



FOSS

Fjeld- og SprængStensegenskaber i Grønland

Pedersen, Jonas Møller; Ingeman-Nielsen, Thomas

Publication date:
2021

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Pedersen, J. M., & Ingeman-Nielsen, T. (2021). *FOSS: Fjeld- og SprængStensegenskaber i Grønland*. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

BYG R-464

FOSS: Fjeld- og

SprængStensegenskaber i Grønland





FOSS: Fjeld- og SprængStensegenskaber i Grønland

Jonas Møller Pedersen og Thomas Ingeman-Nielsen

September 2021

FOSS: Fjeld- og SprængStensegenskaber i Grønland

Rapport BYG R-464

2021

Af

Jonas Møller Pedersen og Thomas Ingeman-Nielsen

Copyright: Hel eller delvis gengivelse af denne publikation er tilladt med kildeangivelse

Forsidefoto: Sprængstensopfyldning lavet ifm. udbygning af lufthavnen i Nuuk. Fotograf: Jonas Møller Pedersen

Udgivet af: DTU, Institut for Byggeri og Anlæg, Brovej, Bygning 118, 2800 Kgs. Lyngby
www.byg.dtu.dk

ISBN: 87-7877-566-3 (elektronisk udgave)

Tak til bevillingsgivere

Grønlands Forskningsråd (NIS)

GrønlandsBANKENS Erhvervsfond

Martha og Poul Kerrn-Jespersens Fond



INDHOLD

FIGURFORTEGNELSE	4
TABELFORTEGNELSE	5
ORDFORKLARING.....	6
1 INDLEDNING.....	9
2 Dataindsamling	10
3 GEOTEKNISKE DATA.....	11
3.1 Fjeld- og sprængstensegenskaber: Ilulissat.....	12
3.1.1 Referencer	12
3.1.2 Regional geologi	12
3.1.3 Ilulissat Lufthavn	12
3.1.4 Ilulissat vandkraftværk.....	12
3.2 Fjeld- og sprængstensegenskaber: Maniitsoq	16
3.2.1 Referencer	16
3.2.2 Regional geologi	16
3.2.3 Maniitsoq Lufthavn	16
3.3 Fjeld- og sprængstensegenskaber: Narsaq	19
3.3.1 Referencer	19
3.3.2 Regional geologi	19
3.3.3 Narsaq vandkraftværk	19
3.4 Fjeld- og sprængstensegenskaber: Nuuk	21
3.4.1 Referencer	21
3.4.2 Nuuk Lufthavn	21
3.4.3 Nuuk Vandkraft	22
3.5 Fjeld- og sprængstensegenskaber: Paamiut.....	27
3.5.1 Referencer	27
3.5.2 Paamiut vandkraft	27
3.6 Fjeld- og sprængstensegenskaber: Qaqortoq.....	28
3.6.1 Referencer	28
3.6.2 Qaqortoq Lufthavn	28
3.7 Fjeld- og sprængstensegenskaber: Sisimiut	32
3.7.1 Referencer	32

3.7.2 Regional Geologi.....	32
3.7.3 Svømmehalsprojektet i Sisimiut	32
3.7.4 Studenterrapporter	33
3.8 Fjeld- og sprængstensegenskaber: Uummanaq	38
4 SAMMENSTILLING AF FJELD- OG SPRÆNGSTENSEGENSKABER	39
4.1 Udvidelsesfaktor	39
4.2 Skråningsanlæg.....	40
4.3 Los Angeles slidprocent.....	41
4.4 Densitet	42
4.5 Sprødhedstal og flisethed	43
4.6 Borbarhed.....	44
4.7 Point load indeks	46
4.8 Træk- og trykstyrke.....	47
5 ERFARINGER OG ANVISNINGER.....	48
6 IDENTIFIKATION AF FORSKNINGSPOTENTIALE	54
7 REFERENCER	56
8 APPENDIX 1: KLASSIFIKATIONSTABELLER.....	58

FIGURFORTEGNELSE

- Figur 1** **Boksplot: Densitet – sammenstilling af forskellige bjergarter og lokaliteter**
- Figur 2** **Boksplot: Sprødhedstal og flisethed – sammenstilling af forskellige bjergarter og lokaliteter**
- Figur 3** **Boksplot: Sievers J-værdi og slitageværdi – sammenstilling af forskellige bjergarter og lokaliteter**
- Figur 4** **Boksplot: Borsynkindeks (DRI) og borslitageindeks (BWI) – sammenstilling af forskellige bjergarter og lokaliteter**
- Figur 5** **Boksplot: Point load styrkeindeks – sammenstilling af forskellige bjergarter og lokaliteter**
- Figur 6** **Boksplot: Træk- og trykstyrke – sammenstilling af forskellige bjergarter og lokaliteter**

TABELFORTEGNELSE

Tabel 1	Fjeld- og sprængstensegenskaber: Oversigt over tilgængelige data og udførte forsøg fra forskellige lokaliteter
Tabel 2	Ilulissat: Fjeld- og sprængstensegenskaber
Tabel 3	Ilulissat: Borbarhedsegenskaber
Tabel 4	Ilulissat: point load test.
Tabel 5	Maniitsoq: Fjeld- og sprængstensegenskaber
Tabel 6	Maniitsoq: Borbarhedsegenskaber
Tabel 7	Narsaq: Densitet, $I_{s(50)}$, σ_c , σ_t , elasticitetsmodul og Poissons forhold
Tabel 8	Narsaq: Borbarhedsegenskaber
Tabel 9	Nuuk: Fjeld- og sprængstensegenskaber
Tabel 10	Nuuk: Borbarhedsegenskaber
Tabel 11	Nuuk: Elasticitetsmodul, Poissons forhold, σ_c , brudvinkel og lyd hastighed
Tabel 12	Paamiut: Borbarhedsegenskaber
Tabel 13	Qaqortoq: Fjeld- og sprængstensegenskaber
Tabel 14	Qaqortoq: Borbarhedsegenskaber
Tabel 15	Sisimiut: point load test
Tabel 16	Sisimiut: Brazil forsøg
Tabel 17	Sisimiut: Enakset trykforsøg
Tabel 18	Sisimiut: Borbarhedsegenskaber
Tabel 19	Uummannaq: Borbarhedsegenskaber
Tabel 20	Udvidelsesfaktor fra fast bjerg ved fasteste lejring (e_{min}) for forskellige bjergarter og lokaliteter
Tabel 21	Udvidelsesfaktorer af sprængstensprodukter i forbindelse med udlæg og komprimering
Tabel 22	Kritisk friktionsvinkel og tilhørende stejleste stabile skråningsanlæg af sprængsten for forskellige bjergarter og lokaliteter
Tabel 23	Los Angeles slidprocent fra forskellige bjergarter og lokaliteter
Tabel 24	Norske anvisninger til Los Angeles slidprocent ved brug af knuste stenmaterialer til forstærkningslag og bærelag
Tabel 25	Vejledende norske anvisninger til Los Angeles slidprocent for stenmaterialer i asfaltbærelag og asfaltlag
Tabel 26	Norske krav til flisethed ved brug af knuste stenmaterialer til bærelag, asfaltbærelag og asfaltlag
Tabel 27	Erfaringer og anvisninger i forbindelse med anlægsprojekter
Tabel 28	Identifikation af forskningspotentialer
Tabel A1	Klassifikation af borbarhedsegenskaber (efter Dahl et al. 2012 og Bruland 1998a)
Tabel A2	Klassifikation af Point load Indeks
Tabel A3	Klassifikation af Trykstyrke

ORDFORKLARING

Absorption

Et mål for hvor meget vand, der kan være i de åbne porer i et materiale. Materialer med høj absorption kan (men ikke altid) være svage og frostfarlige

Affladning (AF)

Angiver hvor flad kornformen er: $AF = \frac{L+B}{2 \times H}$

B Bredde af sprængsten

Borbarhed

Fjeldets borbarhed er et mål for evnen til at modstå et bors indtrængen, og har som sådan en væsentlig betydning for økonomi, tidsforbrug og valg af boreudstyr ved sprængningsarbejder. Borbarheden illustreres ved de indirekte mål borsynkindex (DRI) og borslitageindex (BWI)

Borslitageindex

Se BWI

Borsynkindex

Se DRI

BWI (Bit Wear Index)

BWI vurderes ud fra DRI og slitageværdi. BWI indekset siger noget om slitage på borekroner når der bores, og bruges til at estimere brugstiden/levetiden af borekroner

CLI Se Cutter Life Index

Cutter Life Index (CLI)

Et mål for levetiden, målt i boringstimer, for "cutter disc" stålringe til tunnelboremaskiner. CLI udregnes på basis af Sievers J-værdi, og stål-slitageværdi (AVS)

Dagbrud

Et dagbrud er betegnelsen for et sted, hvor der udvindes sten direkte fra jordens overflade i modsætning til udvinding under jordoverfladen

DRI (Drilling Rate Index)

Indikerer et materiales borbarhed, med andre ord hvor let et materiale kan bores i. DRI vurderes ud fra sprødhedstal og Sievers J-værdi og kan beskrives som sprødhedstallet korrigeret for overfladehårdhed

Fasteste lejring (emin)

Materialernes poretal (e) for fasteste lejring. Dette er det mindst mulige poretal

Flisethedsindex

Et mål for stenmaterialers form. Flisethedsindexet udtrykkes som en procentandel af korn i en prøve, der passerer gennem stavsigtet med sprækkevidder lig halvdelen af største korn i fraktionerne. Testmetode: DS/EN 933-3:2013

Flisethedstal

Forholdet mellem de enkelte sprængstens bredde og højde (B/H). Et godt sprængstensmateriale er kendetegnet ved et lavt flisethedstal, som giver en mindre risiko for at sprængsten knækker under tromling og trafik

Foliation

Geologisk betegnelse for en bestemt bjergartsstruktur forekommende i metamorfe bjergarter. Foliation kommer til udtryk ved en parallel orientering af mineraler. Hvis der er tale om decideret mineralogisk lagdeling kaldes strukturen "båndet". Gnejs viser næsten altid båndet tekstur karakteriseret ved skiftende mørke og lyse lag. Hvert lag kan være tyndt som et stykke papir eller over en meter i tykkelse

Frost/tø påvirkninger - massetab (F)

Beskriver materialers modstandsevne mod frost- og tø påvirkninger. Resultatet angives som massetab af materialet efter, at det har været udsat for en serie af 10 frost/tø-cykler. Testmetode: DS/EN 1367-1:2007

H Højde af sprængsten

Konsolideringsmodul (K)

Elasticitetsmodul svarende til hindret sideudvidelse bestemt ved konsolideringsforsøg

Kornkurve

Angiver fordelingen af de forskellige kornstørrelser. Kornkurvens ordinat angiver den vægtprocent af sprængsten, hvis kornstørrelser er mindre end den af abscissen angivne kornstørrelse

L Længde af sprængsten

Los Angeles slidprocent (LA-værdi)

Beskriver materialers modstandsevne mod slidpåvirkninger. Testmetode: DS/EN 1097-2:2020

Lugeon test

In situ test til at estimere hydraulisk konduktivitet og fjeldets sprækkeforhold. Udføres i en isoleret sektion af et borehul. 1 Lugeon er defineret som 1 liter/min/boremeter ved 10 bars overtryk

Løseste lejrning (emax)

Materialernes poretal (e) for løseste lejrning. Dette er det størst mulige poretal

Modelsprængsten

Sprængsten fremstillet ved nedskallering af kornkurven fra den oprindelige sprængsten. *Modelsprængsten 1/10* betyder at kornstørrelse er ca. 1/10 af de oprindelige sprængsten (parallelforskudte kornkurver)

M.u.t Meter under terræn

Nedskalleret kornkurve

Fremstilling af et materiale ved nedskallering af den oprindelige kornkurve. Nedskallering sker ved en (omtrentlig) parallelforskydning af den oprindelige kornkurve

Pegmatit

Gange eller partier i en bjergart med meget store krystaller. Krystallerne kan være op til 10 cm eller mere i diameter, men er ofte mindre

Poretal (e)

Prøvelegemets porevolumen i forhold til den faste del af prøvens volumen

Porøsitet

Prøvelegemets porevolumen i forhold til hele prøvelegemets volumen

Q Tøjningsindeks (dekadehældning) - tilvækst i konsolideringstøjning pr. dekade for spændinger over forbelastningsspændinger.

Std Standardafvigelse

Sfæricitet (SF)

Angiver hvor tæt kornformen er på at være en perfekt kugle: $SF = \sqrt[3]{\frac{L \times B \times H}{L^3}} = \sqrt[3]{\frac{B \times H}{L^2}}$

Sievers J-værdi

Et mål for overfladehårdhed og bormodstand. Sievers J-værdi defineres som boringsdybden efter 200 omdrejninger af borebiten og måles i 1/10 mm. Den endelige værdi er en gennemsnitsværdi af 4-8 gentagelser

Skifrig

Geologisk betegnelse for en bjergartsstruktur hvor bjergarten i sin struktur ligner skifer. M.a.o. den består af lag og "kløver" i en bestemt retning

Slitageværdi (AV)

Et mål for stenmaterialers evne til at påføre slid på andre materialer. Slitageværdien bestemmes ved slid af wolfram karbid (engelsk: tungsten carbide) og angives som væggtab i mg

Sprængsten

Sprængte stenmasser uden særlige krav til forarbejdning eller sortering

Sprødhedstal

Et mål for stenmaterialers nedknusning ved gentagne stødpåvirkninger. Nedknusningsprocenten angives som sprødhedstallet S. Et godt sprængstensmateriale er kendetegnet ved lavt sprødhedstal, som giver reduceret nedknusning

Stål-slitageværdi (AVS)

Et mål for stenmaterialers evne til at påføre slid på andre materialer. Stål-slitageværdien bestemmes ved slid af stål (engelsk: cutter steel) og angives som væggtab i mg

Udvidelsesfaktor

Ved udvidelsesfaktor forstås volumenforøgelsen af fast fjeld tilknyttet en specificeret indbygning af sprængstensfylden, dvs. $1+e$, hvor e er poretallet

Uensformighedstal (U)

Forholdet mellem 10%- og 60%-fraktilen på kornkurven

Volumenfaktor (α)

Forholdet mellem den faktiske volumen og den omskrevne kasse ($L \times B \times H$)

ÅDT (årsdøgntrafik)

Det totale antal køretøjer, som passerer en vej i løbet af et år divideret med 365

c' : Effektiv kohæsion

c'_t : Kohæsion tangenværdi

E_{initial} : Elasticitetsmodul bestemt som initial tangentsmodul

E_{50} : Elasticitetsmodul bestemt som en sekantmodul svarende til den halve brudspænding

E_{oed} : Oedometer modulus

ε_N : Tillægsdeformationer for N belastninger [%]

ε_s : Krybningens dekadehældning [% / lct, dvs. % / tidsdekade]

I_s : Point load indeks. Indeksværdi for styrken af en bjergart

I_{s50} : Point load indeks korrigeret for prøvens størrelse. Indeksværdi for styrken af en bjergart

ρ : Densitet

σ_1 : Vertikal spænding

σ_t : Trækstyrke

σ_c : Enakset trykstyrke

φ' : Effektiv friktionsvinkel

φ'_s : Sekantfriktionsvinkel

φ'_t : Tangentfriktionsvinkel

φ'_{krit} : Kritisk friktionsvinkel

1 INDLEDNING

I forbindelse med bygge- og anlægsprojekter i Grønland, er det generelt nødvendigt at bortsprænge fjeld for at give plads til konstruktionen. Samtidigt er nedsprængt fjeld i form af sprængsten et meget anvendt byggemateriale i Grønland, som blandt andet benyttes til opfyldning (f.eks. i havnekonstruktioner), vej- og dæmningskonstruktioner (f.eks. til landingsbaner), til funderingsløsninger, og som tilslag i beton og asfalt m.m. Derfor er viden om fjeldkvalitet og sprængstensegenskaber af afgørende betydning når det gælder placering, udformning, konstruktion, drift og vedligeholdelse af såvel gamle som nye bygge- og anlægsprojekter i Grønland. For eksempel har en beslutning om skrænthældning på en opfyldning (til f.eks. landingsbaner) stor betydning for de mængder af opfyldningsmateriale som skal benyttes, og er af afgørende betydning for konstruktionens stabilitet. Manglende viden om fjeldets egenskaber kan medføre anvendelse af høje sikkerhedsfaktorer og dermed fordyrelse af projekterne. Tillige kan optimering af sprængningsarbejdet på grundlag af opnået sprængstenskvalitet være en kritisk faktor i logistikken i et anlægsprojekt, og have stor betydning for projektets overordnede økonomi.

FOSS er et lettilgængeligt erfaringsprodukt, der samler tilgængeligt materiale om fjeld- og sprængstensegenskaber fra tidligere bygge- og anlægsprojekter i Grønland. Hensigten er at gøre data nemt tilgængelig for fremtidige bygge- og anlægsprojekter i Grønland, så man kan drage nytte af erfaring fra tidligere projekter, samt at identificere områder hvor der behov for yderligere forskning i fjeldets geotekniske egenskaber. FOSS vil også blive brugt til undervisning af kommende ingeniører.

FOSS er udarbejdet ved Arctic DTU Sisimiut - Ilinniarfeqarfik Sisimiut af Jonas Møller Pedersen, postdoc ved Arctic DTU/ DTU byg. Projektet har modtaget støtte fra Grønlands Forskningsråd, GrønlandsBANKENS Erhvervsfond og Martha og Poul Kern-Jespersens Fond.

2 Dataindsamling

Indsamling af erfaringsmateriale er sket på baggrund af litteraturstudier af tekniske rapporter fra grønlandske anlægsprojekter samt anvisninger og standarder fra sammenlignelige områder i udlandet, primært Norge. Data kommer fra en række forskellige kilder, herunder Dansk Geoteknisk Institut (DGI), GEO subsurface expertise (GEO), Grønlands Tekniske Organisation (GTO), Norges teknisk-naturvidenskabelige universitet (NTNU) og studenterafgangsrapporter udført ved DTU BYG.

