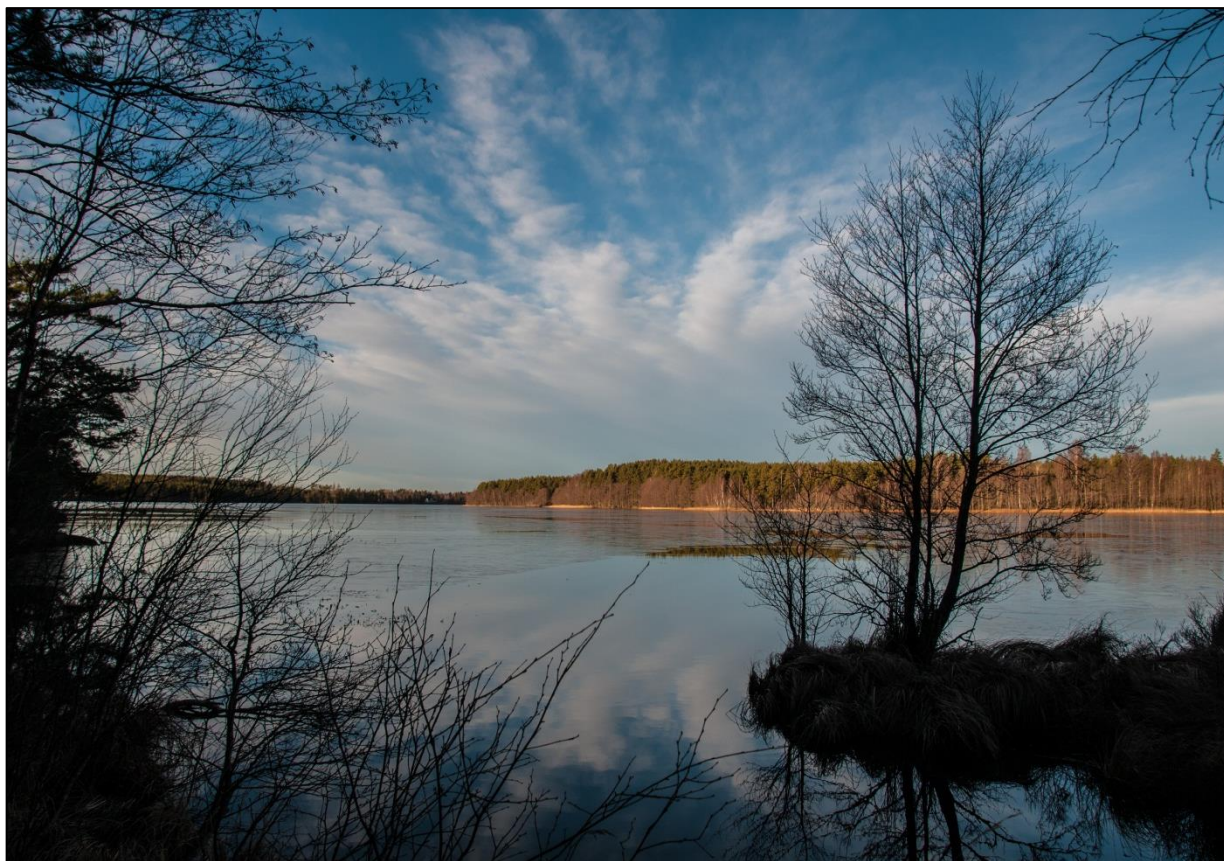




Vätternvatten bergtunnel

Fältundersökningsrapport

2016-01-29

Vätternvatten bergtunnel
Fältundersökningsrapport
2016-01-29

Beställare: Örebro Kommun
Box 33300
701 35 Örebro

Beställarens representant: Lars Ferbe

Konsult: Norconsult AB
Box 8774
402 76 Göteborg

Uppdragsledare
Handläggare Bertil Israelsson
Jesper Petersson, Per Eriksson, Magnus Zetterlund,
Sid Patél, Peter Wilén

Uppdragsnr: 102 13 64

Filnamn och sökväg: n:\102\13\1021364\0-mapp\beskrivningar utredningar
pm\för djupad bergutredning
2015\fältrapport\arbetsmaterial\bergtunnel,
fältundersökningsrapport 160129.docx

Kvalitetsgranskad av: Magnus Zetterlund

Tryck: Norconsult AB

Sammanfattning

Utförda undersökningar har syftat till att utöka kunskaperna om de bergtekniska förhållandena längs en föreslagen sträckning av en bergtunnel mellan Vättern och Håkamo. Undersökningarna har omfattat GIS-studier, fältkartering, refraktionsseismik, kärnbörning, kärnkarteringar och laboratorieanalyser av insamlat bergmaterial.

Övergripande slutsatser från undersökningarna är:

- Berggrunden består generellt av berg med bra kvalitet och det finns ur bergteknisk synpunkt goda förutsättningar att utföra en bergtunnel. Det finns ett antal svaghetszoner med sämre berg som måste passeras. Föreslagen tunnelsträckningen innebär att de huvudsakligen passeras på ett gynnsamt sätt och att varje zon passeras under korta sträckor (< 50 m).
- Områden för påslag till arbetstunnlar har föreslagits. Lägena har främst valts ur en tunnelbyggnadsteknisk utgångspunkt, men med förutsättning att minimera risk för konflikt mellan olika intressen.
- Resultaten av utförda analyser av huvudbergarternas tekniska beskaffenheter indikerar ett relativt högt utrustningsslitage vid fullortsbörning och låg till genomsnittlig borrarbarhet. Baserat på DRI och CLI är det relativt stora skillnader i borrarbarhet (penetrationshastighet och slitage på borrarbär) mellan de olika huvudbergarterna.

Detaljundersökningarna har främst koncentrerats till alternativa lägen för arbetstunnlar samt passagen av identifierade zoner för att bl.a. fastställa bergkvalité och utbredning hos zonerna samt bergytans nivå. En kort sammanfattning av resultaten från respektive undersökningsområde ges nedan:

- *Hargehalvön.* För att undvika intrång i Hargemarkens naturreservat föreslås ett utförande av intaget genom att en tunnel drivs konventionellt ned mot Vättern från en arbetstunnel belägen utanför reservatet. Där byggs ett mindre bergrum som är förbundet med Vättern via intagsledningar i horisontella borrhål. Bergförhållandena vid Hargemarkens sydspets bedöms medge denna typ av lösning.
- *Hultsjön och Frösshyttan.* I området runt Hultsjön och vidare åt nordost mot Frösshyttan är det risk för stora jorddjup i anslutning till zoner med försämrad bergkvalité. Sträckningen har justerats för att i möjligast mån undvika besvärliga zonpassager och områden med låg bergtäckning.
- *Verkasjön.* Lokalt betydande jorddjup tillsammans med försämrad bergkvalité. Förmodat uppspruckna delar bedöms representera mindre svaghetszoner.

- *Dalby/Åmme svaghetszon.* Zonen utgörs av ett system av svaghetszoner och bedöms utgöra ett 500–800 m brett stråk av dålig bergkvalité med mellanliggande linser av bra berg. Utförda kärnbörningar tyder på att det bitvis förekommer uppkrossat berg med inslag av leromvandling. Genomsläppligheten i zonen bedöms som måttlig. Utförda undersökningar indikerar att passagen av svaghetszonen kan innebära ett komplicerat bergförstärkningsarbete. För att passagen inte ska bli tidskritisk föreslås en arbetstunnel i området som medger åtkomst.
- *Vena gruvfält.* Gruvorna ligger i ett väldefinierat NV/SO-stråk med enbart ett fåtal gruvor överstigande 30 m djup. De djupaste gruvorna ligger i den sydöstra delen av området, vilket lämpligen undviks vid val av sträckning.
- *Multen och Rönnershytta.* Området bedöms generellt ha en god bergtäckning, även om mätningar i en möjlig deformationszon ej var möjlig på grund av konflikt med befintlig järnväg.
- *Södra Tisaren.* Ett antal svaghetszoner förekommer i området. Bergnivån är bitvis relativt låg. Utförd seismik och kärnbörning indikerar två svaghetszoner med uppkrossat berg. Det ytliga berget uppvisar även en hög genomsläpplighet. Utgående från utförda undersökningar har sträckningen justerats för att uppnå gynnsam bergtäckning samt minimera längd/antal zonpassage.
- *Håkamo.* Av två alternativa påslagslägen rekommenderas nordsluttningarna på Håkamoberget med både gynnsam bergtäckning och möjlighet att rymma ett vattenverk. Bergtunneln blir därmed 760 m kortare jämfört med ett alternativt påslagsläge.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
1 Inledning.....	7
1.1 Underlag	10
1.2 Bergartsnomenklatur	10
2 Undersökningsstrategi	11
2.1 Strukturgeologisk kartering.....	11
2.2 Refraktionsseismik	12
2.3 Ekolodning	12
2.4 Kärnbörningar	13
2.5 Kärnkartering	13
2.6 Vattenförlustmätning	15
2.7 Bergmaterialanalyser	16
3 Undersökningsområden	18
3.1 Hultsjön	18
3.2 Frösshyttan	19
3.3 Verkasjön	20
3.4 Dalby/Åmme svaghetszon	22
3.4.1 Åmmelången	22
3.4.2 Nyhyttan	23
3.5 Vena gruvfält	30
3.6 Multen	32
3.7 Rönneshytta	33
3.8 Södra Tisaren	34
4 Förslag på lägen för arbetstunnlar	40
4.1 Arbetstunnel 1	42
4.2 Arbetstunnel 2	43
4.3 Arbetstunnel 3	45
4.4 Arbetstunnel 4	48
4.5 Arbetstunnel 5	52
4.6 Norra påslaget	53
5 Bergmaterialanalyser	56
5.1 Petrografisk analys	56
5.2 Utvärdering avseende avnötningsegenskaper	58

Bilagor

Bilaga 1. Refraktionsseismiska undersökningar för projekt Vätternvatten.
Bergab, 2014-05-20

Bilaga 2. Refraktionsseismiska undersökningar för projekt Vätternvatten.
Reinertsen, 2015-12-08

Bilaga 3. Redovisning av kärnkartering och Q_{bas} -klassning

Ritning VV-KK-01	Redovisning kärnkartering DBH1
Ritning VV-KK-02	Redovisning kärnkartering DBH1
Ritning VV-KK-03	Redovisning kärnkartering DBH2
Ritning VV-KK-04	Redovisning kärnkartering DBH2
Ritning VV-KK-05	Redovisning kärnkartering DBH4
Ritning VV-KK-06	Redovisning kärnkartering DBH4

Bilaga 4. Geografisk- och berggrundsgeologisk plankarta över nuvarande förslag till tunnelsträckning inklusive provtagnings- och observationspunkter. Format A1, skala 1:50 000. Norconsult AB, 2016.

Bilaga 5. Test report Cerchar, EPFL, 2015-01-21
Test report Cerchar, EPFL, 2015-11-09

Bilaga 6. Test report Drillability, SINTEF 2015-01-20
Test report Drillability, SINTEF 2015-11-13

Bilaga 7. Terminologi vid petrografisk analys

Bilaga 8. Protokoll från vattenförlustmätningar

Bilaga 8.1	DBH1 Tisaren
Bilaga 8.2	DBH2 Nyhyttan
Bilaga 8.3	DBH4 Nyhyttan

Bilaga 9. Strukturgeologiska observationer 2015

1 Inledning

Föreliggande sammanställning redovisar resultat från fältundersökningar utförda under perioden 2013–2016 som underlag till *Bilaga 2 i Systemhandlingen, Vätternvatten – Utvidgad utredning bergtunnel, Säkrare beslutsunderlag för nästa steg*. Undersökningarna har utförts i tre steg. Resultaten från de två inledande stegen redovisades i en ursprunglig fältundersökningsrapport, daterad 2015-02-20. *Vätternvatten bergtunnel, Delrapport Fältundersökningar steg 1 och 2, Norconsult AB 2015-02-20*. Efter genomförandet av kompletterande undersökningar under 2015–2016 har sammanställningen nu reviderats och presenteras i denna rapport.

Undersökningarnas syfte har varit att öka kunskapen avseende genomförbarhet och risker vid byggnation av en bergtunnel för transport av vatten från Vättern till ett område strax söder om Hallsberg. Fältundersökningarna har fokuserat på undersökningsområden i anslutning tunnelpassager som bedöms vara kritiska med avseende på osäkra jorddjup och/eller bergförhållanden, samt vid påslagslägen för arbetstunnlar. Målsättningen med de kompletterande undersökningarna har varit att närmare klarlägga förutsättningarna för en bergtunnel och därmed erhålla ett underlag som möjliggör förprojektering av tekniska lösningar med ökad detaljgrad.

Nedan presenteras omfattningen av utförda fältundersökningar inom ramen för Steg 1 till 3. Resultaten har liksom tidigare utgjort underlag för uppdatering av *Bilaga 2 i Systemhandlingen, Vätternvatten – Utvidgad utredning bergtunnel, Säkrare beslutsunderlag för nästa steg.*, daterad 2013-04-29, reviderad 2016-01-29.

Steg 1: Fältkartering och geofysiska mätningar

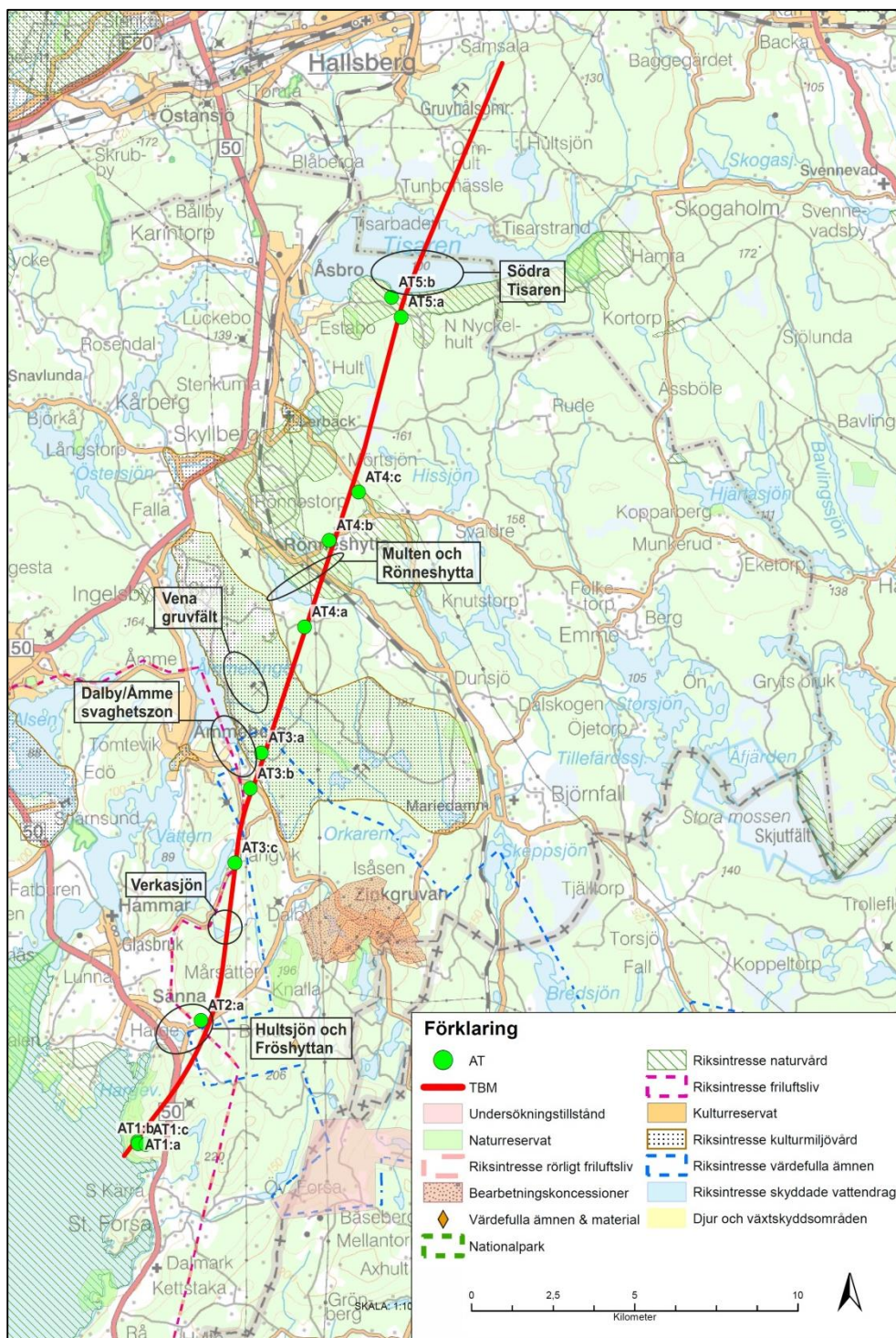
- Översiktlig strukturgeologisk kartering.
- Detaljstudie av området öster om Åmmelången och Vena gruvfält med avseende på äldre gruvverksamhet.
- Undersökning av föreslagna lägen för arbetstunnlar med avseende på geologi, möjliga påslagslägen, etableringsområden samt tillfartsvägar.
- Refraktionsseismik och ekolodning vid kritiska passager. Dessa utfördes vid sex passager för att bedöma bergytans läge samt identifiera eventuella större svaghetszoner i berget. De undersökta passagerna framgår av Figur 1 och omfattar:
 - Hultsjön
 - Dalby/Åmme svaghetszon vid sjön Åmmelången och vid Nyhyttan
 - Multen
 - Isälvsavlagringar vid Rönneshyttan
 - Tisarens södra del

Steg 2: Kärnborrning och bergmaterialanalyser

- Kompletterande undersökning och justering av lägen för arbetstunnlar.
- Kärnborrningar i två identifierade svaghetszoner, baserat på resultat från seismiska undersökningar, DBH1, DBH2 och DBH4.
- Kartering av utvalda delar av borrhärdor från kärnborrningen.
- Bergmaterialanalyser (borrbarhet och Cerchar).

Steg 3: Fältkartering, geofysiska mätningar och bergmaterialanalyser

- Geologisk kartering i anslutning till föreslagen tunnelsträckning, inklusive provtagning för bergmaterialanalyser.
- Ytterligare bergmaterialanalyser (petrografi, borrbarhet och Cerchar)
- Kompletterande undersökning och justering av lägen för arbetstunnlar.
- Kartering resterande borrhärdor från kärnborrningen av DBH1, DBH2 och DBH4.
- Refraktionsseismik och ekolodning vid kritiska passager. Dessa utfördes vid tre passager för att bedöma bergytans läge samt identifiera eventuella större svaghetszoner i berget. De undersökta passagerna framgår av Figur 1 och omfattar:
 - Verkasjön
 - Frösshyttan
 - Tisarens södra del



Figur 1. Översiktsskarta som visar lägena för undersökningsområden (passager som bedömts kritiska p.g.a. osäkra jorddjup och/eller bergförhållanden) och planerade arbetstunnlar (AT) i förhållande till föreslagen sträckning.

1.1 Underlag

Följande rapporter som tidigare upprättats inom ramarna för projektet utgör underlag för föreliggande rapport:

- Förstudie regional vattenförsörjning från Vättern, steg 2 och 3. Norconsult 2011-10-11.
- Förstudie regional vattenförsörjning från Vättern, steg 2 och 3. Fördjupning. Bergab 2012-02-28.
- Förstudie regional vattenförsörjning från Vättern, steg 2 och 3. Utvidgad bergutredning. Bergab 2012-08-29.
- Vätternvatten – Utvidgad utredning bergtunnel. Säkrare beslutsunderlag för nästa steg. Norconsult. Koncept 2013-04-29, reviderad 2015-02-20.

Följande externa referenser utgör underlag:

- Bäckström, M. Översiktlig geokemisk undersökning av gruvavfall inom Venafältet, Askersunds kommun. Forskningscentrum Människa-Teknik-Miljö, Örebro Universitet. 2005.
- SGU. Berg och malm i Örebro län. 1987.
- Wikström, A. Berggrundskartan 9F Finspång NV. SGU Ser. Af 164. 1989.
- Wikström, A. Berggrundskartan 9F Finspång SV. SGU Ser. Af 165. 1989.
- Wikström, A. och Karis, L. Beskrivning till berggrundskartorna Finspång NO, SO, NV, SV. SGU, 1991.

1.2 Bergartsnomenklatur

Detta avsnitt har inkluderats för att säkerställa en konsekvent tillämpning av bergartsbenämningar samt att underlätta för de läsare som inte är berggrundsgéologer. Även bergarternas färg i utsnitt ur de geologiska kartorna som presenteras i rapporten redovisas. Tillämpade bergartsbenämningar har sitt ursprung i de berggrundskartor över trakten kring Finspång som sammanställts av Wickstöm (1989). Ytterligare detaljer framgår av avsnitt 4.1.2 *Geologiska förhållande* i huvudrapporten *Vätternvatten – Utvidgad utredning bergtunnel*. Följande bergartstyper av ytmässig betydelse uppträder längs den föreslagna tunnelsträckningen:

	Felsiska metavulkaniter	inkl. metaryolit och metadacit
	Äldre gnejsiga granitoider	inkl. granit, granodiorit, tonalit
	Yngre graniter	inkl. grovporfyrisk granit och ögongnejs
	Amfibolitiska bergarter	
	Diabas	

2 Undersökningsstrategi

Läget för de områden som varit fokus för fältundersökningarna i Steg 1–3 är markerade i Figur 1. Refraktionsseismiska undersökningar utförda av Bergab och Reinertsen under 2013 respektive 2015 genomfördes för alla undersökningsområden förutom Vena gruvfält (se Bilaga 1 och Bilaga 2). I de fall mätningarna genomförts över sjöar från båt har det även gjorts ekolodning.

I två av områdena där tunnelsträckningen passerar mer betydande svaghetszoner har det genomförts översiktlig strukturgeologisk kartering och kärnbörningar. Detta för att fastställa bergförhållanden i svaghetszonerna, samt deras utbredning.

För Vena gruvfält har det gjorts en litteraturstudie följt av ett platsbesök. Lägen för arbetstunnlar har inventerats med avseende på geologi, möjliga påslagslägen, etableringsområden samt tillfartsvägar.

För att fastställa bergmassans borrhärdighet längs den planerade sträckningen, samt sprickförekomst i anslutning till föreslagna arbetstunnlar, har det under Steg 2 och 3 utförts bergmaterialanalyser och strukturgeologisk kartering.

2.1 Strukturgeologisk kartering

De två mest betydelsefulla svaghetszonerna längs tunnelsträckningen är till viss del blottlagda i nära anslutning till planerade bergtunnelpassager. Det ena området är beläget vid Nyhyttan där Dalby/Åmme svaghetszon passerar, och det andra är beläget vid Talludden längs sjön Tisarens södra strand. I dessa områden har det genomförts fältbesök med en översiktlig geologisk strukturkartering på ett mindre antal hållar.

Karteringen har omfattat undersökning av bergarter, sprickplan och sprickegenskaper. Orientering hos sprickplanen definieras av två inmätningar; stupning och strykning. Stupningen anges av linjens lutning mot horisontalplanet och horisontalprojektionens avvikelse från norr (vinkel räknad åt höger) är strykningen.

I anslutning till föreslagna lägen för arbetstunnlar har huvudsprickriktningar dokumenterats i termer av sprickavstånd, spårlängd och orientering. Resultaten presenteras i Bilaga 9.

2.2 Refraktionsseismik

Områden för refraktionsseismiska undersökningar har valts ut med utgångspunkt från indikationer om osäkra och/eller stora jorddjup, samt en eventuell förekomst av mer betydande svaghetszoner. Syftet med mätningarna har varit att bestämma jordmaktigheter, bergkvalité och utbredning av eventuella svaghetszoner.

Mätning och tolkning har i huvudsak utförts enligt SGF Metodblad *Seismik*. Detaljer beträffande metodik och resultat redovisas i Bilaga 1 och Bilaga 2. Total längd och koordinater för utläggs start- och slutpunkter anges i Tabell 1.

Tabell 1. Total längd samt start- och slutkoordinater för respektive utlägg. (Sweref 99 TM)

Område	L/S*	Utlägg #	Start E	Start N	Slut E	Slut N	Total längd [m]
Hultsjön	L	5	499311	6516470	499687	6516072	565
Frösshyttan	L	2	500607	6516632	500582	6516801	170
Verkasjön	L	2	501442	6519449	501387	6519672	230
Åmmelången	S	2	500956	6525838	501330	6526234	694
Nyhyttan	L	4	501752	6524256	502522	6524428	770
Multen	S	1	503120	6530294	502915	6530199	260
Rönneshytta	L	5	503133	6530399	504423	6531166	1507
Södra Tisaren #1	S	2	505997	6539473	506399	6539747	500
Södra Tisaren #2	S	5	506767	6539014	507083	6540214	1223
Södra Tisaren #3	S	2	507001	6539121	507065	6539626	490

* Land/Sjö

2.3 Ekolodning

Kompletterande ekolodning utfördes i två sjöar, Åmmelången och Tisarens södra strand. Syftet med ekolodningen var att undersöka svaghetszonernas lokalisering och riktning. Vid Tisaren var huvudsyftet under Steg 2 att optimera placeringen av kärnborrhålet samt erhålla ett bättre underlag för justering av tunnelsträckningen. Vid Åmmelången var syftet att få ett bättre underlag för att bedöma utbredningen av Dalby/Åmmezonen under Åmmelången.

2.4 Kärnborrningar

Kärnborrning företogs under hösten 2014 i två områden med tidigare identifierade svaghetszoner.

- Tisarens södra strand där det förekommer ett antal svaghetszoner.
- Nyhyttan där ett system av zoner, som sorterar under benämningen Dalby/Åmme svaghetszon, passerar.

Vid Tisarens södra strand borrades ett kärnborrhål (DBH1) med nordöstlig riktning. Tre kärnborrhål borrades vid Nyhyttan (DBH2, DBH3 och DBH4), varav ett (DBH3) fallerat då borrhången efter att ha passerat en bergsrygg kom ut i en volym av jord.

Teknisk data för kärnborrningen redovisas i Tabell 2. Lägen och orientering för borrhålen är valda baserat på de lägen för svaghetszonerna som redovisas i berggrundsgeologiskt kartmaterial (SGUs berggrundskarta 9F Finspång NV; Wikström, 1989) eller indikeras av refraktionsseismiska undersökningar, se kapitel 2.2. Vid Tisaren har även kompletterande ekolodning utförts, se kapitel 2.3. Avvikelsemätningar av hålrakheten har utförts i de tre fullbordade kärnborrhålen, DBH1, DBH2 och DBH4.

Tabell 2. Lägen för kärnborrhål i koordinatsystem Sweref 99 TM. Orientering är angiven som strykning från geografiskt norr och stupning från horisontalplanet. Längd i meter anges längs kärnaxeln och utgår från ansättningen av borrhålen.

ID	Område	N	E	Nivå m.ö.h.	Orientering kärna	Bergfritt djup	Kärn- avslut
DBH1	Tisaren	6539381	506109	+104,5	29,9°/46,0°	10,6 m	290,0 m
DBH2	Nyhyttan	6524139	501684	+106,4	251,3°/46,4°	10,0 m	150,4 m
DBH4	Nyhyttan	6524727	501990	+99,9	65,4°/45,7°	2,6 m	202,0 m

2.5 Kärnkartering

Kartering av borrhålen från de tre fullbordade borrhålen har utförts (se Tabell 3). Borrhålen förvaras i nuläget i Zinkgruvans lokaler där även karteringen utförts.

Tabell 3. Karterade sektioner i kärnborrhål DBH1, DBH2 och DBH4

ID	Område	Karterat (LM)	Ritning
DBH1	Tisaren	10,6–290,0	VV-KK-01 (lm 10–153)
			VV-KK-02 (lm 153–290)
DBH2	Nyhyttan	10,0–150,4	VV-KK-03 (lm 10–138)
			VV-KK-04 (lm 138–151)
DBH4	Nyhyttan	2,6–202,0	VV-KK-05 (lm 2–146)
			VV-KK-06 (lm 146–202)

Information om följande parametrar inhämtades vid kärnkarteringen:

- Antal sprickor per längdmeter (LM) eller valt snitt.
 - Antalet sprickgrupper per valt snitt; särskiljs genom den vinkel varmed de skär kärnaxeln. Vinkelkategorierna valdes till 0–30°, 30–60°, 60–80° och 80–90°.
- Uppkrossade partier har definierats som krosszoner.
- Uppskivade partier har definierats som sprickzoner.
- Sprickyrtornas struktur.
- Sprickfyllnadsmineral och tjocklek.
- Bergart.

Utifrån insamlade värden på de ovan givna parametrarna har det tagits fram karaktäriseringsindex för borrhämlarna enligt Q -systemet (Q_{bas}). Q_{bas} -värdet ger en indikation på bergkvalité och förstärkningsbehov vid tunneldrivning, men tar ingen hänsyn till eventuell tunnelutformning, bergspänningsförhållanden, hydrogeologiska förhållanden eller drivningsförhållanden för TBM.

Ett högsta Q_{bas} -värde har beräknats enligt:

$$Q_{bas} = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a}$$

I ekvationen ingår följande parametrar:

RQD = En procentsats över hur många kärnbitar som överstiger 10cm per längdmeter

J_n = Antalet sprickgrupper; här har det antagits att antalet sprickgrupper som observerats vid kärnkarteringen underrepresenterar det faktiska antalet med en sprickgrupp. Därför har $J_n = 3$ ansatts för en observerad sprickgrupp, $J_n = 6$ för två observerade sprickgrupper och $J_n = 9$ för tre observerade sprickgrupper.

J_r = Sprickytornas råhet. De är generellt råa, vilket ger $J_r = 1.5$.

J_a = Beskriver omvandling eller förekomst av sprickmineral på sprickytorna. J_a har valts till 1 där fläckvis kalcit eller rost förekommer. För tunn klorit och kalcitbeläggning upp till 1 mm har $J_a = 2$ ansatts. För tjockare kloritbeläggning och där grafit förekommer har $J_a = 4$ ansatts.

Resultatet Q_{bas} -värden möjliggör en klassificering av bergkvaliteten inom ett intervall från mycket bra berg till mycket dåligt berg. Redovisning av kartering, beräkning av Q_{bas} och förekommande bergarter redovisas i Bilaga 3.

2.6 Vattenförlustmätning

Hydrogeologiska undersökningar i form av vattenförlustmätningar har utförts i samtliga kärnborrhål. Mätningarna har utförts dels i 3 m långa sektioner, en mer högupplöst skala för att analysera enskilda zoner och spricksystems genomsläpplighet, och dels för större del av hålen för att erhålla en mer övergripande bild av bergmassans genomsläpplighet.

I Tabell 4 redovisas utförda vattenförlustmätningar i respektive hål. Samtliga mätningar utfördes med 5 bars övertryck under 15 min. Vid 0-flöde avbröts dock mätningarna i förtid. Analyser av vattenförlustmätningar har utförts dels som Lugeon-värden och dels som hydraulisk konduktivitet.

Den hydrauliska konduktiviteten för 3 m sektioner har utvärderats genom:

$$K = \frac{Q}{2\pi \cdot \Delta h \cdot L} \ln\left(\frac{L}{d}\right)$$

K = Hydraulisk konduktivitet, m/s

Q = Vattenförlust, m³/s

Δh = Injiceringsövertryck, m

L = Mätsektionslängd, m

D = Borrhålsdiameter, m

Lugeonvärdet har utvärderats genom:

$$Lu = \frac{q}{t \cdot L} \left(\frac{1}{p} \right)$$

Lu = Lugeonvärde

Q = Vattenförlust, l/min

T = Mättid

L = Mätsektionslängd, m

P = Injicieringsövertryck, MPa

Tabell 4. Utförda vattenförlustmätningar i kärnborrhål. Angivna sektionslängder avser borrhålslängd.

ID	Område	Sektionsmätningar, 3 m	Längre sektioner, lm
DBH1	Södra Tisaren	25–40 (5 st)	40–70
			25–290,1
			72–290,1
			130–290,1
DBH2	Nyhyttan	12–72 (20 st)	12–150,4
			60–150,4
			100–150,4
DBH4	Nyhyttan	-	12–203,3
			40–203,3
			60–203,3
			95–203,3
			130–203,3

Det minsta mätbara flödet bedöms till 1–2 l/min vilket medför att mätgränsen är beroende av mätsektionslängden. För 3 m sektioner är mätgränsens ca 1×10^{-7} m/s (ca 1 Lu) medan för långa mätsektioner är mätgränsen under 5×10^{-9} m/s (0,03 Lu).

