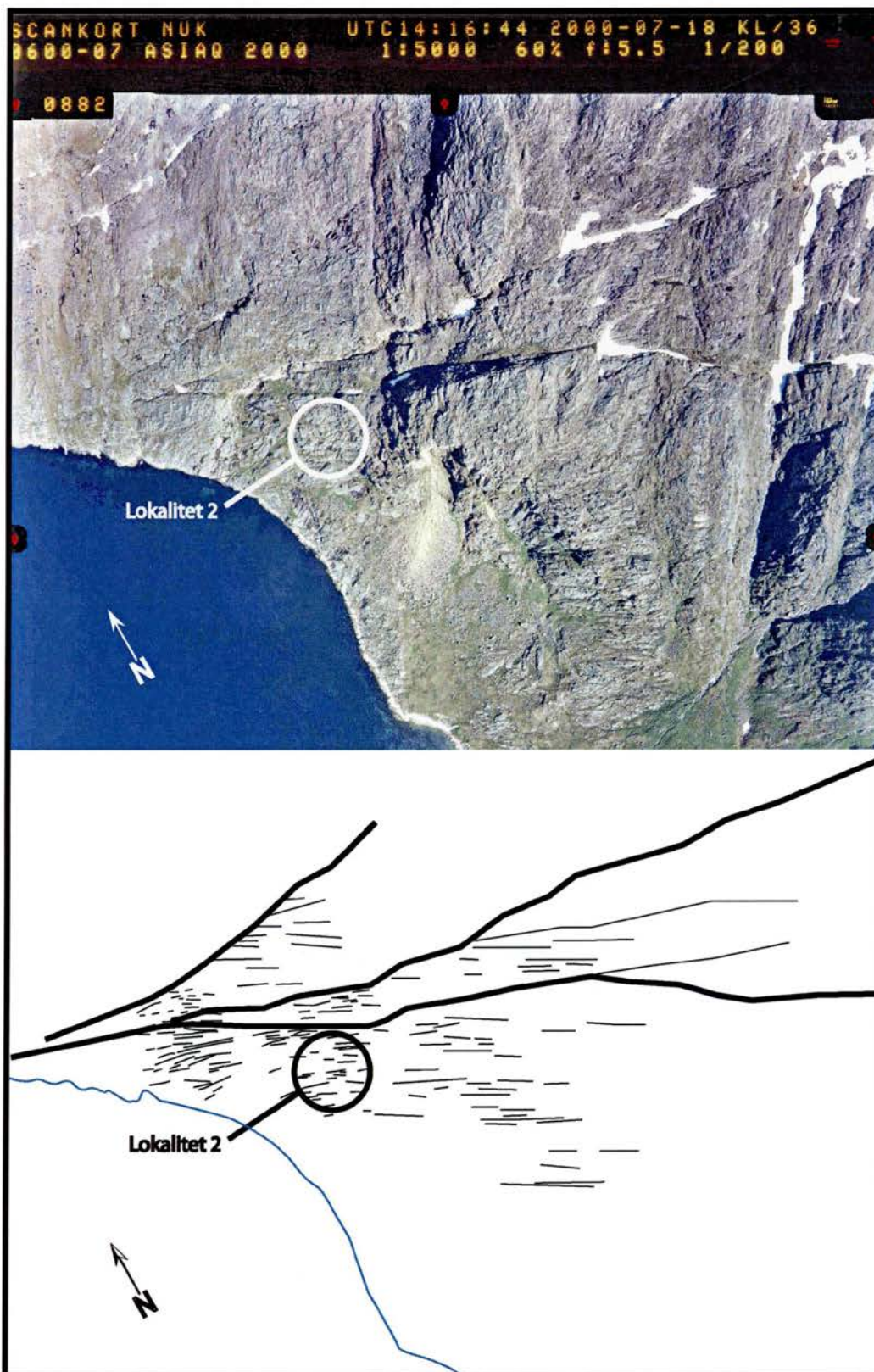
Tilgængelighed

Vandretur på 1 til 1 ½ time fra nærmeste vej. Dele af undersøgelsesområdet er svært tilgængeligt, da overfladehældningen er stejl, men det vurderes at der kan laves simple forundersøgelser uden brug af sikkerheds udstyr.

Visuel bedømmelse

Bjergarten i undersøgelses området der er markeret på figur 15, består hovedsagelig af gnejs med spredte tynde pegmatit gange. I området fremstår gnejsen massiv og sprækkesystemerne synes at være uafhængige af lagplan/foilation.

Overfladens strygning og hældning er i høj grad præget af sprækkesystemerne på lokaliteten.