DGI stod for de geotekniske undersøgelser udført i forbindelse med etablering af lufthavnene i 70'erne, 80'erne og 90'erne. DGIs geotekniske rapporter er, så vidt vides, ikke offentligt tilgængelige, men findes på et internt bibliotek på DTU BYG i Lyngby, Danmark. GEO har udført en række undersøgelser i forbindelse med udbygning af lufthavnene i Nuuk og Ilulissat og etablering af en ny lufthavn i Qaqortoq. GEOs rapporter er ikke offentligt tilgængelige, men er i forbindelse med dette erfaringsprodukt venligst rekvireret fra Kalaallit Airports. GEO har også udført geotekniske forundersøgelserne for en svømmehal i fjeldet i Sisimiut. Disse forundersøgelser er rekvireret fra Qeqqata Kommunia. Geotekniske undersøgelser udført i forbindelse med etablering og udbygning af vandkraftanlæggene blev udført af GTO. GTOs rapporter er tilgængelig for udlån ved Polarbiblioteket i København. Enkelte data i dette erfaringsprodukt stammer fra NTNU og fra en ph.d.-afhandling (Bruland 1998b) indleveret til samme universitet. Vi har ikke kendskab til yderligere data fra andre bygge- og anlægsprojekter. En mindre del af de geotekniske data stammer fra studenterafgangsrapporter udført ved DTU BYG. Disse rapporter kan findes på DTUs online database over studenterrapporter (<http://find.artek.byg.dtu.dk/>). Vi har ikke gennemgået alle studenterrapporter i DTUs arkiv, men har fokuseret på rapporter af nyere dato.

Grundet dette erfaringsprodukts karakter og målgruppe er referencer begrænset til nogle få vigtige kilder. Af samme årsag refereres til den institution, der står for referencen i stedet for enkeltpersonerne bag med undtagelse af studenterrapporter og den omtalte ph.d.-afhandling fra NTNU. For eksempel refererer vi til *"Foged N, Balstrup T (1979) DGI Rapport 3 Godthaab Airport. Runway placed on dam of compacted rockfill. Nordic Geotechnical Meeting"* som *DGI (1979)*.

Erfaringer og anvisninger vedrørende grønlandske anlægsprojekter er undersøgt ved brug af spørgeskema og efterfølgende dialog med interessenter. Vores spørgeskema er ikke designet til direkte dataindsamling, men til at skabe indledende kontakt til interessenter og skabe grundlag for en uddybende dialog via fysiske møder og/eller telefonmøder. 36 respondenter fordelt på 14 interessenter (udover anonyme kilder) har deltaget i spørgeskemaundersøgelsen. Via dialog med interessenter har vi kortlagt områder, hvor interessenter i bygge- og anlægsbranchen peger på, at der behov for yderligere forskning i fjeld- og sprængstensegenskaber

3 GEOTEKNISKE DATA

I dette afsnit præsenteres på tabelform tilgængelig data vedrørende fjeld- og sprængtensegenskaber. Data fra forskellige lokaliteter gennemgås enkeltvis. De fleste data er ikke tilgængeligt i tilstrækkeligt omfang (og ensartethed) til at gennemføre en egentlig statistisk behandling. En sammenstilling af data fra forskellige lokaliteter kan findes i afsnit 4 **sammenstilling af fjeld- og sprængtensegenskaber**. En oversigt over tilgængelige data og udførte forsøg fra forskellige lokaliteter er vist i Tabel 1.

Tabel 1 Fjeld- og sprængtensegenskaber: Oversigt over tilgængelige data og udførte forsøg fra forskellige lokaliteter

Fjeld- og sprængtensegenskaber	Ilulissat	Maniitsoq	Narsaq	Nuuk	Paamiut	Qaqortoq	Sisimiut	Uummannaq
Absorption	X	x		x		x		
Bjergartsbestemmelse	X	x	x	x	x	x	x	x
Borbarhed	x	x	x	x	x	x	x	x
Brazil forsøg			x				x	
Brudvinkel				x				
Dekadehældning (Q)	x			x		x		
Densitet	x	x	x	x	x	x	x	x
Elasticitetsmodul		x		x			x	
Enakset trykforsøg			x	x			x	
Friktionsvinkel	x	x		x		x		
Frost/tø påvirkninger	x			x		x		
Kohæsion	x	x		x		x		
Konsolideringsmodul (K)		x		x				
Kornform	x	x		x		x		
Krybningens dekadehældning (ϵ_s)	x	x		x		x		
Lejringsstæthed	x	x		x		x		
Los Angeles slidprocent	x	x		x		x		
Lydhastighed				x				
Middelkornstørrelse (d_{50})		x						
Mineralogi	x	x		x		x		
Oedometer modulus (E_{oed})	x			x		x		
Point load test	x		x				x	
Poissons forhold				x				
Tillægsdeformationer ϵ_N		x		x				
Uensformighedstal		x		x				
Vandindhold		x						
Volumenfaktor (α)		x		x				

3.1 Fjeld- og sprængtensegenskaber: Ilulissat

3.1.1 Referencer

Data fra Ilulissat er indsamlet fra følgende kilder:

GEO (2017a) Grønlandske lufthavne, geotekniske undersøgelser. Laboratorierapport – Ilulissat. Geo projekt nr. 200648/200818. Rapport 7, 2017-09-06.

GTO (1986) Vandkraftforundersøgelse 1984-85-86 PAAKITSUP AKULIARUSERSUA ILULISSAT / JAKOBSHAVN. Grønlands Tekniske Organisation.

Bruland A (1998b) Hard Rock Tunnel Boring Vol. 9 - Drillability - Catalog of Drillability Indices. Ph.D. dissertation. Trondheim, Norwegian University of Science and Technology (NTNU).

3.1.2 Regional geologi

Geologisk set ligger Ilulissat i kontakten mellem Rinkian foldekæden og Nassuttoqidian foldekæden. Bjergarterne i området er mestendels granodiorisk gnejs. Gnejsen indeholder biotit i tynde striber, tykkere bånd eller zoner. Gnejsen gennemskæres enkelte steder af diabasgange.

3.1.3 Ilulissat Lufthavn

I forbindelse med udbygningen af lufthavnen i Ilulissat skal der etableres en opbygning af sprængsten fra nærtliggende fjeldpartier. Der er derfor udført forsøg på to forskellige prøver af bjergarter, benævnt ILU-A og ILU-B (GEO 2017a). Prøverne er fremstillet ved en nedskalering af kornkurven fra den oprindelige sprængsten. ILU-A er fra en dolerit (diabasgang). Prøvens mineralogi er mellemkornet plagioklas (50%) og pyroxen i en homogen tekstur (Tabel 2). Prøven er generelt frisk og der er ingen antydninger af forvitring, men der findes dog enkelte forvitrede sten i prøven (GEO 2017a). ILU-B er en homogen, kompetent og svagt folieret gnejs (orthognejs). ILU-B består af 50 % kvarts, 35% feldspat, og 15 % biotit og kornstørrelsen er fin- til mellemkornet (Tabel 2). Gnejsen har ingen foretrukken spalteretning (GEO 2017a). En oversigt over fjeld- og sprængtensegenskaber fremgår af tabel 2. Borbarhedsegenskaber er vist i Tabel 3.

3.1.4 Ilulissat vandkraftværk

Undersøgelserne for et vandkraftværk ved Paakitsup Akuliarusersua nordøst for Ilulissat blev startet tilbage i 1980. Der blev bl.a. udført otte kernerboringer for at undersøge fjeldkvaliteten. På fem af kerneprøverne er fjeldets styrkeegenskaber bestemt ved point load test (GTO 1986, Tabel 4). Borbarhedsegenskaber blev ikke undersøgt.

Tabel 2 Ilulissat: Fjeld- og sprængstensegenskaber. Alle resultatet er fra GEO (2017a) og lavet i forbindelse med udbygningen af lufthavnen i Ilulissat. To forskellige resultatsæt er adskilt af forskellig gråtoning. ± : 1 Std

Egenskab	Enhed	Note	Værdi (±)	Værdi (±)
Reference			GEO (2017a)	GEO (2017a)
Prøvenavn			ILUA	ILUB
Prøvetype			Modelsprængsten	Modelsprængsten
Bjergart			Dolerit (diabasgang) Mellemkornet Homogen Frisk	Gnejs (orthognejs) Fin - mellemkornet Homogen Svagt folieret Ingen foretrukken spalteretning
Mineralogi			Plagioclas (50%) Pyroxsen	Kvarts (50%) Feldspat (35%) Biotit (15%)
Absorption	%	4-16 mm		0.57 (0.01)
Sfæricitet		B > 64 mm 31.5 mm < B < 64 mm 16 mm < B < 31.5 mm 8 mm < B < 16 mm 4 mm < B < 8 mm Alle Målinger	0.64 (0.07) 0.65 (0.11) 0.6 (0.09) 0.57 (0.08) 0.51 (0.09) 0.59 (0.1)	0.68 (0.09) 0.64 (0.1) 0.63 (0.08) 0.65 (0.09) 0.64 (0.11) 0.65 (0.1)
Affladning		B > 64 mm 31.5 mm < B < 64 mm 16 mm < B < 31.5 mm 8 mm < B < 16 mm 4 mm < B < 8 mm Alle Målinger	2.47 (0.64) 2.71 (1.25) 2.48 (0.62) 2.6 (0.85) 2.49 (0.68) 2.55 (0.85)	2.13 (0.61) 2.2 (0.91) 2.42 (0.67) 2.2 (0.67) 1.78 (0.24) 2.15 (0.69)
Lejring				
Fasteste lejring (e _{min})			0.59	0.6
Løeste lejring (e _{max})			0.84	0.83
Styrkeegenskaber				
Effektiv friktionsvinkel (φ')	°	Ved fasteste lejring	≥ 20	≥ 19
Effektiv kohæsion (c')	kPa	Ved fasteste lejring	≥ 36	≥ 45
Frost/tø påvirkninger - (F)	%	8 - 16 mm		0.002
Kritisk friktionsvinkel (φ ^{crit})	°		38.3	39.4
Los Angeles slidprocent	%			41
Deformationsegenskaber (ved e _{min})				
Krybningens dekadehældning (ε _s)	% / lct		0.01 -0.1 for σ ₁ ≤ 720 kPa	0.01 -0.52 for σ ₁ ≤ 720 kPa
Dekadehældning (Q)	% / lcs	Q600-720	3.6	5.1
Oedometer modulus (Eoed)	MPa			
		Eoed, 50-100 KPa	155	98
		Eoed, 100-200 KPa	587	303
		Eoed, 100-400 KPa	499	297
		Eoed, 100-600 KPa	297	181

Tabel 3 Ilulissat: Borbarhedsegenskaber. Tekst under talværdier repræsenterer klassifikation efter Bruland (1998b, Tabel A1). Se også Figur 1,2,3 og 4

Lokalitet	Lufthavn	Lufthavn	Lufthavn	Lufthavn	Lufthavn	Lufthavn	Lufthavn	Lufthavn	Lufthavn	Lufthavn	Lufthavn
Reference	GEO (2017a)	GEO (2017a)	Bruland (1998b)	Bruland (1998b)	Bruland (1998b)	Bruland (1998b)	Bruland (1998b)	Bruland (1998b)	Bruland (1998b)	Bruland (1998b)	Bruland (1998b)
Prøvenavn	ILU-A	IIU_B	294	295	296	291	292	293	619	620	621
Bjergart	Dolerit	Gnejs	Gnejs (pegmatitisk)	Gnejs (båndet)	Gnejs (båndet)	Gnejs (granitisk)	Gnejs (granitisk)	Gnejs (granitisk)	Gnejs (båndet)	Gnejs (granitisk)	Gnejs (granitisk)
Sprødhedstal	40.8 Lav	62.2 Meget høj	67 Ekstrem høj	72 Ekstrem høj	64 Meget høj	60 Meget høj	66 Ekstrem høj	77 Ekstrem høj	63 Meget høj	62 Meget høj	62 Meget høj
Flisethed	1.32	1.32									
Pakningsgrad	1	1									
Densitet (g/cm³)	2.93	2.68									
Sievers J-værdi	9.1 Medium	14.8 Medium	15 Medium	21 Lav	27 Lav	37 Lav	14 Medium	17 Medium	7 Medium	7 Medium	6 Høj
Slitageværdi (AV)	3 Meget lav	20 Medium	18 Medium	23 Medium	22 Medium	14 Medium	23 Medium	28 Høj	30 Høj	23 Medium	36 Høj
Kvartsindhold (%)	0	50	26	33	38	19	29	41	25	28	30
Borsynkindeks (DRI)	40 Lav	64 Høj	71 Meget høj	77 Meget høj	71 Meget høj	68 Høj	69 Høj	78 Meget høj	62 Høj	61 Høj	60 Høj
Boslitageindeks (BWI)	33 Medium	25 Lav	21 Lav	18 Meget lav	21 Lav	21 Lav	22 Lav	18 Meget lav	29 Lav	28 Lav	30 Lav

Tabel 4 Ilulissat: Point load test. \parallel : forsøg udført omtrent parallelt med bjergartens foliation, der i det konkrete tilfælde er diametrale test. \perp : forsøg udført omtrent vinkelret på bjergartens foliation, der i det konkrete tilfælde er aksiale test. Alle resultater er fra GTO (1986) og lavet i forbindelse med forundersøgelserne til vandkraftværk i Ilulissat. \pm : 1 Std. Se også Figur 5

Bjergart	Boring	Lab nr.	Kote [m]	Dybde [m.u.t]	Vandmætning	$I_{s(50)}$ [MPa]		Anisotropi \perp / \parallel	$I_{s50}^{tør} / I_{s50}^{våd}$	
						\parallel (diametral)	\perp (aksial)		\parallel	\perp
Gnejs	K 84901	5	16	27		5.90	10.40	1.8		
Gnejs	K 84901	9	-1	44		5.90	10.60	1.8		
Gnejs	K 84901	12	-21	64		7.20	12.60	1.8		
Gnejs	K 84902	4	2	30		4.80	10.20	2.1		
Gnejs	K 84902	8	-24	57		5.70	10.50	1.8		
Gnejs	K 84903	3	120	18		5.90	9.50	1.6		
Gnejs	K 84903	6	100	38		6.00	10.50	1.8		
Gnejs	K 84903	10	81	57		5.30	9.10	1.7		
Gnejs	K85903	11	172	68	Mættet	6.00	8.20	1.4	1.13	1.34
Gnejs	K85903	11	172	67	Tør	6.80	11.00	1.6		
Gnejs	K85903	15	150	89	Mættet	6.00	8.00	1.3	1.16	0.94
Gnejs	K85903	15	149	90	Tør	6.50	9.20	1.4		
Gnejs	K85903	36	23	216	Mættet	6.20	8.30	1.3	1.16	1.17
Gnejs	K85903	36	24	215	Tør	7.20	9.70	1.3		
Gnejs	K85903	41	-6	246	Mættet	5.70	6.30	1.1	1.08	1.15
Gnejs	K85903	41	-7	246	Tør	6.20	7.70	1.2		
Gnejs	K85904	30	-28	176	Mættet	6.00	9.80	1.6	1.09	1.22
Gnejs	K85904	30	-27	176	Tør	7.00	9.20	1.3		
Gnejs	K85904	31	-35	183		6.8	7.8	1.1		
Gnejs	K85905	35	-62	211	Mættet	5.6	7.8	1.4	1.23	1.09
Gnejs	K85906	35	-62	210	Tør	6.9	8.5	1.2		
Gnejs	Alle Målinger					6.17 (\pm 0.62)	9.28 (\pm 1.41)	1.5	1.1 (\pm 0.1)	1.2 (\pm 0.1)

3.2 Fjeld- og sprængstensegenskaber: Maniitsoq

3.2.1 Referencer

Data fra Maniitsoq er indsamlet fra følgende kilde:

DGI (1994) Maniitsoq Landingsbane. Fjeld. Sprængsten Rapport 2, 1994-12-09. Dansk Geoteknisk Institut, Lyngby.

3.2.2 Regional geologi

Fjeldet omkring Maniitsoq er en grovkornet granodioritisk gnejs bestående af kvarts, plagioklas, alkali feldspat og en mindre mængde af biotit og andre mørke mineraler (DGI 1994).

3.2.3 Maniitsoq Lufthavn

I forbindelse med anlæg af Maniitsoq lufthavn blev fjeld- og sprængstensegenskaber undersøgt i laboratorieforsøg for at belyse sprængstenenes egnethed til anvendelse som dæmningsfyld og indbygning (DGI 1994). Fjeldet omkring lufthavnen er bedømt som let sprækket til sprækket (DGI 1994). En oversigt over fjeld- og sprængstensegenskaber fremgår af Tabel 5. Borbarhedsegenskaber er vist i Tabel 6.