2.7 Bergmaterialanalyser

Vid borrning i bergmaterial har bergarternas tekniska beskafterheter stor inverkan på borrhastighet, slitage av borrhälskronor och indrift. I synnerhet gäller detta fullortsborrning. Ett antal olika typer av analyser för att fastställa intakta bergarters borrhastighet har därför utförts på bergarterna längs den planerade tunnelsträckningen.

- Petrografisk analys, inklusive ekvivalent kvartsinnehåll, vilket bl.a. indikerar livslängd på hårdmetallstift.
- Cerchar Abrasivity Index (CAI) som indikerar slitage av hårdmetallstift.
- Drillability Rate Index (DRI) som indikerar borrhastighet.
- Cutter Life Index (CLI) som indikerar livslängd på borrhäklar.

Tolv (12) analyser av Cerchar Abrasivity Index (CAI) har utförts av EPFL–ENAC–LMR, Laboratoire de Mécanique des Roches i Lausanne, Schweiz. Fyra (4) analyser av DRI och CLI har utförts av SINTEFs Ingenjörsgelogiska laboratorium i Trondheim, Norge. Fem (5) tunnslip har tillverkats av delar av de förekommande bergarterna. Tunnslipen har tillverkats av Minoprep i Hunnebostrand. För samtliga tunnslip har en petrografisk analys utförts och ekvivalent kvartsinnehåll beräknats. Bergartsproverna omfattar dels från 2015 års fältundersökning och dels från borrhäklar. Prover har tagits från kärnborrhål DBH4 vid Nyhyttan och från kärnborrhål ZG1 vid Dalby. Proverna från ZG1 har tillhandahållits av Zinkgruvan.

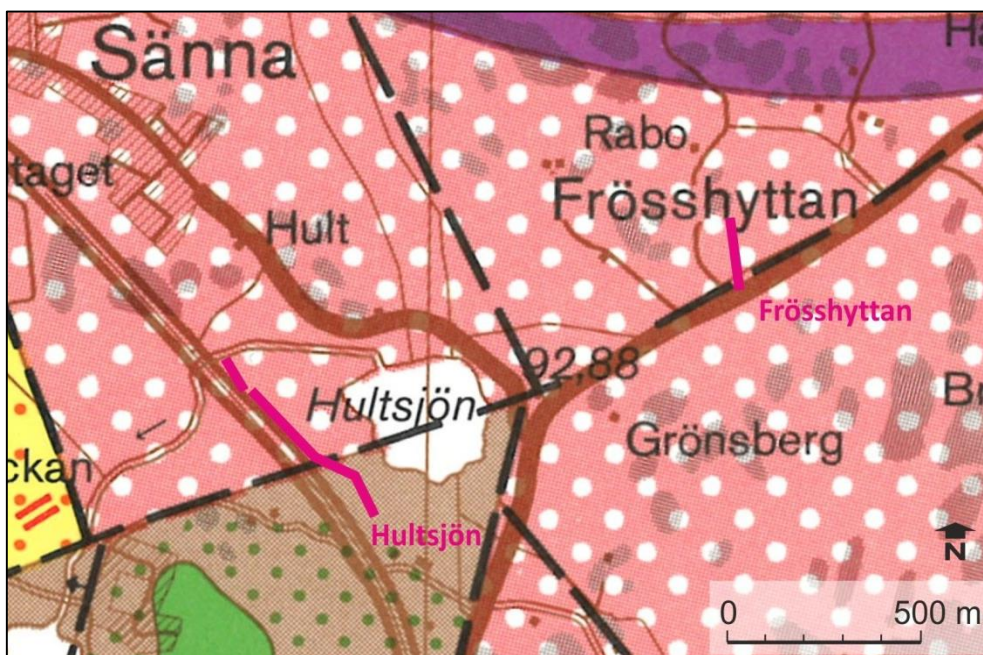
3 Undersökningsområden

3.1 Hultsjön

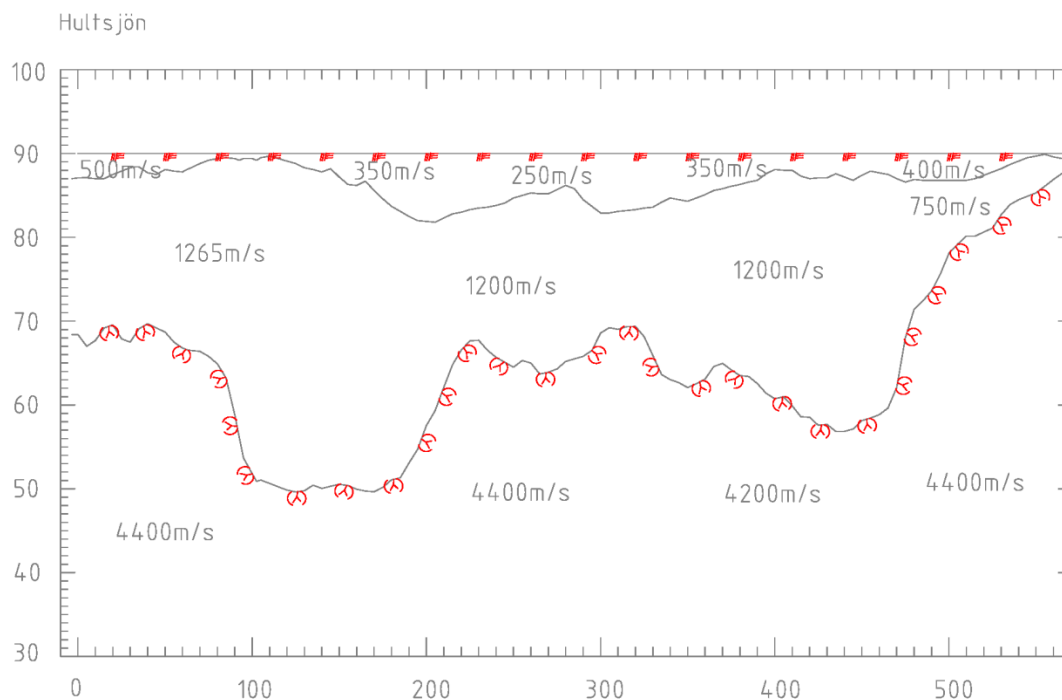
Refraktionsseismik

Refraktionsseismik utfördes längs en 565 m lång linje tvärs över Sänna förkastningszon, längs väg 50 väster om Hultsjön (Figur 2). Linjen slutar i ett hållområde vid Gårdshyttans gård. Generellt är jordmaktigheten mindre än 20-30 m, förutom mellan lm 100 och 190 där jordmaktigheten ökar till ca 40 m (Figur 3).

En generellt försämrad bergkvalité indikeras längs hela sträckningen. De relativt stora jordmaktigheterna på >30 m mellan lm 100 och 190 medför svårigheter att bestämma läget på eventuella lokala sprick-/krosszoner med försämrad bergkvalité. En tidigare utförd kärnborring i Sänna svaghetszon nordväst om Zinkgruvan, ca 5 km nordost om Hultsjön (utförd av Zinkgruvan Mining AB), visar på en zontjocklek på 35 m med förhållandevis dåligt berg.



Figur 2. Detaljerad berggrundskarta (Wikström, 1989) som visar läget för de seismiska profilerna tvärs Sänna svaghetszon, strax väster om Hultsjön, samt vid Frösshyttan längre österut. Hållområden är skuggade och streckad linje = morfologiskt distinkt linje (vanligen deformationszon).

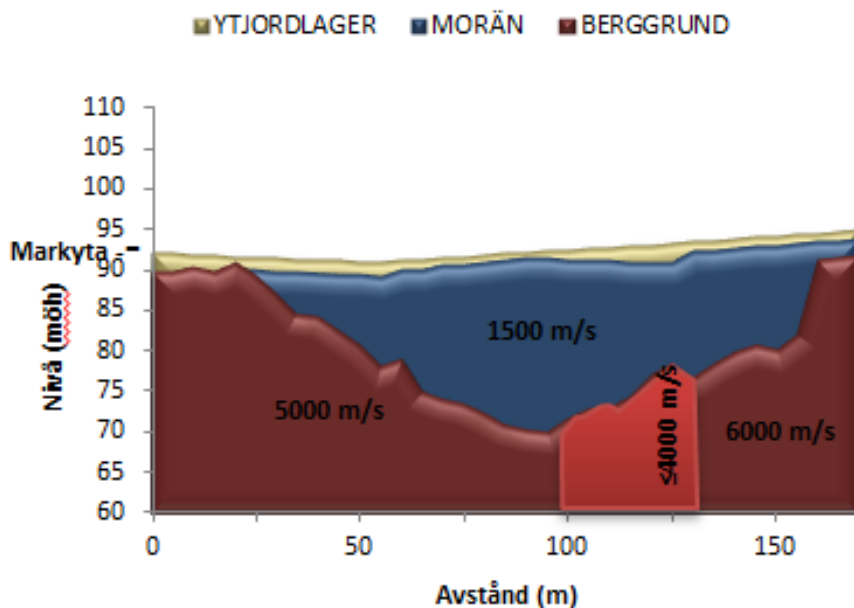


Figur 3. Seismisk profil från nordväst mot sydost av mätningar tvärs Sänna svaghetszon, strax väster om Hultsjön (se Bilaga 1 för mer detaljer).

3.2 Frösshyttan

Refraktionsseismik

Refraktionsseismik utfördes längs en 170 m lång nord-sydlig linje med start vid Väg 585 som enligt SGUs berggrundsgeologiska karta sammanfaller med Sänna förkastningszon (Figur 2). Jorddjupet ökar markant från ca 4 m i start och slutpunkt till ca 22 m centralt längs mätlinjen (Figur 4). Denna svacka sammanfaller med ett 30 m brett område med lägre gånghastighet, vilket tolkats som en uppsprucken svaghetszon, högst sannolikt Sänna förkastningszon som är belägen ca 100 m längre norr ut än vad berggrundskartan visar. Omgivande berg bedöms vara av god bergkvalitet med seismiska gånghastigheter på 5000–6000 m/s.



Figur 4. Seismisk profil från söder (Väg 585) mot norr (se Bilaga 2 för mer detaljer).

3.3 Verkasjön

Strukturgeologisk kartering

Berggrunden har studerats i hållar norr om Verkasjön (Figur 5). Dessa består uteslutande av grovporfyrisk yngre granit med storblockig karaktär. Två brant stupande huvudsprickgrupper har identifierats: den dominerande gruppen stryker mot NNV eller NO, medan en underordnad grupp har västlig strykning.

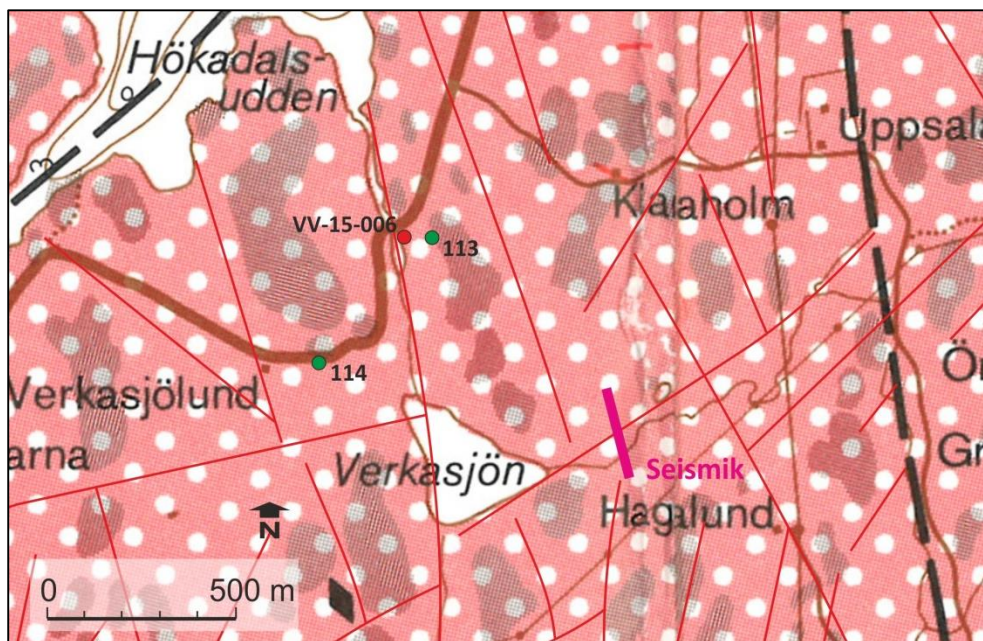
Refraktionsseismik

Mätning utfördes längs en nord-sydlig linje ca 230 m lång linje öster om Verkasjön (Figur 5). Jordmäktigheten är generellt 6–17 m, med ett tunt moräntäcke på berg i norra delen av linjen (Figur 6).

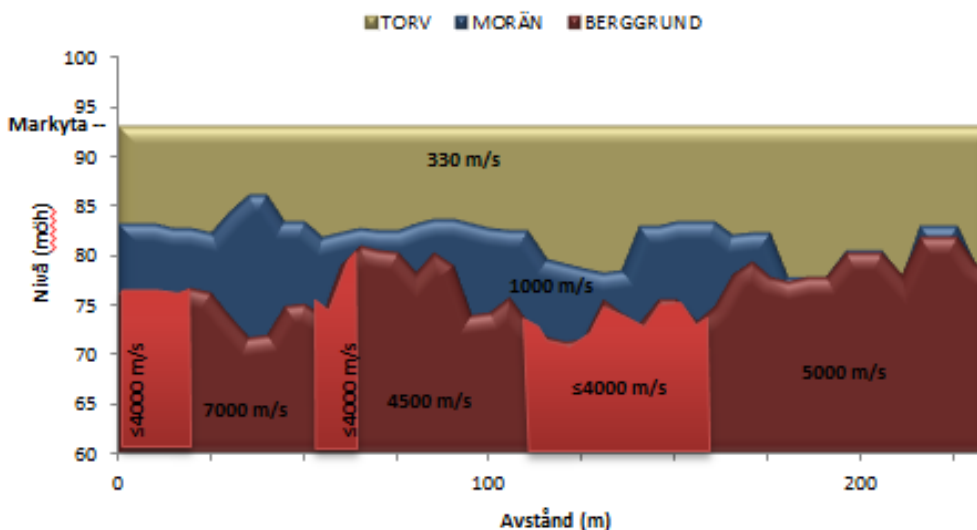
Vid lm 0–20, 50–60 och 110–160 längs profilen är gånghastigheterna i berg ≤ 4000 m/s, vilket tolkas vara sämre bergkvalitet vilket kan bero på en uppsprucken berggrund. Den lägre gånghastigheten mellan längdmätning 110–160 m sammanfaller med en svacka i berggrunden som är ca 17 m djup. I mellanliggande delar är gånghastigheten för berg 4500–7000 m/s, vilket innebär en generell god bergkvalitet.

Seismiklinjen korsas av ett kortare lineament (morfologisk formlinje), med sydvästlig till nordöstlig utsträckning, som är markerat på SGUs strukturgeologiska karta (Figur 5). Lineamentet trunkeras mot lineament av NNV till nordlig

utsträckning och de förmodat uppsprungna delarna bedöms inte representera mer omfattande svaghetszoner.



Figur 5. Detaljerad berggrundskarta (Wikström, 1989) som visar läget för den seismiska profilen öster om Verkasjön, samt hållar där provtagning (röd punkt) och/eller strukturgeologisk kartering (grön punkt) genomförts. Hållområden är skuggade och streckad linje = morfologiskt distinkt linje (vanligen svaghetszon). Röda linjer = lineament från strukturgeologiska kartan.



Figur 6. Seismisk profil för Verkasjön från söder mot norr (se Bilaga 2 för mer detaljer).

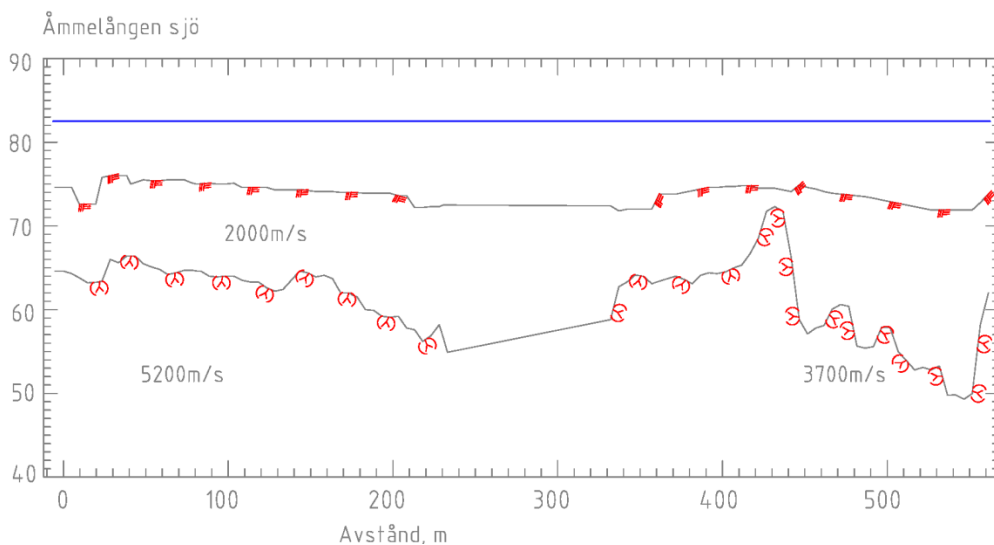
3.4 Dalby/Åmme svaghetszon

I anslutning till svaghetszonen har två olika områden undersökts; dels vid sjön Åmmelången och dels vid Nyhyttan, ca 1 km söder om sjön. Vid denna svaghetszon utfördes refraktionsseismik, ekolodning, strukturgeologisk ytkartering, kärnbörning, kärnkartering, vattenförlustmätning, samt provtagning av berg för bergmekaniska laborietester.

3.4.1 Åmmelången

Refraktionsseismik

Refraktionsseismik utfördes tvärs sjön Åmmelången sydöstra del (Figur 9). I Figur 7 redovisas profil med tolkade bergnivåer (översiktskarta redovisas i Bilaga 1). Vattendjupet vid de undersökta passagerna är 6–11 m och jordmäktigheten är generellt 10–20 m. Bergytans nivå ligger på mellan +50 och +65 för stora delar av området. Berggrunden är i de sydvästra delarna av bra bergkvalité, medan det mot Åmmelången östra del, mellan lm 450 till 550 (Figur 7), indikeras att bergmassan är uppsprucken till mycket uppsprucken. Detta är förmodligen en del av Dalby/Åmme svaghetszon som återfinns längs Åmmelången östra delar.

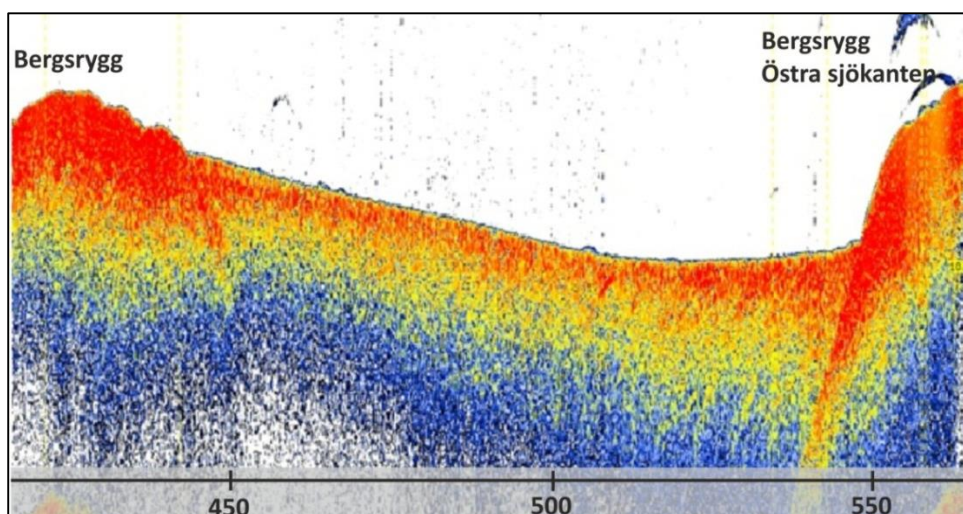


Figur 7. Seismisk profil från sydväst mot nordost vid sjön Åmmelången (se Bilaga 1 för mer detaljer). Mellan lm 240 och 340 utfördes inga mätningar då respektive seismiklinje lades ut från land.

Ekolodning

Förutom två linjer med refraktionsseismik utfördes även ekolodning för bestämning av sjöbottenläge. Data längs Åmmelången östra del, vilken antas sammanfalla med Dalby/Åmme svaghetszon, visar att sjöbotten utgörs av en ca

20 m bred bergsrygg vid lm 430 till 450 (Figur 8). Vid lm 550, längs kanten på Åmmelången sticker berget åter igen upp över bottensedimenten.

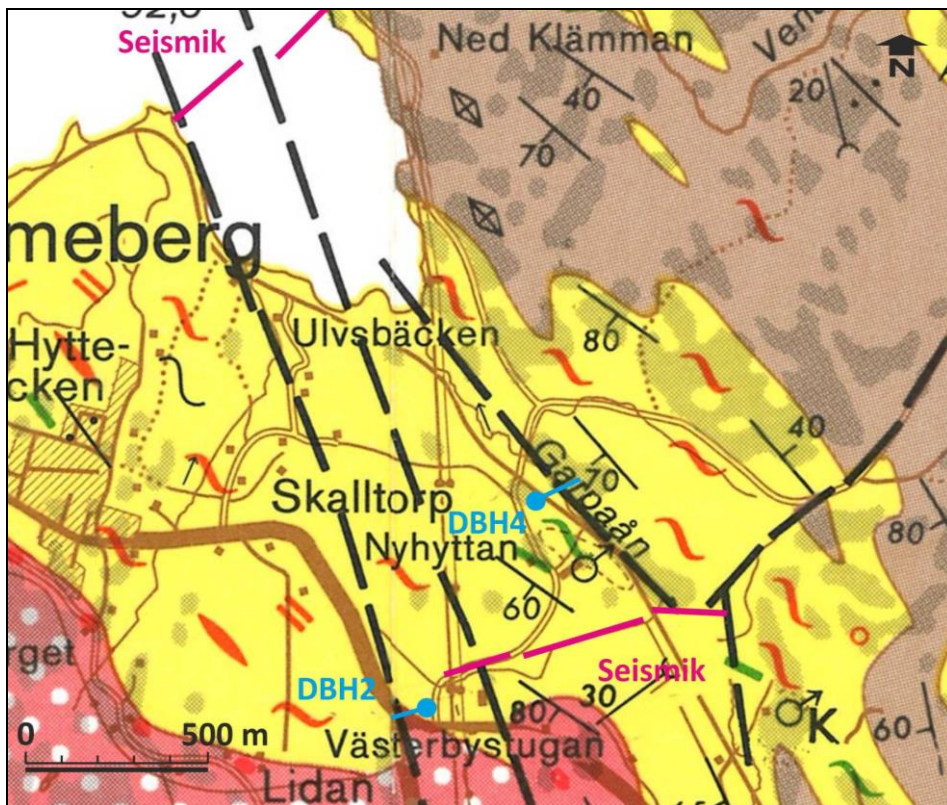


Figur 8. Ekolodsdata från östra delen av sjön Åmmelången. Två bergsryggar och ett mellanliggande parti med bottensediment framträder. Längdmätningen följer avståndsmarkeringarna i Figur 7.

3.4.2 Nyhyttan

På SGUs berggrundskarta 9F Finspång NV (Wikström, 1989) har Dalby/Åmme svaghetszon vid Nyhyttan markerats som ett brett stråk med en bredd på ungefär 500–800 m. Zonens längd har av SGU tolkats till närmare 30 km och följer Åmmenlången östra kant. För att kartlägga jorddjup och zonens karaktär vid Nyhyttan företogs strukturegeologisk kartering, refraktionsseismik längs en ca 800 m lång linje, kärnbörning: DBH2 (251,3°/46,4°, längd: 150 m) och DBH4 (65,4°/45,7°, längd: 202 m) och vattenförlustmätningar i kärnborrhålen. För undersökningarnas läge se Figur 9. Ytterligare ett borrhål (DBH3) föregick borrningen av DBH4. Borrningen avbröts dock då borrstången efter en passage av en bergrygg åter ut kom in i en volym av jord.

Kärnbörning på 400–450 m djup genom zonen väster om Zinkgruvan har tidigare utförts, vilket resulterat i borrhålsproblem och kärnförluster (Bergab, 2012). Längs vissa delar är zonen kraftigt uppsprucken, vittrad och vattenförande, medan mellanliggande berg är av god kvalitet.



Figur 9. Detaljerad berggrundskarta 9F Finspång NV (Wikström, 1989) som visar Dalby/Åmme svaghetszon i området kring Nyhyttan. Hällområdena är skuggade och streckad linje = morfologiskt distinkt linje (vanligen deformationszon).

Strukturgeologisk kartering

Svaghetszonerna som finns redovisade på kartan i Figur 9 framgår generellt tydligt i topografin i området. Väster om Dalby/Åmmezonen består berggrunden av en gråaktig, finkornig metavulkanit med varierande grad av foliation. Öster om zonen påträffades främst en rödaktig till grå, medel till grovkornig granit.

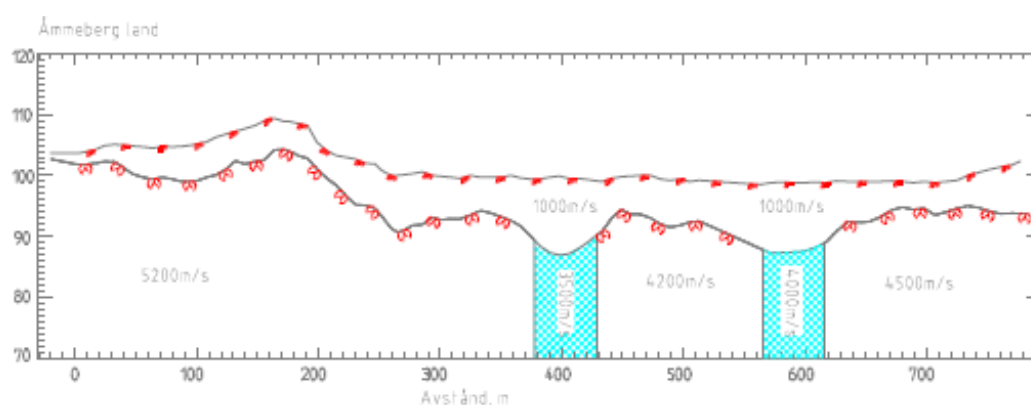
Den dominerande sprickrickningen i metavulkaniten tillhör en sprickgrupp som främst stupar brant åt sydost, men som ställvis även stupar 90°, samt brant åt nordväst. Denna sprickgrupp korsas av sprickor som stupar åt väst-sydväst (ca 75°), och som sammanfaller med den generella riktningen för större strukturer i området.

I den mer massformiga graniten, öster om zonen, är det glest med hållar och det går inte att basera en bra strukturell bild på de få strukturer som undersöktes. Terrängen antyder att den västliga strykningen är genomgående över graniten i Nyhyttan då många mindre sänkor och raviner löper i denna riktning.

Refraktionsseismik

Refraktionsseismiska undersökningar utfördes strax söder om Nyhyttan, ca 1 km söder om Åmmelångens södra spets (Figur 9). I Figur 10 redovisas profil med tolkade bergnivåer och två tolkade zoner med sämre berg som antas vara del av Dalby/Åmme förkastningssystem. Resultaten visar att bergytans nivå varierar mellan +87 till +95 i området med förmodad zon. Berggrunden vid de sämre delarna av zonen tolkas som uppsprucken till mycket uppsprucken medan mellanliggande berggrund tolkas som något uppsprucken. Omkringliggande berggrund bedöms hålla mycket god bergkvalité.

Undersökningarna indikerar tillsammans med den exponerade förkastningsbranten längs Garpån och möjligtvis även berghällarna i fältet norr om profilen (se Figur 11) förekomsten av ett horst-graben system.



Figur 10. Profil väst/östligt av mätningar söder om Åmmelången (se Bilaga 1 för mer detaljer). Blå rastretat område indikerar tolkade zoner med sämre bergkvalité.

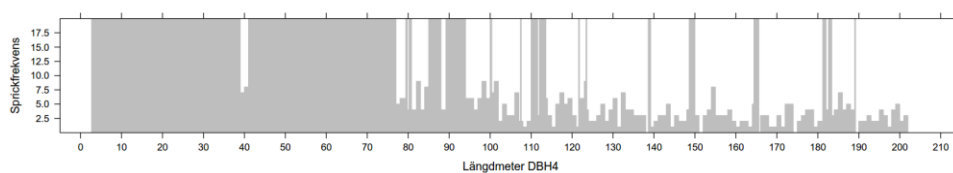


Figur 11. Satellitbild som visar den centrala delen av profilen längs vilken det utförts refraktionsseismik, samt de berghällar som förekommer i åkern norr om profilen och förkastningsbranten längs Garpån. Notera mönstret i fältet väster om berghällarna vilket indikerar ett ringa jordtäckte (<https://maps.google.se/>, 2014-02-03).

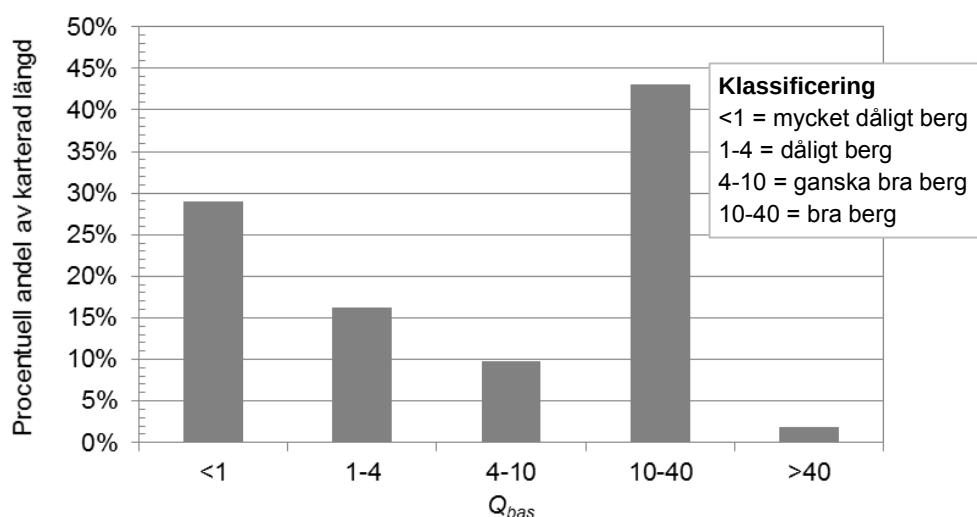
DBH4 norr om Nyhyttan

Borrkärna DBH4 borrades med 46° lutning åt nordost, ungefär parallellt med utlägget för refraktionsseismiken (Figur 9). Borrhålet penetrerar den del av Dalby/Åmme svaghetszon som i sin förlängning löper längs östra kanten av sjön Åmmelången för att fortsätta längs Garpån (se Figur 9 och Figur 11).

Kärnkarteringen av DBH4 (Bilaga 3) visar på helt uppkrossade partier med till lm 95. Se Figur 12 för en redovisning över sprickfrekvens per LM borrkärna. Mellan lm 58–66 (krosszon) förekommer kraftig leromvandling. Bergarterna övergår från granitoid vid lm 52 till felsisk metavulkanit. Borrhålet penetrerar även två diabasgångar. För detaljer, se Bilaga 3. I Figur 13 redovisas fördelning av bergkvalitet som Q_{bas} -värden.



Figur 12. Sprickfrekvens per längdmeter borrhälskärna för DBH4. Kross- och sprickzoner är angivna med sprickfrekvens=20 spr/m.



Figur 13. Klassificerad bergkvalité i DBH4 redovisat som procentuell fördelning av Q_{bas} .

