Forundersøgelse for tunnel til Ulajuuk

Geologisk undersøgelse og geoteknisk analyse af den sydvestlige del af Ukkusissat, udført for Nuup Kommunea

Peter Roll Jakobsen og Jens Nykjær Larsen





DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE MILJØMINISTERIET

Forundersøgelse for tunnel til Ulajuuk

Geologisk undersøgelse og geoteknisk analyse af den sydvestlige del af Ukkusissat, udført for Nuup Kommunea

Peter Roll Jakobsen og Jens Nykjær Larsen





DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE MILJØMINISTERIET

Sammenfatning og Konklusioner	4
Indledning	5
Forord	5
Projektbeskrivelse	5
Metoder	6
Geologisk kortlægning	6
Sprækker	6
Flyfoto tolkning	6
Opmålingsteknik	6
Beliggenhed af målelinier	6
Sprækkeparametre	7
Georadar	7
VLF	7
Vurdering af fjeldkvalitet ved brug af Q-metoden	7
Bjergtryk	9
Bjergslag	9
Overdækning	9
Resultater	10
Geologi	. 10
Geologisk ramme	10
Kortlægning af undersøgelsesområdet	12
Sprækker	17
Flyfoto tolkning	17
Feltdata	18
Georadar	20
Svaghedszoner	21
Stabilitet; Q-værdier	26
Bjergtryk	27
Bjergslag	27
Overdækning	28
Diskussion / Vurderinger	30
Svaghedszoner	30
Bjergslag	30
Overdækning	30
Sikring i tunneltraceen	31
Vurdering af tunnelens datagrundlag	32
Materialeoversigt	33
Referencer	34

Bilag 1 Geologisk kort	35
Bilag 2 Sprækkedata	37
Bilag 3 Georadar profiler	51
Bilag 4 Q-parametre	56
Bilag 5.1 Oversigtskort	57
Bilag 5.2 Terrænprofiler, Lokalitet 1 – 5	58
Bilag 5.3 Detailkort, Nordlig indkørsel	59
Bilag 5.4 Detailkort, Sydlig indkørsel	60
Bilag 7 – Sikringskort	61

Sammenfatning og Konklusioner

Denne rapport omhandler en forundersøgelse i forbindelse med etablering af tunnelforbindelse til Ulaajuk, gennem den sydvestlige del af Ukkusissat. Nuup Kommunea har udpeget 5 mulige ind- og udkørsler og forslag til tunneltraceen. Undersøgelsen omfatter geologisk kortlægning, sprækkeopmåling, stabilitetsvurderinger samt en vurdering af sikringsforanstaltninger ved de givne tunnelalternativer.

I undersøgelsesområdet er der påtruffet en grå gnejs, en amfibolit samt en mindre grå gangbjergart. De projekterede tunneltraceer forløber fortrinsvis i en tonalitisk/granodioritisk gnejs, der her er benævnt grå gnejs. Gnejsen er oprindelig en intrusiv bjergart, der efterfølgende er deformeret og metamorfoseret, hvorved den har fået en foliation og den delvis er migmatiseret. Amfiboliten er en 5 til 10 meter tyk bjergartsenhed, der er foldet i en tæt fold, med en foldeakse der stryger i 20°.

På tværs af Ukkusissat er der fem sprækkezoner, der morfologisk fremstår som spaltedale, der har orienteringerne 105° og 120°. I sprækkezonerne er gnejsen stærkt opsprækket til knust. Det generelle sprækkemønster for de større sprækker, der er kortlagt fra luftfoto, er ligeledes primært orienteret i 105° og 120°. I mindre målestok, på de enkelte lokaliteter, varierer sprækkemønsteret lidt fra lokalitet til lokalitet. Georadarundersøgelserne har bidraget med kortlægning af de sprækker der er parallelle med overfladen.

Sprækkezonerne og amfiboliten er teknisk set svaghedszoner, der klassificeres som hhv. tektoniske svaghedszoner og et svagt bjergartslag. De fem tektoniske svaghedszoner og zonen med amfibolit vurderes, at være de mest kritiske med hensyn til dimensioneringen af tunneltraceen.

På baggrund af de indsamlede sprækkeparametre er der udregnet vejledende Q-værdier for de 5 lokaliteter, hvor der er foretaget sprækkeopmåling og for to af de tektoniske sprækkezoner. Den grå gnejs kan ud fra Q-systemet kaldes dårlig til rimelig og sprækkezonerne ekstrem dårlig.

Den endelige fastlæggelse af sikringstyper for tunnellens delstrækninger kan først afgøres efter inspektion i selve traceen. Generelt har den grå gnejs en høj styrke og en god stabilitet, og det kan forventes at sikringsbehovet vil være boltning og evt. sprøjtebeton. Amfiboliten udgør et svagt bjergartslag, og her forventes sikringsbehovet, at være kombineret boltning og sprøjtebeton, evt. armeret. De tektoniske svaghedszoner kræver antagelig en fuld udstøbning.

Projekteres ind- og udkørsel efter 7,5 meters overdækning må det påregnes, at der skal anvendes sikring af blokke i tunnelloftet med bolte samt muligvis injektion af cement i sprækker ved åbningerne.

Der er lavet en oversigt der viser, hvor meget af hver type sikring der kan forventes, at skulle bruges langs de projekterede linieføringer.

Indledning

Forord

Denne rapport omhandler en forundersøgelse af den sydvestlige del af Ukkusissat (Store Malene), Nuuk til støtte for projektering af en tunnelforbindelse fra Qinngorput til Ulajuuk. Undersøgelses-området er afgrænset i Bilag 6.1.

Forundersøgelserne omfatter kortlægning af geologi og sprækker samt fjeldgeotekniske analyser af bjergmassen i relation til tunnelstrækningen.

Opgaven er løst i et samarbejde mellem GEUS og ASIAQ.

Projektbeskrivelse

Forud for projektering af en tunnel fra Qinngorput til Ulaajuk gennemføres en geologisk kortlægning af den grå gnejs og de mafiske bånd i undersøgelsesområdet med sprækkeopmålinger og geofysiske metoder således, at de fysiske forhold langs tunneltraceen kan klarlægges.

På grundlag af undersøgelsens resultater gives vurderinger og anbefalinger i forhold til etablering og drift af tunnel.

I forbindelse med forundersøgelsen udføres følgende arbejde:

- 1) Indledende fotogrammetrisk analyse på grundlag af luftfotos, som stilles til rådighed af ASIAQ:
 - a. Detaljeret udtegning af store sprækker og forkastninger med hensyn til rumlig orientering og intensitet.
 - b. Udtegning af geologiske karakteristika til verifikation under feltarbejde.
 - c. Større sprækkeområder identificeres i undersøgelsesområdet.
- 2) Sprækkeundersøgelse af fjeld med henblik på at vurdere stabilitet og forekomst af større sprækker langs trace.
- 3) Detaljeret geologisk kortlægning i undersøgelsesområdet med henblik på identifikation af gabbroiske og mafiske bånd i gnejsen. Disse kan være opsprækkede og udgøre zoner med afvigende geotekniske egenskaber i forhold til gnejsen.
- 4) Geofysisk opmåling med VLF (Very Low Frequency) til kortlægning af vandføring i revner og sprækkezoner.
- 5) Geofysisk opmåling med georadar til detektion og opmåling af sprækker og sprækketæthed.
- 6) Evaluering af feltobservationer i relation til problemer med bjergtryk og sikringsforanstaltninger i tunneltraceen.

Metoder

Geologisk kortlægning

I felten er bjergarter beskrevet og klassificeret. Fjeldmassivet blev systematisk gennemgået, bjergarterne er klassificeret, deres rummelige orientering (hældning og strygning) er målt og bjergartsgrænser blev indmålt med GPS. Ud fra kortlægningen er der udtegnet et geologisk kort over området, og der er fremstillet et tværprofil, der viser bjergarternes hældning (Bilag 1).

Sprækker

Ved stabilitetsvurdering er sprækker af stor betydning, idet de udgør de svagheder i bjergarterne, der er afgørende for hvor stabil bjergarten er. Det er især antal af sprækkesystemer, størrelsen af sprækkerne, deres orientering i forhold til en skæring, tætheden af sprækker og sprækkefladens form, der er afgørende ved en stabilitetsvurdering.