Tabel 5 Maniitsoq: Fjeld- og sprængstensegenskaber. Uensformighedstal (udkast fra sprængning) er uensformighedstalet for de oprindelige sprængsten og ikke for modelsprængsten. Bemærk at deformationsegenskaber er bestemt ved fasteste lejring ($e_{\min}=0.19$), mens andre egenskaber er bestemt ved lejring $e=0.33$. Alle resultatet er fra DGI (1994) og lavet i forbindelse med etableringen af lufthavnen i Maniitsoq. $\pm : 1$ Std

Egenskab	Enhed	Note	Værdi	(\pm)
Reference			DGI (1994)	
Prøvetype			Modelsprængsten 1/10	
Bjergartstype			Gnejs Granodioritisk Grovkornet Båndet	
Mineralogi			Feldspat Kvars Glimmer Mørke mineraler	
Absorption	%	8-16 mm	0.51	
Vandindhold	%	16-64 mm	0.41	
Volumenfaktor (α)		B > 64 mm; L < 200 mm	0.38	
Sfæricitet		L > 50 cm, B > 6 cm	0.59	(0.09)
		20 cm < L < 50 cm, B > 6 cm	0.59	(0.1)
		L < 20 cm, B > 6 cm	0.68	(0.11)
Affladning		L > 50 cm, B > 6 cm	2.3	(0.7)
		20 cm < L < 50 cm, B > 6 cm	2.5	(0.8)
		L < 20 cm, B > 6 cm	2.1	(0.6)
Middelkornstørrelse (d_{50})	mm		~ 200	
Uensformighedstal (udkast fra sprængning)			4.8	
Lejring				
Fasteste lejring (e_{\min})		B < 90 mm	0.19	
Løeste lejring (e_{\max})		B < 90 mm	0.69	
Styrkeegenskaber				
E_{initial}	MPa	Ved lejring $e=0.33$	> 57	
E_{50}	MPa	Ved lejring $e=0.33$	> 22	
Kohæsion tangentværdi (C_t)		Ved lejring $e=0.33$	80 kPa	
Kritisk friktionsvinkel (φ'_{krit})	°	Ved lejring $e=0.33$	50	
Los Angeles slidprocent	%	4.75-9.5 mm	38	
Point load indeks (I_{s50})	MPa	32-64 mm	4.8	
Sekantsfriktionsvinkel (φ'_s)	°	Ved lejring $e=0.33$	> 50	
Tangent friktionsvinkel (φ'_t)	°	Ved lejring $e=0.33$	47.5	
Deformationsegenskaber (ved e_{\min})				
Konsolideringsmodul (K)	MPa		260 MPa for $0 \text{ kPa} < \sigma_1 < 600 \text{ kPa}$	
	MPa		410 MPa for $1000 \text{ kPa} < \sigma_1 < 2100 \text{ kPa}$	
Krybningens dekadehældning (ϵ_s)	% / lct		< 0.01 – 0.05 for $\sigma_1 < 2100 \text{ kPa}$	
Tillægsdeformationer ϵ_N	%			
		For N belastninger (tør)	$\epsilon_N < 0.1 \log N$ for $50 \text{ kPa} < \sigma_1 < 600 \text{ kPa}$	
		For N belastninger (våd)	$\epsilon_N < 0.1 \log N$ for $50 \text{ kPa} < \sigma_1 < 600 \text{ kPa}$	

Tabel 6 Maniitsoq: Borbarhedsegenskaber. Tekst under talværdier repræsenterer klassifikation efter Bruland (1998b, Tabel A1). Se også Figur 1,2,3 og 4

Lokalitet	Lufthavn	Lufthavn
Reference	DGI (1994)	DGI (1994)
Prøvenavn	Prøve S4	Unavngivet
Bjergart	Gnejs	Gnejs
Sprødhedstal	45.1 Medium	49 Medium
Flisethed	1.31	1.47
Pakningsgrad	1	
Densitet (g/cm³)	2.82	2.79
Sievers J-værdi	6 Høj	
Slitageværdi (AV)	14 Medium	
Kvartsindhold	14	
Borsynkindeks (DRI)	44 Medium	
Boslitageindeks (BWI)	41 Medium	

3.3 Fjeld- og sprængtensegenskaber: Narsaq

3.3.1 Referencer

Data fra Narsaq er indsamlet fra følgende kilde:

GTO (1982) Forundersøgelser. Vandkraft 1981. Anlægsteknik. Tasaq. Narssaq. Grønlands Tekniske Organisation.

3.3.2 Regional geologi

Narsaq ligger i det sydgrønlandske grundfjeldsområde, der geologisk bærer navnet Keltidians mobile belt. Hovedparten af grundfjeldet i området består af den såkaldte Julianehåb granit. Julianehåb granitten blev i Gardar-perioden (ca. 1300-1000 millioner år siden) overlejret af en flere km tyk lagserie af sandsten og basalt (vulkansk lava), der senere intruderedes af syenit-intrusioner, som fx Narsaq intrusionen og Ilimaussaq intrusionen. Den vestlige del af Narsaq-halvøen, herunder Narsaq by, udgøres af Narsaq intrusionen, umiddelbart øst herfor ligger Ilimaussaq intrusionen. Narsaq intrusionen består i hovedtræk af alkali graniter, syeniter og gabbro. Ilimaussaq består bl.a. af alkali-granit, augit syenit, alkali syenit og nefelin-syenit (herunder naujait og lujaurit).

3.3.3 Narsaq vandkraftværk

I forbindelse med forundersøgelserne til et vandkraftværk ved Taseq ved Narsaq blev der i 1981 udtaget prøver til vurdering af fjeldets styrkeegenskaber. Densitet, I_s , σ_c , σ_t , elasticitetsmodul og Poissons forhold er vist i Tabel 7. Alle resultater er fra Ilimaussaq intrusionen med undtagelse af en enkelt basalt.

Borbarhedsegenskaber er vist i Tabel 8.

Tabel 7 Narsaq: Densitet, I_s , σ_c , σ_t , elasticitetsmodul og Poissons forhold. Alle undersøgelser er fra GTO (1981) og lavet i forbindelse med forundersøgelserne til et vandkraftværk ved Taseq. Se også Figur 5 og 6

Bjergart	Boring	Lab nr.	ρ_{bulk} [g/cm ³]	I_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_t [MPa]	E_p/E [MPa]	Poissons forhold
Alkali-Syenit	81033	81051		16.9				
Nefelin-syenit (Naujait)	81037	81053	2.76	4.4	192	10.6		
Nefelin-syenit (Naujait)	81038	81054		7.9				
Nefelin-syenit (Naujait)	81038	81055	2.65	3.3	58	4		
Nefelin-syenit (Naujait)	81038	81056		5.7				
Nefelin-syenit (Naujait)	81038	81057		9.6				
Nefelin-syenit (Naujait)	81038	81059	2.45	11.5	130	8.5		
Nefelin-syenit (Naujait)		p10	2.5	5.4	> 106		52400/59000	0.22/0.32
Nefelin-syenit (Naujait)		p11		6.6				
Nefelin-syenit (Naujait)		p12	2.51	6.2	> 106		43800/56900	0.17/0.23
Nefelin-syenit (Naujait)		p16		13.6				
Nefelin-syenit (Lujavrit)	81038	81058	2.4	1.9	40.5	3.7		
Basalt		p14		13.1				

Tabel 8 Narsaq: Borbarhedsegenskaber. Tekst under talværdier repræsenterer klassifikation efter Bruland (1998b, Tabel A1) Se også Figur 1, 2, 3 og 4

Lokalitet	Taseq	Taseq
Reference	GTO (1981)	GTO (1981)
Prøvenavn	3	1
Bjergart	Basalt	Nefelin-syenit (Naujait)
Sprødhedstal	25 Ekstrem lav	61 Meget høj
Flisethed	1.34	1.32
Pakningsgrad		
Densitet (g/cm ³)	3.04	2.52
Sievers J-værdi	11 Medium	6 Høj
Slitageværdi (AV)	0.3	6
Kvartsindhold	0	0
Borsynkindeks (DRI)	26 Meget lav	58 Høj
Boslitageindeks (BWI)	23 Lav	24 Lav

3.4 Fjeld- og sprængtensegenskaber: Nuuk

3.4.1 Referencer

Data fra Nuuk er indsamlet fra følgende kilder:

DGI (1976) Geoteknisk rapport No 1. Godthåb. Landingsbane. Geoteknisk rapport no 1. med fotobilag A-C samt bilag 1-39 og 101-29. Dansk Geoteknisk Institut, Lyngby. Ref K76233 CBM/AW.

DGI (1979) Geoteknisk rapport No 3. Godthåb Airport Runway placed on dam of compacted rocks. Dansk Geoteknisk Institut, Lyngby. Ref K76233

DGI (1993) Vandkraftværk Buskefjorden. Udbygning 2 og 3. Geotekniske undersøgelser 1993. Rapport 1. Dansk Geoteknisk Institut, Lyngby.

GEO (2016a) Grønlandske lufthavne, geotekniske undersøgelser. Kartering af bjergarterne i Nuuk i forbindelse med lufthavnsudvidelse. Geologisk kortlægning. Geo projekt-nr. 200648. Rapport 2, 2016-08-31

GEO (2018a) Grønlandske lufthavne, geotekniske undersøgelser. Laboratorierapport –Nuuk. Geo projekt nr. 200648. Rapport 8, 2018-02-19, revision 2

GTO (1983a) Forundersøgelse Vandkraft 1982. Anlægsteknik. Buksefjord. Nuuk/Godthåb

NTNF (1976) Sprengtekniske forundersøkelser i området for den fremtidige Godthåb flyveplads, Grønland. Kontor for Fjellsprengningsteknikk. Norges Teknisk-naturvitenskapelige Forskningsråd. Rapport Nr. 570-1-5

3.4.2 Nuuk Lufthavn

3.4.2.1 Geologi

Fjeldene omkring Nuuk består hovedsagligt af de to bjergarter Amîtsoq gnejs og Nûk gnejs. Amîtsoq gnejs er en tonalitisk til granodioritisk gnejs (kvarts + plagioklas ± alkali feldspat), der i området omkring Nuuk lufthavn fremstår som en lys, fin- til mellemkornet og let båndet gnejs med pegmatitbånd og bånd rige på mørke mineraler (biotit, amfibol m.m) (DGI 1976). Nûk-gnejs adskiller sig i lufthavnsområdet kun ved et noget mørkere udseende, der skyldes et større indhold af mørke mineraler (DGI 1976). Lokalt kan der være større mafiske amfibolitlinser i bjergarten (GEO 2016a). Den generelle foliation i området er 18°/28°W. Forkastninger i området følger foliationen og ligger i retningen 18°- 20° / 28° - 30° W (GEO 2016a). En enkelt markant forkastning går næsten vinkelret på foliationen og har retningen ca. 300° (GEO 2016a).

3.4.2.2 Fjeld- og sprængstensegenskaber

Nuuk lufthavn er opbygget af sprængsten fra nærtliggende fjeldpartier. I anlægsfasen udførtes en række forundersøgelser og laboratorieforsøg på fjeld og sprængsten. NTN (1976) stod for prøvesprængninger i typiske fjeldpartier samt en vurdering af bor- og sprængtekniske forhold i anlægsområdet. På baggrund heraf konkluderedes at fjeldet sprænges let med et forventet sprængstofforbrug på ca. 0.5 kg/m³ (Tabel 9, NTN (1976)). Sprængstofforbruget er dog afhængig af boreplan, maskintyper og lagdeling i fjeldet. DGI (1976) udførte en række indbygnings- og deformationsundersøgelser på modelsprængsten. Modelsprængstenene havde en reduceret korntørrelse på 1/4 og 1/40 af de oprindelige sprængsten.

I forbindelse med udbygning af lufthavnen i Nuuk har GEO udført en række test af fjeld og sprængsten fra nærtliggende fjeldpartier (Tabel 9; GEO 2018a). En oversigt over fjeld- og sprængstensegenskaber fra Nuuk fremgår af Tabel 9. Borbarhedsegenskaber er vist i Tabel 10. Resultaterne fra de nyere undersøgelser viser bl.a. højere poretal for fasteste lejring (0.64 vs 0.42), mindre flisethed (1.34 vs. 1.42) og en mindre friktionsvinkel (41.5 vs. > 45), Tabel 9 og 10.

3.4.3 Nuuk Vandkraft

3.4.3.1 Geologi

Grundfjeldet i området omkring vandkraftværket består hovedsageligt af Nük gnejs. Gnejsen er kvarts- og feldspatrig, men sammensætningen varierer meget. I prøver udtaget i forbindelse med forundersøgelser til vandkraftværket varierer kvartsindholdet fra 26-46 % (Tabel 10, GTO 1983a). Uregelmæssige indeslutninger af gabbro forekommer i forskellige størrelser. Sammenhængende og ofte store gange af diabas eller gabbro skærer igennem fjeldet enkelte steder. I gnejsen forekommer også regelmæssige åre og gange af amfibolit. I nogle områder kan amfibolitmængden være så stor, at bjergarten får et amfibolitisk præg (GTO 1983a).

3.4.3.2 Fjeld- og sprængstensegenskaber

GTO lavede forundersøgelserne i forbindelse med etablering og udbygning af vandkraftanlægget ved Buksefjorden syd for Nuuk. Her bestemtes bl.a. bjergarternes elasticitetsmodul, Poissons forhold, σ_c , brudvinkel og lydshastighed (Tabel 11, GTO 1983a, GI 1993). Borbarhedsegenskaber blev også bestemt og er vist i Tabel 10 sammen med data fra lufthavnen og Bruland (1998b).

Tabel 9 Nuuk: Fjeld- og sprængstensegenskaber. To forskellige resultatsæt fra DGI (1976) og GEO (2016a, 2018a) er adskilt af forskellig gråtoning. Førstnævnte er fra etablering af lufthavnen, mens sidstnævnte er fra udbygningen af lufthavnen. Uensformighedstal (udkast fra sprængning) er uensformighedstalet for de oprindelige sprængsten og ikke for modelsprængsten. \pm : 1 Std

Egenskab	Enhed	Note	Værdi	Note	Værdi (\pm)
Reference		DGI (1976), hvis ikke andet er noteret		GEO (2016a, 2018a)	
Prøvetype			Modelsprængsten 1/4 og 1/40		Modelsprængsten
Bjergartstype			Gnejs Fin-mellemkornet let båndet Pegmatitbånd Kvartsårer		Gnejs Finkornet folieret Grå/lysebrun/ sort/hvid
Mineralogi			Kvarts (26-38%) Feldspat Pyroxen Biotit Amfibol		Feldspat (40%) Kvarts (40%) Amfibol (20%)
Sprængstofsforbrug	kg/fm ³	fra NTNF (1976)	0.5		
Absorption	%				0.66 (0.03)
Volumenfaktor (α)		B < 20 mm	0.45		
Sfæricitet		B > 20 mm	0.64	B > 64 mm 31.5 mm < B < 64 mm 16 mm < B < 31.5 mm 8 mm < B < 16 mm 4 mm < B < 8 mm Alle Målinger	0.77 (0.08) 0.72 (0.12) 0.7 (0.13) 0.6 (0.12) 0.63 (0.13) 0.68 (0.13)
Affladning		B > 20 mm	2.37	B > 64 mm 31.5 mm < B < 64 mm 16 mm < B < 31.5 mm 8 mm < B < 16 mm 4 mm < B < 8 mm Alle Målinger	1.74 (0.63) 1.74 (0.3) 1.83 (0.71) 2.23 (0.73) 2.17 (0.68) 1.94 (0.67)
Uensformighedstal (udkast fra sprængning)			4		
Lejring					
Fasteste lejring (emin)			0.42		0.64
Løeste lejring (emax)			0.86		0.9
Styrkeegenskaber					
Effektiv friktionsvinkel (ϕ')	°	Ved fasteste lejring			≥ 27
Effektiv kohæsion (c')	kPa	Ved fasteste lejring			≥ 72
Frost/tø påvirkninger - (F)	%			8 - 16 mm	0.004
Kritisk friktionsvinkel (ϕ'_{krit})	°		≥ 45		41.5
Los Angeles slidprocent	%	4.76 – 6.35mm (DGI 1977b)	31		36
Deformationsegenskaber (ved e_{min})					
Konsolideringsmodul K	MPa	0 kPa $\leq \sigma_1 \leq 500$ kPa	100		
	MPa	500 kPa $\leq \sigma_1 \leq 1500$ kPa	200		
Krybningens dekadehældning (ϵ_s)	%/lct	$\sigma_1 \leq 1500$ kPa	≤ 0.1	$\sigma_1 \leq 1400$ kPa	0.01 -0.4
Dekadehældning (Q)	%/lcs			Q1185-1381	11.2
Oedometer modulus (E_{oed})	MPa	fra DGI (1979)			
		Eoed, 8-286 KPa	442	Eoed, 48-99 KPa	182
		Eoed, 8-671 KPa	431	Eoed, 135-206 KPa	645
		Eoed, 8-1320 KPa	430	Eoed, 135-399 KPa	550
		Eoed, 671-1320 KPa	1934	Eoed, 135-584 KPa	359
Tillægsdeformationer ϵ_N for N belastninger					
Tør prøve	%	50 kPa $\leq \sigma_1 \leq 550$ kPa	$\epsilon_N \leq 0.06 \log N$		
Våd prøve	%	50 kPa $\leq \sigma_1 \leq 550$ kPa	$\epsilon_N \leq 0.1 \log N$		

Tabel 10 Nuuk: Borbarhedsegenskaber. Følgende forkortelser er brugt: Buks = Kraftstationsområdet ved Buksefjorden: Kang = Reservoirsøen Kangerdluarssungup Taserssua: ISTA = Reservoirsøen Isortuarssup Tasia. Tekst under talværdier repræsenterer klassifikation efter Bruland (1998b, Tabel A1). OBS - Tabellen fortsættes på næste side. Se også Figur 1, 2, 3 og 4

Lokalitet	Lufthavn	Lufthavn	Lufthavn	BUKS	BUKS	BUKS	BUKS	BUKS	BUKS	BUKS	BUKS
Reference	NTNF (1976)	NTNF (1976)	GEO (2018a)	GTO (1983a)	GTO (1983a)	GTO (1983a)	GTO (1983a)	GTO (1983a)	GTO (1983a)	GTO (1983a)	GTO (1983a)
Prøvenavn	Prøve 15	Prøve 16	NUU	2	8	3	5	6	1	4	7
Bjergart	Gnejs	Gnejs	Gnejs	Gabbro* (finkornet)	Gabbro	Gnejs (amfibolitisk, finkornet)	Gnejs (amfibolitisk)	Gnejs (amfibolitisk)	Gnejs (finkornet)	Gnejs (fin-mellemkornet)	Gnejs
Sprødhedstal	48 Medium	58 Høj	57.2 Høj	42 Medium	44 Medium	53 Høj	49 Medium	42 Medium	42 Medium	50 Medium	42 Medium
Flisethed	1.45	1.42	1.34	1.3	1.31	1.37	1.32	1.35	1.34	1.29	1.33
Pakningsgrad	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
Densitet (g/cm3)	2.78	2.67	2.65	3.03	3.07	2.87	2.7	2.75	2.75	2.69	2.72
Sievers J-værdi	13 Medium	10 Medium	5.4 Høj	12 Medium	25 Lav	7 Medium	10 Medium	6 Høj	9 Medium	12 Medium	10 Medium
Slitageværdi (AV)	16 Medium	34 Høj	22.5 Medium	7 Lav	10 Lav	42 Meget høj	50 Meget høj	47 Meget høj	23 Medium	62 Ekstrem høj	68 Ekstrem høj
Kvartsindhold	26	38	40	0	5	46	33	41	27	36	38
Borsynkindeks (DRI)	49 Medium	58 Høj	54 Medium	43 Medium	49 Medium	51 Medium	49 Medium	40 Lav	42 Lav	51 Medium	42 Lav
Boslitageindeks (BWI)	36 Medium	33 Medium	33 Medium	37 Medium	34 Medium	40 Medium	43 Medium	54 Høj	47 Høj	43 Medium	54 Høj

* bjergartsbestemmelsen er usikker.