I DBH4 utfördes vattenförlustmätningar i 5 stycken längre mätsektioner (Tabell 5). Mätningarna tyder på ett relativt låg genomsläpplig bergmassa där de vattengenomsläppliga strukturerna främst finns vid lm 60–95. I Bilaga 8 redovisas detaljerade resultat från vattenförlustmätningarna.

Tabell 5. Utförda vattenförlustmätningar i DBH4 samt utvärderad hydraulisk konduktivitet och Lugeon-värde. Angivna sektionslängder avser borrhålslängd.

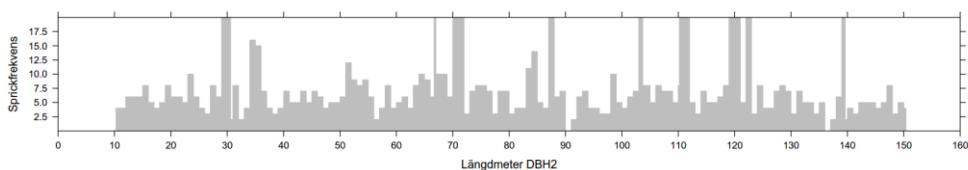
ID	Vattenförlustmätta sektioner	Hydraulisk konduktivitet [m/s]	Lu-värde
DBH4	12–203,3	$1,1 \times 10^{-8}$	0,04
	40–203,3	$9,9 \times 10^{-9}$	0,05
	60–203,3	$9,9 \times 10^{-9}$	0,05
	95–203,3	0	0
	130–203,3	0	0

DBH2 sydväst om Nyhyttan

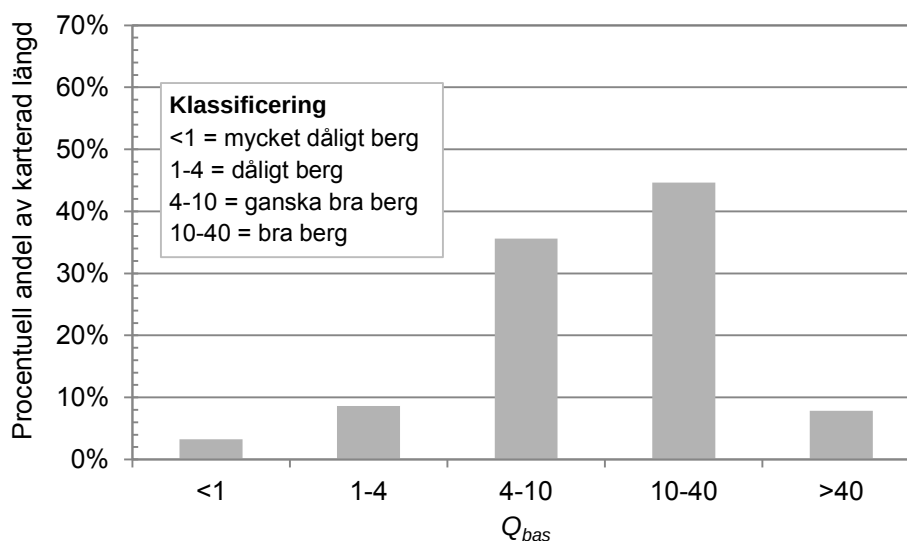
Borrkärna DBH2 borrades med 46° lutning åt VSV, ungefär parallellt med linjedragningen för refraktionsseismiken (Figur 9). Syftet med borrhålet är att bestämma omfattningen av den västra begränsningen av Dalby/Åmme svaghetszon. Detaljerad kärnkartering redovisas i Bilaga 3.

Karteringen av borkärnan visar genomgående på en bergmassa av bra bergkvalitet (generellt 4–8 spr/m), se Figur 14. Endast ett fåtal uppkrossade partier på ca 1 m längd förekommer. Det förefaller därmed som att denna del av Dalby/Åmme svaghetszon är mycket begränsad till sin omfattning med deformationen koncentrerad till smala stråk. Alternativt är zonens västra begränsning belägen längre österut, vilket skulle betyda att den är smalare än vad som indikeras på SGUs berggrundskarta (Wikström, 1989). Bergarten övergår från felsisk metavulkanit till granitoid vid lm 56, varefter metavulkaniten återkommer vid lm 106.

I Figur 15 redovisas fördelning av Q_{bas} -värden.



Figur 14. DBH2. Sprickfrekvens per längdmeter borkärna. Kross- och sprickzoner är angivna med sprickfrekvens=20 spr/m.



Figur 15. Karterad bergkvalité i DBH2 redovisat som procentuell fördelning av Q_{bas} .

I DBH2 utfördes vattenförlustmätningar i 3 m sektioner mellan lm 12–72. Vattenförlust större än mätgräns uppmättes enbart i sektionerna mellan lm 15–21 och indikerade en hydraulisk konduktivitet på ca 2×10^{-7} m/s (Lugeon-värde ca 1,5). Vattenförlustmätning i större skala utfördes även för tre längre sektioner (helhål, halvhål och nedersta tredjedelen). Enbart helhålmätningen visade på en mindre vattenförlust vilket indikerar att de vattenförande sektionerna främst finns ytligt. I Bilaga 8 redovisas detaljerade resultat från vattenförlustmätningarna.

Tabell 6. Utförda vattenförlustmätningar i DBH2 samt utvärderad hydraulisk konduktivitet och Lugeon-värde. Angivna sektionslängder avser borrhålslängd.

ID	Vattenförlustmätta sektioner	Hydraulisk konduktivitet [m/s]	Lu-värde
DBH2	12–15	0	0
	15–18	$1,7 \times 10^{-7}$	1,6
	18–21	$1,7 \times 10^{-7}$	1,3
	21–72 (alla 3 m sektioner)	0	0
	12–150,4	$1,6 \times 10^{-8}$	0,08
	60–150,4	0	0
	100–150,4	0	0

3.5 Vena gruvfält

Vena Gruvfält består av en mängd mindre gruvor som främst har brutits efter kobolt under sent 1700-tal. Men det finns områden där brytning av koppar och silver skett sedan 1500-talet (SGU, 1987). De ligger relativt tätt med lämningar efter driftsbyggnader runt omkring.

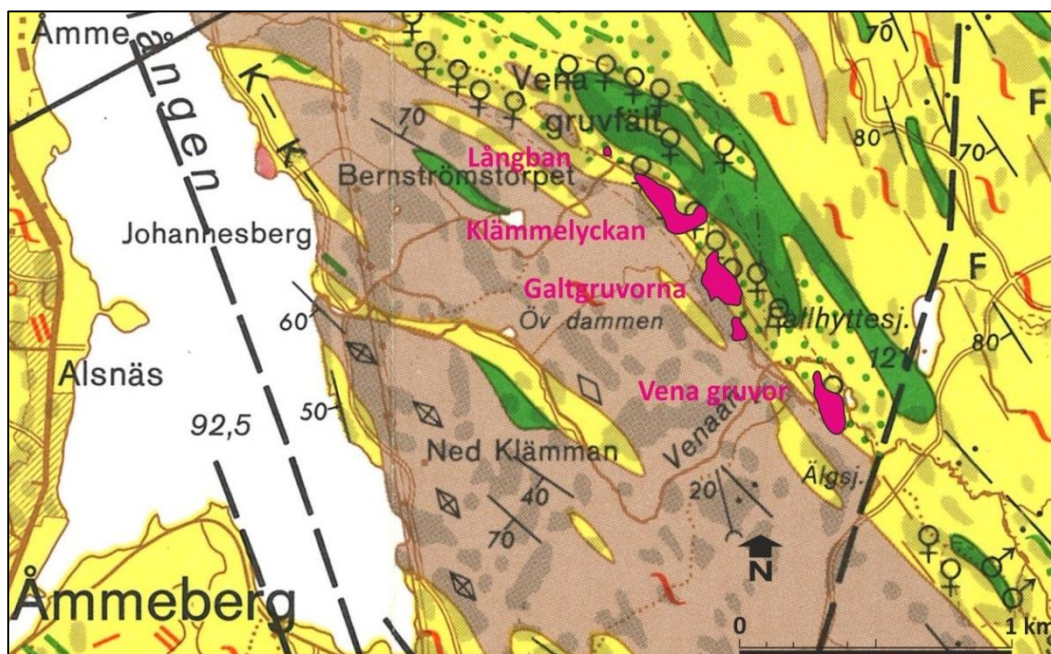
Malmen ligger i ett antal parallella stråk som är 0,5–5 m breda och kan vara upptill 500 m långa. Malmmineralen utgörs av, i ordning efter förekomst; magnetkis, svavelkis, kopparkis, koboltglans, zinkblände, arsenikkis, kobellit, blyglans, speisskobolt och vismutglans. Enligt SGU (1987) har brytning skett i totalt 209 platser inom området (Figur 16).

Med beaktande av malmernas smala utbredning är de enskilda gruvorna sällan mer än några meter i bredd men gruvområdet sträcker sig ett par kilometer i längd och nästan en kilometer i bredd över den tänkta sträckningen.

Enligt sammanställning i Bäckström (2005) är de djupaste gruvorna Galtgruvorna med ett djup på mellan 60–70 m. Övriga gruvor med betydande djup är Klämmelyckan (42 m) samt Gamla Venagruvan (35 m), se även Figur 16 och Figur 17. Det kan inte uteslutas att det finns andra gruvor med djup neremot 30 m men dominerande andelen gruvor har måttliga djup (< 20 m) eftersom malmkropparna var så smala. I dagsläget är djupet svårt att klarlägga på plats då de är vattenfyllda och förekomst/mäktighet av tippad gruvslag i gruvhålen inte går att avgöra. Kompletterande undersökningar krävs för att säkerställa faktiska djup av gruvor i området. Då markytan i området generellt är ca +140, innebär detta att Galtgruvorna maximalt når ner till en nivå motsvarande +70 till +80 medan övriga gruvor förmodligen har en lägsta nivå överstigande +100.



Figur 16. Vena gruvfält. Gruvområden med djupare (> 35 m) gruvor markerade med rött.

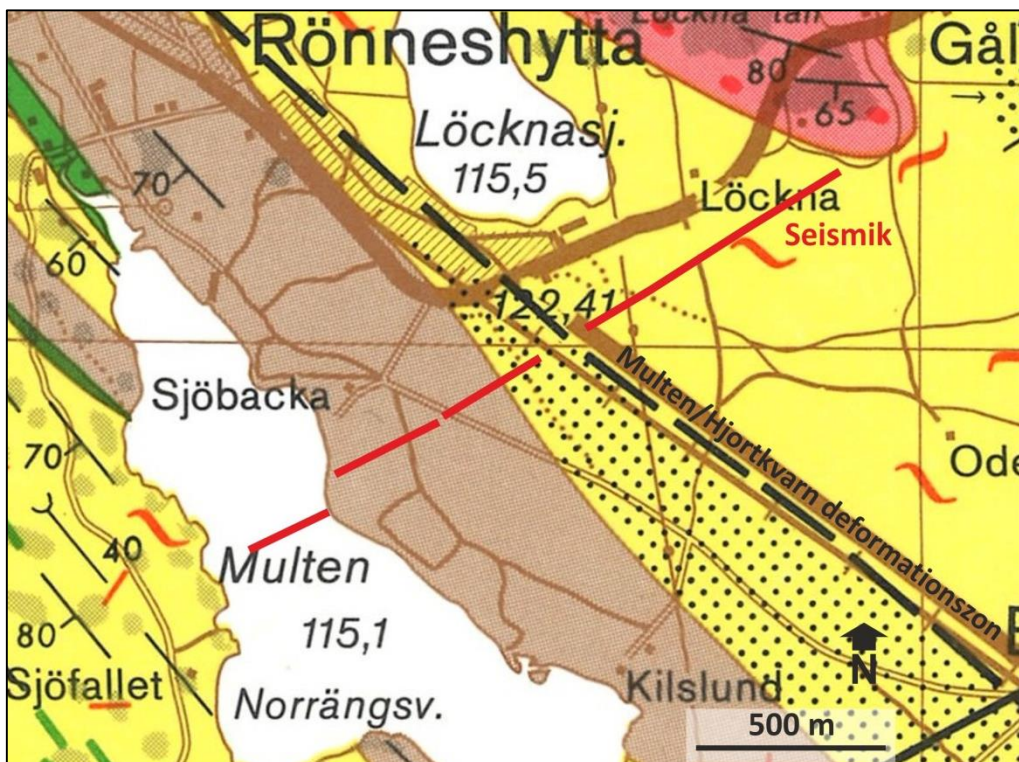


Figur 17. Detaljerad berggrundskarta (Wikström, 1989) som visar Vena gruvfält, öster om Åmmelången. Gruvområden med djupare (> 35 m) gruvor markerade med violett.

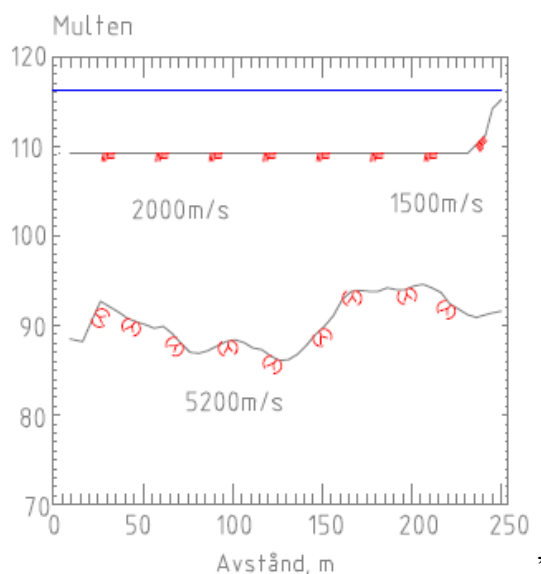
3.6 Multen

Refraktionsseismik

Refraktionsseismiska undersökningar utfördes tvärs sjön Multen för att bedöma sjö- och jorddjup vid sjöpassagen (se Figur 18 för läge). I Figur 19 redovisas profil med tolkade bergnivåer. Mätningarna visar på ett vattendjup på ca 6 m och ett jorddjup på mellan 15–20 m. Bergnivån är mellan +87 och +95. Berggrunden tolkas som mycket bra längs hela mätsträckan.



Figur 18. Detaljerad berggrundskarta (Wikström, 1989) som visar omfattningen av de refraktionsseismiska undersökningarna i anslutning till sjön Multen och Rönneshytta. Notera att inga mätningar utfördes över Multen/Hjortkvarn deformationszon eftersom den sammanfaller med järnvägens sträckning.

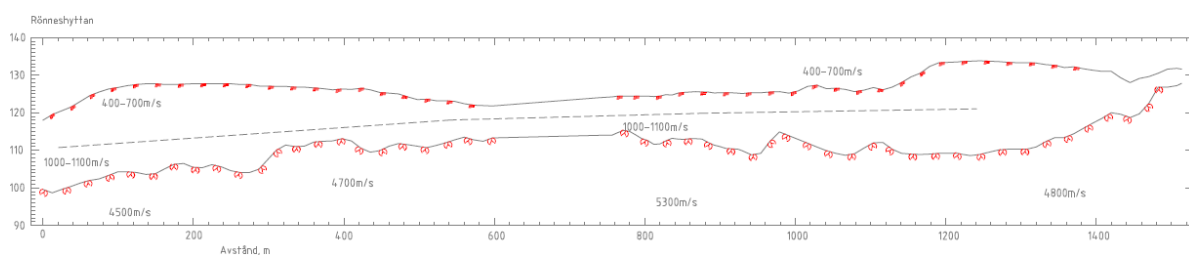


Figur 19. Profil från sydväst mot nordost av mätningar vid sjön Multen (se Bilaga 1 för ytterligare detaljer).

3.7 Rönneshytta

Refraktionsseismik

Mätningar utfördes för att bedöma jordmaktigheterna vid isälvsavlagringarna sydöst om Rönneshyttans samhälle (Figur 18). I Figur 20 redovisas profil med tolkade bergnivåer. I området mot sjön Multen är jorddjupet ca 20 m för att minska i maktighet till ca 10 m vid järnvägen. Därefter är maktigheten mellan 10–25 m och i de östra delarna av det undersökta området minskar jorddjupet och det förekommer berg i dagen. Bergnivåerna är ca +100 i de västra delarna och ökar upp mot +120 i de östra. Väster om järnvägen bedöms berggrunden vara något uppsprucken medan öster om järnvägen är det ett mycket bra berg. Notera att inga mätningar företagits över Multen/Hjortkvarn deformationszon, då den på SGUs karta sammanfaller med järnvägens sträckning.

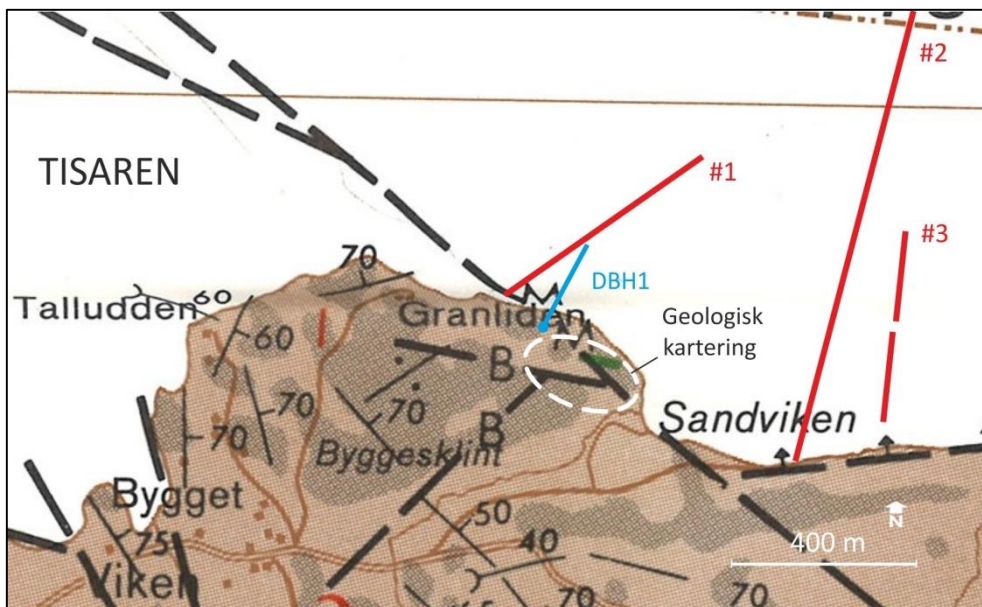


Figur 20. Profil från sydväst mot nordost av mätningar vid Rönneshyttan (se Bilaga 1 för mer detaljer). Sträckan mellan lm 600 till 780 mättes ej på grund av passage av järnväg och väg.

3.8 Södra Tisaren

På SGUs berggrundskarta (Wikström, 1989) finns det ett antal deformationszoner med markeringar för mylonit och breccia. Bland annat löper det en närmare 30 km lång, spröd-plastisk deformationszon med nordvästlig-sydöstlig strykning längs östra delen av Granliden, längs sjön Tisarens södra strand.

För att skapa sig en bild av zonens karaktär, samt bedöma sjö- och jorddjup, företogs, strukturgeologisk kartering, tre linjer med refraktionsseismik och ekolodning, samt kärnbörning (DBH1 29,9°/46,0°, längd: 290 m) och vattenförlustmätningar (se läge i Figur 21).

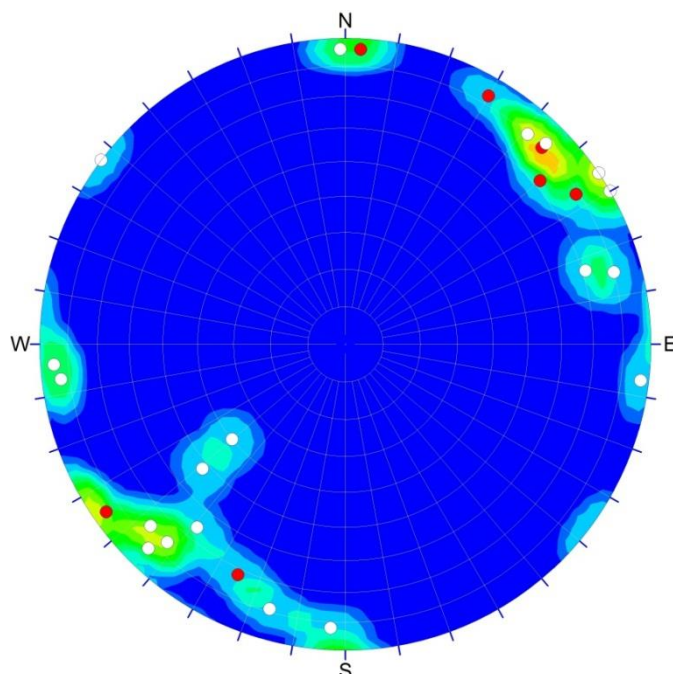


Figur 21. Detaljerad berggrundskarta (Wikström, 1989) som visar läget för undersökningar utförda längs Tisarens södra strand. Hållområden är skuggade, streckad linje = morfologiskt distinkt linje (ofta deformationszon), M = mylonit och B = breccia.

Strukturgeologisk kartering

Berggrunden på udden öster om Granliden utgörs av en gråröd, medelkornig granit, med mer eller mindre distinkt foliation. Stråk med kraftigt kornstorleksförminskat material som bildar mylonit förekommer generellt i hela området, ofta associerat med parallellt orienterade, epidotläkta sprickor, med semi-plastisk karaktär. Överpräglade spröd deformation med sprickor som i huvudsak är parallella med den plastiska deformationen (se Figur 22), vilken är brant stupande och stryker i nordvästlig-sydöstlig riktning. Dessutom påträffades en 20 mm bred, kvartsläkt

spricka, orienterad $286^{\circ}/79^{\circ}$. Bergmassan är småblockig med blocklängder på 1–6 dm. Sprickplanen är undulerande och råa, utan synlig sprickfyllnad. Inga säkra observationer har gjorts på varken förkastningsriktning eller förkastningsrörelsens storlek.



Figur 22. Stereografisk projektion som visar polpunkter till myloniter (röda) och sprickplan (vita) på udden öster om Granliden, vid Tisarens östra strand.

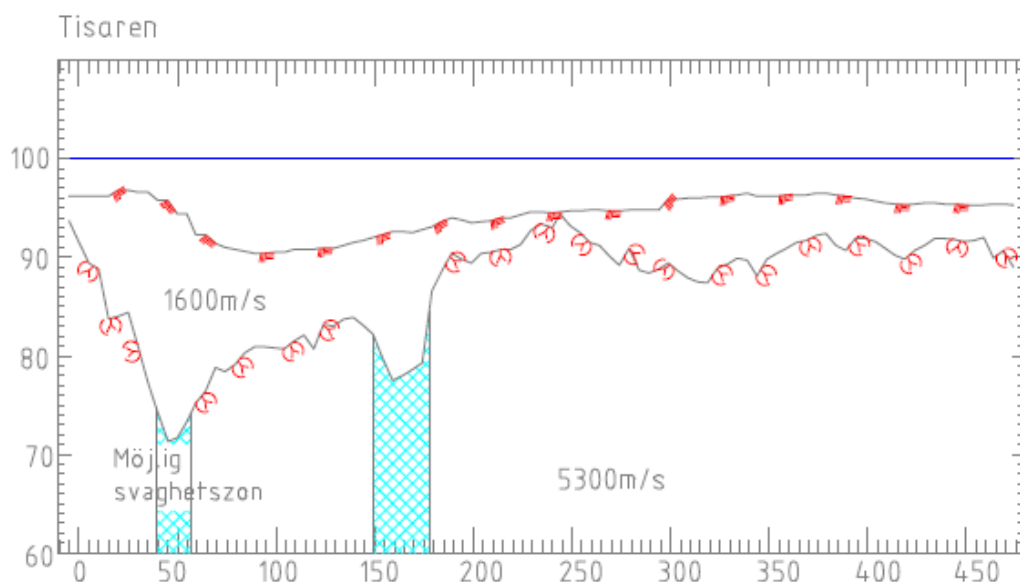
Refraktionsseismik

I Figur 23 till Figur 25 redovisas profiler med tolkade bergnivåer och tolkade zoner med sämre berg. Vattendjupet varierar mellan 1 och 9 m. I de två västligaste profilerna (#1 och #2 i Figur 21) är jordmaktigheten generellt 0–7 m med relativt mäktiga jordlager (10–20 m) i topografiska lågpunkter närmast den södra stranden, vilka sammanfaller med tolkade svaghetszoner. Svackans omfattning är betydligt mer påtaglig i den västligaste profilen (#1, Figur 23). I den östliga profilen (#3, Figur 25) är jorddjupet generellt 15–20 m och därmed betydligt större än längs de två västliga linjerna.

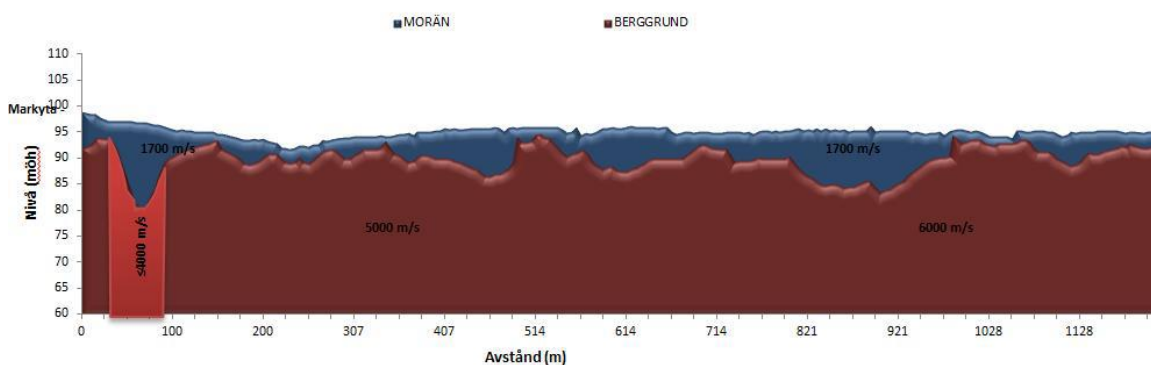
Längs linje #1 bedöms det finnas två möjliga svaghetszoner med uppsprucket berg i området närmast land. Berggrunden ca 200 m från land och norrut bedöms vara av bra kvalitet. Längs linje #2 är bedömningen att det finns en svaghetszon i nära anslutning till land, men ca 100 m från land och norrut är bergkvaliteten god. Längre österut, längs linje #3, är bedömningen att en svaghetszon förekommer ca 300 m från land och att berget i övrigt är av god kvalitet. Det ska dock noteras att denna linje startar ett 50-tal meter från land och att en zon i direkt anslutning till land

därmed inte nödvändigtvis fångats upp. För ytterligare detaljer, se Bilaga 1 och Bilaga 2.

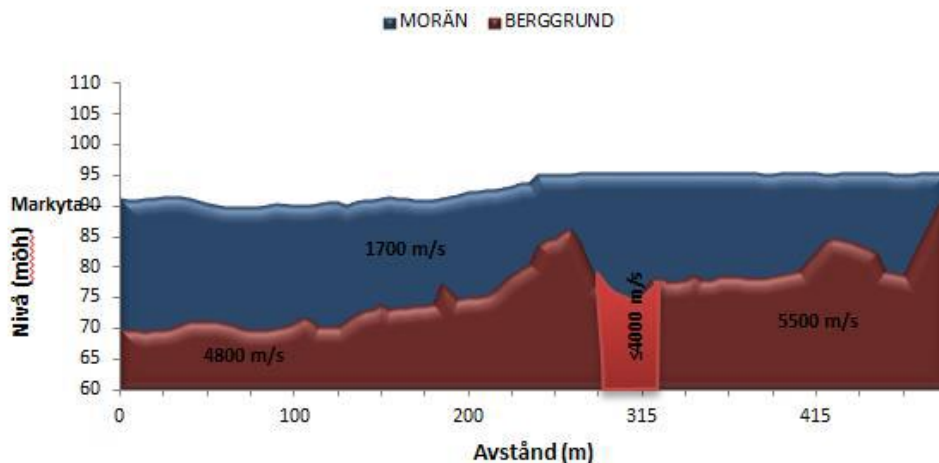
Sammanfattningsvis, förefaller förutsättningarna vara bäst längs den centrala linjen (#2), med mest gynnsam bergtäckning (en lägsta bergnivå på +81) och en väldefinierad zon med sämre bergkvalité i anslutning till land och i övrigt seismiska gånghastigheter ≥ 5000 m/s.



Figur 23. Profil #1, från sydväst mot nordost för tolkade seismiska mätningar vid sjön Tisarens södra strand (se Bilaga 1 för mer detaljer). Blå rasteryddat område indikerar tolkade zoner med sämre berg.



Figur 24. Profil #2, från söder mot norr för tolkade seismiska mätningar vid sjön Tisarens södra strand (se Bilaga 2 för mer detaljer). Rött område indikerar tolkade zoner med sämre berg.



Figur 25. Profil #3, från söder mot norr för tolkade seismiska mätningar vid sjön Tisarens södra strand (se Bilaga 2 för mer detaljer). Ljusrött område indikerar tolkade zoner med sämre berg.

Ekolodning

Ekolodning har utförts längs de två östliga seismiklinjerna, #2 och #3, samt i förlängningen av #2 mot norr med en slutpunkt 1 950 m från den södra stranden. I slutet av linje #2 förekommer lokalt berg i dagen och mellan ca 1 750 och 1 950 m från den södra stranden, visar ekolodsdata att berg förekommer mycket ytligt under sedimenten.

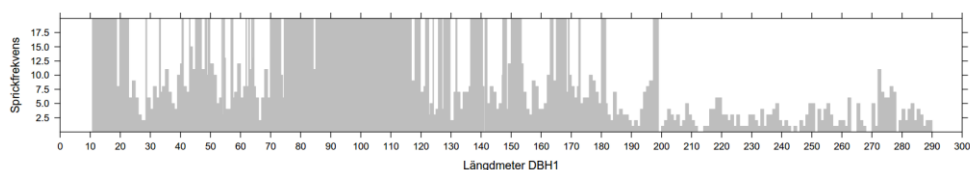
DBH1 vid sjön Tisaren

DBH1 borrades med 46° lutning mot nordost, snett mot linjedragningen för refraktionsseismiken (Figur 21). Riktningen bestämdes utifrån seismiken samt de observationer som gjorts vid den kompletterande ekolodningen. Borrhålet stryker med linjedragningen för refraktionsseismiken och kan därför användas för att verifiera resultatet från densamma.

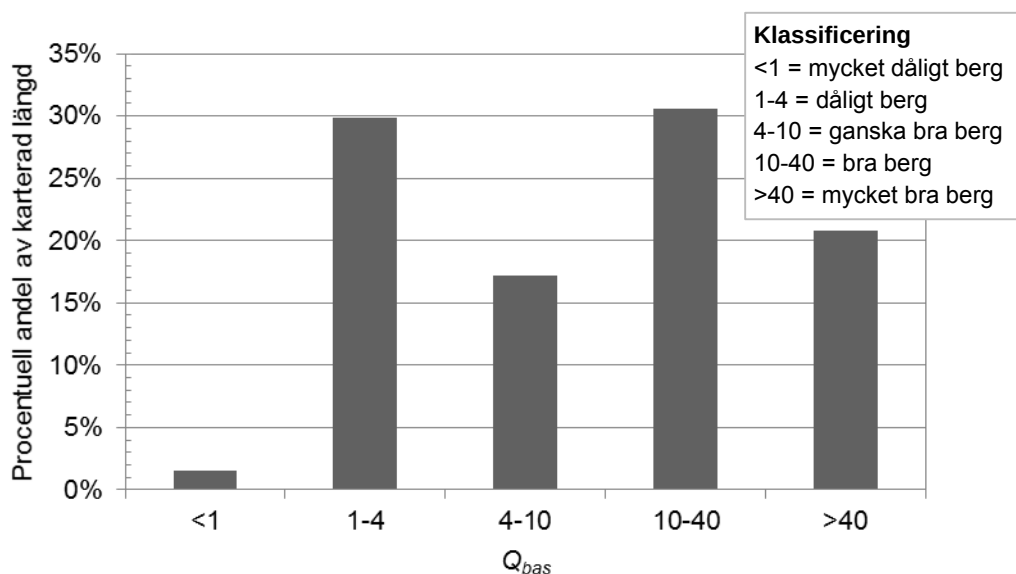
Kärnkarteringen av DBH1 (se Bilaga 3 för detaljer) bekräftar delvis resultaten från refraktionsseismiken (Figur 23). Det ytnära berget från påhugget vid lm 11 ned till lm 23 är uppkrossat (Figur 26), vilket eventuellt kan indikera förekomsten av en svaghetszon. Ett andra uppkrossat intervall som förutsätts motsvara en brantsående svaghetszon förekommer vid lm 70–120 (Figur 26). I övrigt är berget av god kvalité med en sprickfrekvens på 1–7 spr/m. Dock förekommer kortare sektioner med krosszoner på upp till 3 m kärnlängd sporadiskt i borrhälet ned till lm 200.