Flyfoto tolkning

I forbindelse med forundersøgelsen er der anvendt flyfoto optaget i 1999 for ASIAQ i målestoksforhold 1:5000. Billederne er fotogrammetrisk tolket på en digital fotogrammetrisk arbejdsstation (LH-Systems) ved GEUS. På baggrund af flyfoto er større sprækker og sprækkezoner kortlagt og optegnet.

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 ved hjælp af Georadar undersøgelser.

Beliggenhed af målelinier

Målelinierne er såvidt muigt lagt ved tunnel ind- og udkørsler. Enkelte af målelinierne er lagt et stykke fra disse punkter på grund af terrænets udformning, eller for dårlig blotningsgrad på stedet. Beliggenheden af målelinierne er vist i Bilag 2.

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 byggeri.

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 det kumulative gennemsnitlige antal sprækker per m³.

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

Georadar

Ved lokalitet 1 og 3 er der udført georadarundersøgelser. Georadarundersøgelsen er udført med pulseEKKO 100[™] systemet. Til undersøgelsen er der anvendt 100 MHz antenner.

VLF

Opmålinger med VLF-instrumentet blev ikke gennemført på grund af tekniske problemer med instrumentet.

Vurdering af fjeldkvalitet ved brug af Q-metoden

Ved anlæggelse af tunneller efter NTM (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 nød-vendigt 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:

$$Q = RQD/Jn X Jr/Jn X Jw/SRF$$
(1)

De seks parametre er:

G E U S & ASIAQ

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

$$RQD = 115 - 3,3Jv$$
 (2)

hvor Jv er antal sprækker/m³.

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

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

Ja 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.

Jw 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 boringer kan være nyttige i beskrivelse ved af vandforholdene.

SRF (Stress Reduction Factor) beskriver stress forholdene omkring en tunnel, eller mere specifik 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/Jn =	opsprækningsgrad
Jr/Ja =	bjergartens minimale friktion
Jw/SRF =	aktiv spænding

Bjergtryk

Bjergslag

Vægten af det overliggende fjeldmassiv medfører et tryk i bjergmassen, som bør vurderes ved dimensionering af tunnellens tværsnitsprofil og sikring.

Idet en del af tunneltraceen planlægges at forløbe tilnærmelsesvist parallelt med bjergskråningens strygning bør det overvejes, om de anisotrope trykforhold i bjergskråningen kan medføre bjergslag i tunneltraceen.

Hovedspændingerne i bjergmassen fra den overliggende bjergmasse estimeres ved følgende formler (Broch & Nilsen, 2001):

$$\sigma_1 = \rho g h \text{ og} \tag{3}$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 \frac{\nu}{1 - \nu} \tag{4}$$

hvor

 σ_1 og σ_3 er hhv. den største og den mindste hovedspænding i MPa.

- v er parameteren Poissons forhold.
- ho er densiteten af bjergmassen.
- g er tyngdeaccelerationen.
- *h* er højden af den overliggende bjergmasse.

Ved etablering af en cirkulær tværsnitsprofil i bjergmassen kan de tryk- og strækspændinger i tunnelvægen estimeres ved følgende formler (Broch & Nilsen, 2001):

$$\sigma_{Tryk} = 3\sigma_1 - \sigma_3 \text{ og}$$
(5)
$$\sigma_{Strack} = 3\sigma_3 - \sigma_1$$
(6)

På grundlag af observationer i felten, ligning (3) - (6) samt erfaringer fra Norge gives en kvalitativ vurdering af spændingssituationen i den planlagte tunneltrace.

Overdækning

Ved tunnellens ind- og udkørsel skal der sikres tilstrækkeligt overliggende bjergmasse, så tunnelloftet kan forblive selvbærende.

Nuup Kommunea har foreslået et antal lokaliteter for nordlig og sydlig indkørsel i tunnelen. For disse lokaliteter udarbejdes der profiler af terrænniveau over tunneltrace ved digitalisering af terrænpunkter fra eksisterende kortgrundlag.

Resultater

Geologi

Geologisk ramme

Bjergarterne i Nuuk området er alle arkæiske gnejser, d.v.s. at de er dannet i det ældste geologiske tidsafsnit for mere end 2500 millioner år siden. Gnejserne i Nuuk området er ca. 3000 millioner år gamle, og hører til Akulleq terrænet (Fig. 1). Gnejserne i Nuuk området består hovedsageligt af Nuuk Gnejs, med indslag af amfibolit og metagabbro (Fig. 2)

Figur 1. Kort over Godthåbsfjorden med forskellige tektoniske terræner; 1: Akia terrænet, 2: Akulleq terrænet, 3: Tasiusarssuaq terrænet (Henriksen et al., 2000).





Figur 2. Geologisk Kort over Nuuk området (McGregor, 1993).

Bemærk forkastningen der går gennem undersøgelsesområdet.

Ngn: Nuuk Gnejs; Ndgn: Nuuk dioritisk gnejs og metagabbro; Agn: Amîtsoq gnejs; stiplet linie: forkastning. På et lidt mere detaljeret geologisk kort over Nuuk området kan man se at Nuuk Gnejs er differentieret i lys grå og mørk grå gnejs (Bridgewater et al, 1976)(Fig. 3). Ifølge dette kort består bjergarterne i undersøgelsesområdet, i den sydvestlige del af Store Malene, af lys grå gnejs. Bjergarterne lige vest for undersøgelsesområdet, og størstedelen af Store Malene ne består af mørk grå gnejs.



Figur 3. Geologisk kort over Nuuk området (fra Bridgewater et al. 1976).

Kortlægning af undersøgelsesområdet

I selve undersøgelsesområdet er der påtruffet lys grå gnejs og en amfibolit. Den grå gnejs udgør størstedelen af bjergartsvolumen. Amfiboliten er en ca. 5 til 10 m tyk enhed der ses på den sydvendte stejlvæg af Store Malene. Desuden er der en subhorisontal grå gangbjergart, der ligeledes er set i den sydlige stejlvæg. Fordelingen af bjergarterne er vist på det geologiske kort (Bilag 1). På Bilag 1 er der ligeledes vist et tværsnit gennem området der viser den geologiske og strukturelle opbygning af de undersøgte bjergarter.

Vest og øst for undersøgelsesområdet er der båndede gnejser (mørk grå gnejs på figur 3). Figur 4 viser kontakten mellem de båndede gnejser og den grå gnejs. De båndede gnejser er ikke undersøgt nærmere idet de projekterede tunneltraceer ikke vil gå igennem de båndede gnejser, men de er tegnet ind på det geologiske kort, og i tværprofilet gennem området (Bilag 1).



Figur 4. Kontakt mellem den mørke grå (båndede) gnejs (til venstre) og den grå gnejs (til højre). Kontakten er markeret ved den rustne zone i midten af billedet. Billedet er taget mod nordvest.

Den grå gnejs er en tonalitisk/granodioritisk gnejs (Henriksen et al. 2000, Bridgewater et al. 1976). Gnejsen er grå og lys rødliggrå. Den kan være båndet med lysere og mørkere bånd og migmatitårer og den kan have en svag foliation, hvor foliationen er markeret af biotitkorn (Fig. 5 og 6). Den fremstår altid som en massiv bjergart, og opsprækningen følger ikke nødvendigvis foliationen (Fig. 6). I den grå gnejs kan der forekomme linser og bånd af amfibolit.



Figur 5. Grå gnejs nær lokalitet 1. bemærk at de foliationsparallelle sprækker stedvis går på tværs af foliationen.



Figur 6. Grå gnejs øst for lokalitet 3, med svag subhorisontal foliation. Sprækkerne følger ikke foliationen her.

Amfiboliten er en amfibolrig sort bjergart. Den er folieret og har stedvis lineation (Fig. 7).



Figur 7. Kontakt mellem grå gnejs og amfibolit ved kysten syd for Ukkusissat

Gnejsen, der oprindelig er en intrusiv bjergart, har intruderet amfiboliten, og der er ofte en uregelmæssig kontakt mellem de to bjergarter, hvor gnejsen har sendt 'fingre' ind i amfiboliten (Fig. 8).



Figur 8. Amfibolit i svaghedszone B i kote 275 m. Bemærk fingrene af gnejs der skyder sig ind i amfiboliten

Amfiboliten optræder som en 5 m til 10 m tyk enhed der er foldet i en tæt fold, med foldeakseretning 20°. Ombøjningszonen kan ses i de stejle rødlige sprækkeflader på Store Malenes sydside i ca. 280 meters højde (Fig. 9), hvorfra der falder blokke ned på den aktive aflejringskegle.