Tabel 10 fortsat

Lokalitet	KANG og ISTA	KANG og ISTA	KANG og ISTA	KANG og ISTA	KANG og ISTA	KANG og ISTA	Uspecificeret	Uspecificeret
Reference	GTO (1993)	GTO (1993)	GTO (1993)	GTO (1993)	GTO (1993)	GTO (1993)	Bruland (1998b)	Bruland (1998b)
Prøvenavn	1	2	3	5	6	4	92	93
Bjergart	Gnejs (granodioritisk)	Gnejs (dioritisk)	Gnejs (monzonitisk)	Gnejs (monzonitisk)	Gnejs (granodioritisk)	Amfibolit	Gnejs (granitisk)	Gnejs (granitisk)
Sprødhedstal	67 Ekstrem høj	58 Høj	62.9 Meget høj	52 Høj	60.1 Meget høj	32.5 Meget lav	48 Medium	58 Høj
Flisethed	1.25	1.28	1.28	1.27	1.30	1.38		
Pakningsgrad	1	1	1	1	1	1		
Densitet (g/cm ³)	2.73	2.70	2.64	2.65	2.68	3.08		
Sievers J-værdi	12.8 Medium	4 Høj	6.3 Høj	3.4 Meget høj	9.5 Medium	3.5 Meget høj	13 Medium	10 Medium
Slitageværdi (AV)	25 Medium	17 Medium	26 Medium	28 Høj	30 Høj	1.5 Meget lav	16 Medium	34 Høj
Slitageværdi cutter steel (AVS)	39	28	34	30	33	5.5		
Kvartsindhold	31	26	30	29	30	0	26	38
Borsynkindeks (DRI)	69 Høj	54 Medium	61 Høj	47 Medium	60 Høj	28 Meget lav	51 Medium	59 Høj
Boslitageindeks (BWI)	23 Lav	33 Medium	29 Lav	42 Medium	30 Lav	40 Medium	34 Medium	31 Medium
Indeks for kutteringlevetid CLI	9.0	6.5	7.2	6.0	8.6	11.6		

Tabel 11 Nuuk: Elasticitetsmodul, Poissons forhold, σ_c , brudvinkel og lydhastighed. Der er både resultater fra forundersøgelser lavet i forbindelse med etableringen af vandkraftværket (GTO 1983a) og den senere udbygning (DGI 1993). Se også Figur 6

Reference	Prøvenr.	n	Bjergart	Lokalitet	Elasticitetsmodul \pm [Gpa]		Poissons forhold \pm		σ_c \pm [Mpa]		Brudvinkel \pm [°]		Lydhastighed \pm [m/s]	
DGI (1993)	1	5	Gnejs (granodioritisk)	KANG og ISTA	20.0	2.3	0.215	0.038	137.5	16.8	20	3	2623	245
-	2	5	Gnejs (dioritisk)	KANG og ISTA	24.6	1.8	0.158	0.027	149.3	15.1	20	3	2678	54
-	3*	5	Gnejs (monzonitisk)	KANG og ISTA	28.9	3.3	0.189	0.022	132.6	12.9	9	3	3638	206
-	4	5	Amfibolit	KANG og ISTA	69.1	15.3	0.156	0.017	169.5	21.5	9	4	5187	127
-	5	4	Gnejs (monzonitisk)	KANG og ISTA	26.6	2.7	0.151	0.014	149.4	17.5	27	2	3300	51
-	6*	5	Gnejs (granodioritisk)	KANG og ISTA	22.7	1.7	0.170	0.034	117.0	10.7	27	1	2707	75
GTO (1983a)	3	4	Gnejs	Buksefjorden					91.7	17.4				
-	4	4	Gnejs	Buksefjorden					118.0	30.7				
-	5	3	Gnejs	Buksefjorden					132.6	50.4				
-	6	4	Gnejs	Buksefjorden					140.9	28.2				
-	7	4	Gnejs	Buksefjorden					131.6	14.5				
-	8	4	Gnejs	Buksefjorden					137.9	22.1				

* Målinger foretaget på kerner boret 45° på foliationen. Andre kerner er boret vinkelret på foliationen

3.5 Fjeld- og sprængtensegenskaber: Paamiut

3.5.1 Referencer

Data fra Paamiut er indsamlet fra følgende kilde:

GTO (1983b) Vandkraftforundersøgelser. Anlægsteknik. 1983. Iterlaa. Paamiut/Frederikshåb. Grønlands Tekniske Organisation.

3.5.2 Paamiut vandkraft

GTO (1983b) beskriver GTOs anlægsforundersøgelser for et vandkraftanlæg ved Iterlaa i Paamiut. Fjeldet omkring Paamiut består hovedsagelig af gnejs (granodioritisk til tonalitisk), men der findes også en del doleritgange og amfibolit. Gnejsen i området er udpræget båndet og med tydelige bånd af lyse (feldspat og kvarts) og mørke (amfibol og/eller biotit) mineraler (GTO 1983b). Gnejsen er stort set fast og god, men parallelt med foliationen forekommer enkelte løse amfibolitiske zoner med relativt stor opsprækning (GTO 1983b). Af geoteknisk data findes to borbarhedsundersøgelser, der er vist i Tabel 12.

Tabel 12 Paamiut: Borbarhedsegenskaber. Tekst under talværdier repræsenterer klassifikation efter Bruland (1998b, Tabel A1). Se også Figur 1, 2, 3 og 4

Lokalitet	Iterlaa	Iterlaa
Reference	GTO (1983b)	GTO (1983b)
Prøvenavn	83001*	83002
Bjergart	Gabbro (mellemkornet)	Gnejs (granitisk, middel- til finkornet)
Sprødhedstal	59 Høj	43 Medium
Flisethed	1.28	1.39
Pakningsgrad	0	0
Densitet (g/cm ³)	2.94	2.67
Sievers J-værdi	24 Lav	4 Høj
Slitageværdi (Av)	4	35
Kvartsindhold	0	30
Borsynkindeks (DRI)	64 Høj	39 Lav
Boslitageindeks (BWI)	19 Meget lav	53 Høj

* Prøven er noget forvitret. Derfor kan disse resultater give et misvisende billede

3.6 Fjeld- og sprængstensegenskaber: Qaqortoq

3.6.1 Referencer

Data fra Qaqortoq er indsamlet fra følgende kilder:

GEO (2016b) Grønlandske lufthavne, geotekniske undersøgelser. Kartering af bjergarterne i Qaqortoq i forbindelse med forundersøgelser for mulig ny luft-havn. Geologisk kortlægning. Geo projekt-nr. 200648. Rapport 3, 2016-08-31

GEO (2018b) Grønlandske lufthavne, geotekniske undersøgelser. Laboratorierapport –Qaqortoq. Geo projekt-nr. 200648. Rapport 9, 2018-02-19, revision 2

3.6.2 Qaqortoq Lufthavn

3.6.2.1 Geologi

Fjeldene omkring Qaqortoq er domineret af bjergarten granodiorit. Granodioritten er lys og består af kvarts, feldspater og en mindre del mørke mineraler som biotit og hornblende. Kornstørrelsen er mellem- til grovkornet og bjergarten fremstår homogen og massiv (GEO 2016b). På den nuværende overflade ses en mindre grad af forvitring af feldspatterne så de fremstår rødlige, men i friske brud, eller hvor klippen har været dækket af tørv, er bjergarten frisk og uden forvitring (GEO 2016b). I området findes også en række finkornede basaltgange med tykkelser fra få cm til flere meter. Basaltgangene har flere steder bagt (kontakt metamorfoseret) granodioritten, så den delvist er opsmeltet, og flere steder er der dannet åre rige på kvarts. Ved kontakt med basalterne er granodioritten blevet opvarmet så kraftigt, at den op til 30 meter væk fra kontakten er bagt så hårdt, at den magmatiske tekstur er væk. Her er granodioritten omdannet til en kvartsitlignende bjergart (kvartsit), der har helt andre fysiske egenskaber end den upåvirkede granodiorit (GEO 2016b). I den forbindelse har den lokale vejentreprenør erfaret, at basalterne og den bagte granodiorit er væsentligt hårdere at bore i end den upåvirkede granodiorit (GEO 2016b). Udover en række forkastninger og deformationszoner er der mange subhorisontale sprækker i granodioritten. De subhorisontale sprækker er trykaflastningsprækker dannet efter isen er forsvundet fra området.

3.6.2.2 Fjeld- og sprængstensegenskaber

I forbindelse med den planlagte lufthavn i Qaqortoq skal der etableres en opbygning af sprængsten fra nærtliggende fjeldpartier. Der er taget prøver fra to forskellige lokaliteter og af to forskellige bjergarter, der repræsenterer bjergarterne i området. Prøverne er benævnt QAQ-A og QAQ-B:

QAQ-A - Prøvelokalitet: UTM zone 23 V 442390.00 m E 6736950.00 m N

QAQ-B - Prøvelokalitet UTM zone 23 V 442383.00 m E 6736999.00 m N

QAQ-A repræsenterer den upåvirkede granodiorit og består af kvarts (65 %), plagioklas (20 %), alkali feldspat (10 %) og en mindre del mørke mineraler som biotit og hornblende. QAQ-B skulle repræsentere den "bagte" granodiorit, men prøven er mørkere og har ikke de samme karakteristika som i felten (GEO 2018b). Mineralindholdet er gabbroisk og bestående af plagioklas (50%) og klinopyroxen (50%) (GEO 2018b). Begge prøver er fremstillet ved en nedskalling af kornkurven fra den oprindelige sprængsten og blevet undersøgt i laboratorieforsøg for at belyse sprængstenenes egnethed til anvendelse som indbygning (GEO 2018b). En oversigt over fjeld- og sprængstensegenskaber fremgår af Tabel 13. Borbarhedsegenskaber fremgår af Tabel 14.

Tabel 13 Qaqortoq: Fjeld- og sprængstensegenskaber. Alle resultatet er fra GEO(2018b) og lavet i forbindelse med den planlagte lufthavn i Qaqortoq. To forskellige resultatsæt er adskilt af forskelle i gråtoning. \pm : 1 Std

Egenskab	Enhed	Note	Værdi (\pm)	Værdi (\pm)
Refecence			GEO (2018b)	GEO (2018b)
Prøvenavn			QAQ-A	QAQ-B
Prøvetype			Modelsprængsten	Modelsprængsten
Bjergartstype			Granodiorit Mellem- grovkornet Homogen Massiv uden forvitring	Gabbro Kontaktmetamorfoseret (bagt) Mellemkornet Homogen Massiv
Mineralogi			Kvarts (65%) Plagioklas (20%) Orthoklas (10%) Biotit Hornblende	Plagioklas (50%) Klinopyroksen (50%)
Absorption	%		0.69 (0.04)	0.72 (0.06)
Sfæricitet		B > 64 mm 31.5 mm < B < 64 mm 16 mm < B < 31.5 mm 8 mm < B < 16 mm 4 mm < B < 8 mm Alle Målinger	0.67 (0.07) 0.67 (0.1) 0.67 (0.05) 0.6 (0.09) 0.73 (0.11) 0.67 (0.1)	0.7 (0.08) 0.64 (0.12) 0.58 (0.13) 0.7 (0.09) 0.66 (0.13) 0.66 (0.12)
Affladning		B > 64 mm 31.5 mm < B < 64 mm 16 mm < B < 31.5 mm 8 mm < B < 16 mm 4 mm < B < 8 mm Alle Målinger	2.23 (0.76) 1.79 (0.4) 2.01 (0.28) 2.67 (0.93) 1.88 (0.68) 2.12 (0.73)	2.05 (0.54) 2.29 (0.79) 2.7 (0.91) 2.09 (0.73) 2.13 (0.81) 2.25 (0.8)
Lejring				
Fasteste lejring (emin)			0.54	0.53
Løeste lejring (emax)			0.7	0.67
Styrkeegenskaber				
Effektiv friktionsvinkel (ϕ')	°		≥ 20	≥ 3.6
Effektiv kohæsion (c')	kPa		≥ 63	≥ 67
Frost/tø påvirkninger - (F)	%	8 - 16 mm	0.3	0.2
Kritisk friktionsvinkel (ϕ'_{krit})	°		42	41.7
Los Angeles slidprocent	%		31	21
Deformationsegenskaber (ved e_{min})				
Krybningens dekadehældning (ϵ_s)	% / lct		0.02 -0.15 for $\sigma_1 \leq 720$ kPa	0.01 -0.12 for $\sigma_1 \leq 720$ kPa
Dekadehældning (Q)	% / lcs	Q600-720	5.4	5
Oedometer modulus (E_{oed})	MPa	Eoed, 50-100 KPa Eoed, 100-200 KPa Eoed, 100-400 KPa Eoed, 100-600 KPa	139 660 544 311	132 476 462 287

Lokalitet	Lufthavn	Lufthavn
Reference	GEO (2018b)	GEO (2018b)
Prøvenavn	QAQ-A	QAQ-B
Bjergart	Granodiorit	Gabbro
Sprødhedstal	54.2 Høj	50.4 Medium
Flisethed	1.28	1.38
Pakningsgrad	1	2
Densitet (g/cm³)	2.72	2.83
Sievers J-værdi	10.3 Medium	17.2 Medium
Slitageværdi (AV)	7.5 Lav	3.5 Meget lav
Kvartsindhold	65	0
Borsynkindeks (DRI)	54 Medium	53 Medium
Boslitageindeks (BWI)	27 Lav	24 Lav

Tabel 14 Qaqortoq: Borbarhedsegenskaber. Tekst under talværdier repræsenterer klassifikation efter Bruland (1998b, Tabel A1). Se også Figur 1, 2, 3 og 4

3.7 Fjeld- og sprængtensegenskaber: Sisimiut

3.7.1 Referencer

Data fra Sisimiut er indsamlet fra følgende kilder:

Bøtke-Rasmussen S, Langvardt M A (2013) Havnebefæstelser i Arktis. Industriel projektering. Afgangprojekt, Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet. <http://find.artek.byg.dtu.dk/pubs/report/409/>

Dahl M (2009) Tekniske undersøgelser for anlægsarbejde i fjeld i Grønland. Rapporten. Afgangprojekt forår 2009, Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet. <http://find.artek.byg.dtu.dk/pubs/report/130/>

Falch E (2013) Detaljprojektering av planlagt svømmehall i berg i Sisimiut, Grønland. Masteropgave, Institutt for geologi og bergteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

GEO (2017b) Sisimiut. Svømmehal i fjeld. Geotekniske forundersøgelser. Geo projekt nr. 201606. Rapport 1, 2017-11-02

Hedberg J A, Henningsen S, Robbert P A, Trads N (2003) Bedømmelse af fjeldkvalitet i Sisimiut og Utoqqaat – i forbindelse med fjeldrums- og vejkonstruktion. Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet. <http://find.artek.byg.dtu.dk/pubs/report/268/>

Larsen H S (2009) Forundersøgelser for anlæggelse af svømmehal i fjeld. Hovedrapporten. Eksamenprojekt efteråret 2008, Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet. <http://find.artek.byg.dtu.dk/pubs/report/98/>

Møller D E (2009) Sonic Methods and Rock Mass Classification related to Tunnelling in Greenland. Arctic Diploma Project, Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet. <http://find.artek.byg.dtu.dk/pubs/report/442/>

3.7.2 Regional Geologi

Fjeldet i Sisimiut består hovedsagligt af en mellem- til grovkornet, svagt folieret, tonalitisk til dioritisk gnejs med mindre eller mere udbredte amfibolitiske lag. Foliationen er øst-vestlig. Teksturen er til tider granoblastisk (ikke folieret). Gnejsen kaldes til tider charnockite pga. dens indhold af orthopyroxen. Gnejsens nuværende overflade er kun i mindre grad præget af forvitring og i nye brud er gnejsen helt frisk. Enkelte steder forekommer pegmatitiske bånd. I bunden af Ulkebugten findes en magmatisk intrusion af rød alkalifeldspat granit.

3.7.3 Svømmehalsprojektet i Sisimiut

GEO (2017b) har udført geotekniske undersøgelser til en svømmehal i fjeldet syd for Spejdersøen. I fjeldet bores 5 kerneboringer af 50m med en inklination på mellem 16° og 30° mod lodret. Borekernerne, benævnt 128, 129, 130, 131 og 132, består af ensartet grå gnejs og er stedvist sprækket. Bjergspændingsmålingerne viser at den største horisontalspænding har orienteringen SSØ-NNV og mindste horisontalspænding har

orientering ØNØ-VSV (GEO 2017b). Der er udført point load test (Tabel 15), Brazil forsøg (Tabel 16), Enakset trykforsøg (Tabel 17), borbarhedsundersøgelser (Tabel 18) og Lugeon forsøg (ikke vist) på kerneboringerne.

3.7.4 Studenterrapporter

I forbindelse med uddannelsesaktiviteter ved Arctic DTU Sisimiut - Ilinniarfeqarfik Sisimiut er der i gennem årene udarbejdet en række studenterrapporter, der indeholder undersøgelser af de lokale bjergarters mekaniske egenskaber. Der er bl.a. tale om point load test, brazil forsøg, enakset trykforsøg og borbarhedsegenskaber. Resultaterne herfra er vist i Tabel 15, 16 og 17. Det gøres opmærksom på, at der i studenterrapporterne bør tages forbehold for eventuelle metodefejl.

Tabel 15 Sisimiut: Point load test. Der er ingen tilsyneladende sammenhæng mellem densitet, dybde og $I_{s(50)}$. n: antal målinger.