Bergarten övergår från granitoid vid lm 120 till felsisk metavulkanit, varefter granitoiden återkommer vid lm 160. Den bergartsgräns som indikeras av SGUs berggrundsgeologiska karta (Wikström, 1989) förefaller därmed vara belägen längre norrut i Tisaren.

I Figur 27 redovisas fördelning av Q_{bas} -värden.



Figur 26. Sprickfrekvens per längdmeter borrhäns. Kross- och sprickzoner är angivna med sprickfrekvens=20 spr/m.



Figur 27. Karterad bergkvalité i DBH1 redovisat som procentuell fördelning av Q_{bas} .

I DBH1 utfördes vattenförlustmätningar i 3 m-sektioner mellan lm 25–40. Mellan lm 28–40 uppmättes höga genomsläppligheter (Tabell 7). Vattenförlustmätning i större skala utfördes även för tre längre sektioner enligt Tabell 7. Även mätningarna i större skala visar på att den största genomsläppligheten är mellan lm 25–40. Från lm 40 är uppmätta vattenförluster mindre än mätgräns vilket indikerar ett minde genomsläppligt berg. I Bilaga 8 redovisas detaljerade resultat från vattenförlustmätningarna.

Tabell 7. Utförda vattenförlustmätningar i DBH1 samt utvärderad hydraulisk konduktivitet och Lugeon-värde. Angivna sektionslängder avser borrhålslängd.

ID	Vattenförlustmätta sektioner	Hydraulisk konduktivitet [m/s]	Lu-värde
DBH1	25–28	$3,6 \times 10^{-7}$	3,4
	28–31	$1,2 \times 10^{-6}$	11,2
	31–34	$2,2 \times 10^{-6}$	20,9
	34–37	$8,5 \times 10^{-7}$	7,9
	37–40	$1,0 \times 10^{-6}$	9,6
	40–70	0	0
	25–290,1	$5,9 \times 10^{-8}$	0,26
	72–290,1	$2,0 \times 10^{-8}$	0,09
	130–290,1	0	0

4 Förslag på lägen för arbetstunnlar

Antalet och placering av arbetstunnlar beror på val av drivningsmetod och optimering av såväl berguttagsfrågor som logistiska frågor. Föreslagna lägen är därför flexibla. Läge avser ungefärlig längdmätning för vattentunneln och med beaktande av djup till tunnelnivå beräknas ungefärlig längd för arbetstunnlarna. Lämpliga ytlägen för arbetstunnelpåslag kan dock förläggas inom en relativt stort omkrets från tunneln. Detta innebär att såväl läge som längd kommer att justeras då man beslutar om exakt läge för påslag. I Tabell 8 redovisas föreslagna placeringar av arbetstunnlar.

Tabell 8. Förslag på placering av möjliga lägen för arbetstunnlar. En lutning på 10 % har antagit vid beräkning av längd.

Arbetstunnel	Läge	Nivå påslag [m]	Nivå huvud- tunnel [m]	Ungefärlig längd [m]
AT 1	0/550–0/650	+119	+81	380
AT 2	4/850	+93	+56	370
AT 3:a	13/300	+109	+53	770
AT 3:b	12/150	+129	+46	830
AT 3:c	9/820	+123	+46	560
AT 4:a	17/370	+134	+51	830
AT 4:b	20/120	+126	+55	710
AT 4:c	21/800	+150	+57	930
AT 5:a	27/300	+162	+51	1 300
AT 5:b	27/830	+136	+49	1 100

Förutsättningarna för att etablera en arbetstunnel för respektive läges beskrivs utgående från följande parametrar:

- Topografi
- Geologi
- Påslagslägen
- Etableringslägen
- Tillfartsvägar/byggvägar

Erforderlig bredd för arbetstunnlarna utgår från att det ska vara möjligt med dubbelriktad trafik för att effektivisera berguttaget. Detta medför att antagen bredd är ca 7 m och den totala arean ca 35 m². För själva tunnelpåslaget krävs att bergtäckning för tunneln är relativt gynnsam. Idealet är att gå in i en bergslänt med stor överliggande bergtäckning. Alternativet är att göra en nedåtgående ramp med tillräcklig längd innan erforderlig bergtäckning erhålls. Vid tunnelportal är det önskvärt att ha en bergtäckning motsvarande 5–10 m i tunneltak.

I anslutning till arbetstunnlarna krävs förutom själva bergpåslaget även utrymme för uppställning av maskinutrustning, manskapsbodar, rening av processvatten från tunneln, mindre lager och avlastningsytor. Den totala yta som krävs för detta uppskattas till 1–2 ha.

Vid uttag av bergmassor krävs även en upplagsyta för omlastning av bergmaterial. Storlek på denna yta är beroende av möjlighet till omsättning och användningsområde för bergmaterialet, vald brytningsteknik samt logistiska frågor såsom tider när borttransport kan ske. Erforderlig yta har uppskattats till i genomsnitt 1 ha för arbetstunnlarna. Lokalt kan större eller mindre yta behöva tas i anspråk med beaktande av ovanstående.

Om tunnlar ska tas ut med TBM krävs även en yta för transformatorer och övriga elektriska installationer vilken har uppskattats till ca 0,5 ha inklusive ett visst skyddsområde mot övrig verksamhet. Ur säkerhetssynpunkt kan denna yta alternativt placeras helt skilt från övrigt etablerings- och upplagsområde.

Detta innebär att man i anslutning till påslagen för arbetstunnlarna behöver en yta på 2–4 ha för etablering och upplag. Generellt antas att områdena för TBM kräver en något större tillgänglig yta. Det ställs inga egentliga krav på etablerings- och upplagsytorna förutom att det är önskvärt med begränsade höjdskillnader. Kan man utnyttja befintliga öppna ytor såsom ängsmark minskar dock behovet av förberedande arbeten och även omgivningspåverkan.

Arbetstunnlar och etableringsområden förutsätts generellt enbart användas under byggskedet och återställs när arbetena avslutas. Det kan eventuellt framkomma behov av att någon av arbetstunnlarna behöver användas och vara tillgänglig för underhåll och service men grundförutsättningen är att merparten kommer att stängas och naturligt successivt vattenfyllas.

4.1 Arbetstunnel 1

Arbetstunnel 1 (AT 1) är planerad på Hargehalvön, ett större höjdområde väster om Riksväg 50, drygt 0,5 km från planerat intag vid Vättern. Ett rekommenderat utförande av intaget är att från AT 1 driva konventionellt ned mot Vättern och där bygga ett mindre bergtrum för en silstation. Intagsledningar till bergtrummet ansluts via horisontella borrhål (se principskiss i avsnitt 4.1, *Systemhandling 1*)

Topografi

Den föreslagna etableringen är belägen i en kuperad del av Hargehalvön med marknivåer mellan +120 och +150. Sanka lågområden på ca +125 bildar sammanhängande ytor på uppskattningsvis ett par hektar mellan höjderna (Figur 28).

Geologi

Höjdområdet består av ett tunt jordtäckte på berg. Berggrunden vid Hargemarken består av äldre gnejsiga granitoider med lokala förekomster av amfibolit. Generellt storblockigt (kantlängder på 0,5–2 m) med 2–3 brant stupande huvudsprickriktningar.

Etableringslägen

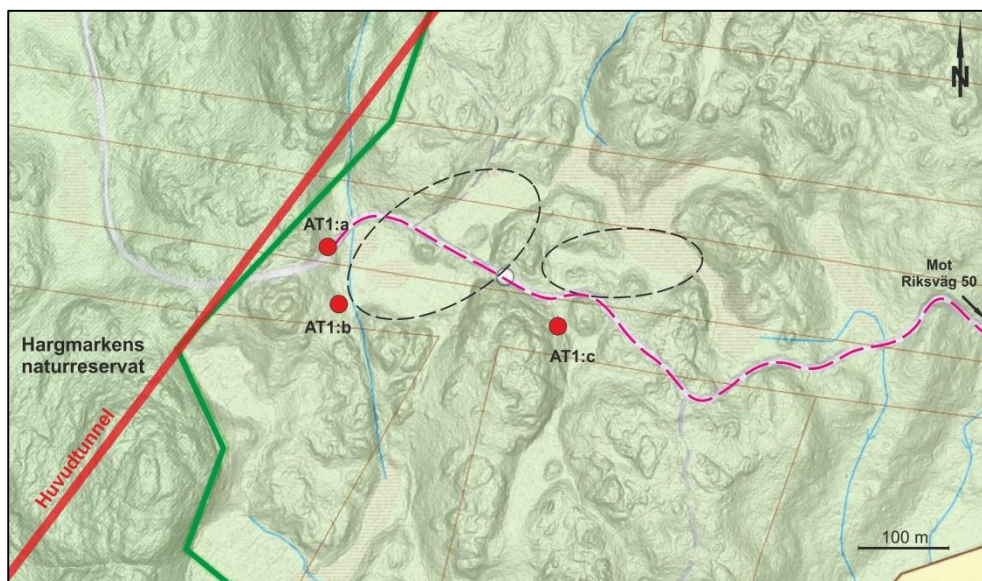
Området består till stor del av höjder som inte är så lämpligt för etablering av en arbetstunnel. Tre alternativa lägen för etablering föreslås. Alla är belägna i plana, något sank, skogsbevuxna lågområden på ca 1 ha i omedelbar anslutning till en skogsbilväg och lämpliga påslagslägen. Det västligaste förslaget är beläget strax öster om Hargemarkens naturreservat, ett oexploaterat vildmarksområde, åtskiljs från potentiella påslagslägen av en bäck (Figur 28). Den östliga förslaget är något kuperad, mindre och mer långsträckt.

Påslagslägen

Stor topografisk variationen gör att det finns ett flertal lämpliga påslagslägen med snabbt ökande bergtäckning. Intrång i Hargemarkens naturreservat bör dock undvikas.

Logistik

Förslaget område ligger i omedelbar anslutning till en skogsbilväg som ansluter till Riksväg 50 vilket innebär goda möjligheter att transportera bort uttaget bergmaterial. Skogsbilvägens avstånd till närmaste bebyggelse är genomgående mer än ca 400 m.



Figur 28. Föreslagna etableringsområden (svart streckad linje) för AT 1 med lämpliga påslagslägen (röda punkter) och arbetsväg (streckad violett). Även planerad tunnelstäckning (heldragen röd linje), fastighetsgränser (tunna bruna linjer) och gräns för naturreservat (heldragen grön linje) är markerade. Underlag: Lantmäteriets data från <http://www.fmis.raa.se/>.

4.2 Arbetstunnel 2

Arbetstunnel 2 (AT 2) är planerad att förläggas vid Frösshyttan i anslutning till Väg 585, ca 1,5 km nordost om Hultsjön.

Topografi

Den planerade etableringen är belägen vid den sydligaste utlöparen av ett större höjdområde (Hytteberg) med flertalet höjdryggar som omges av bergbranter. Marknivån vid varierar mellan +90 och +115.

Geologi

Berggrunden består av grovporfyrisk yngre granit. Berget är relativt sprickfattigt men dominerande sprickriktning nordväst-sydöstlig strykning som stupar brant samt en underordnad vinkelrätt sprickgrupp.

Etableringslägen

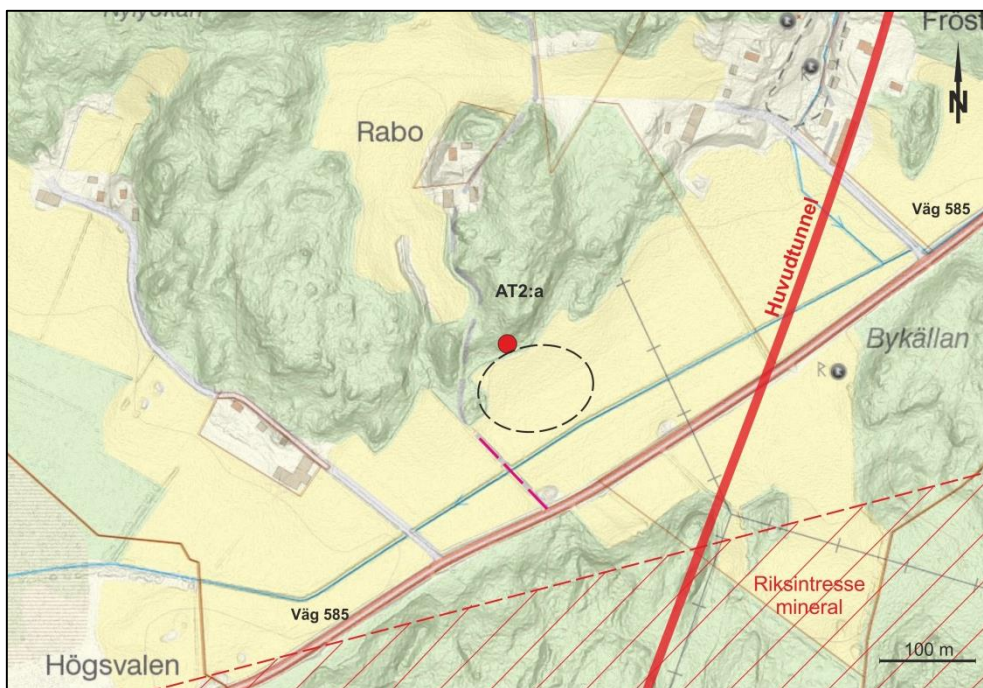
Längs Väg 585 finns ett lågområde med åkermark på +92 till +95 som bedöms utgöra en lämplig etableringsyta (Figur 29 och Figur 30). Eftersom det finns ett flertal hus och gårdsbildningar i nära anslutning till området bör en placering av etableringsytor samordnas för att minimera påverkan.

Påslagslägen

Topografin vid Frösshyttan utgörs av flertalet höjder med bergsbranter, vilka lämpar sig väl för påslag. I Figur 29 redovisas ett förslaget påslagsläge. Eventuella alternativa lägen bör utses i samråd med övriga intressenter såsom markägare, närboende, Trafikverket, etc.

Logistik

Generellt finns det goda möjligheter till direkt anslutning till väg 585 mot Zinkgruvan. Eventuellt kan vägen mot Rabo nyttjas som arbetsväg för anslutning till Väg 585.



Figur 29. Förslaget etableringsområde (svart streckad linje) för AT 2 med lämpligt påslagsläge (röda punkt) och arbetsväg (streckad violett linje). Även planerad tunnelstäckning, riksinträsseområde mineral och fastighetsgränser (tunna bruna linjer) är markerade. Underlag: Lantmäteriets data från <http://www.fmis.raa.se/>.



Figur 30. Vy åt nordväst som visar föreslagen etablering mot skogsbeklätt höjdområde för påslag. Notera elledning vars läge även framgår av Figur 29.

4.3 Arbetstunnel 3

Arbetstunnel 3 (AT 3) är främst planerad för att i förväg driva tunneln med konventionellt berggutttag genom Dalby/Åmme svaghetszon samt möjliggöra start eller slutpunkt för TBM-drivning. Arbetstunneln avses att nyttjas för service av tunneln och tömning av tunneln efter att tunneln färdigställts. Tre alternativa lägen längs en sträcka på ca 3,5 km föreslås. De två nordliga lägena (AT 3:a och AT 3:b) ligger strax SO om Åmmelången inom riksintresseområde för mineral, medan det tredje (AT 3:c) är beläget vid Långviken, drygt 3 km söder om de övriga. AT 3:b föreslås som huvudalternativ för att undvika konflikter med riksintressen, begränsa störningar för boenden, samt närheten till Väg 592.

Topografi

I den sydliga förlängningen av Åmmelången är kuperad med stora nivåskillnader; från lågområden med åkermark på mellan +100 och +105 till omgivande skogsklädda höjdområde med nivåer på över +140. Vid Långviken förekommer dalgångar med åkermark upp till +105, medan omgivande höjdområden som högst når en nivå på drygt +135.

Geologi

Vid AT 3:a utgörs berggrunden av en finkorning, felsisk metavulkanit som stråkvis deformerats mer eller mindre kraftigt. I lägena AT 3:b och AT 3:c utgörs berggrunden av grovporfyrisk, yngre granit. Vid AT 3:b har förekomster av relativt uppsprucket berg noterats under fältbesök.

Etableringslägen

Det finns ett flertal lågområden med ängsmark vilka lämpar sig väl för etableringsområde. AT 3:a är lokaliserad i ett lågområde (ca +105) med goda geologiska förutsättningar, längs ytterkanten av det system av förkastningszoner

som löper i förlängningen av Åmmelången. Området sammanfaller dock med riksintresseområden för kultur och mineral (Figur 31). För AT 3:b föreslås i ett mer höglänt (+117 till +120), flackt område söder om Väg 592 där skogen nyligen avverkats (Figur 32 och Figur 33). Ytan är belägen inom riksintresseområde för mineral, men frånvaron av kulturhistoriska objekt och avskildheten från närboende gör att området är att föredra framför AT 3:a. En kraftledning passerar ca 100 m väster om den potentiella etableringsytan (Figur 32).

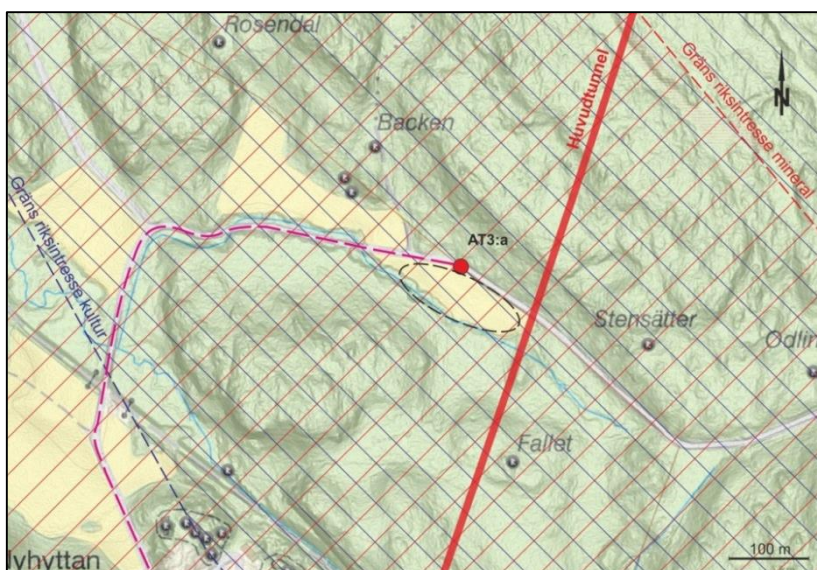
AT 3:c planeras på ett gärde med nivåer mellan +105 och +110 i omedelbar anslutning till en skogsbilväg utanför riksintresseområden (Figur 34).

Påslagslägen

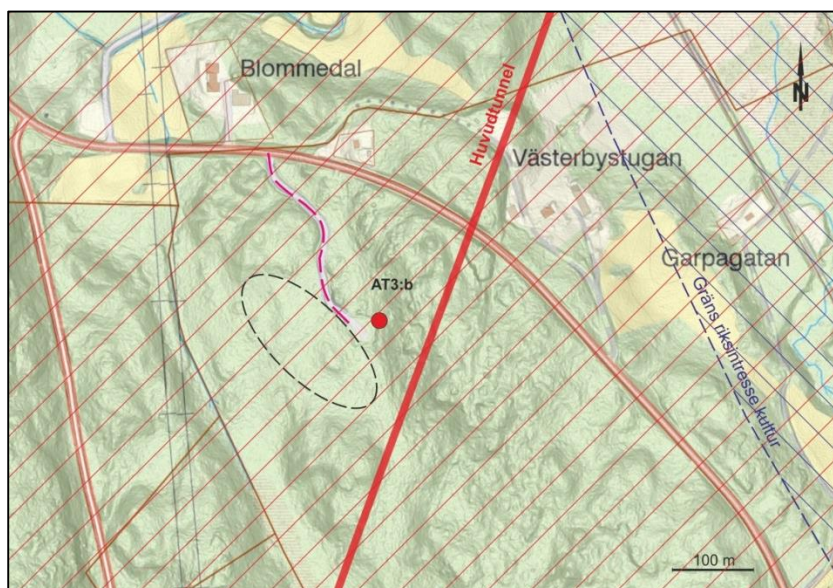
Topografin i omedelbar anslutning till alla föreslagna etableringslägen är gynnsam för att snabbt erhålla god bergtäckning. Påslagslägena AT 3:a och AT 3:c skiljs från ytor för möjlig etablering av befintliga vägar.

Logistik

Alla tre lägen som föreslås är belägna i omedelbar anslutning till befintliga vägar. Vägarna från AT 3:b och AT 3:c ansluter efter bara ett par hundra meter till större vägar av bättre standard. För AT 3:a krävs att byggtrafiken passerar genom gården Nyhyttan innan befintlig grusväg ansluter till Väg 592. Denna väg korsar ett antal vattendrag (Figur 31) och dessa passager skulle eventuellt kräva förstärkning för klara tung byggtrafik.



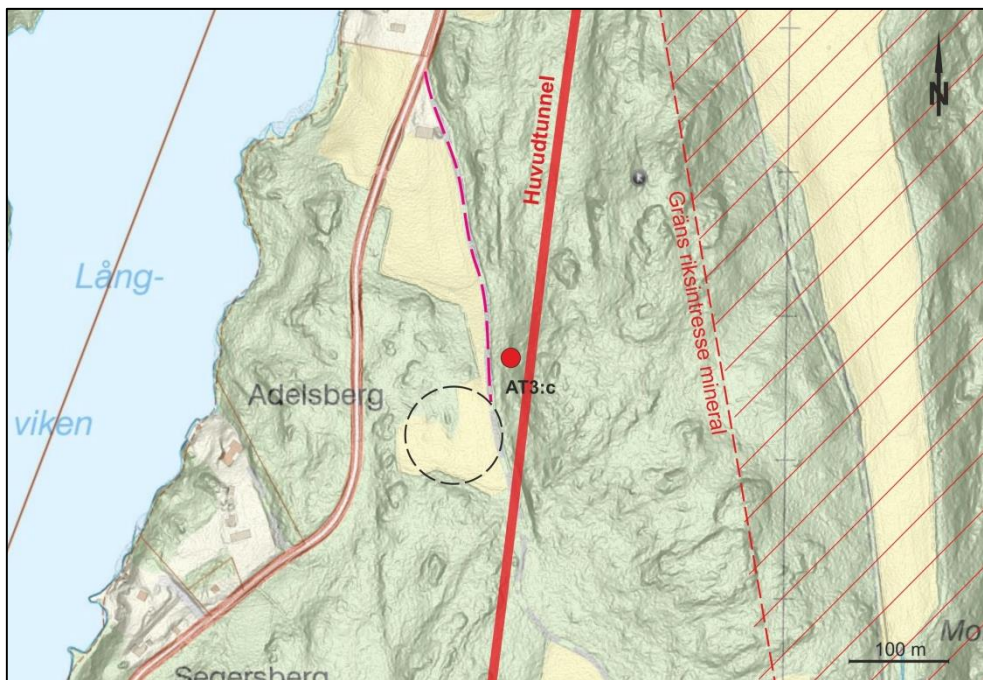
Figur 31. Föreslaget etableringsområde (svart streckad linje) för AT 3a med lämpligt påslagsläge (röda punkt) och arbetsväg (streckad violett linje). Även planerad tunnelstäckning samt riksintresseområde mineral och kultur är markerade. Underlag: Lantmäteriets data från <http://www.fmis.raa.se/>.



Figur 32. Föreslaget etableringsområde (svart streckad linje) för AT 3b med lämpligt påslagsläge (röda punkt) och arbetsväg (streckad violett linje). Även planerad tunnelstäckning samt riksintresseområde mineral och kultur är markerade. Underlag: Lantmäteriets data från <http://www.fmis.raa.se/>.



Figur 33. Vy åt öster från befintlig väg vid AT 3:b som visar föreslagen etablering och höjdområde för påslag.



Figur 34. Föreslaget etableringsområde (svart streckad linje) för AT 3c med lämpligt påslagsläge (röda punkt) och arbetsväg (streckad violett linje). Även planerad tunnelstäckning och riksintresseområde mineral är markerade. Underlag: Lantmäteriets data från <http://www.fmis.raa.se/>.

4.4 Arbetstunnel 4

Arbetstunnel 4 (AT 4) planeras i anslutning till Rönneshytta. Tre alternativa lägen föreslås längs en sträcka på ca 3,8 km. Det sydligaste läget (AT 4:a) är lokaliserat SO om sjön Multen, det centrala läget (AT 4:b) vid Löcknaklint längs Väg 597 och det nordligaste läget (AT 4:c) söder om Mörtsjön längs Väg 596.

Topografi

Topografin varierar mellan de föreslagna alternativen. Vid AT 4:a är topografin generellt flack med nivåer från +130 till drygt +140. I området vid AT 4:b är lågområdena belägna på ca +130, medan toppen på Löcknaklint ligger på +150 m. Det nordligaste läget (AT 4:c) är något högre beläget med nivåer mellan +140 och +155.

Geologi

Berggrunden vid AT 4:a domineras av felsisk metavulkanit med lokala stråk av gnejsig granodiorit. Foliation och bandning stupar brant till medelbrant (60–80°) mot SV. I de två alternativa etableringslägena utgörs berggrunden av yngre granit i form av ögongnejs med en foliation som stupar brant till medelbrant (60–80°) mot söder.

Etableringslägen

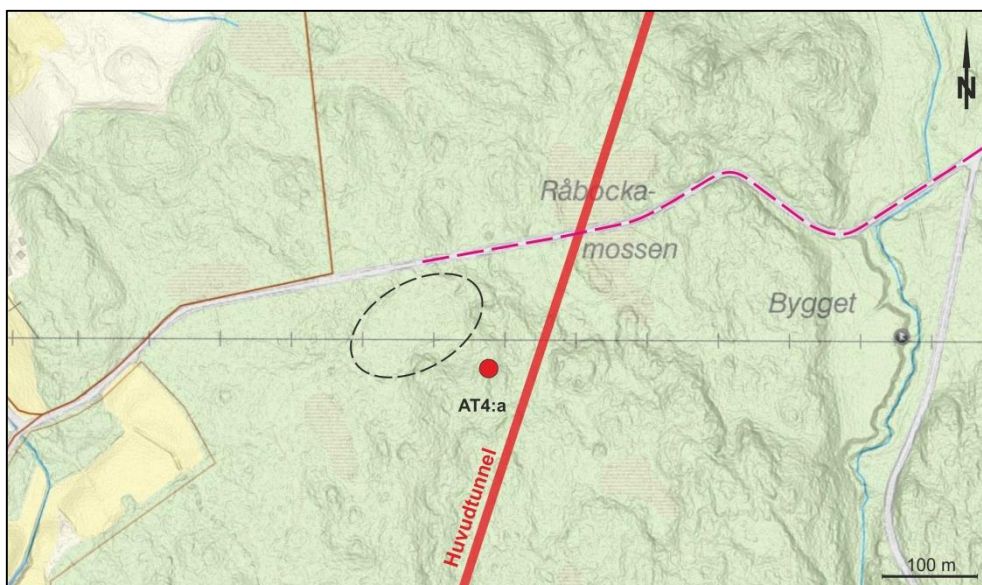
Vid AT 4:a utgörs det föreslagna etableringsläget av flack skogsmark det nyligen skett omfattande avverkning (Figur 35 och Figur 36). Åkermark förekommer ett hundratal meter västerut. En 400 kV-kraftledning löper i omedelbar anslutning till det föreslagna etableringsområdet. Med ett planerat påslag i Löcknaklint för AT 4:b finns ett antal potentiella lägen för etableringsytor (Figur 37). Den föreslagna ytan, vilken direkt ansluter till planerat påslag, genomtväras av en bäck. För AT 4:c planeras etableringsytan i ett område som upptas av en långsträckt mosse som delvis är belägen i ett riksintressant naturområde (Figur 38).

Påslagslägen

Den flacka topografin vid AT 4:a medför att påslag förmodligen måste utföras som en nedåtlutande ramp in i Aplabackarnas höjdområde (Figur 35 och Figur 36). För AT 4:b planeras påslaget i de nordostligt branterna längs Löcknaklint (Figur 37), vilket omedelbart ger gynnsam bergtäckning. Även för AT 4:c finns en lämplig sluttning för påslag i omedelbar anslutning till det planerade etableringsområdet (Figur 38 och Figur 39).

Logistik

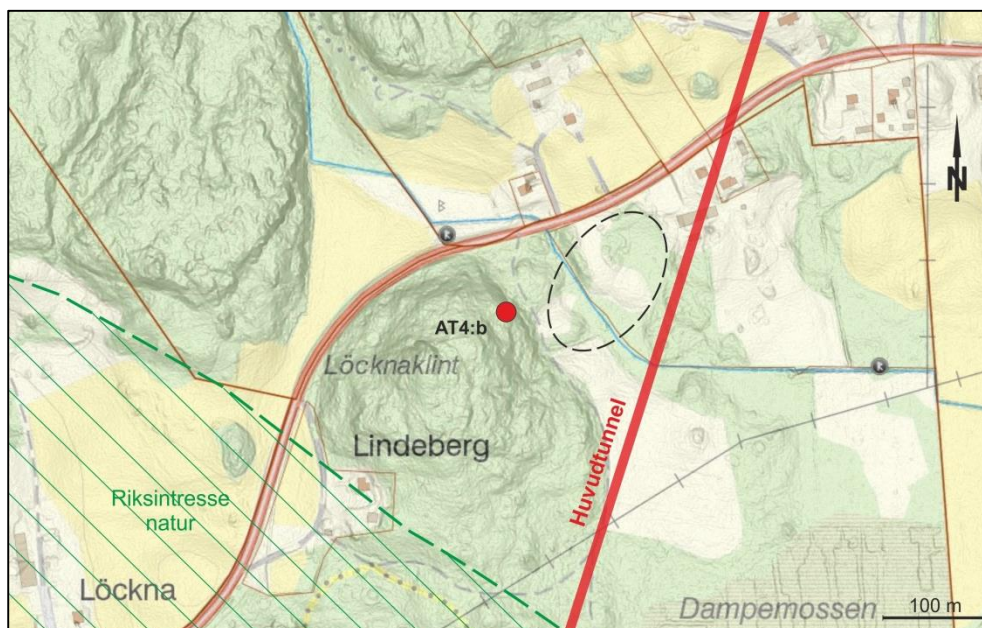
Vid AT 4:a bör transporter ske längs befintlig grusväg mot Joxtorp med anslutning till det allmänna vägnätet. Detta innebär dock passage av en bro över Joxtorpån samt en passage av järnväg. Förmodligen krävs även en viss upprustning av befintlig grusväg för att klara byggtrafiken. Eventuellt kan järnvägen nyttjas för materialtransport. Både AT 4:b och AT 4:c är lokaliserade vid allmänna vägar, Väg 597 respektive 596, vilket innebär att det krävs minimala arbeten för anslutning till de föreslagna etableringsområdena.