Figur 9. Ombøjningszonen af den foldede amfibolit i den sydlige del af Ukkusissat

Ved den sydlige stejlvæg er der en stor aktiv aflejringskegle, der er dannet ved, at der er blokfald fra et parti i ca. 250 til 300 m højde (Fig. 10). Blokstørrelsen er op til 10m x 10m x 5m. I aflejringkeglen er der observeret friske blokke, og friske brudstykker, der var slået af de større blokke og spredt i området.



I den sydlige fjeldside af Store Malene er der også observeret en grå 0,5 m tyk doleritgang, der skærer sig subhorisontalt gennem gnejsen (og formodentlig amfiboliten). Den er ikke deformeret ved de foldestrukturer der ses i gnejs og amfibolit, og er følgelig yngre end disse bjergarter og deformationer.



Den strukturelle opbygning af undersøgelsesområdet fremgår af folden, der er defineret ved amfiboliten, og kontakten mellem de båndede gnejser og den grå gnejs (se profil på Bilag 1 og Fig. 12). Hældning og strygning af foliationen i den grå gnejs bidrager yderligere til at udrede den strukturelle opbygning (se det geologiske kort i Bilag 1).

Strygningen af bjergarternes foliation i området er for alle bjergarter mellem 10° og 25°. Både amfiboliten og den grå gnejs er foldet i tætte til isoklinale folder, med en foldeakseretning i 20°. De omkringliggende båndede gnejser er tilsyneladende foldede i mere åbne folder, antagelig sammen med de ældre strukturer.

Alle potentielle linieføringer af en tunnel, vil komme til at krydse den vestlige flanke af den foldede amfibolit. Amfiboliten er i den vestlige flanke næsten lodret og stryger i 20°.



Figur 12. Ukkusissat set fra syd. Grænsen mellem de båndede gnejser og den grå gnejs er markeret med den hvide streg. Amfiboliten er markeret med den sorte streg. Den gule stiplede linie markerer strukturerne i den grå gnejs,

Sprækker

Flyfoto tolkning

På baggrund af stereoskopisk tolkning af flyfoto, er de store sprækker optegnet i undersøgelsesområdet (Fig. 13). Der er skelnet mellem store erosionsskår, der er tolket som tektonisk svaghedszoner, og sprækker. For både tektoniske svaghedszoner og sprækker gælder, at der er to hovedretninger, nemlig 105° og 120°.

Gennemsnitslængden for de kortlagte sprækker er 28 m, med en max længde på 104 m og en min længde på 2,6 m. I højden kan de fleste sprækker følges mellem 20 m og 30 m enkelte er op til 50 m høje.

Svaghedszone A er på det geologiske kort over Nuuk (McGregor, 1993) markeret som en forkastning. De to sprækkesystemer der stryger 105° og 120° er antagelig relateret til den spænding der har eksisteret i bjergartsmassen, og som har forårsaget forkastningen. Sprækkerne er således et konjugeret forkastningssæt, der dels løber parallelt med forkastningen og dels danner en lille vinkel med forkastningen.



Fig. 13. Kort der viser sprækkerne i området, der er udtegnet ud fra flyfoto. Bjergartsgrænsen er grænsen mellem de båndede gnejser mod vest og den grå gnejs mod øst.

Feltdata

Der er indsamlet sprækkedata ved 5 lokaliteter langs målelinier. Alle målte data er vedlagt i Bilag 3. Lokaliteternes beliggenhed er vist på Bilag 1 og 6.1. Orientering af sprækkerne er vist i Bilag 3, for hver enkelt lokalitet.

Længden af sprækkerne er angivet i hele meter og vist i Bilag 3. Sprækker længere end 15 m er benævnt >15 m. Sprækkernes intensitet langs målelinierne er vist i Bilag 3

Ved lokalitet 1 er der i alt observeret 4 sprækkesystemer; 3 langs målelinierne (50°, 130° og 160°) og 1 parallelt med overfladen, der er konstateret ved georadar. Den samlede sprækkeintensitet (Jv) er 0,1 sprække pr. m^3 , hvilket giver en RQD på 115 – 3,3x0,1 = 114,7.

Ved lokalitet 2 er der observeret 3 sprækkesystemer (20°, 95° og 130°) plus nogle usystematiske sprækker. Den samlede sprækkeintensitet (Jv) er 0,12 sprække pr. m³, hvilket giver en RQD på 115 – 3,3x0,12 = 114,6. Ved lokalitet 2 er det især de foliationsparallelle sprækker der dominerer (Fig. 5).

Ved lokalitet 3 er der i alt 4 sprækkesystemer, 3 langs målelinierne (15°, 105° og 120°) og 1 parallelt med overfladen, der er konstateret ved georadar, plus enkelte usystematiske. Den samlede sprækkeintensitet (Jv) er 0,13 sprække pr. m³, hvilket giver en RQD på 115 – 3,3x0,13 = 114,6. Sprækkeintensiteten er ikke stor på denne lokalitet, men de store sprækker bliver meget åbne ud mod forkastningen umiddelbart nord herfor (Fig. 14).



Figur 14. Meget åben sprække, med fyld, ca. 5 m fra svaghedszone B, nær ved lokalitet 3. Ved lokalitet 4 er der observeret 4 sprækkesystemer (24°, 75°, 100° og 115°) plus enkelte usystematiske sprækker. Den samlede sprækkeintensitet (Jv) er 0,2,4 sprække pr. m³, hvilket giver en RQD på 115 – 3,3x0,12 = 108. Her optræder sprækkerne dog flere steder i zoner, med op til 23 sprækker på 1,5 m, hvilket lokalt giver en lavere RQD (og dermed lavere Q-værdi) (Fig. 15).



Figur 15. Zone med større densitet af sprækker ved målelinie 7, lokalitet 4.

Ved lokalitet 5 er der observeret 4 systemer (20°, 50°, 110° og 140°) plus enkelte usystematiske sprækker. Den samlede sprækkeintensitet (Jv) er 2,3 sprække pr. m³, hvilket giver en RQD på 115 - 3,3x2,3 = 107. Også her optræder sprækkerne stedvis i zoner, hvor der kan optræde 15 sprækker over 0,5 m, hvilket lokalt giver en lavere RQD (og dermed lavere Q-værdi).

De fleste sprækker er ondulerende og ru, men der optræder dog, især ved lokalitet 4 og 5, planar sprækker. Der er set en enkelt sprækkeflade med slickenside, eller harniskflader, der indikerer at der har fundet en bevægelse sted langs sprækkefladen (Fig. 16). Beliggenheden af denne sprækeflade er markeret på det geologiske kort (Bilag 1) son en lineation der dykker i 118°, umiddelbart syd for profillinien.



Figur 16.

Slickenside på sprækkeflade. Striningen der hælder 22° mod øst (til højre) viser, at der langs sprækkeplanet har fundet en bevægelse sted. Foliationen hælder ca. 55° mod øst.

G E U S & ASIAQ

Georadar

Der er udført georadarundersøgelser ved lokalitet 1 og 3 (lokalitetsskitse se Bilag 3). Georadarprofilerne er vist umigrerede og migrerede i Bilag 3., og et eksempel er vist i figur 17. Indtrængningsdyden er ca. 10 m. På de georadarprofiler der ikke er migrerede, er der reflektorer der hælder, og der er reflektorer der er subparallelt med overfladen. De hældende reflektorer stammer fra vertikale sprækker, hvor reflektorerne rammer overfladen ved sprækken, og med øget afstand vil reflektorerne dykke fordi radarbølgernes rejsetid øges. Disse 'falske' reflektorer kan til en vis grad fjernes ved migration. Reflektorerne der løber subparallelt med overfladen er tolket som større sprækker.





Figur 17. Georadaropmåling ved lokalitet 3.Nederst er vist et eksempel på et georadarprofil. Til venstre et ikke migreret profil, og til højre et migreret pofil. Pilene markerer de tolkede sprækker.

Svaghedszoner

Fra et teknisk synspunk er en svaghedszone en zone med afvigende styrke, som ofte vil give sig til udtryk ved, at der er dannet kløfter og depressioner i topografien. Der er to typer svaghedszoner:

- Tektoniske brudzoner
- Svage bjergartslag

De tektoniske zoner fremstår som kløfter i landskabet, og de er kortlagt ud fra flyfoto (Fig. 13). I undersøgelsesområdet er der 5 tektoniske brudzoner (A til E på Fig. 18) og 1 zone med en amfibolit der her optræder som en svaghedszone (F på Fig. 18).