Se også Figur 5

Bjergart	Boring	Lab nr.	Kote [m]	Dybde [m.u.t]	ρ [g/cm ³]	n	P [MPa]	$I_{s(50)}$ [MPa]	Type	Reference
Gnejs	128	1	70.3	10.4	2.89	1	12.5	8.16	Aksial	GEO (2017b)
-	-	3	-	22.4	2.73	1	14.1	7.84	Aksial	-
-	-	5	-	26.4	2.72	1	15.8	8.30	Aksial	-
-	-	6	-	33	2.74	1	16.8	9.67	Aksial	-
Gnejs	129	25	69.3	11.2	2.91	1	12.0	8.39	Aksial	-
-	-	28	-	18.6	2.88	1	11.7	9.06	Aksial	-
-	-	29	-	27.4	2.91	1	6.02	4.41	Aksial	-
-	-	39	-	38.3	2.77	1	10.3	6.02	Aksial	-
Gnejs	130	9	69.5	18	2.73	1	14.3	7.42	Aksial	-
-	-	12	-	7.33	2.82	1	10.6	7.94	Lump	-
-	-	13	-	26.7	2.75	1	12.1	8.86	Aksial	-
-	-	16	-	35.7	3.04	1	3.72	7.67	Diametral	-
Gnejs	131	17	71.1	12.7	2.79	1	10.8	7.20	Aksial	-
-	-	20	-	20.5	2.83	1	10.8	8.14	Aksial	-
-	-	21	-	24.7	2.79	1	12.7	9.30	Aksial	-
-	-	24	-	31.3	2.85	1	4.34	3.98	Lump	-
Gnejs	132	33	67.6	7.07	2.7	1	6.28	4.86	Aksial	-
-	-	34	-	14.4	2.64	1	5.09	3.94	Aksial	-
-	-	37	-	21.3	3.03	1	6.28	4.73	Aksial	-
-	-	38	-	28.3	2.67	1	8.95	6.93	Aksial	-
Gnejs				0	2.92	6		3.92	Blok	Larsen (2009)**
Gnejs (\perp)						10		6.25		Hedberg et.al.(2003)**
Gnejs (\parallel)						4		4.46		-
Kvartsit						4		7.28		-
Gnejs (forvitret)						8		1.45		-
Gnejs*		A			3.03	4		10.4	Aksial	Dahl (2009)**, Møller (2009)**
Gnejs		B			2.79	3		10.5		-
-		C			2.65	3		7.72	Aksial	-
Granit*		D			2.61	7		6.6		-
Gnejs		E			2.8	7		7.77		-
Øjegnejs (biotitisk)		F-0			2.84	4		3.88	Blok	-
-		F-30			2.84	3		2.4	Blok	-
-		F-60			2.84	7		2.68	Blok	-
-		F-90			2.84	1		2.76	Blok	-
-		F-pt			2.84	5		2.65	Blok	-
Gnejs		Akia 1		0	2.69	8		4.4		Bøtke-Rasmussen & Langvardt (2013)**
-		Akia 2		0	2.81	8		5.1		-
-		Akia 3		0	2.8	8		5.4		-
-		Akia 4		0	2.69	8		6.4		-
-		Schmidt 1		0	2.72	8		7.6		-
-		Ulkebugt 1		0	2.68	8		4.9		-

* Bjergartsbestemmelsen er usikker

** Studenterrapport

Tabel 16 Sisimiut: Brazil forsøg. Der er ingen tilsyneladende sammenhæng mellem densitet, dybde og σ_c . n: antal målinger. Se også Figur 6

Bjergart	Boring	Lab no.	Kote [m]	Dybde [m.u.t]	ρ [g/cm ³]	n	σ_c [MPa]	Reference
Gnejs	128	4	70.3	22.4	2.72	1	10.3	GEO (2017b)
-	-	7	-	33.1	2.78	1	10.9	-
-	129	26	69.3	11.3	2.9	1	9.4	-
-	-	31	-	38.3	2.73	1	7.0	-
-	130	10	69.5	18.1	2.74	1	7.6	-
-	-	14	-	26.7	2.77	1	11.0	-
-	131	18	71.1	12.7	2.79	1	9.8	-
-	-	22	-	24.7	2.74	1	10.4	-
-	132	35	67.6	14.4	2.68	1	7.6	-
-	-	39	-	28.3	2.68	1	10.3	-
Gnejs*		A			3.03	3	9.95	Dahl (2009)**, Møller (2009)**
Gnejs		B			2.79	3	9.84	Dahl (2009)**, Møller (2009)**
Gnejs		C			2.65	3	7.86	Dahl (2009)**, Møller (2009)**
Granit*		D			2.61	1	10.67	Møller (2009)**
Gnejs		E			2.8	1	8.09	Møller (2009)**
Øjgnejs (biotitisk)		F-0			2.84	1	3.24	Møller (2009)**
Granit*		D			2.61	1	16.8	Dahl (2009)**
Gnejs		E			2.8	1	12.7	Dahl (2009)**
Gnejs		Akia bugt			2.69	9	7.06	Bøtker-Rasmussen & Langvardt (2013)**
-		Akia bugt			2.8	5	9.43	-
-		Akia bugt			2.69	5	5.69	-
-		Stenbrud			2.72	7	9.95	-
-		Ulkebugt			2.68	3	5.88	-

* Bjergartsbestemmelsen er usikker

** Studenterrapport

Tabel 17 Sisimiut: Enakset trykforsøg. For forsøg udført af GEO (2017b) havde forsøgsopstillingen et maksimalt tryk på 100 MPa og prøverne var ikke udsat for brud. Se også Figur 6

Bjergart	Boring	Lab no.	Kote [m]	Dybde [m.u.t]	ρ [g/cm ³]	N	σ_c [MPa]	E_{50} [MPa]	E [Gpa]	Reference
Gnejs	128	2	70.3	22.3	2.72	1	>100.7	35800		GEO (2017b)
-	-	8	-	33.1	2.71	1	>101.5	40750		-
-	129	27	69.3	11.3	2.89	1	>101.4	36200		-
-	-	32	-	38.3	2.73	1	101.2	38100		-
-	130	11	69.5	18.1	2.74	1	>101.5	41100		-
-	-	15	-	26.8	2.83	1	>101.5	38400		-
-	131	19	71.1	12.7	2.80	1	>101.6	39700		-
-	-	23	-	24.7	2.78	1	>101.7	39750		-
-	132	36	67.6	14.5	2.68	1	100.7	23700		-
-	-	40	-	28.3	2.73	1	>101.4	23700		-
Gnejs				5.9	2.72		203		67.2	Hedberg et.al.(2003)**
-				5.8	2.80		75		75.4	-
-				11.8	2.86		193		81.3	-
-				11.9	2.98		187		87.5	-
Gnejs*		A			3.03	3	151.6			Dahl (2009)***, Møller (2009)**
Gnejs		B			2.79	2	137.5			-
Gnejs		C			2.65	3	132			-
Granit*		D			2.61	2	180			-
Gnejs		E			2.80	2	114.6			-
Øjgnejs (biotitisk)		F			2.84	2	34.4			-
Gnejs		BH3-1		80	2.86		237.4			Falch (2013)**
-		BH3-2		80	2.85		212.2			-
-		BH3-3		80	3.04		176.8			-
-		BH3-4		80	3.00		155			-
-		BH2-1		57	2.80		201.4			-
-		BH2-2		57	2.87		173.1			-
-		BH2-3		57	2.73		233.1			-

* Bjergartsbestemmelsen er usikker

** Studenterrapport

Tabel 18 Sisimiut: Borbarhedsegenskaber. Tekst under talværdier repræsenterer klassifikation efter Bruland (1998b, Tabel A1).

Se også Figur 1, 2, 3 og 4

Lokalitet	Svømmehalsprojektet
Reference	Larsen (2009)
Prøvenavn	1
Bjergart	Gnejs
Sprødhedstal	59.2 Høj
Flisethed	1.31
Pakningsgrad	1
Densitet (g/cm³)	2.92
Sievers J-værdi	32.6 Lav
Slitageværdi (AV)	7 Lav
Slitageværdi cutter steel (AVS)	21.5
Kvartsindhold	6
Borsynkindeks (DRI)	65 Høj
Boslitageindeks (BWI)	20 Meget lav

3.8 Fjeld- og sprængstensegenskaber: Uummannaq

Resultaterne fra en enkelt borbarhedsundersøgelse foretaget i Uummannaq er vist Tabel 19.

Tabel 19 Uummannaq: Borbarhedsegenskaber. Tekst under talværdier repræsenterer klassifikation efter Bruland (1998b, Tabel A1). Se også Figur 2, 3 og 4

Lokalitet	Uummannaq
Reference	Bruland (1998b)
Prøvenavn	94122
Bjergart	Gnejs
Sprødhedstal	47.7 Medium
Flisethed	
Pakningsgrad	
Densitet (g/cm³)	
Sievers J-værdi	3.1 Meget høj
Slitageværdi (AV)	31
Slitageværdi cutter steel (AVS)	
Kvartsindhold	29
Borsynkindeks (DRI)	42 Lav
Boslitageindeks (BWI)	49 Høj

4 SAMMENSTILLING AF FJELD- OG SPRÆNGSTENSEGENSKABER

I dette afsnit sammenstilles udvalgte fjeld- og sprængstensegenskaber fra forskellige lokaliteter, officielle grønlandske anvisninger og erfaringsværdier fra Norge.

4.1 Udvidelsesfaktor

Tabel 20 viser udvidelsesfaktor fra fast bjerg for grønlandske bjergarter og lokaliteter samt Norske erfaringsværdier for udvidelsesfaktor. Udvidelsesfaktoren vil erfaringsmæssigt i høj grad være påvirket af sprængstenenes kornkurve (DGI 1976, 1977d). Erfaringstal for udvidelsesfaktor i forbindelse med udlæg og komprimering af sprængsten er vist i Tabel 21 (DGI 1977d).

Vi har ingen Grønlandske data for udvidelsesfaktor under vand, men Norske erfaringsværdier viser en udvidelsesfaktor på 1.50 - 1.55 for sprængstensfyldninger under vand (Vegvesen 2014). Ved fyldning under vand er det vigtigt at være opmærksom på, at man skal bruge meget mere sprængstensfyld end teoretisk beregnet i profilerne, nogle gange helt op til 20 %. Årsagen er, at god del sprængsten havner uden for fyldningsprofilen pga. unøjagtig fyldning eller stærk strøm, og at noget af sprængstensmassen går til at fortrænge løse materialer (Vegvesen 2014).

Tabel 20 Udvidelsesfaktor fra fast bjerg ved fasteste lejring (e_{min}) for forskellige bjergarter og lokaliteter

Lokalitet	Bjergart	Reference	Udvidelsesfaktor fra fast bjerg ved fasteste lejring (e_{min})	
			På land	Under vand
Ilulissat	Dolerit	GEO (2017a)	1.59	
	Gnejs	GEO (2017a)	1.60	
Maniitsoq	Gnejs	DGI (1994)	1.19	
Nuuk	Gnejs	DGI (1976)	1.42	
	Gnejs	GEO (2018a)	1.64	
Qaqortoq	Granodiorit	GEO (2018b)	1.54	
	Gabbro	GEO (2018b)	1.53	
Erfaringsværdier fra Norge		Vegvesen (2014)	1.35 - 1.45	1.50 - 1.55

Behandling	Udvidelsesfaktor
Løseste lejring	1.75 - 1.85
Læsset på dumper	1.65 - 1.75
Dozer udbredt	1.5 - 1.6
Dozet og komprimeret, 2 m lag	1.4
Dozet og komprimeret, 1 m lag	1.3

Tabel 21 Erfaringstal for udvidelsesfaktor i forbindelse med udlæg og komprimering af sprængsten i Nuuk. Komprimering er foretaget med en 15 t vibrationstromle. Den maksimale stenstørrelse svarer til 2/3 af lagtykkelsen. Data fra DGI (1976, 1977d).

4.2 Skråningsanlæg

Tabel 22 viser erfaringsværdier for kritisk friktionsvinkel og tilhørende stejleste stabile skråningsanlæg for forskellige bjergarter og lokaliteter samt grønlandske og norske anvisninger. Geometrien af en fyldning og fyldningsområdet er bestemt af profil og skråningsanlæg. Under normale forhold, og når man har adgang til sprængsten af god kvalitet og gunstig kornstørrelsesfordeling, anbefales det i Grønland at bruge skråningsanlæg 1:1 – 1.5 (Tabel 22). Kritiske friktionsvinkler for grønlandske sprængsten viser at skråningsanlæg $\geq 1:1.3$ umiddelbart kan anvendes (Tabel 22).

Erfaringsværdier fra Norge viser, at det stejleste stabile skråningsanlæg er afhængig af sprængstenskvaliteten. Opfyldninger, der bygges op af sprængsten med dårlig kvalitet, ugunstig kornstørrelsesfordeling (meget finstof) og/eller skifrig kornform (høj flisethedstal) har et betydeligt lavere stabil skråningsanlæg end opfyldninger af god stenkvalitet og kubisk kornform (Tabel 22, Vegvesen 2014). Eksempler på sten af god kvalitet er granit, gabbro og gnejs. Eksempler på dårlig stenkvalitet er skifer, glimmerskifer og andre stærkt forvitrede og skifrige bjergarter. Ligeledes vil udlægning under vand medfører større skråningsanlæg end over vand, grundet dynamiske forhold under udlejring (DGI 1994).

Tabel 22 Kritisk friktionsvinkel og tilhørende stejleste stabile skråningsanlæg af sprængsten for forskellige bjergarter og lokaliteter. Anvisninger til skråningsanlæg for sprængsten er også vist

Lokalitet	Bjergart	Reference	Kritisk friktionsvinkel [°]	Skråningsanlæg			
				God stenkvalitet og kubisk kornform		Dårlig stenkvalitet og/eller skifrig kornform	
				Over vand	Under vand	Over vand	Under vand
Ilulissat	Dolerit	GEO (2017a)	38.3	1 : 1.27*			
	Gnejs	GEO (2017a)	39.4	1 : 1.22*			
Maniitsoq	Gnejs	DGI (1994)	50	1 : 0.84* (1 : 1.25)**	(1 : 1.45)**		
Nuuk	Gnejs	DGI (1976)	≥ 45	1 : ≤ 1 *			
	Gnejs	GEO (2018a)	41.5	1 : 1.13*			
Qaqortoq	Granodiorit	GEO (2018b)	42	1 : 1.11*			
	Gabbro	GEO (2018b)	41.7	1 : 1.12*			
Officielle grønlandske anvisninger for bygdeveje		GTO (1984)		1 : 1			
Officielle grønlandske anvisninger for veje		GTO (1987)		1 : 1-1.5			
Anvisninger for kommuneveje i Nuuk		Viatrafik (2013)		1 : 1.5			
Erfaringsværdier fra Norge		Vegvesen (2014)		1.25	1 : 1.3	1 : 1.4	1 : 1.5-2

* udregnet fra den kritiske friktionsvinkel og repræsenterer altså stejleste stabile skråningsanlæg

**DGI (1994) anbefaler et skråningsanlæg på 1.25 ved opbygning over vand og 1.45 ved udlægning under vand.

4.3 Los Angeles slidprocent

Tabel 23 viser erfaringsværdier for Los Angeles slidprocent for forskellige bjergarter og lokaliteter. Gnejs fra Ilulissat har en Los Angeles slidprocent på 41 %, hvilket indikerer en relativ høj grad af nedknusning af materialet i forbindelse med uddozing og komprimering (DGI 1994). Gabbro fra Qaqortoq har den mindste Los Angeles slidprocent (21 %, Tabel 23). Norske anvisninger til Los Angeles slidprocent ved brug af knuste stenmaterialer til forstærkningslag og bærelag er vist i Tabel 24. Bemærk at der i Norge generelt stilles noget højere krav til Los Angeles slidprocent, når det gælder produktion af asfalt (Tabel 25, Vegvesen 2018).

Tabel 23 Lost Angeles slidprocent for forskellige bjergarter og lokaliteter

Lokalitet	Bjergart	Reference	Los Angeles slidprocent [%]
Ilulissat	Gnejs	GEO (2017a)	41
Maniitsog	Gnejs	DGI (1994)	38
Nuuk	Gnejs	DGI (1977b)	31
	Gnejs	GEO (2018a)	36
Qaqortoq	Granodiorit	GEO (2018b)	31
	Gabbro	GEO (2018b)	21

Tabel 24 Norske anvisninger til Los Angeles slidprocent ved brug af knuste stenmaterialer til forstærkningslag og bærelag. Data fra Vegvesen (2018)

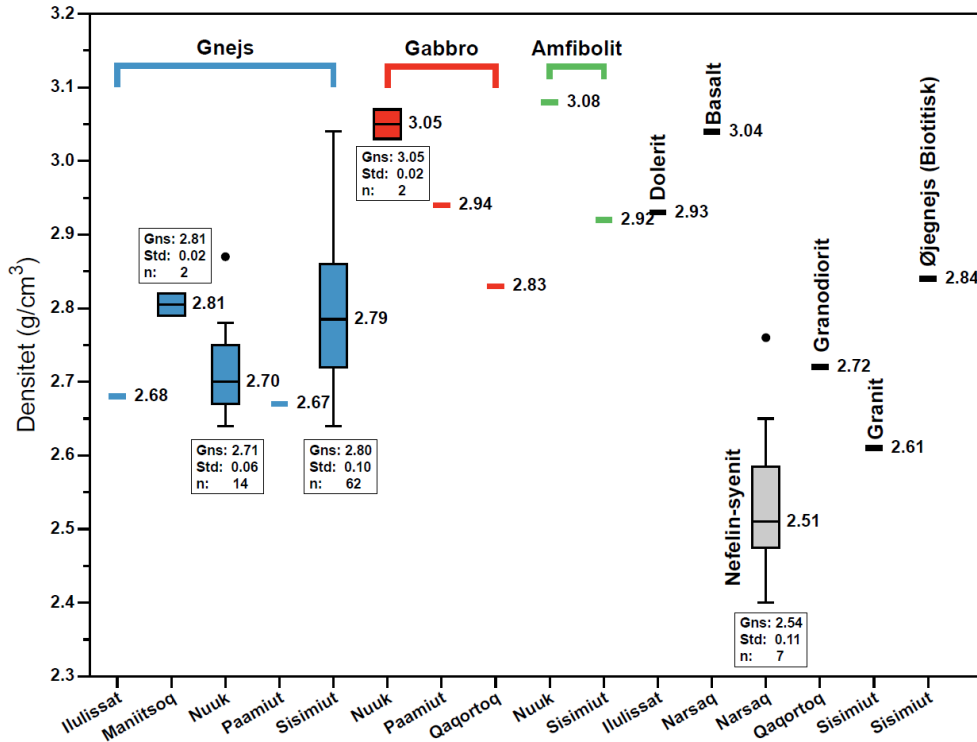
Ækvivalente 10 - tons aksler	Krav til Los Angeles slidprocent
< 500.000	≤ 40
> 500.000	≤ 35

Tabel 25 Norske anvisninger til Los Angeles slidprocent for stenmaterialer i asfaltbærelag og asfaltlag. Modificeret og forsimplet efter Vegvesen (2018)

ADT	≤ 300	301 - 1500	1501 - 3000	3001 - 5000	5001 - 15000	> 15000
Bituminøse bærelag						
Krav til Los Angeles slidprocent	≤ 40	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 30	≤ 30
Varmproduceret asfaltlag						
Krav til Los Angeles slidprocent	≤ 40	≤ 35	≤ 30	≤ 30	≤ 25	≤ 20

4.4 Densitet

Figur 1 viser erfaringsværdier for forskellige bjergarters densitet fra forskellige lokaliteter.