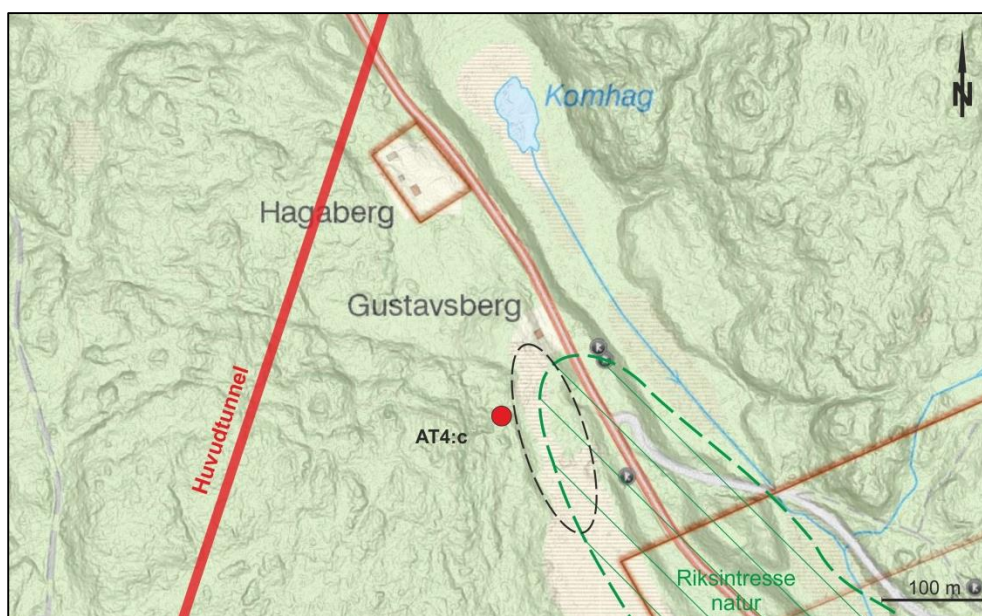
Figur 35. Föreslaget etableringsområde (svart streckad linje) för AT 4a med lämpligt påslagsläge (röda punkt) och arbetsväg (streckad violett linje). Även planerad tunnelstäckning och fastighetsgränser (tunna bruna linjer) är markerade. Underlag: Lantmäteriets data från <http://www.fmis.raa.se/>.



Figur 36. Vy åt sydost vid AT 4:a som visar föreslagen etableringsyta och i bakgrunden utlöpare av Aplanbackarnas höjdområden (snötäckta ytor) för påslag.



Figur 37. Föreslaget etableringsområde (svart streckad linje) för AT 4b med lämpligt påslagsläge (röda punkt). Även planerad tunnelstäckning, riksintresse natur och fastighetsgränser (tunna bruna linjer) är markerade. Underlag: Lantmäteriets data från <http://www.fmis.raa.se/>.



Figur 38. Föreslaget etableringsområde (svart streckad linje) för AT 4b med lämpligt påslagsläge (röda punkt). Även planerad tunnelstäckning, riksintresse natur och fastighetsgränser (tunna bruna linjer) är markerade. Underlag: Lantmäteriets data från <http://www.fmis.raa.se/>.



Figur 39. Vy åt väster vid AT 4:c som visar del av föreslagen etableringsyta och i bakgrunden ett skogsklätt höjdområde för påslag.

4.5 Arbetstunnel 5

Två alternativa lägen föreslås för Arbetstunnel 5 (AT 5), vilken lämpligen lokaliseras i området söder om Tisaren. För AT 5:a föreslås en etablering strax väster om gården Norra Nyckelhult, medan AT 5:b planeras ca 700 m närmare Tisaren.

Topografi

Nivån vid de bägge alternativen skiljer sig ca 40 m. Vid AT 5:a varierar nivån mellan +165 och +180, medan AT 5:b planeras i ett område med en potentiell etableringsyta på ca +120 och en anslutande brant sluttning som planar ut vid drygt +150. Bägge områdena utgörs av skogsmark.

Geologi

Berggrunden i bägge alternativen utgörs av gnejsig granodiorit. Vid AT 5:a kan det även förekomma gångar av diabas.

Etableringslägen

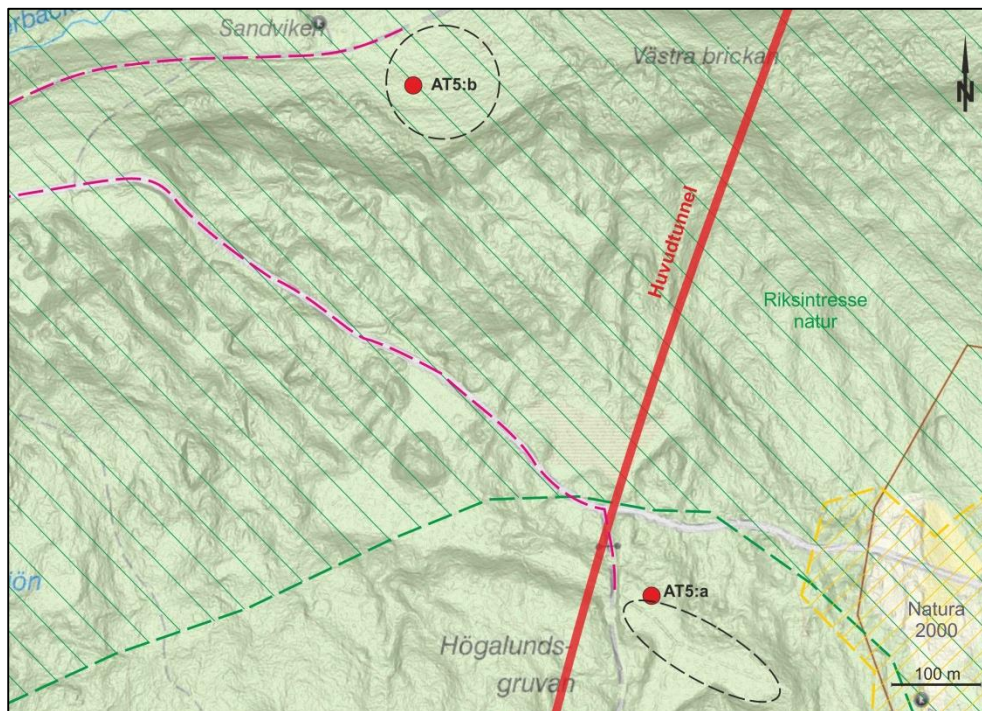
Vid AT 5:a finns ett låglänt, sumpområde som har tillräcklig storlek för att lämpa sig som etableringsyta efter viss markberedning (Figur 40). För etablering vid AT 5:b finns flacka ytor av betydande storlek som bedöms lämpliga efter avvekning (Figur 35). Området är dock beläget inom den zon med naturvärden av riksintresse som löper längs södra kanten av Tisaren. Ett alternativ är att separera etableringsytan och enbart ha tunnelpåslaget innanför riksintresseområdet för att minimera intrånget.

Påslagslägen

Topografin ger gynnsam bergtäckning i bägge alternativen (Figur 40).

Logistik

Bäggelageringslägena är lokaliserade i omedelbar anslutning till enskilda vägar. Transporter bör ske via Estabo, väster om föreslagna etableringslägen för anslutning till Väg 607 mellan Lerbäck och Åsbro.



Figur 40. Föreslagna etableringsområden (svart streckad linje) för AT 5 med lämpliga påslagslägen (röda punkter) och arbetsvägar (streckad violett). Även planerad tunnelstäckning (heldragen röd linje), Natura 2000-område, riksintresseområde natur samt fastighetsgränser (tunna bruna linjer) är markerade. Underlag: Lantmäteriets Lidar data från <http://www.fmis.raa.se/>.

4.6 Norra påslaget

Det norra bergpåslaget planeras vid Håkamo. Där sker en övergång från tunnel till ledning, samt lokalisering av ett vattenverk. Huvudalternativet förslås ligga strax norr om Håkamoberget (Figur 41). Ett reservalternativ, som skulle kräva en längre bergtunnel, är att förlägga påslaget till ett område norr om Stugumoberget (Figur 41).

Topografi

Området består av en sluttning ner mot lågområdet vid Hallsberg. De föreslagna områdena omfattar nivåer från ca +90 i de låglänta delarna till ca +120 på krönen av Håkamoberget och Stugumoberget.

Geologi

Dominerande bergart i området är äldre gnejsiga granitoider, med en gnejsighet som stupar brant ($> 75^\circ$) mot söder. Morfologin i området indikerar att eventuella svaghetszoner i området har en nord-sydlig utsträckning. Förekomst av bankningsplan med sprickavstånd på 0,5–1 m har noterats.

Etableringslägen

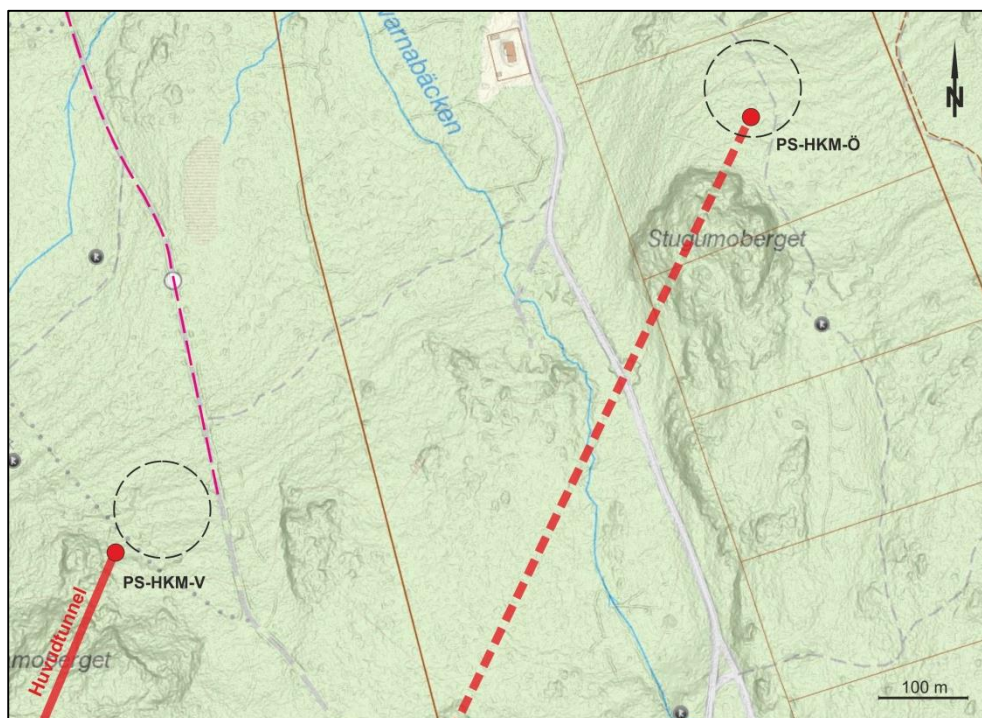
Eftersom det området generellt är relativt flackt har val av etableringsytor helt styrts av de lägen som föreslagits i Norconsult (2011) för vattenverk samt önskemål om gynnsam bergtäckning. Alla potentiella etableringsytor domineras av flackt lutande skogsmark.

Påslagslägen

Utgående föreslagen placering av vattenverk samt önskemål om gynnsam bergtäckning har lämpliga påslagslägen planerats i nordsluttningarna på Håkamoberget (huvudalternativ) och Stugumoberget (reservalternativ) (Figur 41). Båda lägena bedöms som genomförbara, men vid det östra, reservläget (PS-HKM-Ö, Figur 41) ligger området med gynnsam bergtäckning ca 70–80 m söder om själva påslagsläget.

Logistik

Båda påslagslägena ligger i anslutning till skogsbilvägar och enbart kortare byggvägar krävs i området, samt eventuellt viss förstärkning av befintliga vägar. Uttransport från området bör ske norrut, ner mot lågområdet.



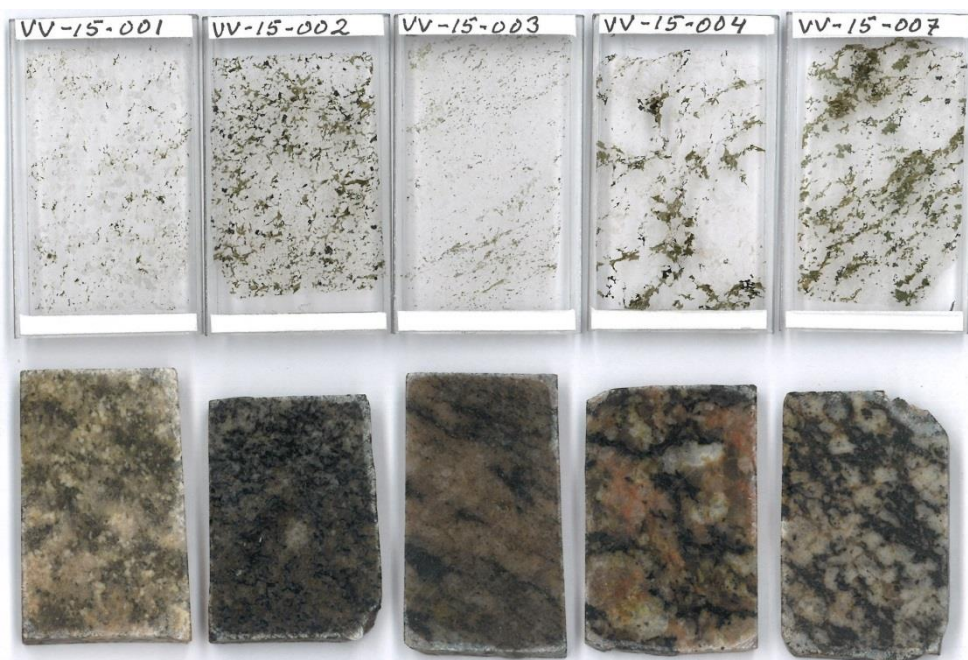
Figur 41. Föreslagna etableringsområden (svart streckad linje) kring Håkamo med två alternativa påslagslägen (röda punkter) och arbetsvägar (streckad violett). Även planerad tunnelstäckning (heldragen alternativt streckad röd linje) och fastighetsgränser (tunna bruna linjer) är markerade. Underlag: Lantmäteriets Lidar data från <http://www.fmis.raa.se/>.

5 Bergmaterialanalyser

Lägen för provtagningspunkter redovisas i Bilaga 4 tillsammans med SGUs berggrundskarta för området, observationspunkter och föreslagen tunnelsträckning.

5.1 Petrografisk analys

Totalt har fem representativa prover av de tre huvudbergarterna längs den planerade tunnelsträckningen valts ut för optisk petrografi baserat på studier av tunnslip (Figur 42). Mineralsammansättningen i tunnslipen bestämdes genom punkträkning av en yta på ca 25×20 mm med optisk transmissionsmikroskopi. Mellan 990 och 1 000 punkter räknades för analyser. Mineralsammansättning och övriga egenskaper, så som glimmerhalt, textur, grad av foliation och omvandling redovisas i Tabell 9.



Figur 42. Inskannade tunnslip (övre raden) och fuktade restbitar (motbitar; undre raden).

Tabell 9. Petrografiska analyser inklusive modal sammansättning (vol. %), textur, struktur och omvandlingar. + = spår. Förklaring till termer ges i Bilaga 7.

ID	VV-15-001	VV-15-002	VV-15-003	VV-15-004	VV-15-007
Bergart ¹	Gnejsig granit	Metadacit	Meta-ryodacit	Granit	Gnejsig tonalit
Kvarts	42,8	24,7	40,2	27,5	19,2
Kalifältspat	28,3	2,9	14,5	30,1	–
Plagioklas	15,1	46,7	24,3	25,5	40,6
Omvandlad plagioklas	7,5	1,5	–	5,2	18,2
Biotit	–	21,4	4,2	10,8	8,5
Klorit	3,0	0,1	1,3	0,1	1,4
Muskovit	2,3	–	15,2	0,7	–
Hornblände	–	–	–	–	9,6
Titanit	0,2	+	0,2	+	0,9
Epidot	0,4	+	–	–	0,1
Opak	–	2,2	–	0,1	0,6
Apatit	+	0,2	+	+	0,5
Zirkon	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
Övrigt	0,2	0,1	–	–	0,2
Totalt	100	100	100	100	100
Glimmermineral [%] ²	2,3	21,4	19,4	11,5	8,5
Skiktsilikater [%] ³	5,3	21,5	20,7	11,6	9,9
Ekvivaken kvarts-innehåll ⁴	62,7	45,6	55,5	51,1	43,9
<i>Kornstorlek:</i>					
Grundmassa [mm]	0,2–2,5	0,5–3	0,2–1	1–3	0,5–3
Strömkorn [mm]	–	–	–	3–7	–
Kornfogning ⁵	4	3–4	4	3–4	3
Kristallform	an	an	an	an	an
Foliation ⁶	1	1	3	1	2
<i>Omvandling:⁷</i>					
Biotit (främst kloritisering)	5	1	2–3	1	2
Plagioklas (sassurit/sericit)	3–4	2	1	2–3	3–4
Rödfärgad plagioclase	1	1–2	1	1–2	1–2
Omvandling längs kornfogar	1–2	2	1	1–2	1–2
Vittring ⁷	1	1	1	1	1
Mikrosprickor ⁷	2	2–3	1–2	2	2–3

- ¹ Streckeisen, A. L. (1976, Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: a provisional attempt. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, 1976: 1–15).
- ² Biotit + muskovit.
- ³ Biotit + muskovit + klorit.
- ⁴ Baserat på Thuro, K. (1997, Drillability prediction: geological influences in hard rock drill and blast tunneling. Geologische Rundschau 86: 426–438).
- ⁵ Relativ skala från 1 till 5, där 5 anger hög grad av sammanväxning mellan mineralkornen (se Bilaga 7).
- ⁶ Relativ skala från 1 till 5, där 5 är den mest intensivt folierade..
- ⁷ Relativ skala från 1 till 5, där 5 är högst/intensivast eller att förekomsten är rikligt förekommande.

5.2 Utvärdering avseende avnötningsegenskaper

Utvärdering av avnötningspotential hos huvudbergarterna längs den föreslagna tunnelsträckningen har utförts med tre typer av mekaniska procedurer. Samtliga relaterar till det nötningssmotstånd som bergarten ger på hårdmetallstift som används i borrhälsborrar. Cerchar Abrasivity Index (CAI) indikerar slitage vid ritsning, Drillability Rate Index (DRI) indikerar borrhastighet och Cutter Life Index (CLI) indikerar livslängd på borrhälsborrar.

Laboratorietesterna har utförts från två typer av källmaterial. Dels stuffer från hållar eller vägskärningar och dels prover från kärnborrhål DBH4. Lägen för provtagningspunkter redovisas i Bilaga 4. Lägen längs borrhälsaxeln för prov från kärnborrhål DBH4 redovisas i Bilaga 3.

Tabell 10. Analyser av valda bergartsenheter utförda av LEMR-ENAC-EPFL i Lausanne, Schweiz.

Typ	Beteckning	Bergart	CAI	Klassning CAI
Häll	VV-15-001	Äldre granitoid	4,2	Extremt abrasiv
Häll	VV-15-002	Felsisk metavulkanit	3,7	Mycket högabrasiv
Häll	VV-15-003	Felsisk metavulkanit	4,1	Extremt abrasiv
Häll	VV-15-004	Yngre granit	4,2	Extremt abrasiv
Häll	VV-15-007	Äldre granitoid	3,8	Mycket högabrasiv
Kärna	DBH4-10,6	Äldre granitoid	4,1	Extremt abrasiv
Kärna	DBH4-11,3	Äldre granitoid	3,8	Mycket högabrasiv
Kärna	DBH4-23,0	Äldre granitoid	3,5	Mycket högabrasiv
Kärna	DBH4-69,2	Felsisk metavulkanit	3,4	Mycket högabrasiv
Kärna	DBH4-73,3	Felsisk metavulkanit	3,9	Mycket högabrasiv
Kärna	DBH4-74,3	Felsisk metavulkanit	3,7	Mycket högabrasiv
Kärna	ZG1	Yngre granit	3,4	Mycket högabrasiv

Mätetal och klassning för Cerchar Abrasivity Index (CAI) redovisas i Laboratoriets rapport i Bilaga 5.

Tabell 11. Analyser av valda bergartsenheter utförda av SINTEF Byggforsk i Trondheim, Norge.

Beteckning	ZG1	DBH4	VV-15-001	VV-15-003
	LM201.5			
Bergart	Yngre granit	Diabas	Äldre granitoid	Felsisk metavulkanit
Sprödhetstal (S_{20} , 11,2–16,0) [%]	43,0	42,1	60,7	39,3
Klassning sprödhetstal	Medium	Medium	Mycket hög	Låg
Flisighetstal (f)	1,29	1,33	1,30	1,34
Kompaktionsindex	1	1	1	0
Densitet (ρ) [g/cm ³]	2,71	2,93	2,60	2,65
Siktens J-värde (SJ) [MM/10]	8,5	3,7	2,7	2,0
Abrationsvärde för härdat stål (AVS) [mg]	22,5	12,5	37,0	28,0
Drilling Rate Index (DRI)	42	37	54	31
Klassning DRI	Låg	Låg	Medium	Låg
Cutter Life Index (CLI)	9,5	8,7	5,1	5,0
Klassning CLI	Medium	Medium	Låg	Låg

Mätetal och klassning för Drillability Rate Index (DRI) och Cutter Life Index (CLI) redovisas i. Laboratoriets rapport i Bilaga 6.

Norconsult AB Geoteknik

Jesper Petersson
jesper.petersson@norconsult.com

Per Eriksson
per.eriksson@norconsult.com



Norconsult AB

Theres Svensson gata 11

Box 8774, 402 76 Göteborg

031 – 50 70 00, fax 031-50 70 10

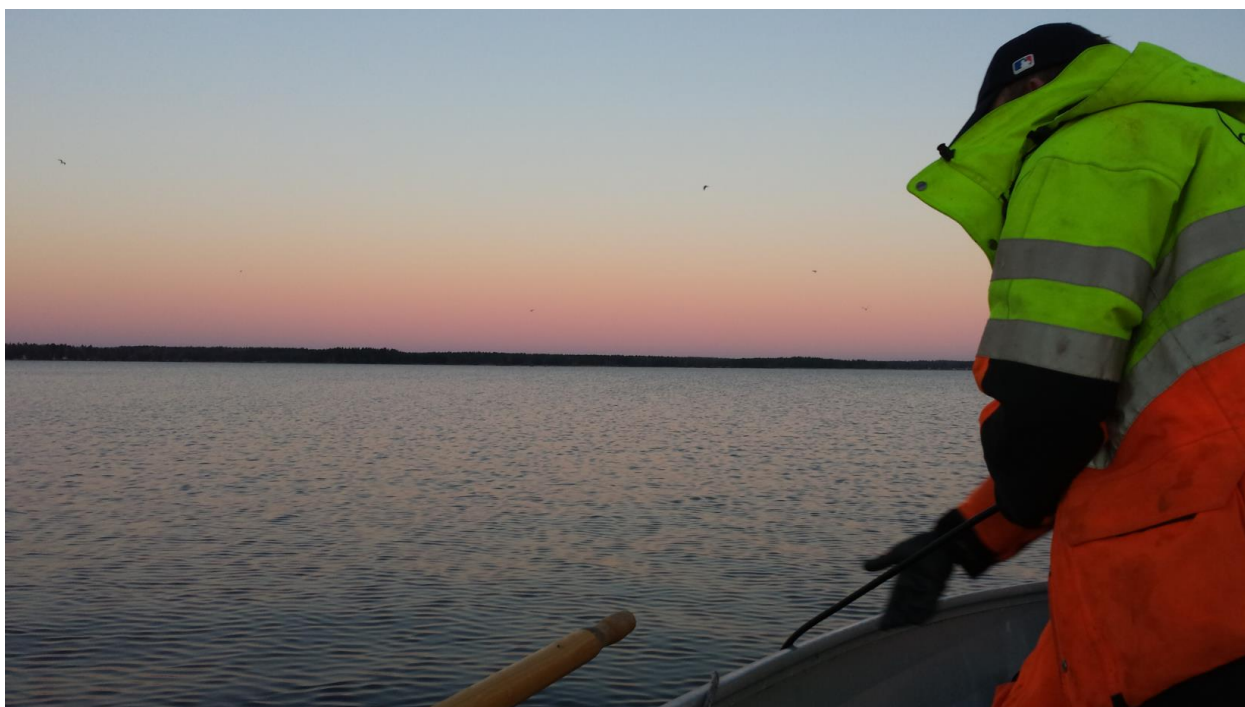
www.norconsult.se



Beställare: Norconsult

Refraktionsseismiska undersökningar för projekt Vätternvatten

Mätning i sjöarna Tisaren, Åmmelången, och Multen samt
landmätning vid Rönneshyttan, Åmmeberg och Hultsjön.



Bergab – Berggeologiska Undersökningar AB

Uppdragsansvarig
Eric Hegardt

Handläggare
Johanna Lithén, Markus Kleven,
Erik Meland

Uppdragsnummer	UG13127
Datum	2014-05-20
Revisionsnummer	1

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	1
2	Metod.....	2
2.1	Datainsamling	2
3	Resultat	3
3.1	Åmmeberg, landmätning	3
3.2	Åmmelången sjömätning	6
3.3	Rönneshyttan landmätning	8
3.4	Multen sjömätning	9
3.5	Tisaren sjömätning	10
3.6	Hultsjön landmätning	12

Bilaga 1. Metodbeskrivning

Bilaga 2. Profilritningar seismikresultat.

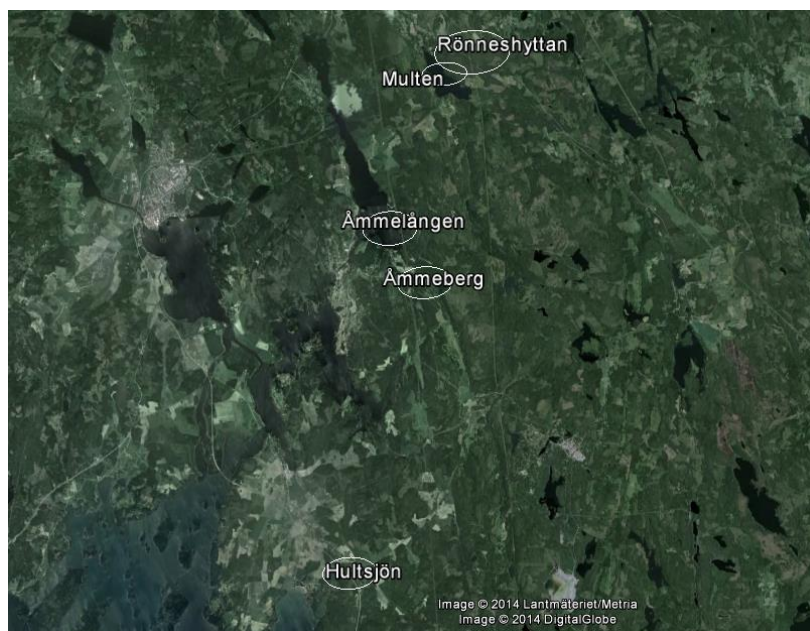
Bilaga 3. Ekolodsdata sjön Multen

1 Bakgrund

Inom projekt Vätternvatten utreds förutsättningarna för att förse kommuner inom Örebro län med vatten från sjön Vättern där vattentransporten kan komma att ske i en ca 45 km lång bergförlagd tunnel. För att bedöma förutsättningarna för denna tunnel har Bergab – Berggeologiska Undersökningar AB på uppdrag av Norconsult AB utfört refraktionsseismiska mätningar inom utvalda områden längs tänkt tunnellinje. Syftet med undersökningarna var att bestämma jordmaktigheter samt få en indikation på bergkvalité. Inom de utvalda områdena har tidigare utredningar funnit indikationer på förekomst av svaghetszoner i berggrunden eller stora jorddjup vilka kan ha betydelse för tunneldrivningen.

Undersökningar har utförts vid följande platser (se figur 1):

1. Åmmeberg (landmätning)
2. Åmmelången (sjömätning)
3. Rönneshyttan (landmätning)
4. Multen (sjömätning)
5. Tisaren (sjömätning)
6. Hultsjön (landmätning)



Figur 1. Översiktsfigur med läget på undersökta områden.

2 Metod

Mätning och tolkning har i huvudsak utförts enligt SGF Metodblad Seismik (se bilaga 1). Avvikelse har gjorts vad gäller fördröjning på - och typ av sprängkapslar samt sensorer (hydrofoner vid mätning i vatten).

Mätningen utfördes med standardutrustning för refraktionsseismik innefattande seismograf, seismikkablar, geofoner, extern batterikälla, tändapparat och verktyg för skotthål (spett). För mätning i vatten användes en bottenlagd kabel med monterade hydrofoner. Se tabell 1 för specifikationer.

Tabell 1. Specifikationer använd mätutrustning.

Utrustning	Typ/modell	Mätområde	Mät noggrannhet
Seismograf	ABEM Terraloc Pro 48 kanaler	24 bitar	0,02 ms
Geofoner	Vertikala, 10 cm konisk spets	10 Hz (egenfrekvens)	-
Hydrofoner	AQ2000	1-1000 Hz	-
Tändapparat	Handutlösare H1N1	-	-
Tändkapslar	Nonel, 475 ms fördröjning	-	-
Pulskälla	Dynamit, 30-260 g/skott	-	-

Tiden för först ankommen våg bestämdes utifrån seismogrammen varpå djup till berg beräknades för varje geofon genom delay-time metoder.

2.1 Datainsamling

Längder på mätutlägg samt geofon- och hydrofonavstånd visas i tabell 2. Inför varje utlägg markerades linjen ut i fält med stakkäppar (landmätning) eller bojar (vattenmätning).

Tabell 2. Geofon-, hydrofonavstånd, utlägg och mätsträckor.

Linje	Antal utlägg	Antal geofoner/hydrofoner per utlägg (m)	Geofon/hydrofon-avstånd (m)	Total linjelängd (m)
Åmmeberg landmätning	4	24	8 (utl. 1-3) 9 (utl. 4)	770
Åmmelången sjömätning	2	48	5	694
Rönneshyttan landmätning	5	24	12,5	1507
Multen sjömätning	1	48	5	260
Tisaren sjömätning	2	48	5	500
Hultsjön landmätning	5	24 (22 utl. 1)	5	565

Varje utläggs start-, mitt-, och slutpunkt samt skottpunkter mäts in med GPS. Koordinater för varje utläggs start- och slutpunkt anges i tabell 3.

Tabell 3. Start- och slutkoordinater för respektive utlägg (Sweref 99TM)

Område	Utlägg	Start E	Start N	Slut E	Slut N
Åmmeberg landmätning	1	501752	6524256	501926	6524313
	2	501972	6524311	502127	6524360
	3	502127	6524360	502293	6524409
	4	502324	6524435	502522	6524428
Åmmelången sjömätning	1	500956	6525838	501097	6526025
	2	501190	6526041	501330	6526234
Rönneshyttan Landmätning	1	503133	6530399	503398	6530532
	2	503407	6530545	503654	6530693
	3	503775	6530768	503934	6530860
	4	503936	6530868	504177	6531020
	5	504182	6531025	504423	6531166
Multen sjömätning	1	503120	6530294	502915	6530199
Tisaren Sjömätning	1	505997	6539473	506199	6539608
	2	506204	6539612	506399	6539747
Hultsjön landmätning	1	499311	6516470	499368	6516385
	2	499377	6516388	499457	6516305
	3	499454	6516308	499537	6516223
	4	499535	6516227	499634	6516177
	5	499636	6516181	499687	6516072

Nivåer på geofoner och skottpunkter på land beräknades från nationella höjddatabasen (laserdata som punktmoln, Lantmäteriet) efter filtrering med mjukvaran LAS-tools.

Nivåer på hydrofoner och skottpunkter i vatten beräknades med hjälp av ekolodsdata samt vattenytans höjd över havet.