Figur 15. Udsnit af flyfoto over området hvor der er projekteret en tunnel til Ulaajuk. På skitsen forneden er indtegnet forløbet af de store lineamenter/forkastninger samt de tolkede sprækkespor af de større sprækker i området. Størstedelen af de observerede sprækker stryger ca. 130° . Området hvor der er lavet en beskrivelse af sprækkesystemer er angivet som lokalitet 2.

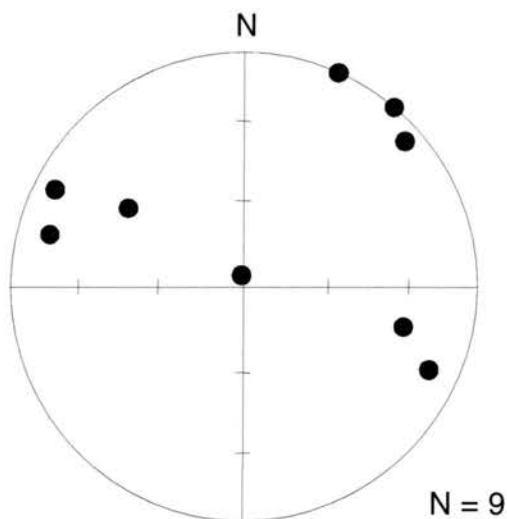
De meget store sprækker (forkastninger) der er udtegnet ud fra flyfoto, fremstår som erosionsdale der skærer sig op over Ukkusissat (Fig. 15 og 16).



Figur 16. Sprækkebetinget erosionskløft der strækker sig tværs over Ukkusissat. På det geologiske kort er denne kløft markeret som forkastning

Sprækker

Der er observeret fire sprækkesystemer (Fig. 17) i området der er markeret som lokalitet 2 på figur 15.



Figur 17. Stereoplot af orienteringen af sprækkeflader ved lokalitet 2. De udtegnede sprækker repræsenterer de fire sprækkesystemer der er observeret. Der er ikke lavet nogen systematisk opmåling, hvorfor der ikke kan aflases nogen vægtning i antallet af sprækker hørende til de enkelte systemer.

Friktionsforholdene langs med sprækkerne i de fire sprækkesystemer er varierende. Sprækkerne i de fire systemer varierer mellem at være ondulerede og ru til at være lige og glatte, dog virker det som om de fleste sprækker er ondulerende og ru.

Det er ikke observeret fyld eller belægning i sprækkerne.

System 1:

- a) Strygning / hældning 134/90
- b) Sprækkeafstanden er 35 cm til 300 cm middel 105 cm enkelte sprækkezoner hvor det er to til fire sprækker inden for omkring 30 cm
- c) Knusningszoner: Ikke observeret
- d) Kommentar: Dette sprækkesystem er det altdominerende i området. Sprækkerne har samme orientering som forkastningen på det geologiske kort. I området viser blotninger at de større sprækker er gennemgående.

System 2:

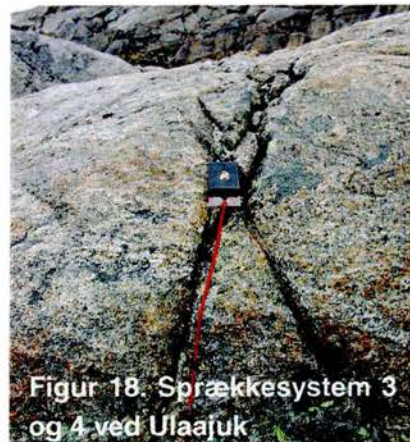
- a) Strygning / hældning 80/4
- b) Sprækkeafstand: ikke målt
- c) Knusningszoner: ikke observeret
- d) Kommentar: Subhorisontalt sprækkesystem, (overfladen har i stor udstrækning samme orientering som dette sprækkesystem).

System 3 (Fig. 18):

- a) Strygning / hældning 24/76 V
- b) Sprækkeafstand: ikke målt
- c) Knusningszoner: ikke observeret

System 4 (Fig. 18):

- a) Strygning / hældning 27/80 Ø
- b) Sprækkeafstand: ikke målt
- c) Knusningszoner: ikke observeret



Figur 18. Sprækkesystem 3 og 4 ved Ulaafuk

Beskrivelse af fjeldets kvalitet

Med udgangspunkt i GI-Notat Fjeldklassifikation fra 1994-06-13 (GI, 1994) kan fjeldet betegnes til at tilhøre klasse II, "Fjeld med sprækker og sprækkezoner". I området hvor forkastningen og den store spalte støder sammen, findes der klasse I fjeld (råddent fjeld).