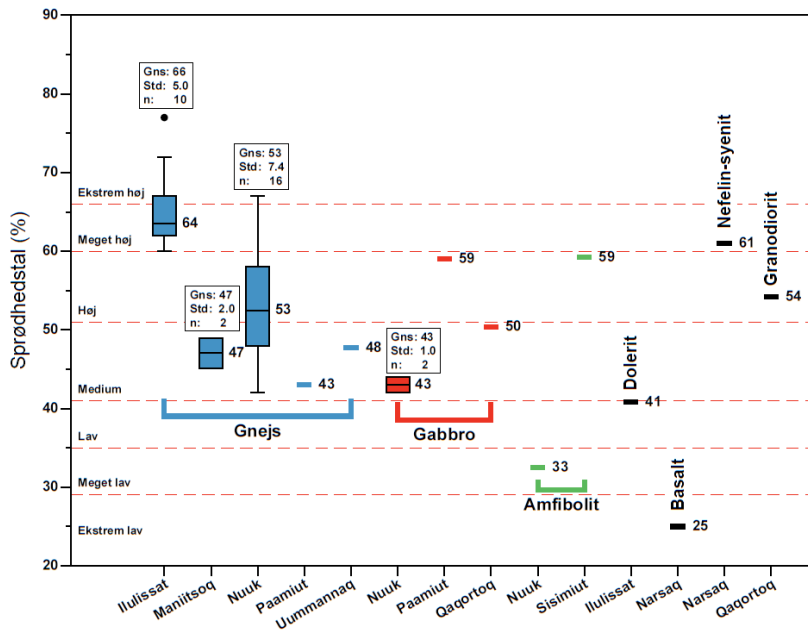
Figur 1 Boksplot: Densitet – sammenstilling af forskellige bjergartstyper og lokaliteter. Data fra gnejs, gabbro, amfibolit og Nefelin-syenit er plottet i hhv. blå, rød, grøn og grå. Andre bjergartstyper er plottet med sort. Tallene ved siden af de enkelte boksplot repræsenterer medianen. I de tilfælde hvor der er mere end én måling pr. bjergart pr. sted er gennemsnit (Gns), standardafvigelse (Std) og antal målinger (n) anført i en tekstboks over eller under det relevante boksplot. Hvert enkelt boks er tegnet omkring det indre kvartilområde (IQR), hvor IQR er forskellen mellem første og tredje kvartil. Outliers (1.5 gange ud over IQR) er vist som sorte i cirkler. Data fra Tabel 3,6,8,10, 12, 14, 18

4.5 Sprødhedstal og flisethed

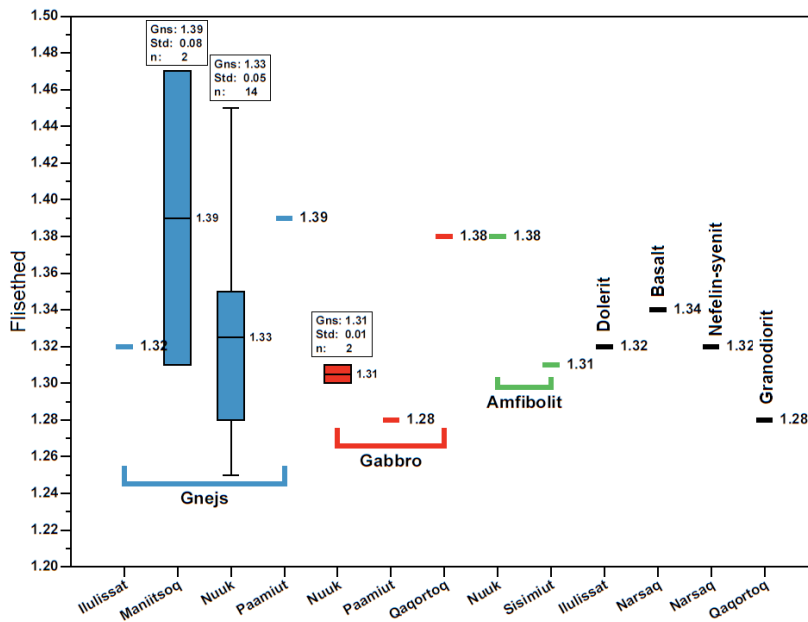
Figur 2 viser erfaringsværdier for sprødhedstal og flisethed for forskellige bjergartstyper og lokaliteter. Et godt sprængstensmateriale er kendetegnet ved et lavt flisethedstal, som giver en mindre risiko for at sprængsten knækker under tromling og trafik, og et lavt sprødhedstal, der giver reduceret nedknusning. Tabel 26 viser Norske krav til flisethed ved brug af knuste stenmaterialer til bærelag.

Tabel 26 Norske krav flisethed ved brug af knuste stenmaterialer til bærelag, asfaltbærelag og asfaltlag

Krav til flisethed (Vegvesen 2013, 2018)	≤ 1.40 – 1.45
---	---------------



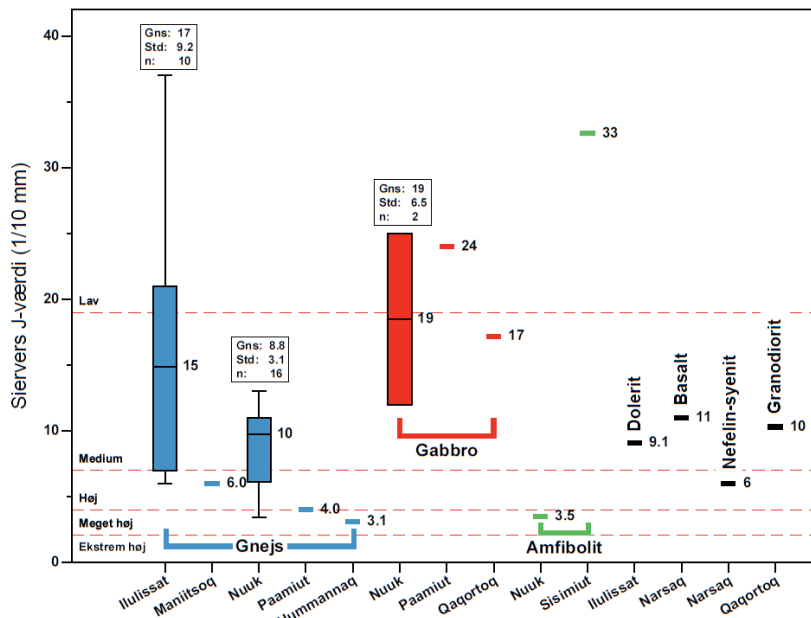
Figur 2 Boksplot: Sprødhedstal og flisethed – sammenstilling af forskellige bjergartstyper og lokaliteter. Data fra gnejs, gabbro, amfibolit er plottet i hhv. blå, rød, grøn. Andre bjergartstyper er plottet med sort. Tallene ved siden af de enkelte boksplot repræsenterer medianen. I de tilfælde hvor der er mere end én måling pr. bjergart pr. sted er gennemsnit (Gns), standardafvigelse (Std) og antal målinger (n) anført i en tekstboks over eller under det relevante boksplot. Hvert enkelt boks er tegnet omkring det indre kvartilområde (IQR), hvor IQR er forskellen mellem første og tredje kvartil. Outliers (1.5 gange ud over IQR) er vist som sorte i cirkler. Røde horisontale stiplede linjer klassificerer sprødhedstal efter Dahl et al. (2012) i kategorierne *ekstrem lav*, *meget lav*, *lav*, *medium*, *høj*, *meget høj* og *ekstrem høj* (Se Tabel A1). Data fra Tabel 3,6,8,10, 12, 14, 18 og 19



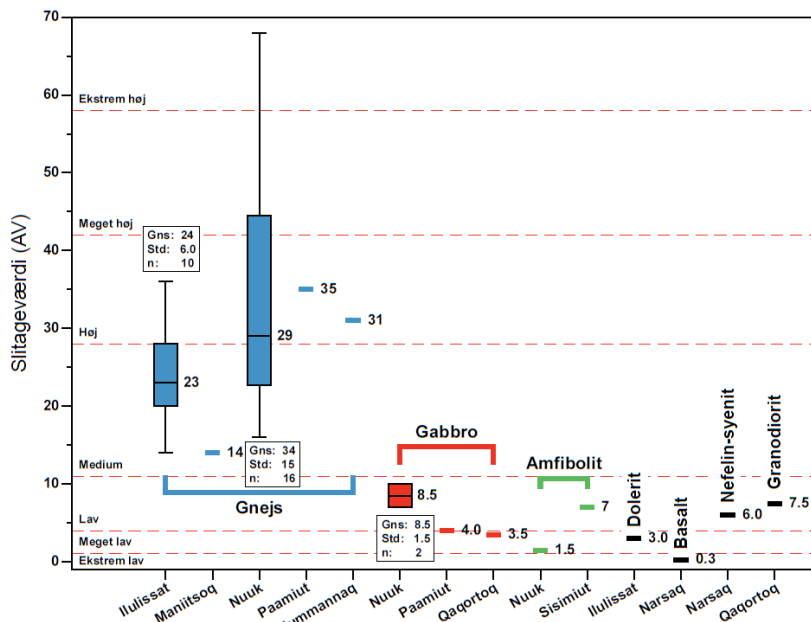
4.6 Borbarhed

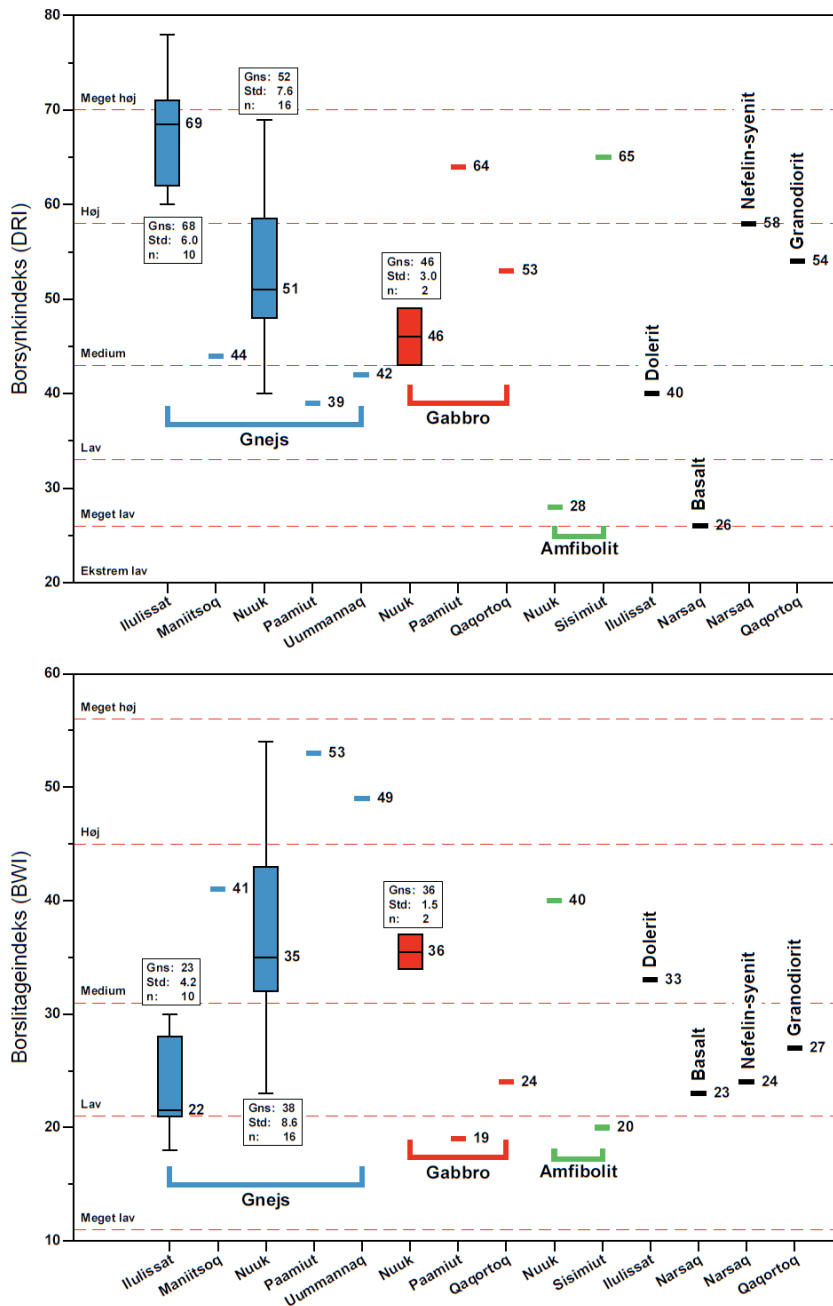
Figur 3 og 4 viser erfaringsværdier for sievers J-værdi, slitageværdi, **DRI** og **BWI** for forskellige bjergartstyper og lokaliteter. Fjeldets borbarhed er et mål for en bjergarts evne til at modstå et bors indtrængning og har som sådan en væsentlig betydning for økonomi, tidsforbrug og valg af boreudstyr ved sprængningsarbejder.

Borbarheden illustreres ved de indirekte mål DRI og BWI. Jo større DRI, des større nedsynkning af boret pr. minut. Jo mindre BWI, des mindre slid på boret. Der vil normalt for de fleste bjergarter være den sammenhæng, at en lav DRI medfører en høj BWI og omvendt. Bemærk at DRI og BWI beskriver borbarheden i forhold til en homogen bjergart, dvs. en bjergart uden sprækker.



Figur 3 Bokplot: Sievers J-værdi og slitageværdi – sammenstilling af forskellige bjergartstyper og lokaliteter. Data fra gnejs, gabbro, amfibolit er plottet i hhv. blå, rød, grøn. Andre bjergartstyper er plottet med sort. Tallene ved siden af de enkelte bokplot repræsenterer medianen. I de tilfælde hvor der er mere end én måling pr. bjergart pr. sted er gennemsnit (Gns), standardafvigelse (Std) og antal målinger (n) anført i en tekstboks over eller under det relevante bokplot. Hvert enkelt boks er tegnet omkring det indre kvartilområde (IQR), hvor IQR er forskellen mellem første og tredje kvartil. Stiplede røde horisontale linjer klassificerer sievers J-værdi og slitageværdi efter Dahl et al. (2012) i kategorierne *ekstrem lav, meget lav, lav, medium, høj, meget høj og ekstrem høj* (se Tabel A1). Data fra tabel 3,6,8,10, 12, 14, 18 og 19