Zone A er den mest markante brudzone idet den skærer gennem hele Store malene fjeldet, fra Malene Bugten til Kobbe Fjord, og den udgør sammen med zone B det mest markante erosionsskår i fjeldet (Fig. 19). Zone A og zone B kører sammen i den vestlige del af området. Det generelle sprækkemønster afspejler ligeledes de to orienteringer (Fig. 13). De to zoner er således genetisk relaterede. Det samme overordnede mønster ser man hos zo-

nerne D og E, hvor zone D kan følges mod øst til Kobbe Fjord og zone E kører ud til Malene Bugten. Zone C er en mindre tektonisk brudzone, der dog markerer sig tydeligt.



Figur 19. Svaghedszonerne A, B og C i den sydlige del af Ukkusissat

I zone A er der en markant højere grad af opsprækning end i den omkring liggende grå gnejs. I kote 176 m i zone A er der således målt en sprækketæthed på 14 sprækker pr. m (Fig. 20). I kote 242 m er gnejsen knust (Fig.21), og her er der set løsblokke med slickenside, der indikerer en forkastningsbevægelse.





Figur 20. Opsprækning i zone A, Kote 176 m. Tommestok er 2 m lang,

Figur 21. Stærkt opsprækket grå gnejs i zone A i kote 242 m.

I knusningszone B er der i kote 192 m observeret en knusning af den grå gnejs (Fig. 22). Den stærkt knuste zone er ca. 4 m bred. Der er tre systematiske sprækkesystemer i denne

zone. Der er et system med lige sprækker der stryger ca. 120° og et system af listriske spræker der løber sammen med de lige sprækker (Fig. 23). Desuden er der foliationsparallelle sprækker. I en lodret sprækkeflade (Fig. 24), ser man en mere uregelmæssig opsprækning, og man kan se at der er rustudfældninger omkring sprækkerne, hvilket viser at der har været stor vandgennemstrømning i sprækkerne.



Figur 22. Knust gnejs i zone B, kote 192 m.



Figur 23. Lige, og listriske sprækker i Zone B.

Figur 24. Vertikal sprækkeflade, hvor et netværk af uregelmæssige sprækker er blottet. Rustudfældninger omkring sprækkerne vidner om stor vandgennemstrømning i sprækkerne Zonerne E og D ligger lige nord for lokalitet 1. De er ligeledes nogle markante landskabselmenter, der tydeligt fremstår på flyfoto (fig. 13 og 18), og hvor der er sket omfattende opsprækning og knusning af gnejsen (Fig. 25 og 26).



Figur 26.

Stærkt opsprækket gnejs i Zone E. Bemærk den forskellige opsprækningsgrad, der varierer mellem opsprækket, stærkt opsprækket og knust gnejs. Amfiboliten på sydsiden af Store Malene er en svag bjergart, i forhold til den omgivne gnejs. Amfiboliten har en høj grad af anisotropi og den har en mere udpræget foliation end den grå gnejs (Fig. 7). Brudstyrken for amfiboliten er ligeledes signifikant lavere end gnejs sens brudstyrke (Humstad, 2003).

Amfiboliten er også medvirkende årsag til blokfaldet der opbygger den aktive aflejringskegle på sydsiden af Malenefjeldet. Amfiboliten er foldet, og foldens ombøjningszone er blottet i ca. 250 til 300 m højde. I ombøjningszonen udgør amfiboliten en større andel af bjergartsmassen. Amfibolitens svagere styrke, dens uregelmæssige afgrænsning til den grå gnejs, kombineret med de store gennemgående sprækker gør, at der er et mere aktivt blokfald fra denne del af fjeldsiden (Fig. 27).



Figur 27. Amfiboliten optræder som svaghedszone i forhold til gnejsen, og medfører øget blokfald i den sydlige fjeldside af Ukkusissat.

Stabilitet; Q-værdier

Der er udregnet vejledende Q-værdier for de 5 lokaliteter, hvor der er foretaget sprækkeopmåling og for to af de tektoniske sprækkezoner (Tabel 1).

Tabel 1							
Lokalitet	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q
Lok. 1	114,7	12	1,5	1	0,5	1	7,2
Lok. 2	114,6	12	1,5	1	0,5	1	7,2
Lok. 3	114,6	12	1,5	1	0,5	1	7,2
Lok. 4	108	15	1,5	1	0,5	2,5	2,16
Lok. 5	107	15	1,5	1	0,5	2,5	1,14
Zone D	30	12	1,5	2	0,33	10	0,0413
Zone B	20	20	1	3	0,33	10	0,0275



Figur 28. 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, 1994). Q-værdierne for de fem undersøgte lokaliteter og to af svaghedszonerne er plottet.

Selvom de i figur 19 viste Q-værdier er vejledende, viser de dog, at der i den grå gnejs kan sikres med boltning og armeret sprøjtebeton ved en tunneldiameter på 20 m, hvorimod der i de tektoniske svaghedszoner skal sikres med fuld udstøbning (Fig. 28).

Bjergtryk

Bjergslag

I bjergsiden ud mod Malene-bugten observeres overfladeparallelle opsprækninger (Fig. 29). Dette indikerer (Broch & Nielsen, 2001), at spændingsfeltet i bjergmassen over den forventede tunnelføring er anisotropt og orienteret således, at retningen for de

- største spændinger er orienteret parallelt med terrænoverfladen.
- mindste spændinger er orienteret vinkelret på terrænoverfladen.

Med 300 – 400 meter bjergmasse over tunneltraceen kan bjergtrykket nå en sådan størrelse, at der pga. det anisotrope trykfelt kan være risiko for bjergslag i tunneltraceen.

Norske erfaringer (Broch & Nielsen, 2001) viser at risiko for bjergslag i tunneller udført i bjergsider først optræder, når der er 500 meter overliggende bjergmasse samt en hældning på minimum 40° med vandret.

Spændingsniveauet i en bjergmasse med 300 – 400 meter overliggende fjeld estimeres vha. (3):

$$\sigma_1 \sim 7.8 MPa - 10.4 MPa$$
. (7)

Mindste hovedspænding estimeres vha. (4):

$$\sigma_3 \sim 1.4 \text{ MPa} - 1.8 \text{ MPa}$$
. (8)

Ved beregning af (7) og (8) blev værdierne $\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$ og v = 0.15 benyttet for hhv. bjergartens densitet og Poissons forhold. Værdierne er målt i (Humstad, 2003) og passer med tabelværdier for den pågældende bjergart.

De største tryk- og strækspændinger i tunnelvægen estimeres vha. (5) og (6):

$$\sigma_{Tryk} \sim 22,0 MPa - 29,4 MPa \text{ og}$$
 (9)

$$\sigma_{Stræk} \sim 3.7 MPa - 4.9 MPa$$
 . (10)

Uniaxiale trykforsøg udført på kerner som udboret af håndprøver fra terrænoverfladen har vist (Humstad, 2003), at brud forekommer ved spændinger på

$$\sigma_{BRUD} \sim 130 MPa - 160 MPa$$
 . (11)

afhængigt af om trykbelastningen påføres hhv. parallelt eller vinkelret på bjergartens foliation.

Overdækning

Såfremt der vælges en tunnel af klasse D T9,5 (SV,2002) med cirkulær profil og totalbredde = 9,5 meter bliver den vertikale udstrækning af tunneltværsnittet på minimum 7,5 meter fra vejbanen til tunnelloft.

Uden hensyntagen til opsprækning af fjeld over tunnel ind- og udkørsel bør overdækningen minimum være 7,5 meter (Broch & Nilsen, 2001). Projekteres ind- og udkørsel efter 7,5 meters overdækning må det påregnes, at der skal anvendes sikring af blokke i tunnelloftet med bolte samt muligvis injektion af cement i sprækker ved åbningerne.

Vejbanen ved tunnelens nordlige indkørsel ønskes i kote 55 meter. Derfor skal fjeldspejl beliggende under kote 70 meter nedsprænges til kote 55. Med vejniveau i kote 45 meter ved tunnellens sydlige indkørsel, skal terrænet beliggende under kote 60 meter nedsprænges indtil til kote 45 meter.