Använt koordinat- och höjdsystem är Sweref 99TM respektive RH2000

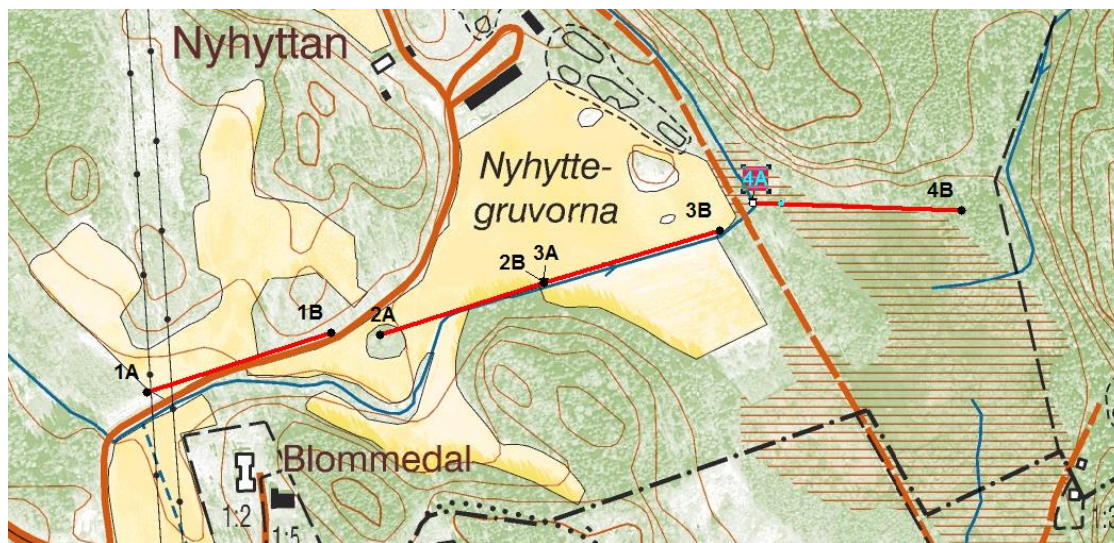
3 Resultat

Profiler med beräknade jordmäktigheter visas i Bilaga 2 (längdskala 1:2000 och höjdskala 1:400).

Nedan beskrivs resultaten från respektive område tillsammans med en beskrivning av lokala mätförhållanden.

3.1 Åmmeberg, landmätning

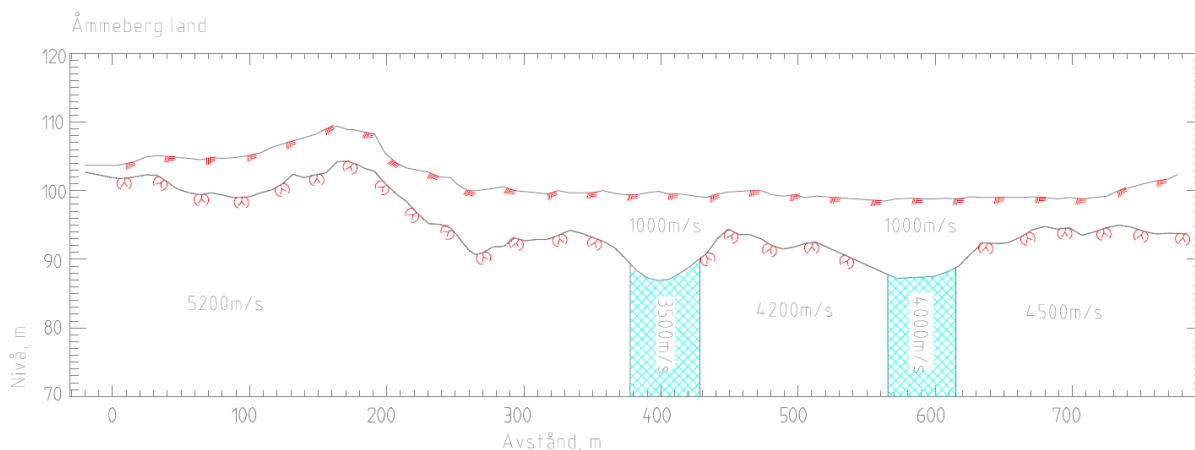
Mätområdet ligger huvudsakligen inom åkermark (utlägg 1-3). Utlägget längst österut (utlägg 4) ligger till stor del inom en våtmark (figur 2). Utlägg 3 och 4 är separerade av den tidigare banvallen (nu grusväg) som går i nord-sydlig riktning öster om åkrarna. Inom våtmarken monterades geofonerna (geofon 1-16) på 0,5 m långa förlängare för att förankra dem i fast mark.



Figur 2. Lägen på individuella utlägg, Åmmeberg. A=startposition, B=slutposition.

Resultatet visar jordmaktigheter som huvudsakligen varierar från ett par meter upp till ca 10 meter (figur 3). Fram till längdmätning ca 380 meter ligger P-vågshastigheten i berg generellt högre än 5000 m/s vilket är samstämmigt med sprickfri berggrund med magmatiskt ursprung. Från 380 meter är den uppmätta p-vågshastigheten i berg något lägre och varierar mellan ca 4200-4500 m/s, vilket tolkas som en något mer uppsprucken berggrund.

Mellan 380-430 meter samt mellan 565-615 meter finns två svackor med ökande jordmaktigheter på upp till 15 meters djup. Svackorna sammanfaller med för berg låga p-vågshastigheter på 3500 respektive 4000 m/s och tolkas som mycket kraftigt uppsprucken till uppsprucken berggrund.

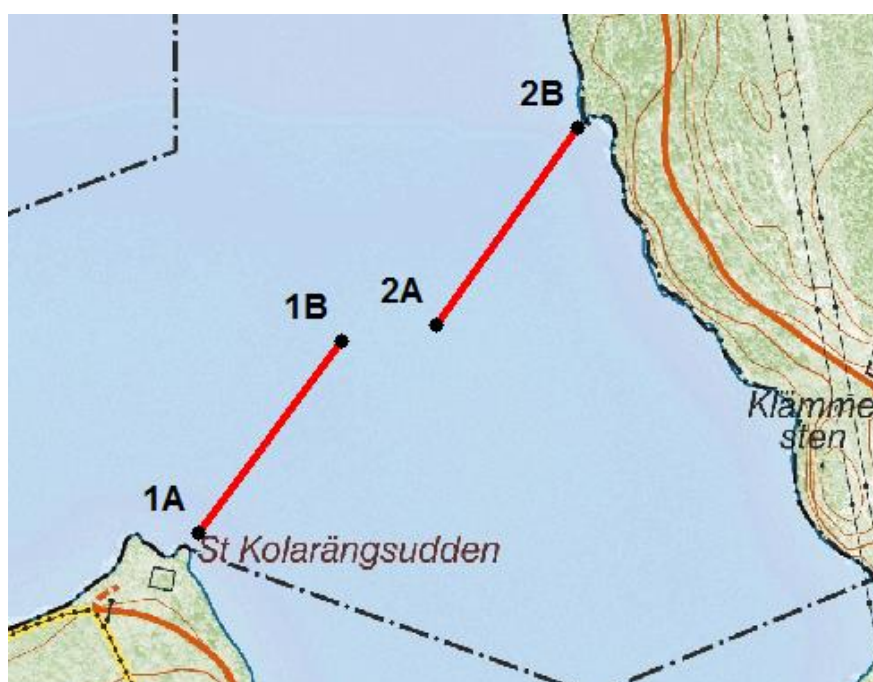


Figur 3. Profil med tolkat jorddjup, Åmmeberg, se Bilaga 2 för högre upplösning.

3.2 Åmmelången sjömätning

Mätningen utfördes tvärs Åmmelångens södra del (figur 4) där linjen delats in i ett sydvästligt och ett nordöstligt utlägg. Sjödjupet längs sträckan varierar mellan 6 och 11 meter. Mittan av det nordöstliga utlägget utgörs botten lokalt av berggrund. Varje utlägg lades från land och in mot mitten av sjön.

Kraftig vind under mätningen av det nordöstliga utlägget gav stora störningar, dels i signalkvalité och dels i positionering.



Figur 4. Lägen på individuella utlägg, sjön Åmmelången. A=startposition, B=slutposition.

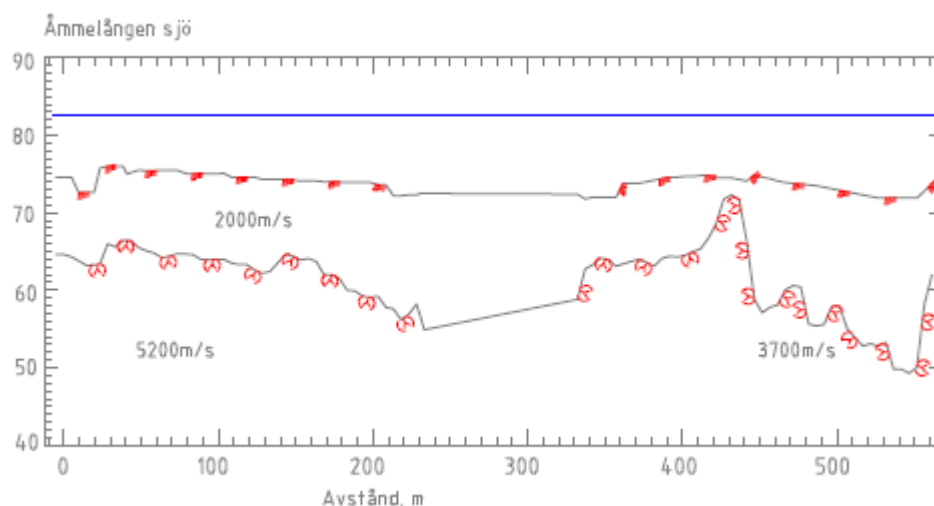
Det sydvästra utlägget visar på jordmaktigheter omkring ca 10 meter som ökar upp mot 15 meter mot längdmätning 240 meter (figur 5). Uppmätt p-vågshastighet i berg ligger generellt högre än 5000 m/s vilket är överensstämmer med sprickfri berggrund med magmatiskt ursprung.

Det nordöstliga utlägget börjar vid profil längd 340 meter. Insamlad data indikerar p-vågshastigheter i berg på ca 3700 m/s vilket indikerar uppsprucken till mycket uppsprucken berggrund. Resultatet är dock mycket osäkert beroende på de ovan beskrivna fältförhållandena.

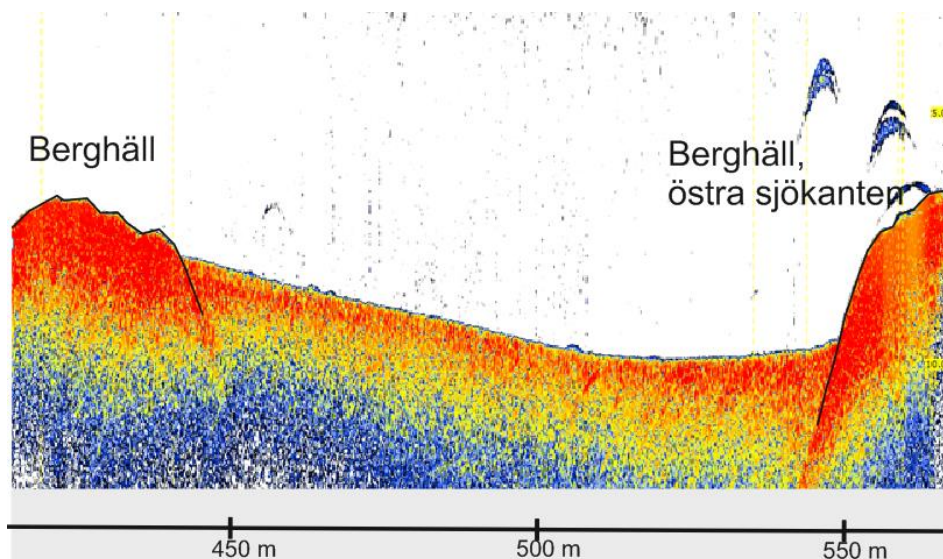
Mellan 340 och 420 meter är jordmaktigheten ca 10 meter, men minskar sedan över ett kort avstånd. Ekolodsdata visar att sjöbotten utgörs av bergöverytan längs en ca 20 meter lång sträcka (figur 6). Resultaten från refraktionsseismiken indikerar felaktigt en jordmaktighet på ett par meter längs motsvarande sträcka. Från 440

meter ökar jordmaktigheten på kort sträcka och varierar mellan 15 och 20 meter för att åter grunda upp mot linjens slut vid 550 meter.

Ekolodsdata visar att den östra sjökantens bottenpografi utgörs av en närmast vertikal bergvägg (figur 6 och Bilaga 2) med några få meter breda avsatser.



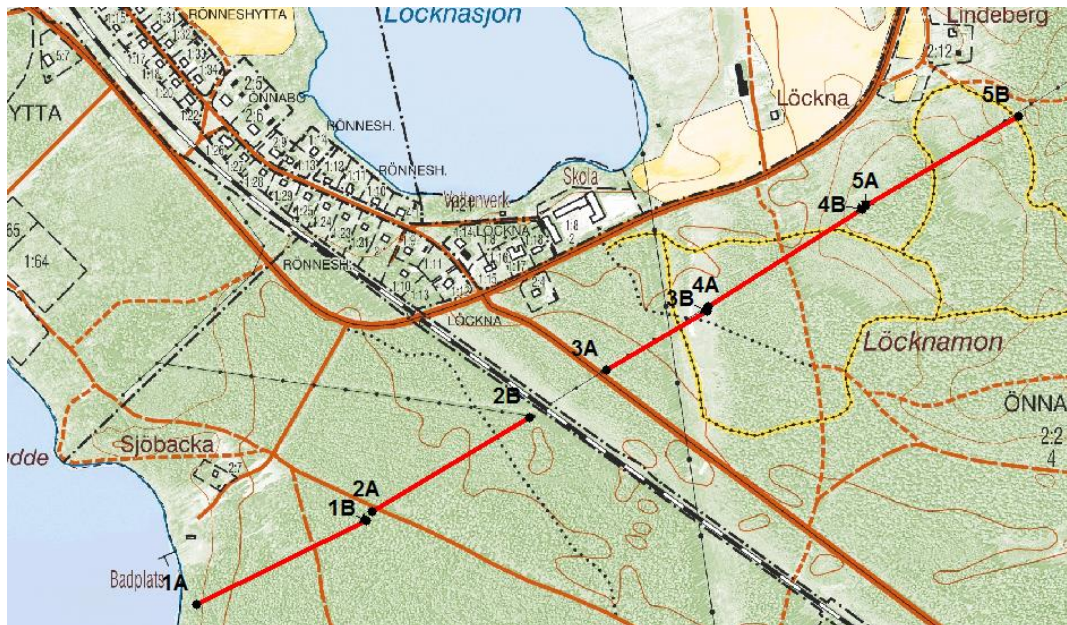
Figur 5. Profil med tolkat jorddjup, sjön Ämmelången, se Bilaga 2 för högre upplösning.



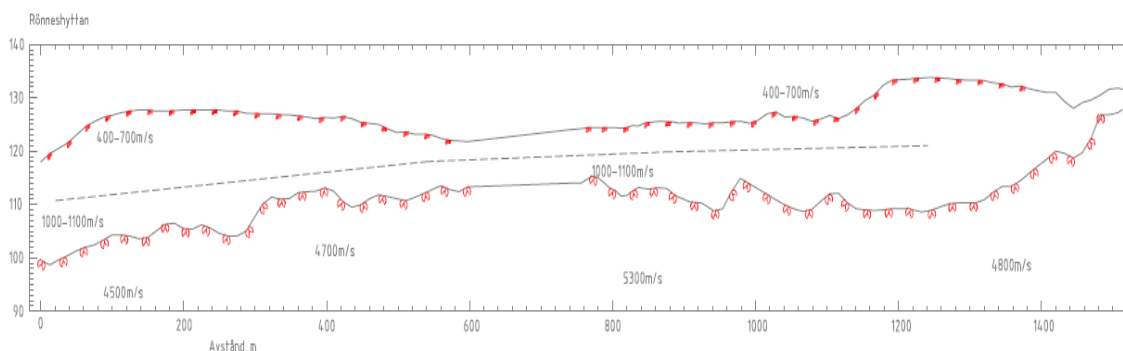
Figur 6. Ekolodsdata från östra delen av sjön Ämmelången. Till vänster framträder området där sjöbotten utgörs av berggrund. Till höger syns den brantstående östra sjökanten. Längdmätningen i figurens nederkant följer seismikprofilens längdmätning.

3.3 Rönneshyttan landmätning

Mätningen utfördes i gles tallskog längs en ledningsgata och omfattade 5 utlägg (figur 7). Mellan utlägg 2 och 3 finns en sträcka på ca 100 meter som ej mättes då seismikkablarna inte kunde dras tvärs järnvägen och väg 604.



Figur 7. Lägen på individuella utlägg, Rönneshyttan. A=startposition, B=slutposition.



Figur 8. Profil med tolkat jorddjup, Rönneshyttan, se Bilaga 2 för högre upplösning.

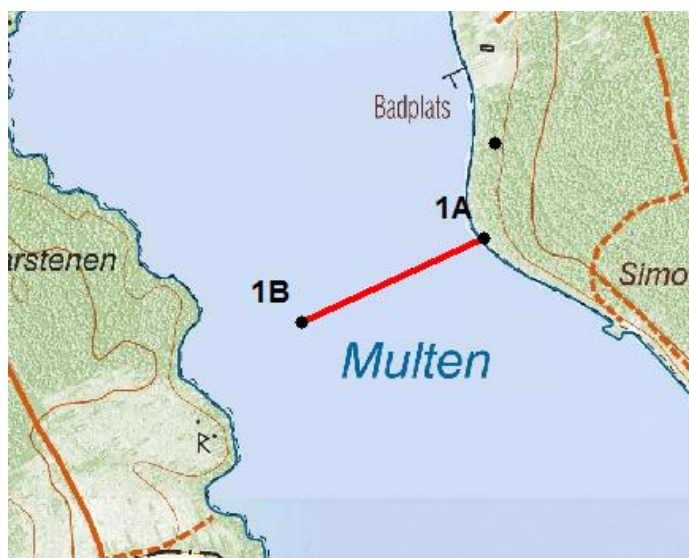
I väster, fram till ca 300 meter visar de seismiska mätningarna på jordmaktigheter om ca 20 meter för att därefter minska till ca 10 meter vid 650 meter (slutet på utlägg 2, figur 8). P-vågshastigheten i berg ligger här mellan 4500-4700 m/s vilket tolkas som en något uppsprucken berggrund.

Från 750 meter (start på utlägg 3) och fram till ca 1100 meter uppgår den beräknade jordmaktigheten till mellan 10 och 15 meter för att därefter åter öka till 20-25 meter. Från 1450 meter minskar jordmaktigheten, för att vid 1500 meter uppgå till endast ett par meter. Ca 20 meter från linjens slut noteras även berg i dagen.

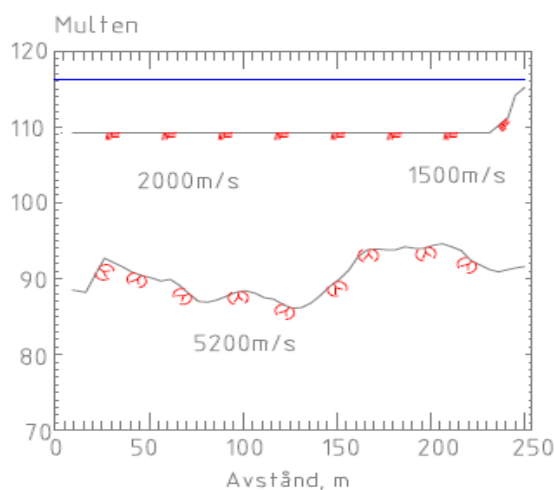
Den östra delen av mätområdet, från 750 meter visar något högre p-vågshastigheter i berg, mellan 4800-5300 m/s, vilket överensstämmer med sprickfri berggrund med magmatiskt ursprung.

3.4 Multen sjömätning

Mätningen utfördes tvärs sjön Multen och omfattade ett utlägg på 235 meter (figur 9). Information från skott utanför utlägget gav en total tolkad linjelängd på ca 260 meter. Med undantag av botten närmast sjöns strandkanter var vattendjupet relativt konstant på ca 6 meter (Bilaga 3).



Figur 9. Figur 5. Lägen på individuella utlägg, Sjön Multen.
A=startposition, B=slutposition.

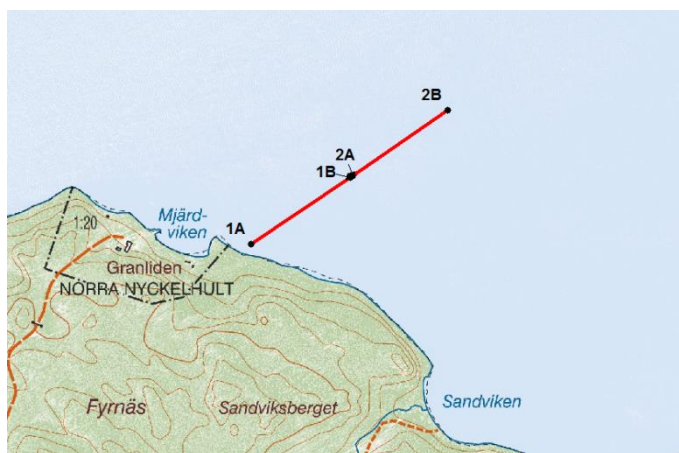


Figur 10. Profil med tolkat jorrdjup, sjön Multen, se Bilaga 2 för högre upplösning.

Jorrdjupet varierar mellan 15 och 20 meter längs hela profilen (figur 10). Jorrdjup har även beräknats för skott utanför profilen vid längdmätning -35 respektive -70 meter (ej med i profilen) för att grovt uppskatta jorrdjupet mellan utlägget och västra sjökanten. Dessa data indikerar minskande jorrdjup väster om mätutlägget med en indikerad mäktighet på 5-10 meter ca 70 meter väster om utläggets startpunkt.

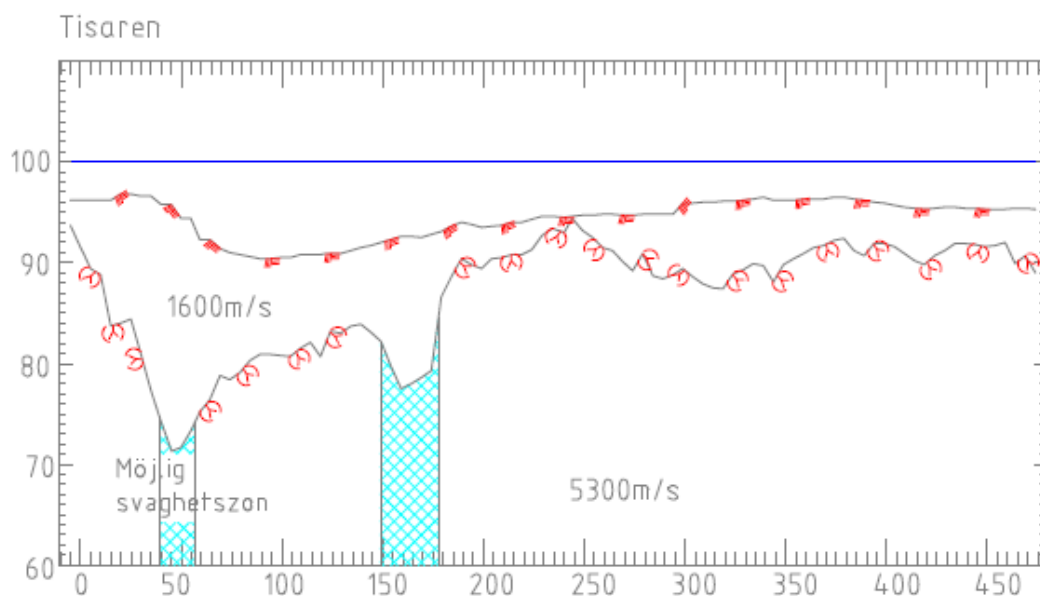
3.5 Tisaren sjömetning

Mätningen utfördes längs en 500 meter lång linje från sjön Tisarens södra strand med riktning åt nordost (figur 11). Mätningarna omfattade två utlägg, ett sydvästligt och ett nordostligt.



Figur 11. Lägen på individuella utlägg, Sjön Tisaren. A=startposition, B=slutposition.

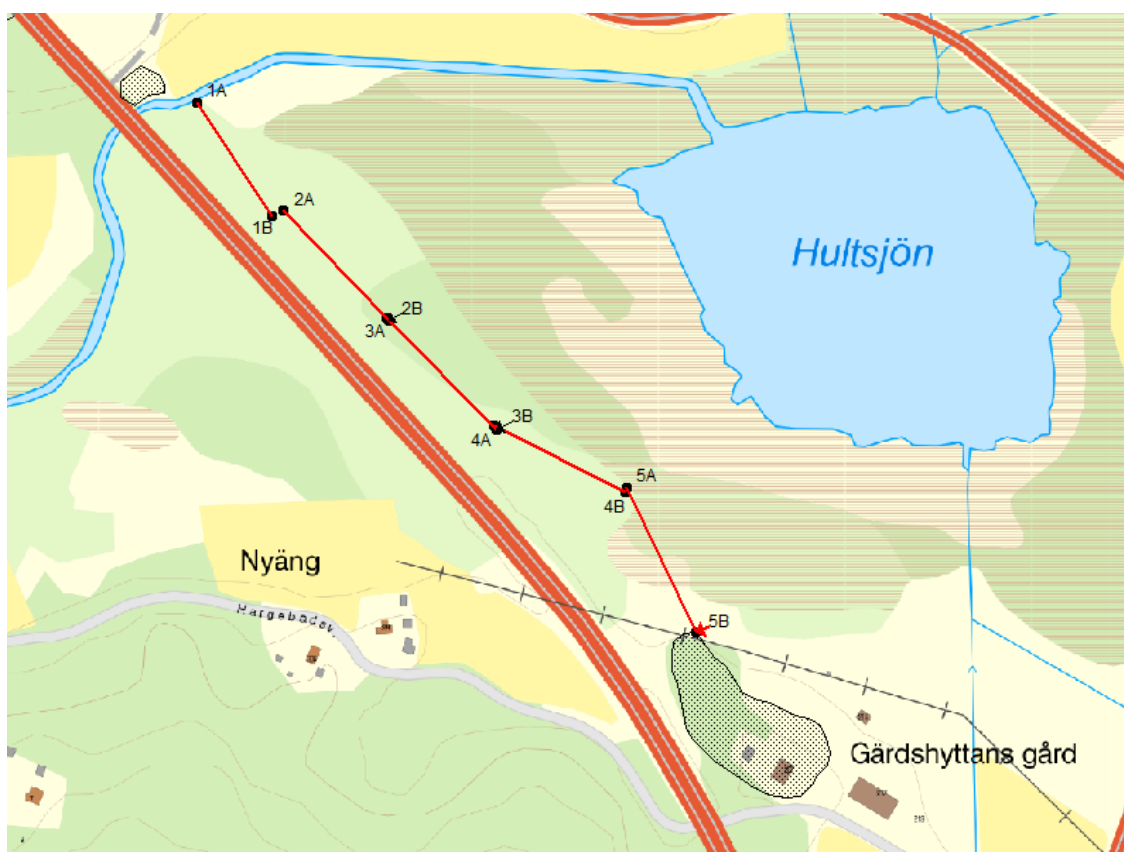
Den västra delen av profilen visar varierande jordmäktigheter (figur 12). Vid mätlinjens startpunkt är jordtäcket tunt, endast någon meter, för att snabbt öka till ca 20 meters mäktighet efter ca 50 meter. Därefter minskar jordmäktigheten gradvis fram till 140 meter längs profilen där mäktigheten uppgår till ca 7 meter. En ny svacka med ökande jordmäktigheter på mellan 10 och 12 meter påträffas från 140 till 175 meters längdmätning. Från ca 180 meter och fram till 500 meter vid profilens slut är jordtäcket tunnare och varierande mellan obefintligt till ca 7 meter.



Figur 12. Profil med tolkat jorddjup, sjön Tisaren, se Bilaga 2 för högre upplösning.

3.6 Hultsjön landmätning

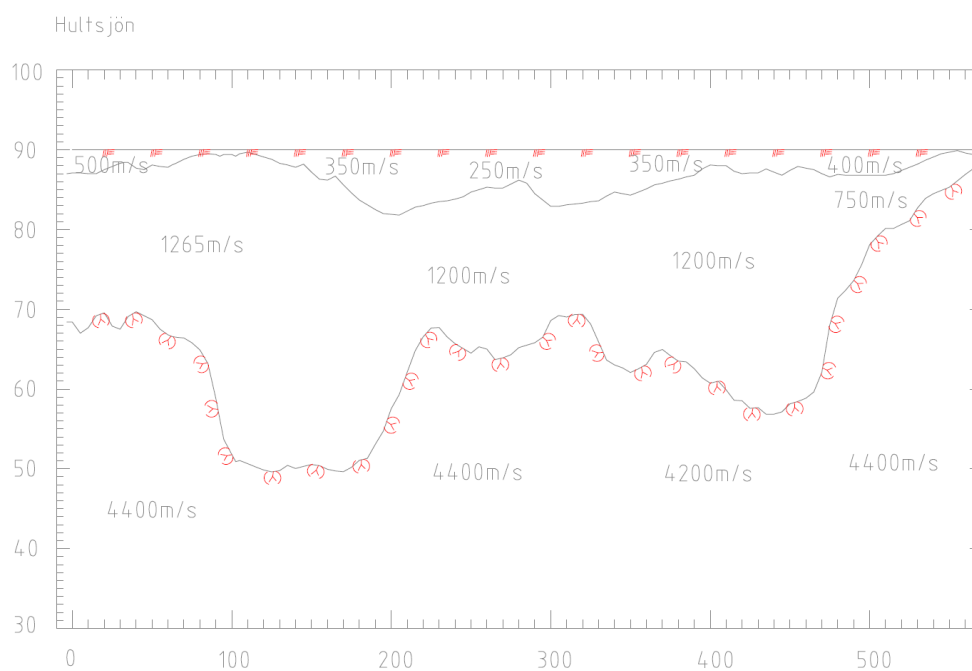
Mätningen utfördes längs en 565 meter lång linje med riktning från norr mot söder. Mätningen omfattade fem utlägg och börjar vid ån som utgör Hultsjöns norra utlopp och slutar vid hällområdet vid Gårdshyttans gård (se figur 13). Även norr om ån går berget i dagen. Inventerade berghällar i anslutning till seismiklinjen visas i figur 13 som rastrerade områden.



Figur 13. Lägen på individuella utlägg vid Hultsjön. A=startposition, B=slutposition. Rastrerade områden är hållar och områden med mycket tunt jordtäckte.

Området är flackt och utgörs ställvis av skog och ställvis av våtmark. Generellt varierar jordmäktigheten mellan 20 och 30 meter från linjens start och fram till ca 470 meter, förutom mellan 100 och 190 meter där jordmäktigheten ökar till ca 40 meter (figur 14). Från 470 meter minskar jordmäktigheten gradvis åt söder och uppgår endast till någon meter vid linjens slut.

Uppmätta p-vågshastigheter i berg relativt låga jämfört med sprickfritt berg av magmatiskt ursprung och varierar mellan ~4200 och 4400 m/s. Detta indikerar en generellt försämrad bergkvalité. De relativt stora jordmäktigheterna på >30 meter medför dock svårigheter att bestämma läget på eventuella lokala sprick-/krosszoner med försämrad bergkvalité. Detta beror huvudsakligen på att även små fel bestämning av refraktionsvinkeln ger en större avvikelse i läget där vågen registreras på markytan ökande jorddjup. Ökande jorddjupen i förhållande till utläggens längd på 115 meter medför även att den refrakterade bergvågen registreras av färre geofoner för de skott som ligger inom linjen, jämfört med grunda jorddjup.



Figur 14. Profil med tolkat jorddjup, sjön Tisaren, se Bilaga 2 för högre upplösning.

Eric Hegardt

För Bergab – Berggeologiska Undersökningar AB

Uppdragsnummer: 135 01120

DATUM: 2015-11-17

Refraktionsseismiska undersökningar för projekt Vätternvatten



Refraktionsseismiska undersökningar för projekt Vätternvatten

Mätning i sjön Tisaren, samt landmätning vid Verkasjön och Fröshyttan.

Inom projekt Vätternvatten utreds förutsättningarna för att förse kommuner inom Örebro län med vatten från sjön Vättern där vattentransporten kan komma att ske i en ca 35 km lång bergförlagd tunnel. För att bedöma förutsättningarna för denna tunnel har Reinertsen på uppdrag av Norconsult AB utfört refraktionsseismiska mätningar inom utvalda områden längs tänkt tunnellinje. Syftet med undersökningarna var att bestämma jordmaktigheter samt få en indikation på bergkvalitet. Inom de utvalda områdena har tidigare utredningar funnit indikationer på förekomst av svaghetszoner i berggrunden eller stora jorddjup vilka kan ha betydelse för tunneldrivningen.