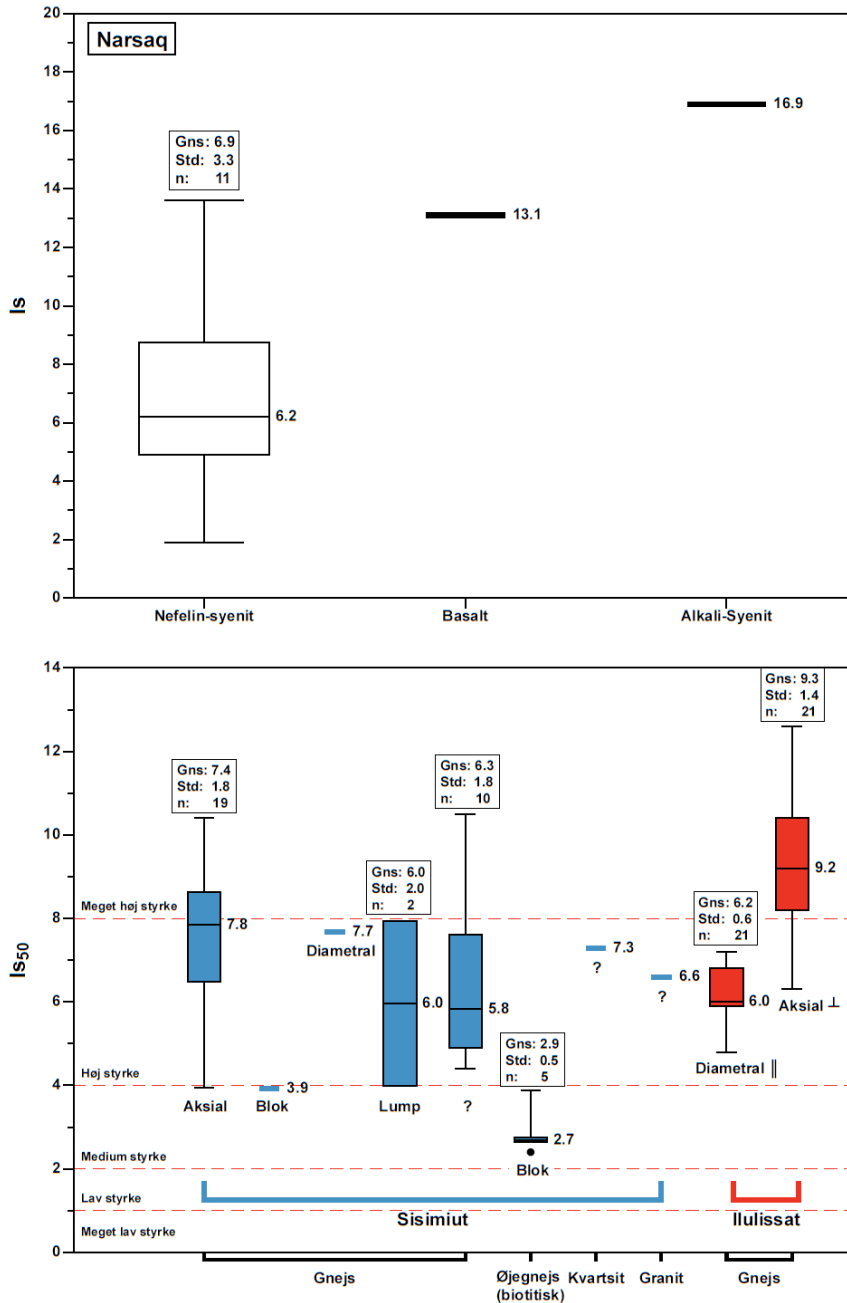




Figur 4 Boksplot: Borsynkindeks (DRI) og borslitageindeks (BWI) – sammenstilling af forskellige bjergartstyper og lokaliteter. Data fra gnejs, gabbro, amfibolit er plottet i hhv. blå, rød, grøn. Andre bjergartstyper er plottet med sort. Tallene ved siden af de enkelte boksplot repræsenterer medianen. I de tilfælde hvor der er mere end én måling pr. bjergart pr. sted er gennemsnit (Gns), standardafvigelse (Std) og antal målinger (n) anført i en tekstboks over eller under det relevante boksplot. Hvert enkelt boks er tegnet omkring det indre kvartilområde (IQR), hvor IQR er forskellen mellem første og tredje kvartil. Stiplede røde horisontale linjer klassificerer DRI og BWI efter Bruland (1998a) i kategorierne *ekstrem lav*, *meget lav*, *lav*, *medium*, *høj*, *meget høj* og *ekstrem høj* (se Tabel A1). Data fra tabel 3,6,8,10, 12, 14, 18 og 19

4.7 Point load indeks

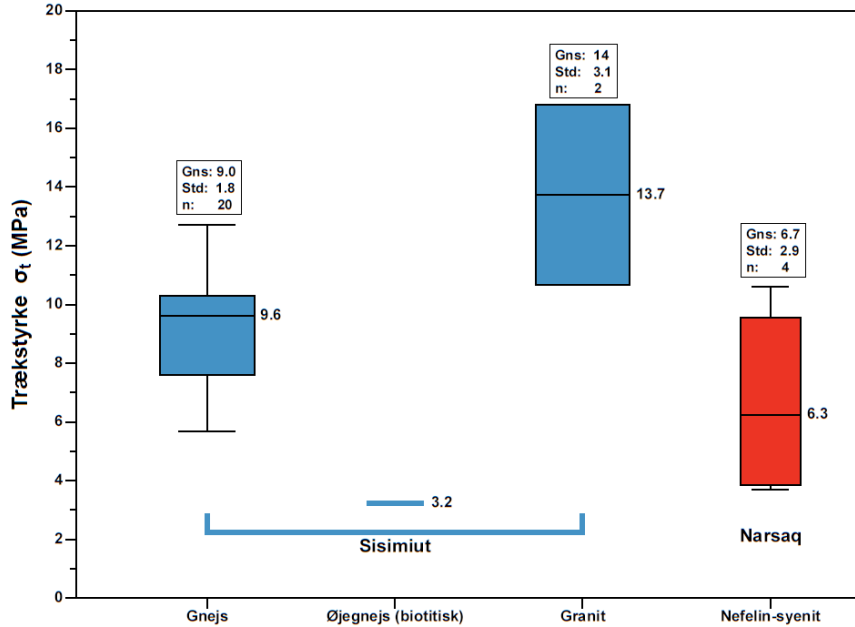
Figur 5 viser I_s -værdier fra bjergarter i Narsaq og I_{s50} -værdier fra bjergarter i Sisimiut og Ilulissat.



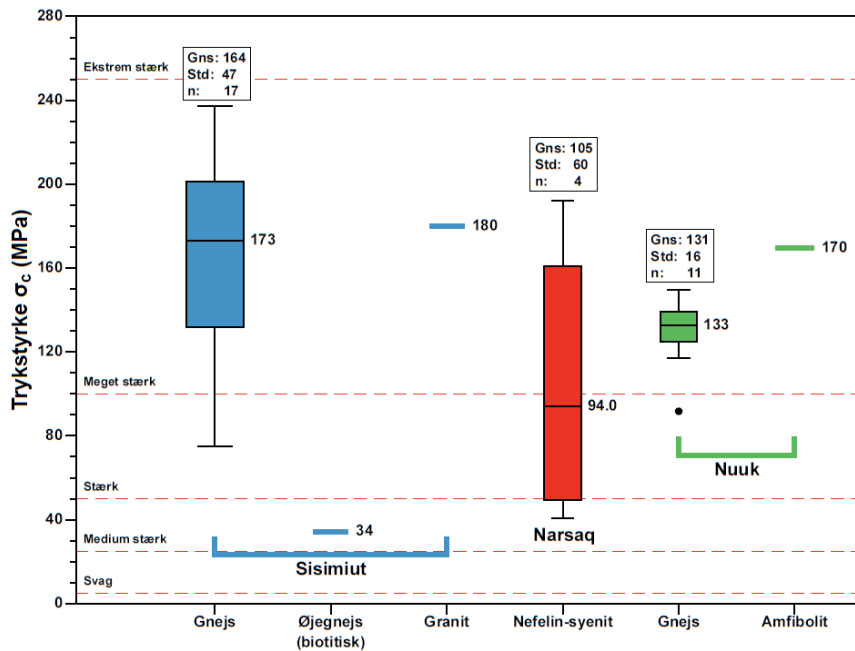
Figur 5 Boksplot: Point load styrkeindeks – sammenstilling af forskellige bjergartstyper og lokaliteter. I_s -værdier for bjergarter i Narsaq (øverst) og I_{s50} -værdier fra bjergarter i Sisimiut (blå) og Ilulissat (rød). En forvitret prøve fra Sisimiut er ikke medtaget i beregningerne (se Tabel 15). Tallene ved siden af de enkelte boksplot repræsenterer medianen. Aksial: aksiale forsøg. Blok: blokforsøg. Diametral: diametrale forsøg. Lump: lumpforsøg. ? : ukendt forsøgstype. ⊥ : forsøg udført vinkelret på foliationen (bjergets "lagdeling"). || forsøg udført parallelt med foliationen. I de tilfælde hvor der er mere end én måling pr. bjergart pr. sted er gennemsnit (Gns), standardafvigelse (Std) og antal målinger (n) anført i en tekstboks over eller under det relevante boksplot. Hvert enkelt boks er tegnet omkring det indre kvartilområde (IQR), hvor IQR er forskellen mellem første og tredje kvartil. Stiplede røde horisontale linjer klassificerer I_{s50} efter Bieniawski (1984) kategorierne *meget lav styrke*, *lav styrke*, *medium styrke*, *høj styrke* og *meget høj styrke* (se Tabel A2). Data fra tabel 4, 7 og 15

4.8 Træk- og trykstyrke

Figur 6 viser σ_t - og σ_c -værdier fra bjergarter i Sisimiut, Narsaq og Nuuk.



Figur 6 Boksplot: Træk- og trykstyrke – sammenstilling af forskellige bjergartstyper og lokaliteter. Vist er træk- og trykstyrke for bjergarter i Sisimiut (blå), Narsaq (rød) og Nuuk (grøn). Tallene ved siden af de enkelte boksplot repræsenterer medianen. I de tilfælde hvor der er mere end én måling pr. bjergart pr. sted er gennemsnit (Gns), standardafvigelse (Std) og antal målinger (n) anført i en tekstboks over eller under det relevante boksplot. Hvert enkelt boks er tegnet omkring det indre kvartilområde (IQR), hvor IQR er forskellen mellem første og tredje kvartil. Outliers (1.5 gange ud over IQR) er vist som sorte i cirkler. Stiplede røde horisontale linjer klassificerer bjergarters trykstyrke efter ISRM (1978) i kategorierne *svag*, *medium stærk*, *stærk*, *meget stærk* og *ekstrem stærk* (se Tabel A3). Data fra tabel 7,11,16,17



5 ERFARINGER OG ANVISNINGER

Erfaringer og anvisninger vedrørende grønlandske anlægsprojekter er forsøgt undersøgt ved brug af spørgeskema og dialog med interessenter (Tabel 27). Udover anonyme kilder er det lykkedes at komme i kontakt med følgende interessenter (listet alfabetisk):

Arctineering IVS
ASIAQ Greenland Survey
Departement for Boliger, Infrastruktur og Ligestilling
GNC ApS
Inuplan A/S
KJ Greenland A/S
Kommuneqarfik Sermersooq
Masanti A/S
Munck Gruppen A/S
NIRAS A/S
Permagreen Grønland A/S
Qeqqata Kommunia
WSP Arctic A/S
WSP Danmark A/S

Tabel 27 Erfaringer og anvisninger i forbindelse med anlægsprojekter

Projekttype	Erfaringer og anvisninger
Sprængning	<p>Typen af bjergart og valg af sprængningsmetode er afgørende når det kommer til sprængstenskvalitet. Erfaringsmæssigt vil større palhøjder ved sprængning medføre en mere graderet sprængsten og bedre kornformsforhold, dvs. voksende sfæricitet og faldende affladning (DGI 1994). Sprængsten der bruges til fyldning kommer normalt fra dagbrud og har normalt en gunstig kornstørrelsesfordeling. Enkelte bjergarter ikke egne sig som sprængstensfyld. Det gælder bjergarter, der er stærkt skifrige, forvitrede og/eller har et højt indhold af glimmer-mineraler. Bedst egnet til sprængstensfyldninger er forholdsvis store kubiske sten med en jævn kornstørrelsesfordeling uden betydelig indhold af finstof.</p> <p>I gnejsen omkring Nuuk er det forventede sprængstofforbrug på ca. 0.5 kg/fm³, der dog er afhængig af boreplan, maskintyper og lagdeling i fjeldet (NTNF 1976). Sprængstofforbruget afhænger kraftigt af mængden af sprækker i fjeldet. Fx, er det i Qaqortoq erfaret, at der skal ca. 10% mere sprængstof til at bortsprænge granodioritten, i forhold til gnejsen i Nuuk, som følge af de mange sub-horisontale sprækker (GEO 2018b).</p>
Veje	<p>De officielle anvisninger for projektering og udførelse af veje i byer og bygder er dækket af GTO(1984, 1987).</p> <p>Kommunerne/regionerne har vejmyndigheden. Kommunerne varetager ligeledes bygherrefunktionen samt ansvaret for drift og vedligeholdelse af vejene, herunder snerydning og glatførebekæmpelse, overfladeafvanding og forebyggelse af stenfald. Grundet utilstrækkelighed i de officielle anvisninger bruger man i Qeqqata Kommunia og Kommuneqarfik Sermersooq, i tillæg til GTO (1984, 1987), en række forskellige vejledende materialer for projektering af vejanlæg.</p> <p>Projektering af vejanlæg i Qeqqata Kommunia foregår således også på baggrund af Rambøll (2008a, 2008b). Projektering af vejanlæg i Kommuneqarfik Sermersooq foregår primært ved brug af vejledningen Viatrafik (2013). Hverken Rambøll (2008a, 2008b) eller Viatrafik (2013) udgør egentlige vejregler. Begge er i forskelligt omfang inspireret af bestemmelser fra Danmark, Norge, Sverige og Island. I nogle tilfælde, eller i de tilfælde hvor de omtalte anvisninger og vejledninger ikke indeholder tilstrækkelig information, foregår udførelse af vejanlæg på baggrund af erfaring, tradition og kvalificerede gæt. For eksempel er der forskellige traditioner for anvendte lagtykkelser i en sprængstensfyldning. Der er tradition for både at opbygge i hhv. 30cm lag, 50cm lag eller 1m lag med maksimale kornstørrelser på 50% af lagtykkelsen. Der er også erfaring med og tradition</p>

Tabel 27 fortsat

	<p>for at anvende skråningsanlæg 1:1 som en tommelfingerregel.</p> <p>Selve fyldningen foregår normalt ved, at aflæsse sprængstenene på fyldningen og derefter skubbe dem ud over fronten med dozer efterfulgt af komprimering.</p> <p>Erfaringsmæssigt vil udlægning om vinteren, når der er frost, medføre en mindre effektiv komprimering og derfor kunne føre til øgede sætninger i fyldningen. Sætningerne vil også strække sig over længere tid end det er tilfældet når fyldningen udlægges i mildt vejr.</p> <p>Der er ved interview givet udtryk for, at der i nogle tilfælde opleves problemer med dokumentation for efterlevelse af materialekrav. Dette gælder især for sigtekurver, der i nogle tilfælde ikke udarbejdes, og hvor der i andre tilfælde henvises til gamle sigtekurver. I disse tilfælde frafalder dokumentationskravene, da det opleves, at der ikke er noget alternativ.</p>
<p>Tunneller</p>	<p>Der er ingen officielle anvisninger for projektering og udførelse af tunneller i Grønland. Alt arbejde foregår efter norske anvisninger og standarder udført af Statens Vegvesen i Norge.</p>
<p>Lufthavne</p>	<p>Der er ingen officielle anvisninger for projektering og udførelse af lufthavne i Grønland.</p> <p>Etablering af de "gamle" lufthavne</p> <p>I forbindelse med etableringen af de regionale lufthavne i 70'erne, 80'erne og 90'erne blev der lavet en række forundersøgelser og laboratorieforsøg (DGI 1976, 1977a,b,c,d, 1979, 1994, NTNF 1976). Undersøgelserne udmundede i en række anbefalinger til indbygning af sprængstensfyld, som i kort form er gengivet herunder.</p> <p><u>Før indbygning</u></p> <p>Det anbefales kraftigt at blødbund afrømmes under arealer med færdsels- og bygningskonstruktioner. I et vist omfang kan der accepteres lokale forekomster af efterladt blødbund på max 10 % af opfyldningshøjden, dog max 20 cm (DGI 1976). Blødbunds- og vegetationslag skal fjernes på alle steder, hvor der påregnes fuld friktion mellem sprængsten og fjeld. Alternativt eller i tilgift skal der etableres en fortanding af fjeldoverfladen, så der sikres et effektivt greb mellem fjeld og sprængsten (DGI 1976, 1994). I vandlidende lavninger i fjeldet eller i løsjordsområder med lokale søer anbefales en grundvandssænkning fx i form af dræn, således at materialetransport i finere løsjordslag under sprængstenene ikke kan finde sted (DGI 1976).</p>

Tabel 27 fortsat

	<p><u>Indbygning</u></p> <p>Sprængsten anbefales udlagt i lagtykkelser < 2m og med en maksimal stenstørrelse < 1/2 - 2/3 af lagtykkelsen. Det er vigtigt at der under indbygningen ikke opstår større huller, der er afdækket med store flade sten, da dette kan medføre risiko for knusning, dannelse af finstof og eventuelle lokale sætninger. I den forbindelse har kritiske sprængstensformer affladning ≥ 2.5 (DGI 1994). Sprængsten anbefales udlagt ved udlægning på overfladen og uddozning hen over denne og ud over skrænten for det aktuelle lag med dozer efterfulgt af systematisk komprimering af laget med vibrationstromle.</p> <p>Ved indbygningsforsøg i et prøvefelt har man erfaringsmæssigt opnået en særdeles god underbund for landingsbanen og terminalområdet i Nuuk ved følgende indbygningsmetode (DGI 1976, 1979):</p> <p style="padding-left: 40px;">2m lag – udbredt med dozer og komprimeret med 8 overkørsler med en 15 t vibrationstromle (DYNAPAC CH61).</p> <p style="padding-left: 80px;">Efter dozerudbredning, $e \approx 0.48$</p> <p style="padding-left: 80px;">Efter 8 tromlepassager, $e \approx 0.40$</p> <p style="padding-left: 40px;">1m lag - udbredt med dozer og komprimeret med 8 overkørsler med en 15 t vibrationstromle (DYNAPAC CH61)</p> <p style="padding-left: 80px;">Efter dozerudbredning, $e \approx 0.38$</p> <p style="padding-left: 80px;">Efter 8 tromlepassager, $e \approx 0.28$</p> <p style="padding-left: 40px;">Skærvelag</p> <p style="padding-left: 40px;">Asfaltbeton</p> <p>Sætninger vil i høj grad være bestemt af den opnåede indbygningstæthed, mens differenssætninger bedst imødegås ved en ensartet indbygning. Indbygning af sprængsten bør derfor ske i ens lagtykkelser og ved brug af samme uddozingsmetode, samme komprimeringsmetode, samme grej, samt jævnt fordelt trafik på de indbyggede overflader i anlægsperioden (DGI 1976, 1994).</p>
--	---