Bilag 6.2 viser tværsnitsprofiler af den planlagte tunnel med overdækning for nordlige og sydlige indkørsler til tunnelen. Lokaliteterne er udpeget af Nuup Kommunea.



Figur 29. Den stejltstående fjeldskråning (ca. 400 m høj) set fra Malenebugten. De hvide pile angiver observationer af opsprækninger dannet parallelt med terrænoverfladen. Dette antyder høje og anisotrope spændinger i bjergmassen som kan medføre biergslag i tunneltraceen.

Diskussion / Vurderinger

Svaghedszoner

De fem tektoniske svaghedszoner (A - E) og zonen med amfibolit (F) vurderes at være de mest kritiske med hensyn til dimensioneringen af tunneltraceen.

Den næsten lodretstående Zone A skærer hele vejen gennem Ukkusissat fjeldet og må forventes at have en udstrækning dybt ned i fjeldet.

Zone B har en mindre udstrækning end Zone A – til gengæld ser det ud til, at Zone B har en hældning på ca. 30 grader med vandret. Således vil en skærende tunneltrace få en forøget distance gennem svaghedszonen Zone B.

Zone A og Zone B løber sammen i området netop hvor en mulig tunneltrace tænkes ført gennem. De mekaniske egenskaber af bjergmassen må forventes at være kraftigt forringede i dette område.

Bjergslag

Til trods for observationer af overfladeparallelle opsprækninger af fjeldmassen vurderes risikoen for bjergslag i tunneltraceen at være begrænset idet:

- Spændingen i tunneltraceens niveau er en faktor 4 6 gange mindre end bjergmassens brudgrænse jf. beregningerne i (9) - (11).
- Tilstedeværelsen af den store øst-vest-gående forkastning (se Zone A, Figur 13 og 18) medfører en afspænding af fjeldmassen syd for forkastningen.

Overdækning

Af Bilag 5.2 fremgår det, at overdækningens tykkelse ved Lokalitet 2 og 3 har en begrænset tilvækst. Den minimale overdækning på 7,5 m kan opnås ved nedsprængning af terræn til kote 55 m på lokaliteterne.

For Lokalitet 2 og 3 vurderes det, at der skal anvendes intensiv sikring af tunnelloftet mod nedfald og indtrængende vand på de første 75 – 125 meter af tunneltraceen.

For lokalitet 1, 4 og 5 opnås noget stejlere terrænprofiler. Her vurderes det, at en normal sikring af tunnelindkørslen er nødvendig de første 30 – 50 meter af tunneltraceen.

Sikring i tunneltraceen

Den endelige fastlæggelse af sikringstyper for tunnellens delstrækninger kan først afgøres efter inspektion i selve traceen. På grundlag af observationerne i denne undersøgelse kan der indledningsvis identificeres en række hovedklasser af sikringsbehov for tunnelen som vist i Tabel 2.

Tabel 2.	Oversigt over sikringsklasser.		
Klasse	Beskrivelse	Sikringsbehov	Omkostningsniveau
I	Gnejs * Begrænset opsprækning	Spredt boltning, hydraulisk rensning.	Lavt
II	Amfibolit – zone Gnejs * Sprækkezone	Sprøjtebeton, evt. armeret.	Mellem
111	Gnejs * Begrænset overdækning * Mindre risiko for bjergslag	Systematisk boltning og fiberarmeret sprøjtebeton.	Mellem
IV	Svaghedszoner * Tektoniske forkastninger (nordlige indkørsler)	Fuld udstøbning	Højt

Bilag 6 illustrerer en række tunnelalternativer med anvisning af hvilke sikringsforanstaltninger, der kan anbefales på grundlag af kendskabet til svaghedszoner og begrænset overdækning i området.

For de enkelte forslag til linieføring af tunnelen illustreret i Bilag 6 giver Tabel 3 et overblik over størrelsesordnen af sikringsmetoder for de tunnelføringens alternativer.

Tabel 3. Oversigt over sikringsforanstaltninger for forskellige linieføringer af tunnelen. Se										
Tabel 2 og Bilag 6.										
Linieføring	Klasse II	Klasse III	Klasse IV	Distance						
	meter	meter	meter	meter						
Lok 1 – Lok 5	110	0	95	997						
Lok 2 – Lok 5	80	80	117	744						
Lok 2 – Lok 4	90	80	117	993						
Lok 3 – Lok 4	80	220	0	868						
Lok 3 – Lok 5	90	220	0	710						
Lok 1 – Lok 4 NØ	205	0	110	1195						
Lok 1 – Lok 4 SW	125	0	95	1161						

Ved Lokalitet 1 – 5 og ved svaghedszone B og D er der foretaget sprækkeopmåling og Qmetoden har på disse steder vist (se Figur 19), at der generelt ved tunnel-indkørslerne skal sikres efter Klasse I og Klasse II. Ved passage af svaghedszonerne skal der sikres efter Klasse IV med fuld udstøbning.

Bjergskredet på sydsiden af Ukkusissat, i forbindelse med den foldede amfibolit, viser at amfiboliten udgør en svaghedszone, der bør sikres efter Klasse II.

Vurdering af tunnelens datagrundlag

Observationer beskrevet i denne rapport baserer sig på observationer af dagfjeldet i terrænoverfladen, som gennem tiden har været udsat for erosion. Blotningsgraden er generelt meget god.

En borekampagne vil kunne tilføje informationer om bjergarternes sammensætning og opsprængning langs en eller flere tunneltraceer. Samtidig vil man på baggrund af borekampagnen kunne estimere omkostninger til etablering af selve tunnelen samt fremdriftshastigheden.

Ultimo 2004 forventes ASIAQ's grundkort udvidet til at dække hele undersøgelsesområdet og Ulaajuk. Herved opnås et samlet topografisk kortmateriale for området med ½-meter kurver.

Materialeoversigt

Oversigt over eksisterende forundersøgelsesdata fra området.

Materialetype	Materialer	Bemærkninger
Kortmaterialer	Grundkort 2001, 1:500, ASIAQ 2001. Digital format. ¹ / ₂ meter kurver.	Dækker ca. 50% af forundersøgel- sesområdet april 2004. Planlagt udvidet til hele området ultimo 2004.
	Bykort 1:2000, Plan 10+11, GTO 1967. Analog format. 2 meter kurver.	
	GEUS Ukkusissat 1:5000, Topografisk kort med 5 meter kurver, Feltkort. Digital format.	Dækker den nordlige del af forun- dersøgelsesområdet.Kortet er udtegnet i forbindelse med stereo- skopisk analyse af luftfoto.
	GEUS regionalgeologisk kort 1:500.000 <i>Frederikshåb Isblink – Søndre Strømfjord.</i> J.H. Allaart (1982)	
Ingeniørgeologiske rapporter	Arild Palmstrøm (2001-12-11)	Ingeniørgeologiske vurderinger af grunnforholdene. Special rapport.
	Peter Jakobsen & Håkon Karlsen (2001)	Sprækkeundersøgelse og beskri- velse af fjeldbeskaffenhed ved Nuuk. GEUS Rapport 2001/95
	Tore Humstad (2002)	General characteristics of Archaen gneisses and Quater- nary deposits in Nuuk and ad- jacent islands, West Greenland. <i>Projektrapport.</i>
	Tore Humstad (2003)	Geotechnical evaluations of possible road tunnel projects in Nuuk, West Greenland. <i>Specialerapport.</i>
Luftfoto	Ortofoto, d, ASIAQ 2001. Digital format.	Dækker ca. 50% af forundersøgel- sesområdet april 2004. Planlagt udvidet til hele området ultimo 2004.
	Luftfoto 1:5.000 og 1:10.000, ASIAQ 2001. Analog format.	Dækker undersøgelsesområdet.

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

Bridgwater, D., Keto, L., McGregor, V.R. & Myers, J., 1976: Archean Gnejs Complex of Greenland. I: Escher, A. & Watt, W.S. (Eds.) 1976: Geology of Greenland. København: Grønlands Geologiske Undesøgelse.

Broch, E. & Nilsen, B., 2001: Ingeniørgeologi – Berg. NTNU, Norge, August, 2001.

Grønlands Geologiske Undersøgelse, 1984. Geologisk kort over Grønland 1:100.000, Qôrqut 64 V.1 syd.

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.