Uppdragsansvarig: Erik Meland

Handläggare: Eric Austin Hegardt

TITEL		DOCUMENT NUMBER		DATUM	
Refraktionsseismiska undersökningar för projekt Vätternvatten				2015-12-08	
BESTÄLLARE		UPPDRAGSNUMMER		PROJECT MANAGER	
Norconsult		135 01120		Erik Meland	
	2015-12-08				
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED
AUTHOR		CHECKED		APPROVED	
Hannah Blomgren Carina Andersson		Eric Hegardt		Erik Meland	

Reinertsen Sverige AB

Kilsgatan 4

411 04 GÖTEBORG

SWEDEN

Tel +46-10-211 50 00

Fax +46-10-211 50 55



PATH	P:\RE_GBG\1_Projekt\15\SE_135_Mark_och_Vatten\135_01120_GEO_Geofysik_Vätternvatten\Handlingar\Rapport\Rappo rt_Vätternvatten_151208.doc
------	--

Vätternvatten Refraktionsseismiska undersökningar för projektet Vätternvatten 135 01120	Rev	Page
	Date 2015-11-17	4(15) Sign EM

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 BAKGRUND.....	5
2 METOD.....	6
2.1 Databasinsamling	7
3 RESULTAT	8
3.1 Tisaren sjömätning	8
3.1.1 Linje 1	10
3.1.2 Linje 2	12
3.2 Verkasjön landmätning	13
3.3 Fröshyttan landmätning.....	14
4 SLUTSATS	15

BILAGA 1 SGF METODBLAD SEISMIK

BILAGA 2 SEISMIKPROFILER

Vätternvatten

 Refraktionsseismiska undersökningar för projektet Vätternvatten
 135 01120

Rev

 Page
 5(15)

Date

2015-11-17

Sign

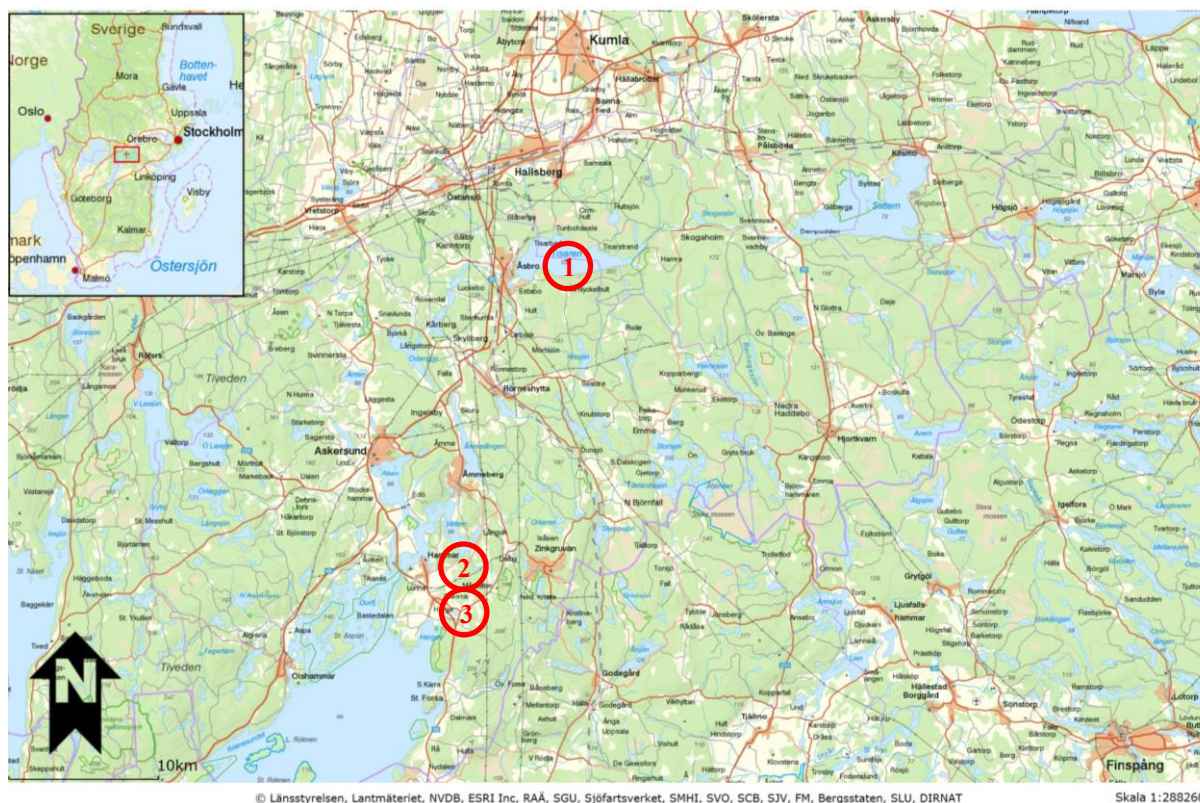
EM

1 BAKGRUND

Inom projekt Vätternvatten utreds förutsättningarna för att förse kommuner inom Örebro län med vatten från sjön Vättern där vattentransporten kan komma att ske i en ca 35 km lång bergförlagd tunnel. För att bedöma förutsättningarna för denna tunnel har Reinertsen på uppdrag av Norconsult AB utfört refraktionsseismiska mätningar inom utvalda områden längs tänkt tunnellinje. Syftet med undersökningarna var att bestämma jordmaktigheter samt få en indikation på bergkvalité. Inom de utvalda områdena har tidigare utredningar funnit indikationer på förekomst av svaghetszoner i berggrunden eller stora jorddjup vilka kan ha betydelse för tunneldrivningen.

Undersökningar har utförts vid följande platser (se Figur 1):

- 1.) Tisaren (sjömätning)
- 2.) Verkasjön (landmätning)
- 3.) Fröshyttan (landmätning)



Figur 1. Översikt över undersökningsområdena Tisaren (1), Verkasjön (2) och Fröshyttan (3).

Vätternvatten

 Refraktionsseismiska undersökningar för projektet Vätternvatten
 135 01120

Rev

 Page
 6(15)

Date

2015-11-17

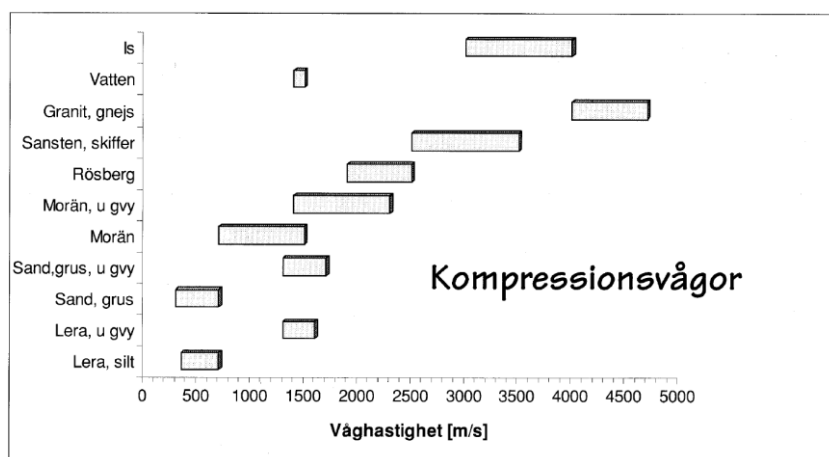
Sign

EM

2 METOD

Refraktionsseismisk mätning bygger på att tryckvågor från en pulskälla, t.ex. en detonerande sprängladdning, fortplantar sig med olika hastighet i olika jord- och bergarter. Det bildas olika typer av vågor vid detonationen, och vid refraktionsseismiska undersökningar studeras den snabbaste vågen, kompressionsvågen, ofta kallad P-vågen.

P-vågen refrakteras och reflekteras samt återsänds till markytan. Vågens utbredning mäts med vibrationsmätare, så kallade geofoner. Tiden för först ankommen våg bestäms varpå djup till berg kan beräknas. Typiska hastigheter för jordlager samt bergarter redovisas i Figur 2.



Figur 2 Typiska p-vågshastigheter i geologiska material (från Møllet et al. 2000)

Mätning och tolkning har i huvudsak utförts enligt SGF Metodblad Seismik (se bilaga 1). Avvikelser har gjorts vad gäller fördröjning på - och typ av sprängkapslar samt sensorer (hydrofoner vid mätning i vatten).

Mätningen utfördes med standardutrustning för refraktionsseismik innefattande seismograf, seismikkablar, geofoner, extern batterikälla, tändapparat och verktyg för skotthål (spett). För mätning i vatten användes en bottenlagd kabel med monterade hydrofoner. Se Tabell 1 för specifikationer.

Tabell 1. Specifikationer utrustning.

Utrustning	Typ/Modell	Mätområde	Mät noggrannhet
Seismograf	ABEM Terraloc Pro 48 kanaler	24 bitar	0.02 ms
Geofoner	Vertikala, 10 cm konisk spets	10 Hz (egenfrekvens)	-
Hydrofoner	AQ2000	1-1000 Hz	-
Tändapparat	Handutlösare HN1	-	-
Tändkapslar	Nonel 475 ms fördröjning	-	-
Pulskälla	Dynamit, 30-260 g/skott	-	-

Vätternvatten Refraktionsseismiska undersökningar för projektet Vätternvatten 135 01120	Rev	Page 7(15)
	Date 2015-11-17	Sign EM

Tiden för först ankommen våg bestämdes utifrån seismogrammen varpå djup till berg beräknades för varje geofon genom delay-time metoder eller GRM metoden.

2.1 Datainsamling

Längder på mätutlägg samt geofon- och hydrofonavstånd visas i Tabell 2. Inför varje utlägg markerades linjen ut i fält med stakkäppar (landmätning) eller bojar (vattenmätning).

Tabell 2. Geofon/hydrofonavstånd, utlägg och mätsträckor.

Linje	Antal utlägg	Antal geofoner/hydrofoner per utlägg	Geofon/hydrofonavstånd (m)	Avstånd mellan utlägg (m)	Total linjelängd (m)
Tisaren Sjömätning Linje 1	5	48	5	12	1223
Tisaren Sjömätning Linje 2	2	48	5	20	490
Fröshyttan	1,5	24	5	0	170
Verkasjön	2	24	5	0	230

Varje utläggs start-, mitt-, och slutpunkt samt skottpunkter mättes in med GPS. Koordinater för varje utläggs start- och slutpunkt anges i Tabell 3.

Tabell 3. Start- och slutkoordinater för respektive utlägg (SWEREFn99 TM).

Område	Utlägg	Start E	Start N	Slut E	Slut N
Tisaren Sjömätning Linje 1	1	506767	6539014	-	-
	2	506830	6539273	506892	6539510
	3	506895	6539520	506960	6539745
	4	506960	6539745	507021	6539974
	5	507028	6539991	507083	6540214
Tisaren Sjömätning linje 2	1	507001	6539121	507029	6539357
	2	507037	6539393	507065	6539626
Fröshyttan	1	500607	6516632	500593	6516749
	2	500593	6516749	500582	6516801
Verkasjön	1	501442	6519449	501413	6519559
	2	501413	6519559	501387	6519672

Nivåer på geofoner och skottpunkter på land beräknades från LAS-data (2 m grid).

Nivåer på hydrofoner och skottpunkter i vatten beräknades med hjälp av ekolodsdata samt vattenytans höjd över havet.

Använt koordinat- och höjdsystem är Sweref 99TM respektive RH2000

Vätternvatten

 Refraktionsseismiska undersökningar för projektet Vätternvatten
 135 01120

Rev

 Page
 8(15)

Date

2015-11-17

Sign

EM

3 RESULTAT

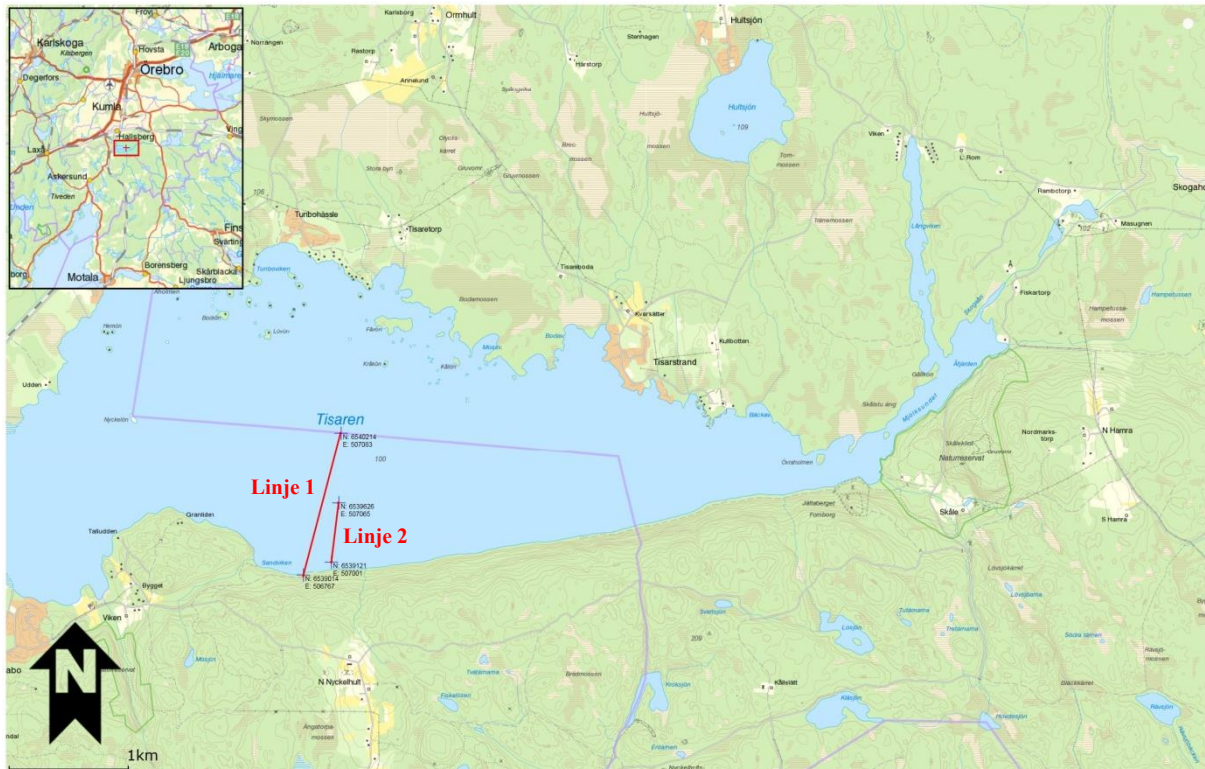
Seismikprofilerna har ej korrelerats mot sonderingar eftersom det inte finns närliggande sonderingar. Bergytans läge samt gånghastigheter i jord och berg redovisas som profiler, se bilaga 2. Samtliga profiler utgörs av modeller med två till tre lager, ett överlagrande ytjordlager eller torv, och ett lager med morän samt berggrundens överyta.

Gränsen, vad gäller gånghastighet, för vad som klassas till berg med sämre kvalitet är satt till ≤ 4000 m/s. Gånghastigheter i berg ≤ 4000 m/s är ofta kopplade till förkastningar, kontaktzoner och mycket uppsprucket berg.

Nedan beskrivs resultaten från respektive område tillsammans med en beskrivning av lokala mätförhållanden.

3.1 Tisaren sjömätning

Mätningen utfördes längs två parallella linjer (Linje 1=1223 m och Linje 2=490 m) från sjön Tisarens södra strand med riktning åt nordost (fig. 3). Linje 1 omfattade 5 utlägg med ca 12 m mellan utlägg, linje 2 omfattades av 2 utlägg med ca 20 m mellan utlägg. Tisaren omges i norr och söder av berg i dagen, längst i söder stupar berget brant ned mot sjön medan berget på den norra sidan av sjön stupar flackt mot vattnet.



© Länstyrelsen, Lantmäteriet, NVDB, ESRI Inc, RAÄ, SGU, Sjöfartsverket, SMHI, SVO, SCB, SJV, FM, Bergsstaten, SLU

Skala 1:36032

Figur 3. Tisaren sjömätning med två linjer från syd till nord/nordöst. Linjerna ligger norr om Norra Nyckelhult.

Vätternvatten

 Refraktionsseismiska undersökningar för projektet Vätternvatten
 135 01120

Rev

Page

9(15)

Date

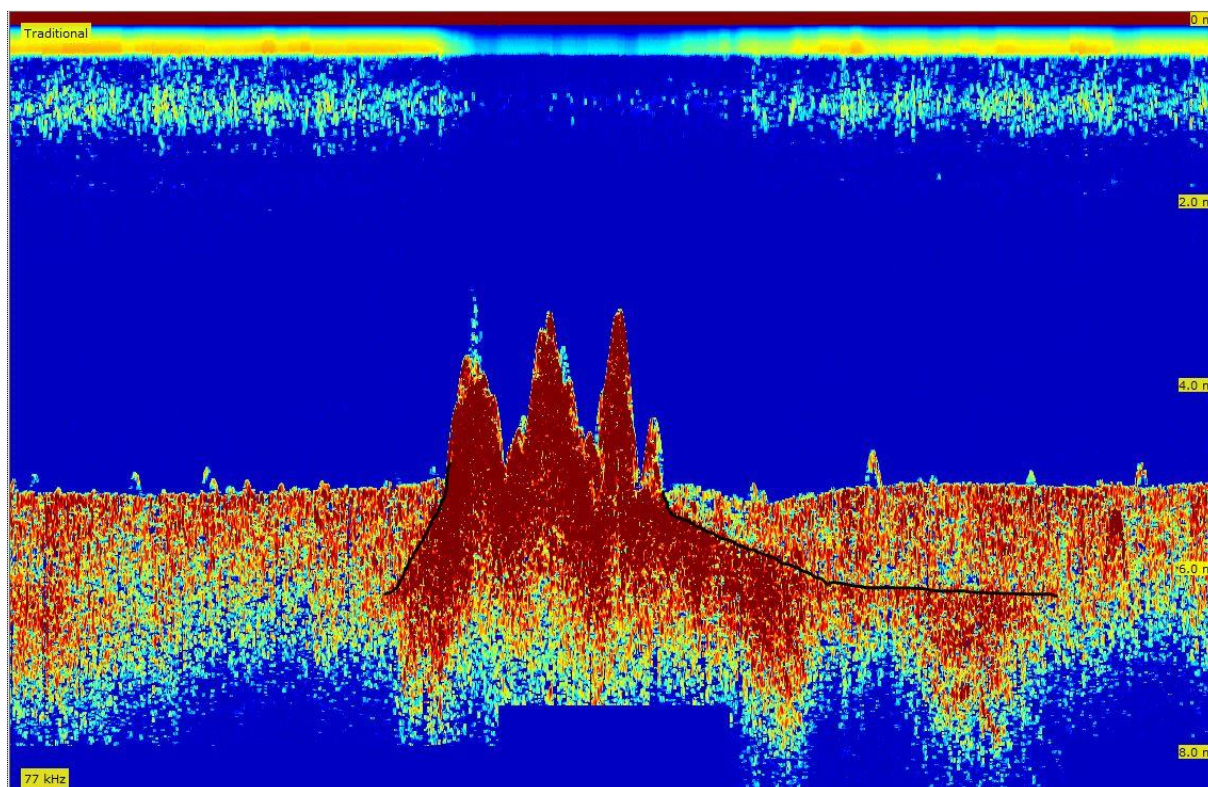
2015-11-17

Sign

EM

Den seismiska mätningen av Linje 1 avslutades vid den punkt där berg i dagen okulärt kunde urskiljas på botten och fortsatta jordlager genom ekolodsdata bedömdes ha högst begränsad mäktighet. Istället för att fortskrida med den seismiska mätningen längs Linje 1 utfördes en ytterligare mätlinje över den identifierade svaghetszonen i söder längs Linje 2.

För att demonstrera berg i dagen från slutet av Linje 1 norrut mot Tisarens andra strand har bilder från ekolodsdata som insamlades bifogats i dokumentet (fig. 4 och fig. 5). Berg representeras av röd-brun färg i bild och är ytterligare förtydligat med ett svart streck. Figur 4 är tagen ca 1400 m från Tisarens södra strand och visar tydligt att berg går i dagen.



Figur 4. Ekolodsdata som visar botten av Tisaren (ca 1400 m från Tisarens södra strand). Den röd-bruna färgen representerar berg och den svarta markeringen visar berg under sediment.

Ytterligare norrut längs linje 1, mellan ca 1750 och 1950 meter från den södra stranden, visar även här ekolodsdata att berg förekommer mycket ytligt under sedimenten (fig. 5).

Vätternvatten

 Refraktionsseismiska undersökningar för projektet Vätternvatten
 135 01120

Rev

Page

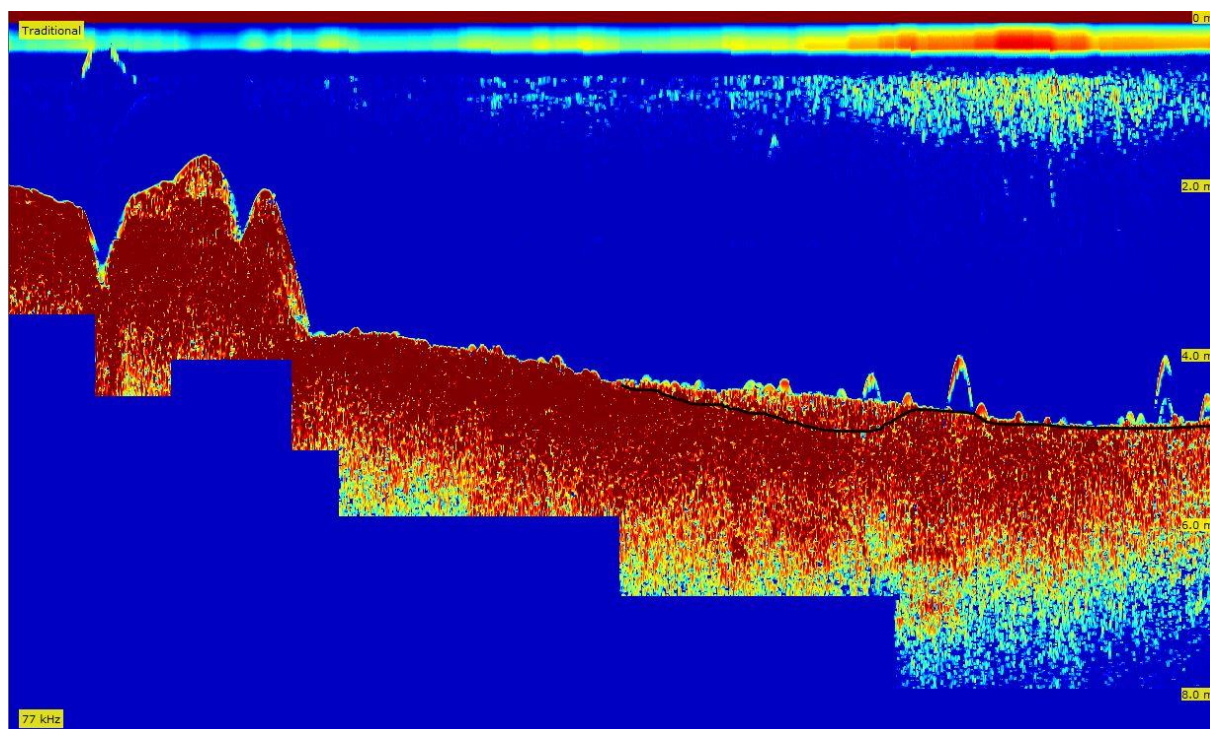
10(15)

Date

2015-11-17

Sign

EM



Figur 5. Ekolodsdataben visar en ytlig bergyta under tunna sediment ca 1750-1950 m från Tisarens södra strand. Röd-brun färg representerar berg och den svarta markeringen visar berg under sediment.

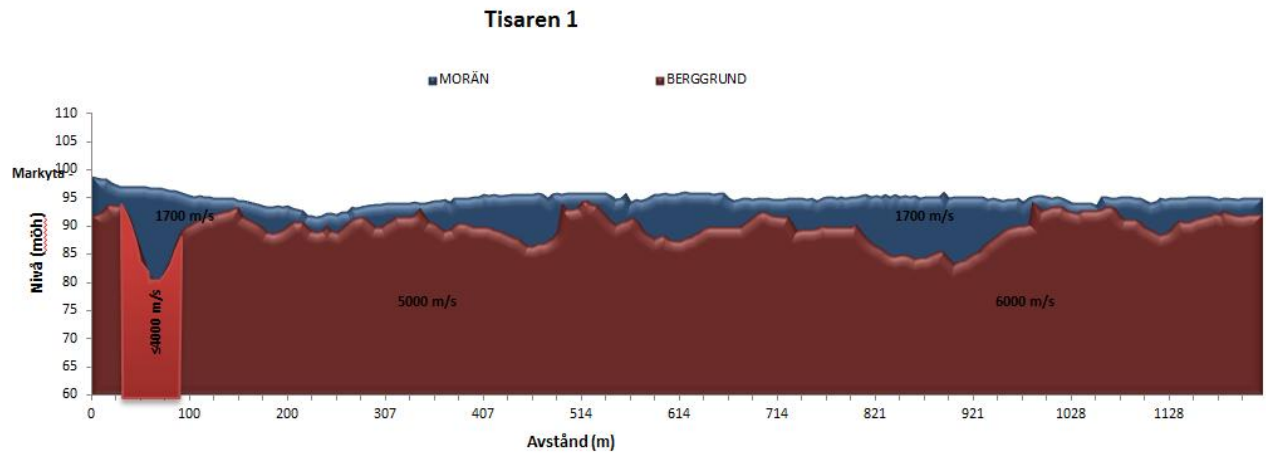
3.1.1 Linje 1

För linje 1 varierar jordmaktigheterna kraftigt från ca 1,5 m till 16 m maximalt (fig. 6). Vid den södra delen av linjen förekommer en tydlig svacka mellan längdmätning 45–90 m, där uppgår jorddjupet till ca 16 m. Beräknad bergvågshastighet vid svackan är ≤ 4000 m/s och tolkas vara en svaghetszon. Vid längdmätning 830 – 920 m förekommer ytterligare en tydlig svacka där jordmaktigheten uppgår till ca 12 m. Beräknad gånghastighet i berg vid svackan är 4500 m/s vilket tyder på en relativt god bergkvalitet.

Generellt ligger jordmaktigheten runt 6 m för mätlinjen och gånghastigheten för jordlagret ligger på ca 1700 m/s vilket motsvarar morän. Gånghastigheten i berget ligger generellt mellan 4500 m/s – 6500 m/s vilket tolkas vara god bergkvalitet.

Vätternvatten
 Refraktionsseismiska undersökningar för projektet Vätternvatten
 135 01120

Rev	Page 11(15)
Date 2015-11-17	Sign EM



Figur 6 Profil för Tisaren linje 1, från syd till norr.

Vätternvatten

 Refraktionsseismiska undersökningar för projektet Vätternvatten
 135 01120

Rev

Page

12(15)

Date

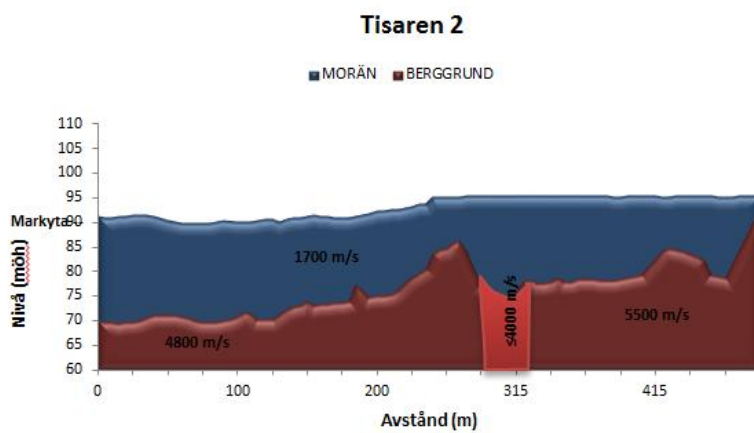
2015-11-17

Sign

EM

3.1.2 Linje 2

För linje 2 varierar jordmaktigheterna från ca 8 m till 21 m maximalt (fig. 7). Längst i söder är jordmaktigheten ca 21 m och avtar svagt norrut. Vid längdmätning 280–320 m längs linjen förekommer en tydlig svacka med en jordmaktighet på ca 21 m. Beräknad gånghastighet i jorden uppgår till 1700 m/s vilket motsvarar morän under grundvattenytan, se fig. 2. Beräknad bergvågshastighet vid svackan är ≤ 4000 m/s och tolkas vara en svaghetszon. I övrigt bedöms det råda god bergkvalitet längs mätlinjen, gånghastigheterna i berg varierar generellt mellan 4800 m/s – 5500 m/s.



Figur 7 Profil för Tisaren linje 2, från syd till norr.

Vätternvatten

 Refraktionsseismiska undersökningar för projektet Vätternvatten
 135 01120

Rev

Page

13(15)

Date

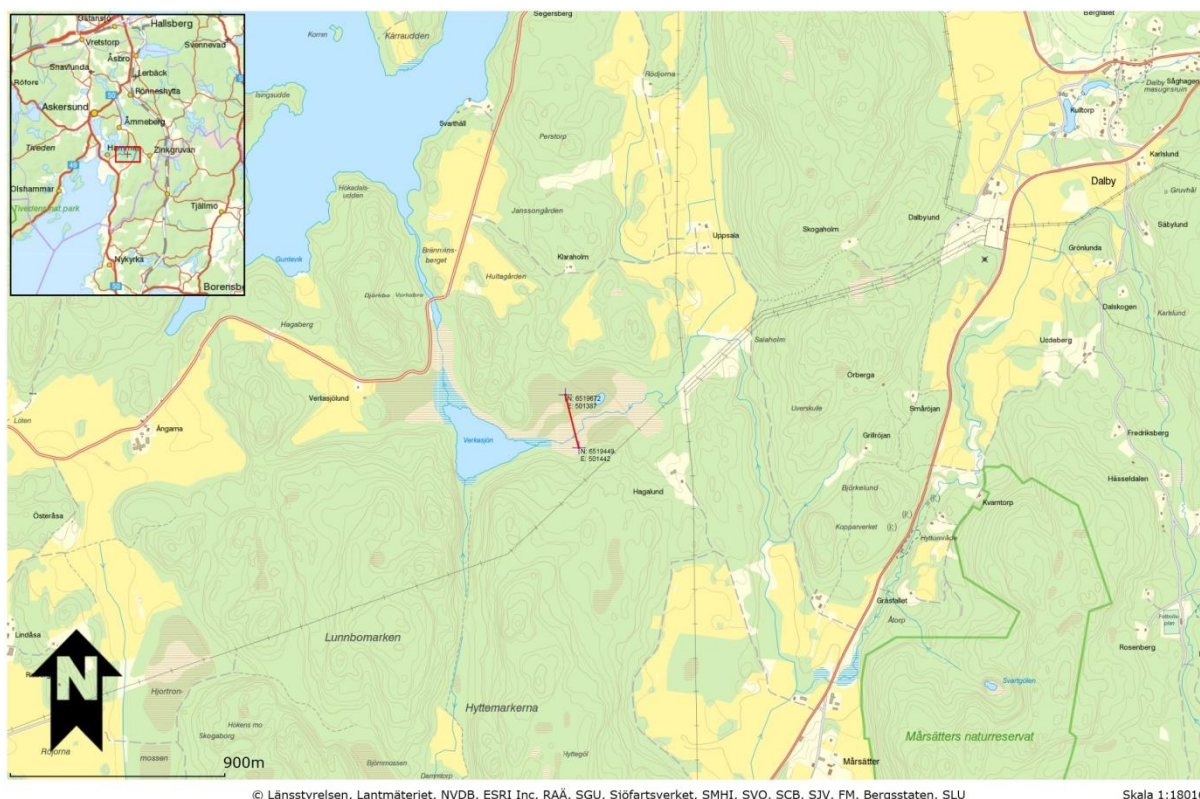
2015-11-17

Sign

EM

3.2 Verkasjön landmätning

Mätningen utfördes öster om Verkasjön i en 230 m lång linje med riktning från syd till nord/nordväst (fig. 8). Mätområdet utgörs av träskmark som ligger mellan två bergsluttningar, med ett tunt moränlager i norr på sluttningen och en brantare bergsluttning i söder.