Forslag til yderligere undersøgelser

På baggrund af de udførte forundersøgelser kan vi komme med følgende forslag for videre undersøgelser med henblik på opsprækning, stabilitet og vandføring i forbindelse med projekterede tunneller.

Projekteret tunnel til Qinngorput:

Det anbefales at der foretages en sprækkeundersøgelse af fjeldet i den projekterede tunnel trace, med henblik på at vurdere stabilitet og forekomsten af større sprækker og deres vandføring.

Det anbefales at der foretages en detaljeret geologisk kortlægning langs tunnel traceen, med henblik på at identificere gabbroiske og mafiske bånd i gnejsen, der kan være stærkere opsprækket og udgøre sprækkezoner samt zoner med afvigende geotekniske egenskaber i forhold til gnejsen generelt.

Sprækkeopmålingerne kan med fordel suppleres med geofysiske undersøgelser. VLF (Very Low Frequency, induktiv elektromagnetisk metode) kan bruges til at lokalisere store sprækker samt sprække- og knusningszoner, og kan bruges til at vurdere sprækkernes vandføring. Georadar kan bruges til at detektere enkelte sprækker og opmåle sprækker og sprækketæthed.

Det anbefales endvidere, at der udføres borer i tunneltraceen. Boringerne bør udføres som hældende borer således at de skærer de vigtigste sprækkesystemer. Boringerne bør undersøges med diverse logging metoder. Med televiwer kan man visuelt erkende sprækkernes beliggenhed i boringen, og man kan måle deres orientering. Med gammalog kan man kortlægge forskellige bjergartstyper. Hvis der står grundvand i boringen bør de logges med en flowlog, der kan lokalisere vandførende sprækker samt måle vandflowet fra sprækken ind i boringen.

Projekteret tunnel til Ulaajuk:

Det anbefales, at der først og fremmest udføres en detaljeret fotogrametrisk analyse af flyfoto for området, for at få en mere detaljeret udtegnning af både de store sprækker/forkastninger samt de mindre sprækker med hensyn til deres beliggenhed, rummelige orientering og intensitet.

Det anbefales at der foretages en detaljeret geologisk kortlægning langs tunnel traceen, med henblik på at identificere gabbroiske og mafiske bånd i gnejsen, der kan være stærkere opsprækket og udgøre sprækkezoner samt zoner med afvigende geotekniske egenskaber i forhold til gnejsen generelt.

Det anbefales at der udføres en detaljeret sprækkeopmåling langs den projekterede tunnel trace med henblik på at vurdere fjeldets stabilitet og sprækkernes vandføring. Specielt de store sprækkezoner/forkastninger bør undersøges nærmere.

Sprækkeopmålingerne kan med fordel suppleres med geofysiske undersøgelser. VLF (Very Low Frequency, induktiv elektromagnetisk metode) kan bruges til at lokalisere store sprækker samt sprække- og knusningszoner, og kan bruges til at vurdere sprækkernes vandføring. Georadar kan bruges til at detektere enkelte sprækker og opmåle sprækker og sprækketæthed.

En borekampagne vil i dette område være af stor betydning, men da adgangsforholdene er dårligere her end ved Qinngorput og terrænet mere ufremkommeligt (stejlere), anbefales det, at der udføres en detaljeret geologisk forundersøgelse (bjergarts- og sprækkkortlægning) før der iværksættes en borekampagne, der så kan designes mere målrettet.

Referencer

Barton, N., Lien, R. & Lunde, J. 1974. Engeneering Classification of Rock Mass for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics, Vol. 6, No. 4, 189-236.

Barton, N. & Grimstad, E., 1994a. The Q-System following Twenty Years of Application in NMT Support Selection. Felsbau 12, nr 6. 428-436.

Barton, N. & Grimstad, E., 1994b. Rock mass conditions dictate choice between NMT and NATM. Tunnels and Tunneling

GGU, 1984. Geologisk kort over Grønland 1:100.000, Qôrqut 64 V.1 syd.

GI, 1994. Fjeldklassifikation, Notat Geoteknisk Institut 1994-06-13.

Grimstad, E & Barton, N. 1993. Updating of the Q-system for NMT. Proc. of the International Symposium on Sprayed Concrete, Fagernes, Norway. Eds Kompen, Opsahl and Berg, Norwegian Concrete Association, 44-66.

Norconsult, 2001. Vurdering av bergkvalitet for bygning av tunnel sydøst for Nuuk.

Nuup Kommunea, 2000. NUUK 2050, Teknisk/økonomisk analyse af byudviklingsmuligheder i Nuuk. Forvaltningen for Teknik og Miljø, Nuup Kommunea. 91 pp.