Henriksen, N., Higgins AK., Kalsbeek, F. & Pulvertaft, C.R., 2000. Greenland from Archean to Quaternary, Discriptive text to the Geological map of Greenland, 1:2 500 000. Geology of Greenland Ssurvey, Bulletin 185-2000.

Humstad, T 2003: Geotechnical evaluations of possible road tunnel projects in Nuuk, West Greenland. Master of Science Thesis, Norges teknisk-naturvidenskapelige universitet, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi. Juni 2003.

Jakobsen, P.R. & Karlsen, H.G., 2001: Sprækkeundersøgelse og beskrivelse af fjeldbeskaffenhed ved Nuuk. En forundersøgelse af to tunneler, henholdsvis til Qinngorput og Ulaajuk, udført for Nuuk Komune af GEUS og ASIAQ. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2001/95.

McGregor, V.R., 1993: Geological Map of Greenland, 1:100 000, Qôrqut 64 V1 Syd. Descriptive text, 40 pp. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.

SV, 2002: Statens vegvesen, Norge: Vegtunneler – Håndbok 021. Juni, 2002.

Bilag 1 Geologisk kort

Geologisk kort over det sydvestlige Ukkusissat





Bilag 2 Sprækkedata

Beliggenhed af målelinier











E

N=89

Stereoplot af normaler til sprækkeflader. Densiteten af plottene er ligeledes angivet, for at illustrere hvilke grupperinger der udgør et sprækkesystem

Poler Lower Hem.

Ukkusis-		Lokalitet			Linie 1			Dato:	03.09.2003
sat		1							
retning:	30	UIMa			UIMb			længde:	43 m
		(x,y.z)			(x,y.z)				
afstand	strygning	hældning	længde	max/min	form	flade	fyld	system	bemærkninger
1	93	80N	1	В	PL	RU			
2,65	107	72N	4	С	ON	RU			
3,2	106	86N	2,5	В	ON	RU			
3,5	167	74NE	5	В	ON	RU			
5,8	126	84N	15	>	ON	RU			
10,1	101	90N	3	В	ON	RU			
11,55	126	86S	15	>	ON	RU			
16,25	106	82N	15	>	ON	RU			
17,6	112	90N	15	>	ON	RU			
18,7	126	90N	15	>	ON	RU			
19,25	104	46S	2,5	A	ON	RU			
20,6	146	50S	1	A	ON	RU			
22,15	121	88N	15	>	ON	RU			
26,4	126	90N	2	A	ON	RU			
33	123	84S	15	>	ON	RU			
35,15	128	90N	15	>	ON	RU			
36,7	129	90N	7	A	ON	RU			
37,15	127	80S	2,5	A	ON	RU			
38,8	126	86S	15	>	ON	RU			
41,35	120	80S	15	>	ON	RU	jord		
41,85	121	90N	15	>	ON	RU	jord		



Ukkusis- sat		Lokalitet:	1		Linie:	2		Dato:	03.09.2003
retning:	110	UTMa (x,y.z)			UTMb (x,y.z)			længde:	31 m
afstand	strygning	hældning	længde	max/min	form	flade	fyld	system	bemærkninger
1,6	162	72W	15	>	ON	RU			
9	82	88S	4	А	ON	RU			
10,15	156	64NE	1,5	В	ON	RU			
10,6	162	70E	9	А	ON	RU			
12,75	170	76E	3	А	ON	RU			
16,2	155	68NE	7	А	ON	RU			
22	35	74NW	18	В	ON	RU			
21,7	35	74NW	12	В	ON	RU			
22,1	40	86NV	5,5	А	ON	RU			
22,6	38	90NW	15	>	ON	RU			
25,75	50	80SE	15	>	ON	RU			
26	49	78SE	5	В	ON	RU			
27,5	44	86SE	15	>	ON	RU			
30,75	50	70SE	5,5	А	PL	RU			
30,05	32	90SE	1	А	ON	RU			
31	53	76NW	14	С	ON	RU			



Ukkusis- sat		Lokalitet:	2		Linie:	3		Dato:	03.09.2003
retning:	107	UTMa			UTMb			længde:	30 m
		(x,y.z)			(x,y.z)				
afstand	strygning	hældning	længde	max/min	form	flade	fyld	system	bemærkninger
0,65	22	54W	1,5	А	ON	RU			
3,05	11	88W	7	А	ON	RU			
3,75	24	84W	5	В	ON	RU			
4,3	14	85W	3,5	А	ON	RU			
4,5	22	83W	1	А	ON	RU			
6,2	24	76W	10	В	ON	RU			
7	27	80W	6	А	ON	RU			
9,7	20	68W	7	В	ON	RU			
10,7	20	80W	15	>	ON	RU			
11,45	178	80W	14,5	А	ON	RU			
12,35	14	78W	2,5	А	ON	RU			
12,9	9	45W	6	В	ON	RU			
13,8	154	86NE	15	>	ON	RU			
14	20	88W	15	>	ON	RU			
14,6	12	80W	15	>	ON	RU			
15,3	176	74W	4	А	ON	RU			
16,65	16	64W	15	>	ON	RU			
18	20	72W	15	>	ON	RU			
19,3	18	58W	1,5	А	ON	RU			
19,8	30	66W	1	А	ON	RU			
19,9	22	60W	1,5	А	ON	RU			
21,5	20	35W	15	>	ON	RU			
22,9	14	70W	15	>	ON	RU			
23,25	8	85W	2,5	А	ON	RU			
23,95	158	82NE	15	>	ON	RU			
25,6	16	75W	1	А	ON	RU			
26,6	16	72W	7	В	ON	RU			
28	16	82W	3,5	В	ON	RU			



Ukkusis- sat		Lokalitet:	2		Linie:	4		Dato:	03.09.2003
retning:	10	UTMa (x,y.z)			UTMb (x,y.z)			længde:	50 m
afstand	strygning	hældning	længde	max/min	form	flade	fyld	system	bemærkninger
0	128	90NE	2	2 B	ON	RU			
0,4	102	78N	1,5	БΒ	ON	RU			
1,2	. 130	70NE	2	2 B	LI	RU			
2,9	116	86SW	1,5	5 C	ON	RU			
6,3	s 107	90S	3,5	δA	ON	RU			
11,7	96	40S	2	A	ON	RU			
25,15	5 151	72NE	3	3 A	ON	RU			
29,2	176	5 18W	2	2 A	ON	RU			



Ukkusis- sat		Lokalitet:	3		Linie:	5		Dato:	03.09.2003
retning:	119	UTMa (x,y.z)			UTMb (x,y.z)			længde:	50 m
afstand	strygning	hældning	længde	max/min	form	flade	fyld	system	bemærkninger
1,3	21	69W	4	А	ON	RU			
8	12	70W	3	А	ON	RU			
9,15	12	67W	2,5	А	ON	RU			
9,55	12	78W	2	A	ON	RU			
10,65	9	70W	4	В	ON	RU			
20,6	18	80W	15	>	ON	RU			
21,6	12	84W	5	A	ON	RU			
23,7	17	84W	2	A	ON	RU			
25,2	12	60W	15	>	ON	RU			
27,9	16	56W	1	A	ON	RU			
29,5	179	4W	0,5	А	PL	RU			
32,2	65	80NW	2	A	ON	RU			
35	11	58E	5	А	ON	RU			



Ukkusis- sat		Lokalitet:	3		Linie:	6		Dato:	03.09.2003
retning:	12	UTMa			UTMb			længde:	32m
		(x,y.z)			(x,y.z)				
afstand	strygning	hældning	længde	max/min	form	flade	fyld	system	bemærkninger
0,2	121	88S	2,5	В	0N	RU			
0,9	52	90NW	0,5	А	0N	RU			
1,35	118	80SW	15	>	0N	RU			
2,25	112	86SW	13	В	PL	RU			
2,45	118	86SW	14	А	PL	RU			
3,55	112	90SW	14	А	PL	RU			
3,75	113	90SW	15	>	PL	RU			
5,45	128	82S	8	А	0N	RU			
7,15	124	76S	0,5	А	0N	RU			
8,25	122	85N	3	А	0N	RU			
10,2	107	90S	14	А	0N	RU			
13,35	109	38S	1	А	0N	RU			
15,1	119	72S	3	А	0N	RU			
16,7	107	90S	15	>	PL	RU			
19,25	102	90S	5,5	А	0N	RU			
21,25	119	40S	3,5	А	0N	RU			
22	111	87S	6	В	0N	RU			
22,4	126	78S	15	>	0N	RU			
22,8	110	80S	2,5	В	0N	RU			
22,95	111	86SW	4	А	0N	RU			
23,2	111	87S	15	>	PL	RU			
25,35	104	90S	1	А	0N	RU			
26,2	150	80NE	3,5	В	0N	RU			
28	102	87S	15	>	PL	RU			
30,3	108	85S	6	А	0N	RU			
30,9	108	86S	15	>	0N	RU			
31,65	109	90S	15	>	0N	RU			