Tabel 27 fortsat

<p>Ved indbygningen forventes tillægssætninger (krybning) fra spændingsafhængig deformation (knusning i sten og kontaktpunkter). Der forventes krybningsdeformationerne af størrelsesordenen:</p> $\varepsilon_s \approx 0.01 - 0.1 \% \text{ pr. tidsdekade for } \sigma_1 \lesssim 2100 \text{ kPa (DGI 1976, 1994)}$ <p>For en løs udlejring forventes væsentlige ringere deformationsegenskaber. En løs lejring ($e=e_{\max}$) kan medføre krybningsdeformationer, der er ca. 10 så stor som for den fasteste lejring ($e=e_{\min}$) (DGI 1976).</p> <p>Tillægsdeformationer (ε_N) for N gentagne (trafik-)belastninger forventes at blive:</p> $\varepsilon_N < 0.1 \log N \% \text{ for } 50 \text{ kPa} < \sigma_1 < 600 \text{ kPa (DGI 1976, 1994)}$ <p>Tillægsdeformationer synes kun i mindre grad at være påvirket af lejringens vandmætningsgrad (tør/våd), men i høj grad af indbygningstæthed. En løs lejring ($e=e_{\max}$) kan medføre tillægsdeformationer, der er 10-20 gange så stor som for den fasteste lejring ($e=e_{\min}$) (DGI 1976)</p> <p>Etablering af de nye lufthavne</p> <p>GEO har udført en række undersøgelser i forbindelse med udbygning af lufthavnene i Nuuk og Ilulissat og etablering af en ny lufthavn i Qaqortoq (2016a,b, 2017a, 2018a,b).</p> <p>Udbygning af de eksisterende lufthavne i Ilulissat og Nuuk foregår efter følgende arbejdsbeskrivelser, der desværre ikke er offentlige tilgængelige:</p> <p>Særlig arbejdsbeskrivelse – SA. Ilulissat lufthavn. Nuuk lufthavn. Specifikation - ubundne materialer</p> <p>Særlig arbejdsbeskrivelse – SA. Ilulissat lufthavn. Nuuk lufthavn. Specifikation – varmblandet asfalt</p> <p>Særlig arbejdsbeskrivelse – SA. Ilulissat lufthavn. Nuuk lufthavn. Specifikation –jordarbejder</p>

Tabel 27 fortsat

Vandkraftværker	<p>Der er ingen officielle anvisninger for projektering og udførelse af vandkraftværker i Grønland. I forbindelse med etablering af de nuværende vandkraftværker blev der for hvert projekt lavet en række forundersøgelser, herunder fx GTO (1982, 1983a,b, 1986). Disse forundersøgelser, og mange flere, er samlet og tilgængelig for udlån ved Polarbiblioteket i København.</p>
Havneanlæg	<p>Der er ingen officielle anvisninger for projektering og udførelse af havne i Grønland. Ved projektering af havne anvendes i høj grad skriftlige kilder og tegninger fra tidligere projekter. I den forbindelse ligger WSP Arctic inde med et digitalt arkiv over havnebyggerier i Grønland.</p> <p>I andre tilfælde foregår projektering og udførelse på baggrund af erfaring, tradition og kvalificerede gæt. Bag indfatningsvægge udlægges sprængsten erfaringsmæssigt i et samlet lag op til nederste tidevandszone. Herefter opbygges der i 2m lag lagt ud med gravko efterfyldt af komprimering med vibrationstromle. Nogle steder er der erfaring med at lade den indbyggede opfyldning stå og konsolidere vinteren over, inden bærelag og belægning lægges på. Den maksimale kornstørrelse er ofte $1/3 - 1/2$ af lagtykkelsen og man regner med en friktionsvinklen på mellem 30° og 35° for sprængsten.</p> <p>Der er ved interview givet udtryk for, at der i nogle tilfælde opleves problemer med dokumentation for efterlevelse af materialekrav. Dette gælder især for sigtekurver. I disse tilfælde frafalder dokumentationskravene, da det opleves, at der ikke er noget alternativ.</p>

6 IDENTIFIKATION AF FORSKNINGSPOTENTIALE

Dette afsnit identificerer områder, hvor interessenter i bygge- og anlægsbranchen peger på, at der behov for yderligere forskning i fjeld- og sprængstensegenskaber. Forskningspotentiale er kortlagt gennem dialog med interessenter, jf. afsnit **5 ERFARINGER OG ANVISNINGER**, og beskrevet i Tabel 28. Det vurderes, at det største forskningspotentiale er udarbejdelse af en vejledning til asfaltarbejder i Grønland, der tager udgangspunkt i lokale materialer (Tabel 28). Herefter kommer en tilsvarende vejledning til betonarbejder i Grønland (Tabel 28).

Tabel 28 Identifikation af forskningspotentiale. Forskningspotentialer er nævnt i rækkefølge efter hvor mange interessenter, der har udtrykt et behov.

Interessenter	Forskningspotentiale
GNC ApS Inuplan A/S Kommuneqarfik Sermersooq Munck Gruppen A/S	<p>Ny vejledning til asfaltarbejder i Grønland, der tager udgangspunkt i lokale materialer. Herunder systematisk og klar kortlægning af lokale sprængstensegenskaber med henblik på at få dem indpasset i en grønlandsk asfaltproduktion. Kortlægningen ønskes udført forskellige bjergarter og byer imellem.</p> <p><u>Baggrund:</u></p> <p>Grundet det store slid fra pigdæk i vinterhalvåret asfalteres de store hovedveje i Nuuk, som det er nu, en gang om året eller en gang hvert andet år. Den hyppige asfaltering er ikke bare dyrt, men også til gene for trafikkanter og indbyggere generelt. For at få en mere pigdæksresistent asfaltbelægning udføres der i Nuuk i øjeblikket forsøg med asfaltbelægninger bestående af importerede skærver fra Norge. Forsøgene er udført med forskellige typer og mængder af mere pigdæksresistente skærver med henblik på en økonomisk optimering af produktet. Der er særligt fokus på skærvernes Los Angeles slidprocent. De importerede skærver fra Norge har en Los Angeles slidprocent $\leq 15\%$. Ingen undersøgte skærver i Grønland har en tilsvarende lav Los Angeles slidprocent (Tabel 23). De skærver man hidtil har undersøgt i Nuuk stammer fra området omkring lufthavnen og har en Los Angeles slidprocent $> 30\%$ (Tabel 23). En systematisk og klar kortlægning af lokale sprængstensegenskaber vil kunne bidrage til udvikling af en mere pigdæksresistent asfaltbelægning med et minimum af importerede skærver. Dette kan ultimativt få stor betydning for asfaltarbejders overordnede økonomi og minimere de nuværende trafikgener forbundet med hyppig asfaltering af hovedveje.</p>

Tabel 28 fortsat

GNC ApS Inuplan A/S Kommuneqarfik Sermersooq Munck Gruppen A/S	Ny vejledning til betonarbejder i Grønland, der tager udgangspunkt i lokale materialer. Herunder systematisk og klar kortlægning af lokale sprængstensegenskaber med henblik på at få dem indpasset i en grønlandsk betonproduktion. Kortlægningen ønskes udført forskellige bjergarter og byer imellem.
Masanti A/S Qeqqata Kommunua WSP Arctic A/S	Optimering af viden omkring dimensionering af ankerbolte i fjeld. Herunder fjeldsikring af stærkt skrånende fjeld og udvikling af en metode, hvorpå man kan teste trækstyrken af ankerbolte
Inuplan A/S KJ Greenland A/S	Ny viden om tunnelbygning, der er tilpasset en grønlandsk kontekst.
Inuplan A/S	Udvikling af lokal beton med trykstyrke mere end 15 MPa.
Masani A/S	Udvikling af en metode til in-situ pælefundering ført til fjeld uden at skulle fjerne løsjord og sedimenter.
WSP Arctic A/S	Kortlægning af de parametre i en sprængning, der er bestemmende for mængden af finstof. Herunder hvordan man designer en sprængning, så der dannes mindst muligt finstof.

7 REFERENCER

- Bieniawski ZT (1984) Rock mechanics design in mining and tunneling. 272 p, Rotterdam: Balkema
- Bruland A (1998a) Hard Rock Tunnel Boring Vol. 8 - Drillability - Test Methods. Ph.D. dissertation. Trondheim, Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
- Bruland A (1998b) Hard Rock Tunnel Boring Vol. 9 - Drillability - Catalog of Drillability Indices. Ph.D. dissertation. Trondheim, Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
- Bøtker-Rasmussen S, Langvardt M A (2013) Havnebefæstelser i Arktis. Industriel projektering. Afgangprojekt, Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet. <http://find.artek.byg.dtu.dk/pubs/report/409/>
- Dahl M (2009) Tekniske undersøgelser for anlægsarbejde i fjeld i Grønland. Rapporten. Afgangprojekt forår 2009, Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet. <http://find.artek.byg.dtu.dk/pubs/report/130/>
- DGI (1976) Godthåb. Landingsbane. Geoteknisk rapport no 1 med fotobilag A-C samt bilag 1-39 og 101-29. Dansk Geoteknisk Institut, Lyngby. Ref K76233 CBM/AW
- DGI (1977a) Godthåb. Landingsbane. Belastningsforsøg med sprængsten. Geoteknisk rapport nr. 4 med bilag 140-169. Ref.: K76233 TB/Aw. Dansk Geoteknisk Institut, Lyngby
- DGI (1977b) Godthåb. Landingsbane. Geoteknisk rapport no. 2 med bilag 130-139. Ref.: K76233 TB/ELL/MMO. Dansk Geoteknisk Institut, Lyngby
- DGI (1977c) Godthåb. Landingsbane m.m. Kontrolmålinger. Geoteknisk rapport no. 3. Ref.: K76233 TB/AW. Dansk Geoteknisk Institut, Lyngby
- DGI (1977d) Godthåb. Vej til landingsbane (Teknisk bælte nord). Vurdering af sætninger af vejanlæg og udvidelsesfaktor for sprængstensfyld. Rapport nr. 2. Dansk Geoteknisk Institut, Lyngby. Ref K76236, K76238 NF/AW
- DGI (1979) Geoteknisk rapport No 3. Godthåb Airport Runway placed on dam of compacted rocks. Dansk Geoteknisk Institut, Lyngby. Ref K76233
- DGI (1993) Vandkraftværk Buskefjorden. Udbygning 2 og 3. Geotekniske undersøgelser 1993. Rapport 1. Dansk Geoteknisk Institut, Lyngby
- DGI (1994) Maniitsoq Landingsbane. Fjeld. Sprængsten Rapport 2, 1994-12-09. Dansk Geoteknisk Institut, Lyngby
- Falch E (2013) Detaljprojektering av planlagt svømmehall i berg i Sisimiut, Grønland. Masteropgave, Institutt for geologi og bergteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
- GEO (2016a) Grønlandske lufthavne, geotekniske undersøgelser. Kartering af bjergarterne i Nuuk i forbindelse med lufthavnsudvidelse. Geologisk kortlægning. Geo projekt-nr. 200648. Rapport 2, 2016-08-31
- GEO (2016b) Grønlandske lufthavne, geotekniske undersøgelser. Kartering af bjergarterne i Qaqortoq i forbindelse med forundersøgelser for mulig ny lufthavn. Geologisk kortlægning. Geo projekt-nr. 200648. Rapport 3, 2016-08-31
- GEO (2017a) Grønlandske lufthavne, geotekniske undersøgelser. Laboratorierapport – Ilulissat. Geo projekt nr. 200648/200818. Rapport 7, 2017-09-06
- GEO (2017b) Sisimiut. Svømmehal i fjeld. Geotekniske forundersøgelser. Geo projekt nr. 201606. Rapport 1, 2017-11-02
- GEO (2018a) Grønlandske lufthavne, geotekniske undersøgelser. Laboratorierapport –Nuuk. Geo projekt nr. 200648. Rapport 8, 2018-02-19, revision 2
- GEO (2018b) Grønlandske lufthavne, geotekniske undersøgelser. Laboratorierapport –Qaqortoq. Geo projekt-nr. 200648. Rapport 9, 2018-02-19, revision 2
- GTO (1982) Forundersøgelser. Vandkraft 1981. Anlægsteknik. Tasaq. Narssaq. Grønlands Tekniske Organisation
- GTO (1983a) Forundersøgelse Vandkraft 1982. Anlægsteknik. Buksefjord. Nuuk/Godthåb

- GTO (1983b) Vandkraftforundersøgelser. Anlægsteknik. 1983. Ilerlaa. Paamiut/Frederikshåb. Grønlands Tekniske Organisation
- GTO (1986) Vandkraftforundersøgelse 1984-85-86 PAAKITSUP AKULIARUSERSUA ILULISSAT / JAKOBHAVN. Grønlands Tekniske Organisation
- GTO (1984) Bygdeveje I Grønland. Vejledning I udførelse. Grønlands Tekniske Organisation
- GTO (1987) Veje i grønlandske byer. Anvisning i projektering og udførelse. Grønlands hjemmestyre. Grønlands Tekniske Organisation
- Hedberg J A, Henningsen S, Robbert P A, Trads N (2003) Bedømmelse af fjeldkvalitet i Sisimiut og Utoqqaat – i forbindelse med fjeldrums- og vejkonstruktion. Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet. <http://find.artek.byg.dtu.dk/pubs/report/268/>
- ISRM (1978) Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 15, pp. 319-368. International society for rock mechanics commission on standardization of laboratory and field tests
- Larsen H S (2009) Forundersøgelser for anlæggelse af svømmehal i fjeld. Hovedrapporten. Eksamensprojekt efteråret 2008, Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet. <http://find.artek.byg.dtu.dk/pubs/report/98/>
- Møller D E (2009) Sonic Methods and Rock Mass Classification related to Tunnelling in Greenland. Arctic Diploma Project, Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet. <http://find.artek.byg.dtu.dk/pubs/report/442/>
- NTNF (1976) Sprengtekniske forundersøkelser i området for den fremtidige Godthåb flyveplads, Grønland. Kontor for Fjellsprengningsteknikk. Norges Teknisk-naturvitenskapelige Forskningsråd. Rapport Nr. 570-1-5
- Rambøll (2008a) Grønlands Hjemmestyre. Veje i Grønland. Vejledning i projektering og udførelse. Forslag. Rambøll, Nuuk, Sisimiut og Qaqortoq
- Rambøll (2008b) SA. NN Kommuneat. Særlige arbejdsbeskrivelse for : Udvidelse af //VEJ1// i //STED1//, Måned, år. Rambøll, Nuuk, Sisimiut
- Vegvesen (2013) Vurdering av testmetoder for tilslags-materialer. Varige vegger 2011-2014. Statens vegvesens rapporter nr. 121. Statens vegvesen, Norge
- Vegvesen (2014) Håndbok V221. Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger. Vegdirektoratet 2014. Faglig innhold 2012. 2. opplag med rettelser 2014. Statens vegvesen, Norge
- Vegvesen (2018) Håndbok N200. Vegbygging. Vegdirektoratet 2018. Statens vegvesen, Norge. ISBN: 978-82-7207-723-4
- Viatrafik (2013) Vejledning i projektering af vejanlæg i Nuuk.5. udgave. Kommuneqarfik Sermersooq Anlægs- og Miljøforvaltningen, udarbejdet af Via Trafik

8 APPENDIX 1: KLASSIFIKATIONSTABELLER

Tabel A1	Klassifikation af borbarhedsegenskaber
Tabel A2	Klassifikation af point load Indeks
Tabel A3	Klassifikation af trykstyrke

Tabel A1 Klassifikation af borbarhedsegenskaber (efter Dahl et al. 2012 og Bruland 1998a)

Klassifikation	Sprødhedstal [%]	Sievers J-værdi [mm/10]	Slitageværdi (AV) [mg]	Stål-slitageværdi (AVS) [mg]	DRI	BWI	CLI
Ekstrem høj	≥ 66	≤ 2	≥ 58	≥ 44	≥ 82	≥ 70	≥ 75
Meget høj	60.0 - 65.9	2.1 - 3.9	42.0 - 57.9	36.0 - 44.0	70 - 82	56 - 69	35 - 74
Høj	51.0 - 59.9	4.0 - 6.9	28.0 - 41.9	26.0 - 35.9	58 - 69	45 - 55	15.0 - 34
Medium	41.0 - 50.9	7.0 - 18.9	11.0 - 27.9	13.0 - 25.9	43 - 57	31 - 44	8.0 - 14.9
Lav	35 - 40.9	19.0 - 55.9	4.0 - 10.9	4.0 - 12.9	33 - 42	21 - 30	6.0 - 7.9
Meget lav	29.1 - 34.9	56.0 - 85.9	1.1 - 3.9	1.1 - 3.9	26 - 32	11 - 20	5.0 - 5.9
Ekstrem lav	≤ 29	≥ 86	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 25	≤ 10	< 5

Dahl F, Bruland A, Jakobsen P D, Nilsen B, Grøv E (2012) Classifications of properties influencing the drillability of rocks, based on the NTNU/SINTEF test method, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 28, 2012, Pages 150-158,

Bruland A (1998a) Hard Rock Tunnel Boring Vol. 8 - Drillability - Test Methods. Ph.D. dissertation. Trondheim, Norwegian University of Science and Technology (NTNU).

Tabel A2 Klassifikation af point load Indeks

Klassifikation	Bieniawski (1984)	Deere og Miller (1966)
Meget høj styrke	$I_{s50} > 8 \text{ MPa}$	$I_{s50} > 10 \text{ MPa}$
Høj styrke	$I_{s50} = 4 - 8 \text{ MPa}$	$I_{s50} = 5-10 \text{ MPa}$
Medium styrke	$I_{s50} = 2 - 4 \text{ Mpa}$	$I_{s50} = 2.5 - 5 \text{ MPa}$
Lav styrke	$I_{s50} = 1 - 2 \text{ MPa}$	$I_{s50} = 1.25 - 2.5 \text{ MPa}$
Meget lav styrke	$I_s < 1 \text{ MPa}$	$I_s < 1.25 \text{ MPa}$

Bieniawski ZT (1984) Rock mechanics design in mining and tunneling. 272 p, Rotterdam: Balkema

Deere D and Miller RD (1966) Engineering classification and index properties for intact rock. Univ. of Illinois, Tech. Rept. No. AFWL-TR-65-116

Tabel A3 Klassifikation af trykstyrke

Klassifikation	σ_c (ISRM, 1978)
Ekstrem stærk bjergart	> 250 MPa
Meget stærk bjergart	100-250 MPa
Stærk bjergart	50-100 MPa
Medium stærk bjergart	25-50 MPa
Svag bjergart	5-25 MPa
Meget svag bjergart	1-5 MPa
Ekstrem svag bjergart	0.25-1 MPa
Kohæsionsjord	< 0.25 MPa

ISRM (1978) Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 15, pp. 319-368. International Society for Rock Mechanics commission on standardization of laboratory and field tests.



DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg

Danmarks
Tekniske
Universitet

Brovej, Bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
Tlf: 4525 1700

www.byg.dtu.dk