Ukkusis-		Lokalitet:	4	Linie:	7		Dato:	03.09.2003
retning:	139	UTMa		UTMb (x,			længde:	32m
afstand	strygning	hældning	længde max/min	form	flade	fyld	system	bemærkninger
0,9	18	54Ø	1,5 C	ON	RU			
1,45	20	60Ø	1,5 C	UN	RU			
4	150	42S	9 A	UN	RU			
4.8	100	42S	2 C	UN	RU			
4,65	96	76S	1 B	UN	RU			
4.95	98	74S	2 C	UN	RU			
4,97	118	80S	0.5 C	UN	RU			
5.6	94	78S	4 C	PL	RU			
5,7	97	80N	2,5 B	UN	RU			
5,75	88	80N	3,5 C	PL	RU			
7,2	12	46Ø	4 B	PL	RU			
7,4	36	58SØ	4 B	UN	RU			
7,8	25	50Ø	1 A	UN	RU			
7,45	96	72N	2,5 B	UN	RU			
7,2	110	60N	1,5 B	UN	RU			
6,8	112	60N	1,5 B	UN	RU			
6,85	112	60N	1,5 B	UN	RU			
6,87	112	60N	1,5 B	UN	RU			
8,9	76	80N	2 B	UN	RU			
10,1	30	54SØ	3 B	UN	RU			
10,6	62	40NV	1 B	UN	RU			
10,4	89	75N	0,5 A	PL	RU			11 SPR. PÅ 20 CM(10,3-10,5)
11,65	162	60NØ	3 A	UN	RU			
11,85	56	82SØ	1 A	PL	RU			
12	19	30Ø	1 A	UN	RU			
12,75	60	80NV	0,5 A	UN	RU			
12,9	32	82Ø	0,5 A	UN	RU			
13,5	4	45Ø	3 C	UN	RU			
13,9	62	84NV	4 B	UN	RU			
14	60	85NV	1,5 B	UN	RU			
14,5	110	70N	6 C	UN	RU			
14,57	110	70N	6 C	UN	RU			
14,59	110	70N	6 C	UN	RU			
14,61	110	70N	6 C	UN	RU			
14,63	110	70N	6 C	UN	RU			
14,65	110	70N	6 C	UN	RU			
21,3	14	52V	0,5 C	UN	RU			
27	91	76N	1 B	UN	RU			
27,6	50	78NV	1 B	UN	RU			
28,1	104	80N	0,5 A	UN	RU			
28,4	106	90N	1 C	UN	RU			
28,7	124	80S	1,5 B	UN	RU			
29,9	58	62Ø	1,5 B	UN	RU			
30	90	82N	1,5 B	UN	RU			
30,6	90	84NV	6 B	UN	RU			
30,65	86	80N	6 C	UN	RU			
30,8	87	78NV	6 C	UN	RU			22 SPR FRA 30,7M TIL 32 M
32,1	82	78NV	6 C	UN	RU			
32,6	79	80N	6 C	UN	RU			



Ukkusis- sat		Lokalitet:	4		Linie:	8		Dato:	04.09.2003
retning:	20	UTMa (x,y.z)			UTMb (x,y.z)			længde:	24 m
afstand	strygning	hældning	længde	max/min	form	flade	fyld	system	bemærkninger
1,2	76	90S	6	С	UN	RU			
2,2	81	90S	6	С	UN	RU			
9,95	134	80NØ	8	С	UN	RU			
11,25	104	50S	2,5	В	UN	RU			
13	131	84N	6	В	UN	RU			
15,15	74	77SØ	3	В	UN	RU			
15,95	138	45SV	4	В	UN	RU			
16,25	103	90S	1	В	UN	RU			
19	127	86S	1	В	UN	RU			
20,25	75	87S	1	В	UN	RU			
21,4	70	90S	2	А	UN	RU			



Ukkusis- sat		Lokalitet:	4		Linie:	10		Dato:	04.09.2003
retning:	lodret ved linie 7							længde:	6 m
afstand	strygning	hældning	længde	max/min	form	flade	fyld	system	bemærkninger
0	120	28sv	15	>	ON	RU			
0,6			10	В	ON	RU			
1,6			1,5	А	ON	RU			
2,2	88	17S	6	А	ON	RU			
2,55			15	>	ON	RU			
3,3			10	С	ON	RU			
3,75			12	В	ON	RU			
4,1			3	А	ON	RU			
5			3	А	ON	RU			



Ukkusis- sat		Lokalitet:	5	Linie:	11		Dato:	04.09.2003		
retning:	25	UTMa	JTMa 467013:7		UTMb			lænade: 24 m		
5			113668;	(x,y.z)			3			
			,.							
atstand	strygning	nælaning	iængde max/min	form	flade	тую	system	bemærkninger		
0,3	111	80IN	0,5 B		RU					
1,85	131	8850	1,5 C		RU					
2,6	134	845	30	ON	RU					
2,65	135	845	30	ON	RU					
2,85	139	8857	3 B	ON	RU					
3,35	129	865	30	ON	RU					
5,1	113	NIC8	2,5 B	ON	RU					
5,4	102	85N	3 B	ON	RU					
5,5	102	85N	3 B	ON	RU					
5,6	102	85N	3 B	ON	RU					
5,7	102	85N	3 B	ON	RU					
5,9	102	85N	3 B	ON	RU					
6,35	112	85N	4 C	ON	RU					
7,4	122	85N	1,5 A	ON	RU					
8	126	85N	1,5 A	ON	RU					
8,35	117	82N	3 A	PL	RU					
9,15	136	68S	1 B	ON	RU					
9,7	122	88SV	4 B	PL	RU					
9,65	80	86NV	2 C	ON	RU					
10,5	146	64S	2 A	IR	RU					
11,6	94	84S	1 A	ON	RU					
12,15	150	78S	4,5 A	ON	RU					
12,45	91	90S	4 C	ON	RU					
12,9	146	82S	6 B	ON	RU					
13,7	95	86N	1,5 A	PL	RU					
14,8	146	86S	1,5 A	ON	RU					
15	120	52N	2 A	PL	RU					
15,2	131	82N	1 A	PL	RU					
15,25	130	82N	1,5 A	PL	RU					
15,3	131	81N	2 A	PL	RU					
15,6	137	87N	0,5 A	PL	RU					
15,95	155	85S	1 A	ON	RU					
16,7	118	68N	1,5 A	PL	RU					
16,8	144	80N	2 A	PL	RU					
18,4	142	86S	9 A	ON	RU					
19,4	96	85S	7 B	ON	RU					
19,7	108	78N	0,5 A	PL	RU					
21,4	92	80S	7,5 B	PL	RU					
22,5	118	90S	2 B	IR	RU					
22,7	118	88N	2,5 B	IR	RU					
23,8	106	84N	10 B	ON	RU					



Ukkusis-		Lokalitet:	5		Linie:	12		Dato:	04.09.2003
sat	100							1	04
retning:	120	UTMa						længde:	21 m
					(x ,y. z)				
afstand	strygning	hældning	længde	max/min	form	flade	fyld	system	bemærkninger
0,95	28	84V	1,5	С					
4,9	68	85Ø	3	А					
5,8	73	84NØ	2,5	А					
7,55	47	66SØ	15	>					
8,45	42	45V	1	А					
9,25	52	64Ø	10	А					
9,75	20	76Ø	1	А					
9,1	23	76Ø	1	А					
10,25	17	76Ø	1,5	А					
10,3	19	80Ø	2	А					
10,5	22	78Ø	1	А					
10,95	80	86S	4	А					
11,7	23	86Ø	1,5	А					
11,85	22	82Ø	1,5	A					
12,1	57	70Ø	13	A					
12,9	54	76SØ	7	A					
13,3	59	72Ø	2	С					
13,5	33	70Ø	0,5	А					
13,75	172	88Ø	0,5	A					
14,15	70	90Ø	2	С					
14,5	32	70Ø	1	С					
15,05	53	72Ø	1,5	С					
15,4	40	66SØ	1	В					
15,85	18	60Ø	6	A					
15,9	18	60Ø	6	A					
15,95	18	60Ø	6	A					
16	18	60Ø	6	A					
16,05	18	600	6	A					
16,1	18	600	6	A					
16,15	18	600	6	A					
16,2	18	600	6	A					
16,25	18	600	6	A					
16,35	18	600	6	A					
16,4	18	600	6	A					
16,45	18	000	6	A					
16,5	18	000	6	A					
16,55	18	200	6	A ^					
16,6	18	0000 0000	6	A					
17,55	43	8056	1	А					





Georadar linie • Endepunkt for sprækkeopmålingslinie











Bilag 4 Q-parametre

1.	Rock quality designation		RQD							
Α	Very poor		0 - 25							
B	Poor	2	5 - 50							
D	Good	5	5 - 90							
E	Excellent	90	- 100							
No	Note: iii) Where RQD is reported or measured as < 10 (including 0), a nominal value of 10 is used to evaluate Q.									
	ii) ROD intervals of 5, i.e., 100, 95, 90, etc., are sufficiently accurate.									
2.	Joint set number		Ja							
A	Massive, no or few joints	0	5 - 1.0							
B	One joint set		2							
D	One joint set plus random joints Two joint sets		3							
E	Two joint sets plus random joints		6							
F	Three joint sets		9							
G	I hree joint sets plus random joints		12							
-	heavily jointed, "sugar cube", etc.		10							
J	Crushed rock, earthlike		20							
Not	te: i) For intersections, use $(3.0 \times J_n)$ ii) For portals, use $(2.0 \times J_n)$									
3.	Joint roughness number		Jr							
a) I	Rock-wall contact, and b) rock-wall contact before 10cm	shear								
A	Discontinuous joints		4							
В	Rough or irregular, undulating		3							
C	Smooth, undulating Slickensided, undulating		2							
E	Rough or irregular, planar		1.5							
F	Smooth, planar		1.0							
G	Slickensided, planar		0.5							
NO	(e: i) Descriptions refer to small scale features, and scale features, in that order.	1 interme	diate							
c)	No rock-wall contact when sheared									
н	Zone containing clay minerals thick		1.0							
	enough to prevent rock-wall contact Sandy gravely or crushed zone thick		10							
Ŭ.		1.0								
Not	i) Add 10 if the mean spacing of the relevent jo than 3m.	oint set is	greater							
	II) Jr = 0.5 can be used for planar slickensided j	oints hav	ing							
	lineations, provided the lineations are oriented strength.	for minir	num							
4.	Joint alteration number	Ør	Ja							
		approx.								
aji	Nock-wall contact (no mineral fillings, only coatings)									
A	Tightly healed hard non-softening, impermeable		0.75							
в	Unaltered joint walls, surface staining only	25-35°	1.0							
C	Slightly altered joint walls. Non-softening mineral	25-30°	2.0							
	coatings, sandy particles, clay-free disintegrated									
D	Silly- or sandy-clay coatings, small clay fraction	20-25*	3.0							
-	(non-softening)									
E	kaolinite or mica. Also chlorite tale gyneum	8-16"	4.0							
	graphite, etc., and small quantities of swelling									
	clays.									
ь) н	Rock-wall contact before 10cm shear (thin mineral fillings)									
F	Sandy particles, clay-free diciptograted rock, etc.	25-20°	40							
G	Strongly over-consolidated non-softening clay	16-24°	6.0							
	mineral fillings (continuous, but <5mm thickness)									
н	mineral fillings (continuous but <5mm thickness)	12-16"	8.0							
J	Swelling-clay fillings, i.e., montmorillonite	6-12°	8-12							
	(continuous, but <5mm thickness). Value of Ja									
	and access to water, etc.									
c) h	Vo rock-wall contact, when sheared (thick mineral fillings)									
K)	Zones or bands of disintegrated or crushed rock	6-24°	6.8. or							
M	and clay (see G,H,J for description of clay		8-12							
N	Zones or bands of silty- or sandy-clay, small clay	-	5.0							
0]	fraction (non-softening)		10.15							
P)	(see G, H,J for description of clay condition)	6-24"	10,13, or 13-20							

5. Joint water reduction factor	Appro	x water	Jw						
A Dry excavations or minor inflow, i.e.,	<1	(1.0						
<5 I/min locally B Medium inflow or pressure, occasional	1-2	5	0.66						
outwash of joint fillings C Large inflow or pressure in competen	25	-10	0.5						
rock with unfilled joints	10	0.0							
considerable outwash of joints fillings	-10	0.33							
E Exceptionally high inflow or water pressure at blasting, decaying with tin		0.2-0.1							
F .Exceptionally high inflow or water pressure continuing without noticeable	0.1-0.05								
decay	121	1 1							
measures are installed.	tes. Increa	ISB J W IT	drainage						
II) Special problems caused by ice	formation	are not co	onsidered.						
a) Weakness zones intersecting excavation, v	which may	cause loos	SRF ening of						
rock mass when tunnel is excavated									
A Multiple occurrences of weakness zor clay or chemically disintegrated rock,	very loos	ning e	10						
surrounding rock (any depth) B Single weakness zones containing cla	v or chem	lically	5						
disintegrated rock (depth of excavatio	$m \leq 50m$)								
disintegrated rock (depth of excavatio	in > 50m)	neany	2.0						
loose surrounding rock (any depth)	k (clay-fr	ee),	7.5						
E Single shear zones in competent rock (depth of excavation ≤ 50m)	(clay-free	9)	5.0						
F Single shear zones in competent rock (depth of excavation > 50m)	e)	2.5							
G Loose, open joints, heavily jointed or "sugar cube", 5.0 etc. (any depth)									
Note: i) Reduce these values of SRF by 25-50% if the relevant shear									
b) Competent rock, stress problems of (o, o, o, o)									
H Low stress, near surface, open joints	>200	<0.01	25						
J Medium stress, favourable stress condition	200-10	0.01-0.3	1						
Lisually 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	0.5-0.65	5-50						
M Slabbing and rock burst after a few	3-2	0.65-1	50-200						
N Heavy rock burst (strain-burst) and	<2	>1	200-400						
massive rock									
Note: ii) For strongly anisotropic virgin str	ress field (if measure	ed):						
when $5 \le \sigma_1 / \sigma_3 \le 10$, reduce σ_c 10, reduce σ_c to $0.5 \sigma_c$ where σ_c strength σ_1 and σ_3 are the majo stresses, and σ_8 - maximum tang	to 0.75 o, - unconfin r and mino pential stre	ed compro ed compro principa ss (estima	1/ 03 > Ession						
III) Few case records available whe	ré depth o	t crown b	elow						
2.5 to 5 for such cases (see H).	onfillear o	nr increas	e trom						
c) Squeezing rock: plastic flow of incompeten underthe influence of high rock pressure	t rock	$\sigma_{\theta}/\sigma_{c}$	SRF						
O Mild squeezing rock pressure		1.5	5-10						
P Picary squeezing rock prepaure		10	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 = 0.7 Y Q ^{1/3} (MPa) where Y = rock density in kNrm ³ (Singh, 1993).									
d) Swelling rock: chemical swelling activity de	pending on	pressure	of water						
R Mild swelling rock pressure S Heavy swelling rock pressure			5-10 10-20						
Note: J_Γ and J_{α} classification is applied to that is least favourable for stability both from orientation and shear resistance, τ (where	he joint se om the poi r≓ on tan	et or disco nt of view (J _r /J _a).	ontinuity of						
$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_r}{J_a}$									

Fra Barton & Grimstad (1994b)

Bilag 5.1 Oversigtskort



Bilag 5.2 Terrænprofiler, Lokalitet 1 – 5

Terrænprofilerne viser overdækningen for de nordlige (øverst) og de sydlige (nederst) tunnelindkørsler.

Stationerne referer til punkter langs linier vist på Bilag 6.3 og Bilag 6.4.

For hvert profil er der med en pil markeret hvor tunnelanslaget starter i bjerget.







Bilag 5.3 Detailkort, Nordlig indkørsel



Bilag 5.4 Detailkort, Sydlig indkørsel

Bilag 7 – Sikringskort



G E U S & ASIAQ