Figur 8. Verkasjön landmätning med en linje från syd till nord/nordväst.

Verkasjön har ett relativt jämnt jorddjup som varierar mellan 6 – 17 m (fig. 9). Jordlagren utgörs av ett övre lager med torv och ett undre lager som utgörs av en morän med gånghastighet på ca 1000 m/s, vilket är vanligt för denna jordart, se fig. 2.

Vid längdmätning 0–20 m, 50–60 m och vid 110 –160 m längs profilen är gånghastigheterna i berg ≤ 4000 m/s vilket tolkas vara sämre bergkvalitet vilket kan bero på en uppsprucken berggrund. Den lägre gånghastigheten mellan längdmätning 110-160 m sammanfaller med en svacka i berggrunden som är ca 17 m djup.

Generellt är gånghastigheten för berg mellan 4500 m/s – 7000 m/s vilket tolkas vara god bergkvalitet.

Vätternvatten

Refraktionsseismiska undersökningar för projektet Vätternvatten

135 01120

Rev

Page

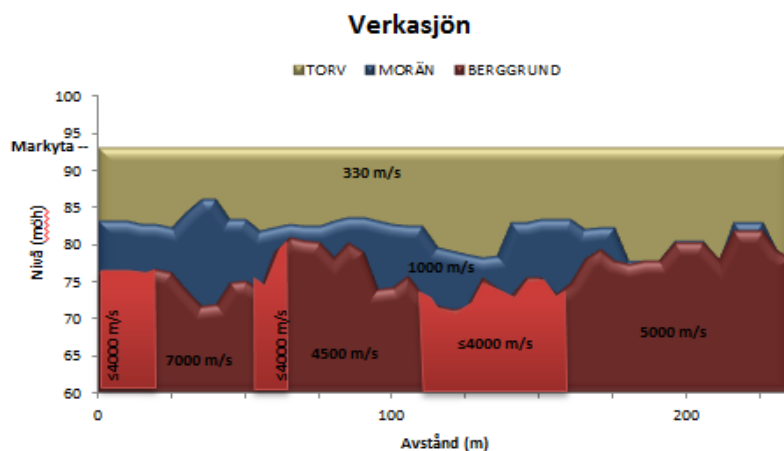
14(15)

Date

2015-11-17

Sign

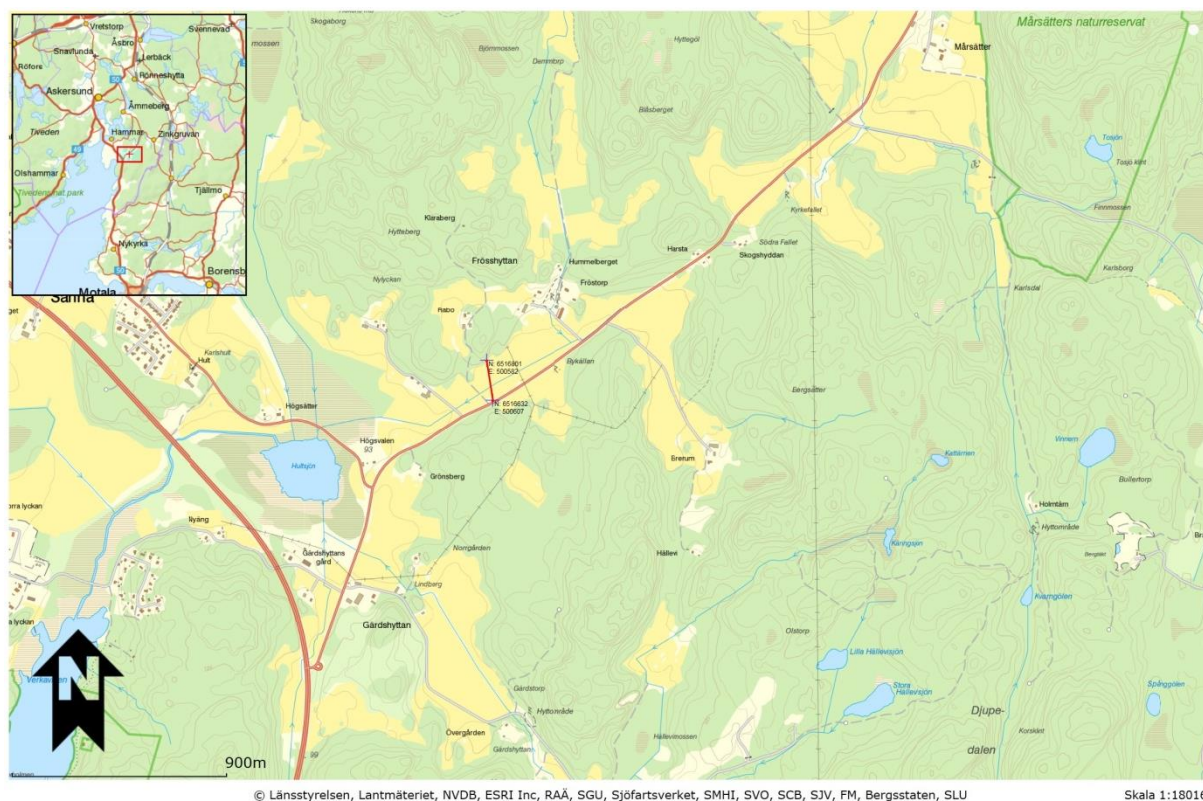
EM



Figur 9 Profil för Verkasjön, från syd till norr.

3.3 Fröshyttan landmätning

Mätningen utfördes längs en 170 m lång linje i riktningen syd till nord/nordväst (fig. 10). Mätområdet utgörs av åkermark som är beläget mellan två relativt flacka bergsluttningar.



Figur 10. Fröshyttan landmätning med en linje från syd till nord/nordväst.

Linjen vid Fröshyttan har två jordlager, ett tunt överlagrande jordlager, ytjord, samt ett mycket mäktigt jordlager bestående av morän med en gånghastighet på ca 1700 m/s (fig. 11).

Vätternvatten

 Refraktionsseismiska undersökningar för projektet Vätternvatten
 135 01120

Rev

Page

15(15)

Date

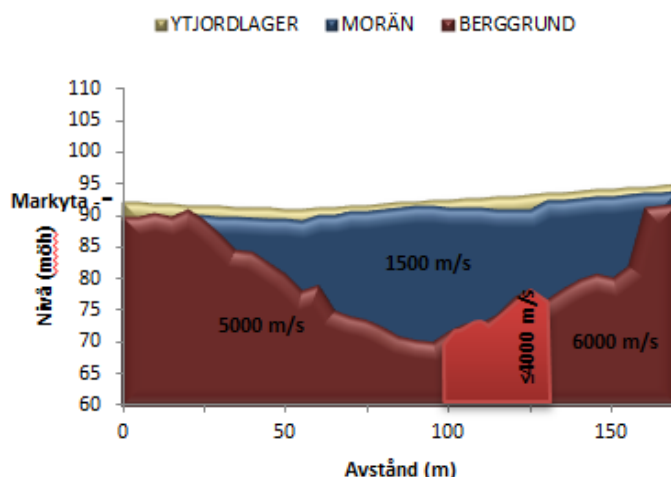
2015-11-17

Sign

EM

Längs mätlinjen är jordmaktighet runt ca 4 m längst i båda ändarna av linjen, några meter in på linjen ökar jorrdjupet markant till ca 22 m. I denna svacka förekommer ett mindre område med en lägre gånghastighet.

Mellan längdmätning 110-125 m återfinns den lägre gånghastigheten i berg som ligger på ≤ 4000 m/s vilket tolkas vara sämre bergkvalitet som en svaghetszon med uppsprucket berg. Generellt är gånghastigheten för berg mellan 5000 m/s – 6000 m/s vilket tolkas vara god bergkvalitet.

Seismikutlägg Fröshyttan


Figur 11 Profil för Fröshyttan, från syd till norr.

4 SLUTSATS

Utav de fyra seismiklinjer som mätts så återfinns svaghetszoner i samtliga profiler. I mätlinjerna Tisaren linje 1, Tisaren linje 2 och Fröshyttan har en svaghetszon lokaliserats i vardera profil medan tre svaghetszoner har lokaliserats i profilen över Verkasjön. Samtliga svaghetszoner har en hastighet på ≤ 4000 m/s. Resterande berg bedöms vara av god kvalitet och gånghastigheterna runt 5000 m/s motsvarar sprickfri berggrund av magmatiskt ursprung.

Mäktigheten på jordlagren varierar kraftigt för de olika profilerna. De största jordmaktigheterna ligger mellan 16 – 22 m med ställvis tunnare jordlager, som minst 1,5 - 6 m.

Erik Meland

För Reinertsen

Bilaga 1



Metodblad
Seismik- SGF



Seismik - metodblad

I Sverige har användningen koncentrerats till att bestämma djup till fast berg, identifiera svaghets och krosszoner i bergmaterialet samt att bestämma jordlagrens sammansättning och grundvattenytans läge.

Metodbeskrivning

Den refraktionsseismiska mätmetoden introducerades på 1920-talet och uppstod ur resultaten från försök att med gångtidsmätning lokalisera saltomer och spricksystem i jakten på olja.

Den fortsatta utvecklingen av metoden har styrts av vilken information man önskat få och vilka geologiska förutsättningar som funnits på den aktuella platsen.

Metoden bygger på att en skapad energipuls rör sig med olika hastigheter i olika material. Hastigheten beror av materialets elastiska egenskaper och dess densitet och karakteriserar alltså ett material utifrån dessa parametrar. Som tur är utgör skillnader i dessa egenskaper ofta även skillnader i materialets praktiska egenskaper såsom de definieras i geologiska och geotekniska termer.

Genom bestämning av materialets gånghastighet går det att skilja mellan t.ex. sand, lera, morän och berg.

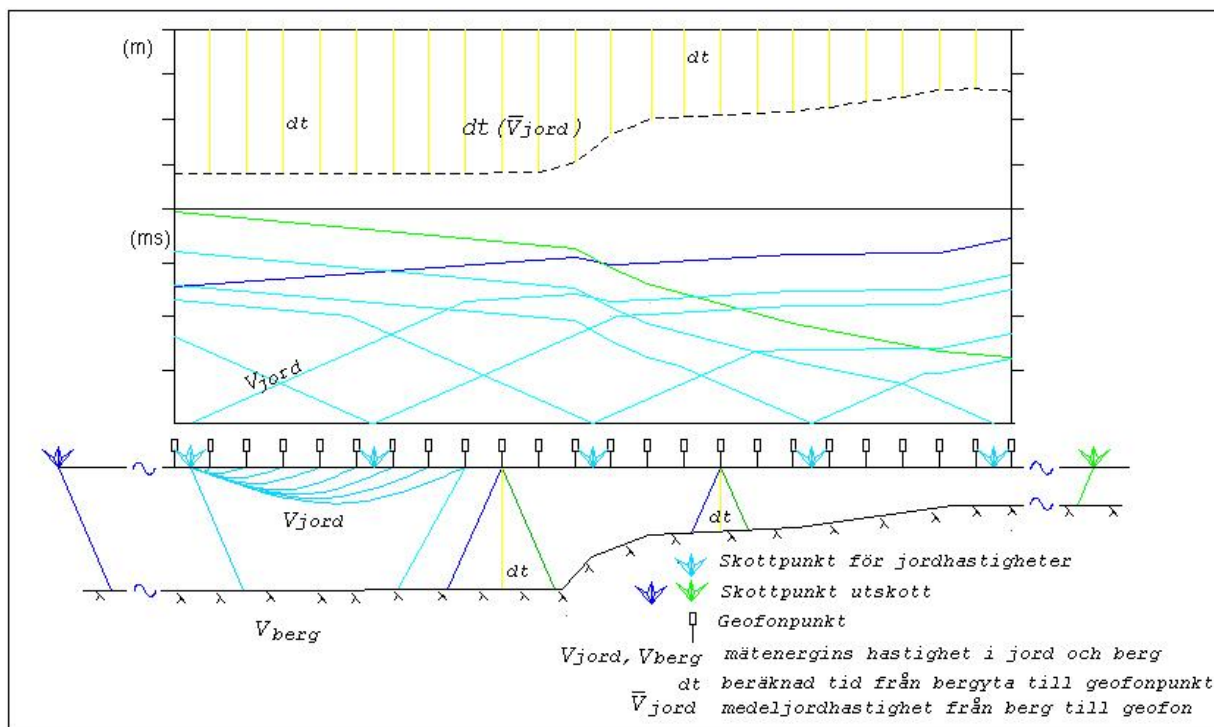
Syftet med metodblad för de geofysiska metoderna och tillämpningar är att skapa ett hjälpmedel som ger en översiktlig bild av metoderna och deras tillämpning samt ge exempel på redovisning. Beställare av geofysiska undersökningar har ofta att välja mellan olika metoder och varianter på deras tillämpning för samma uppdrag vilket kan göra metodvalet svårt.

Svenska Geotekniska Föreningen

Fältkommittén i samarbete med Björn Toresson.

Kontaktperson

Aqne Gunnarsson, aqne.gunnarsson@vv.se



Figur 1. Principalskiss vågutbredning (refraktionsseismik) och tolkning.

Utrustning

Vid refraktionsseismiska mätningar registreras hur en alstrad mätpuls utbreder sig i marken. Mätpuls kan skapas genom slag med slägga, fallande vikter, eller vilket är överlägset bäst vid normal mätning, genom små sprängladdningar, som placeras i hål i marken.

Energivågens utbredning registreras av sensorer, geofoner, som placeras utefter en rät linje på markytan. Geofonerna består av induktionsgivare, inneslutna i ett kraftigt hölje försett med ett kort spett som möjliggör god förankring till marken. Geofoner, avsedda för refraktionsseismik, är konstruerade för att registrera energivågens vertikalkomponent.

Varje geofon ansluts till en geofonkabel med specialanpassade anslutningar och med ett separat kabelpar per geofon. Geofonkabeln kopplas till en mät dator där signalen från varje geofon digitaliseras, och sparas på en intern hårddisk. Tack vare utvecklingen på elektronik och datorsidan har man idag möjlighet att tillgodogöra sig betydligt mer information om jord och bergmaterials mekaniska egenskaper. Vid refraktionsseismisk mätning med omfångsrika A-D omvandlare (>20 bitar) kan t ex ytvågor, skjuvvågor och amplitud och frekvensfördelning ge ytterligare information vid beskrivning av materialets egenskaper.



Figur 2. Hjulgående fordon med mätutrustning.

Mätning

Det praktiska mätförfarandet i fält inleds med att geofoner placeras utefter aktuell mätlinje, avståndet mellan geofonerna bestäms främst av det aktuella jorddjupet. Vid jorddjup på mindre än 20 meter är det vanligast med geofonavstånd på runt 5 m. Vid ökande jorddjup får geofonavståndet ökas för att erhålla optimal mätgeometri. Vid mycket stora djup (70-100m) och därmed långa geofonavstånd är det ofta nödvändigt att kompletteringsmäta, med korta geofonavstånd, för att få tillräcklig information om hastighetsfördelningen i jordmaterialets övre delar. Geofonavståndet måste också anpassas till eventuella hinder i terrängen och varierar därför ofta även inom samma mätutlägg.



Figur 3. Mätutlägg med geofoner och geofonkabe på asfalt.

Efter det att geofonerna är utplacerade och anslutna till geofonkabeln placeras signalskottens laddningar ut. Vanligtvis används sprängmedel, typ dynamex, med mindre mängd än 30 g per skott, dessa detoneras med elektriska säkerhetsständer av VA-typ med en inbyggd tidsfördröjning för undvikande av störningar från den elektriska tändpuls.



Figur 4. Mätning på vintern med mätutlägg med geofoner och geofonkabe på is.

Antalet skott beror på mätområdets egenskaper, men principen är att två "utskott" placeras i mätlinjens förlängning, ett åt varje håll. Utskotten placeras så långt ut att en sammanhängande bergväg kan registreras utefter hela mätlinjen dvs att varje geofon registrerar energipuls som gått i bergmaterialet från båda håll.

För att bestämma den vertikala hastighetsfördelningen i jordmaterialet, ned till berget, skjuter man även skott inne i utlägget. Eftersom det oftast finns hastighetsvariationer utefter mätlinjen skjuter man flera skott, oftast 5-6 stycken för varje mätutlägg.

Med det kombinerade resultatet från de två utskotten kan berghastigheter bestämmas, dessutom kan tiden för pulsen att gå från bergytan upp till varje geofon beräknas. Genom att använda hastighetsanalysen från skotten inne i utlägget kan denna tid omräknas till djup utefter utlägget. (figur 1)

Mätkapaciteten i fält ligger på 500-1000 m/dag beroende mest på praktiska omständigheter som framkomlighet.

Vid mätning i stadsmiljö och vid sjömetning blir produktionsstakten något lägre, med ett högre meterpris som följd.

Tillämpningsområden

Användning

Refraktionsseismiska mätningar har lång tradition i Sverige. De har använts som hjälpmedel för bestämning av bergläge och bergkvalité, främst vid väg, järnvägs, tunnel och dammprojektering. Metoden har sin självklara fördel när förutsättningarna för konventionell sondering är begränsade på grund av svår terräng och stora block. Men genom att ge en mer sammanhängande bild av berg och jord är metoden ett ekonomiskt alternativ för att optimera konventionella borrhinsatser till avsnitt där de är byggtkniskt mest motiverade, även vid alla typer av markförhållanden.

Pga av metodens relativa snabbhet och att man alltid når ner till berget är metoden också lämplig att använda i ett tidigt utredningsskede när man fortfarande har fler alternativa sträckningar. Mätningarna kan då göras översiktligare och sedan kompletteras vid behov.

Vid Hydrogeologiska och miljö tillämpningar används refraktionsseismik för att följa grundvattenytans läge, lokalisera eventuella vattenförande kross- eller sprickzoner i berget, bestämma hydrologiska gradienter utifrån bergytans höjdförhållanden och hitta eventuella vattendelare.

Begränsningar

Vid bestämning av bergytans läge använder man den beräknade medelhastigheten för den vertikala jordprofilen. Svårigheter vid hastighetsanalysen som medför felaktig medelhastighet ger alltså motsvarande fel i djupbestämningen.

Korrekt hastighetsbestämning bygger på att man har en med djupet konstant eller ökande hastighetsfördelning. Detta är också en, för metoden, lycklig omständighet i många geologiska miljöer, inte minst i Sverige. Trots inlandsisars härjningar på jord och bergmaterial är den naturliga lagerföljden sådan att det oftast finns förutsättning för goda resultat vid seismiska undersökningar. Undantag är t ex lerlager i eller överlagrande friktionsmaterial. Underliggande lager med högre hastighet men med så begränsad tjocklek att de inte registreras kan utgöra en felkälla vid djupbestämning. Den högre hastigheten i tjälad mark har också en skärmande effekt och gör resultatet osäkrare vad gäller bestämning av jordmaterialets sammansättning och mäktighet.

Kvalitet

Det redovisade resultatet från en refraktionsseismik underökning har en statistisk felmarginal på mindre än 10 %. Vid grunda djup kan svårigheter att bestämma korrekt medelhastighet för de övre jordlagren påverka resultaten så att felmarginalen nedtill 5 meters jorddjup kan öka till 1 m. Speciellt vid mätningar på asfalt, vid tjäle eller vid nära liggande betongkonstruktioner är det viktigt att få extra information från borrar.

Det är i detta sammanhang viktigt att ansvarig mätledare är väl införstådd med mätteori och tolkningsmetodik så att han kan optimera mätförfarandet utefter rådande förutsättningar. Dessutom är det viktigt att genom hela projektet identifiera felkällor och eventuella tvetydigheter för att sätta in lämpliga kalibreringsåtgärder.

Dokumentation och redovisning

Resultatet av refraktionsseismisk underökning redovisas oftast som profilritning med 5-10 gångers överförhöjd höjdskala. Profilritningen visar markyta, bergyta, ev. jordlagergränser, grundvattenyta och uppmätta gånghastigheter.

Dessutom redovisas allt oftare resultaten i en databas. T ex pxy-fil eller StenoGRAF-fil för import till aktuellt behandlingsprogram. I databasen anges koordinater för markyta, bergyta, identifierade jordlager och uppmätta gånghastigheter.

En fördel med redovisning i databas är att databasen är en god grund för dokumentation och arkivering, denna bör då kompletteras med uppgifter om koordinatsystem, metod och noggrannhet för inmätning. För att möjliggöra full bakåtkompabilitet måste den utförande konsulten dessutom i sin arkivering och dokumentation innefatta rådata och alla delsteg i tolkningsarbetet. Normalt sker en preliminärredovisning i nära anslutning till mätningarnas utförande.

I denna ingår inte kalibreringsinformation och denna utgör det fristående resultatet från den seismiska mätningen. Därefter bör i samarbete med beställarens projektörer en plan för kalibreringsbörning utarbetas. Resultaten av borrhälsinformation jämförs med de redovisade preliminärresultaten, orsaker till eventuella avvikelser utreds, och om avvikelserna medför underlag till en omtolkning sker detta.

För att möjliggöra utvärdering och utveckling av metoden är det dock viktigt att den ursprungliga tolkningen som skedde utan tillgång till kalibreringsinformation finns bevarad och hålls tillgänglig tillsammans med eventuell felanalys.

Den seismiska rapporten sk RGeo bör innehålla:

- Full dokumentation över mätningarnas genomförande, omfattande uppgifter om instrumentering, mätgeometrier, ansvarig personal.
- Yttre faktorer som påverkat mätningarna redovisas t ex förekomst av tjäle.

- Sammanställning över alla datafiler och redovisade resultat före och efter kalibreringsåtgärder.
- Redogörelse för eventuella avvikelser i resultat eller mätomfattning.
- Förslag till eventuella kompletteringar.

I den grafiska redovisningen redovisas även geotekniska fältundersökningar tillsammans med de tolkade undersökningsresultaten.

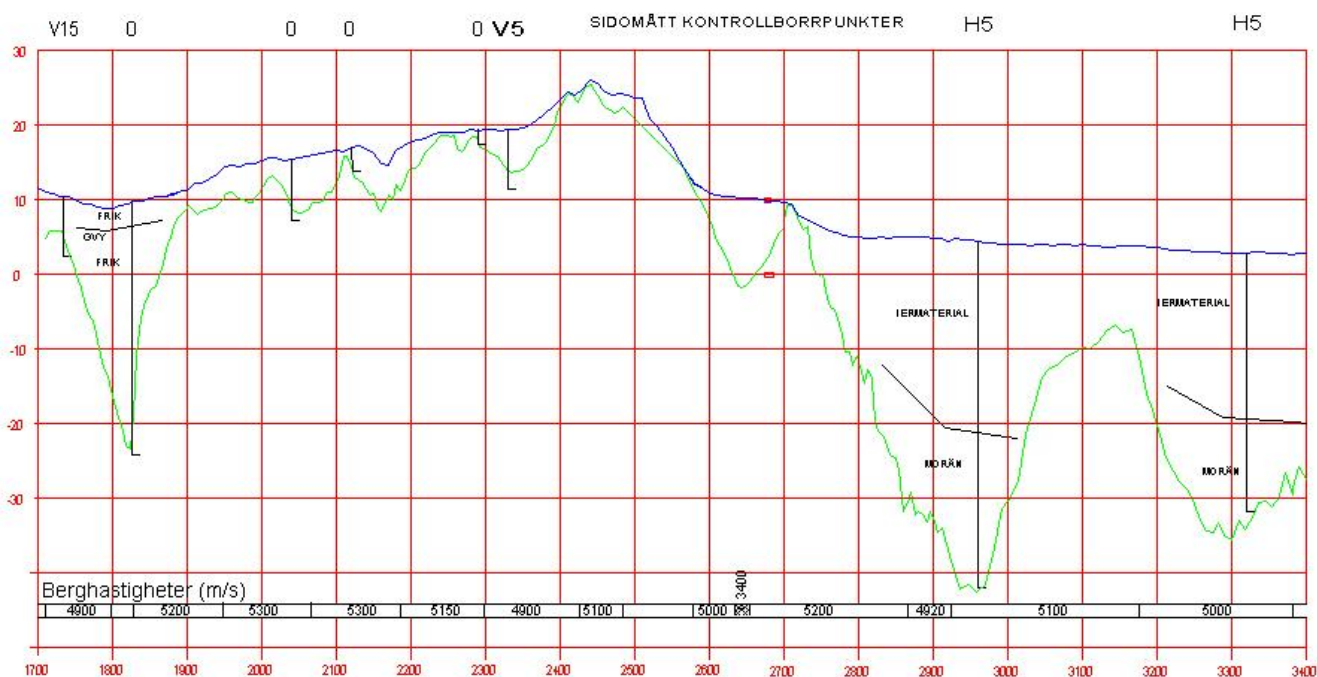
Litteratur och Referenser

Grant & West, Interpretation theory in applied Geophysics, McGraw-Hill 1965.

Parasnis D.S. Principles of applied geophysics, Chapman and Hall 1997

Sjögren B, Shallow refraction seismics Chapman and Hall 1984

REFRAKTIONSSEISMISK MÄTLINJE KM 1/700 - 4/900 CL (MED KONTROLLBORRNINGAR)

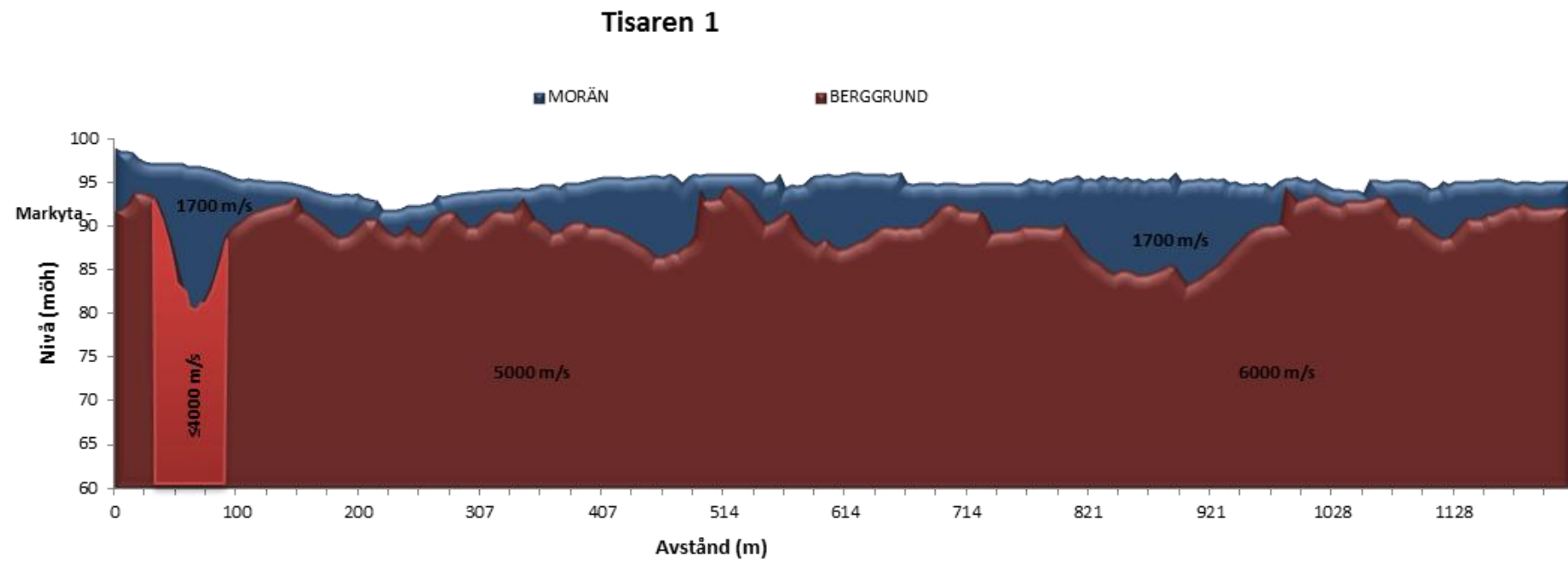


Bilaga 2

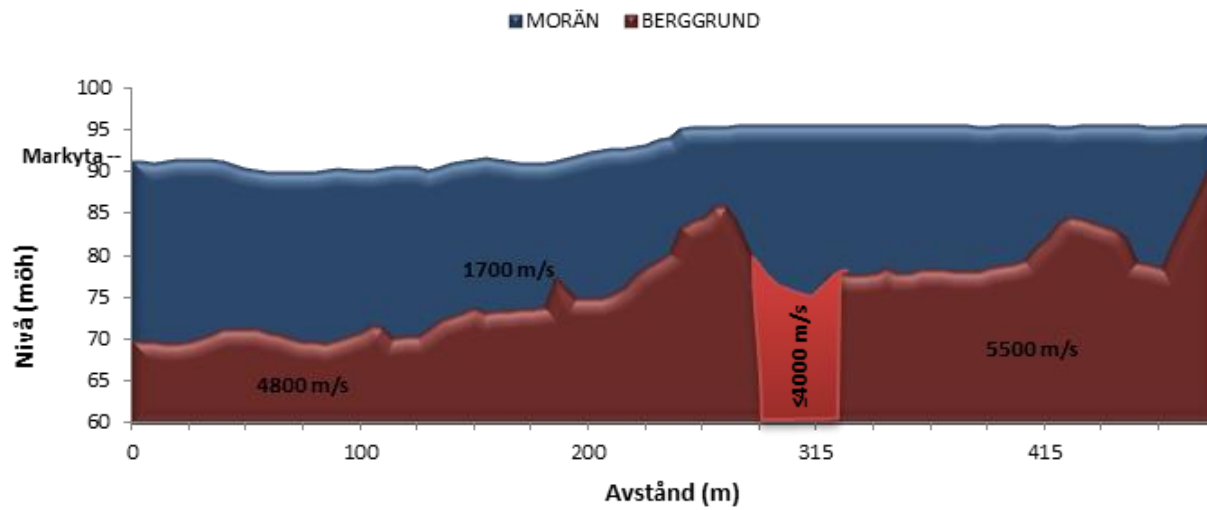


Seismiska
profiler

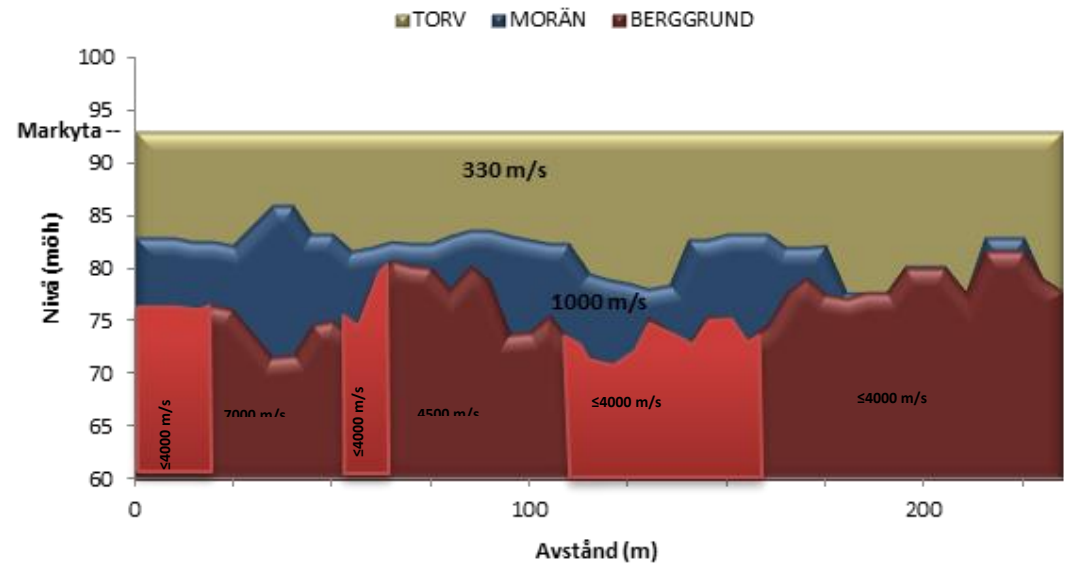
Bilaga 2



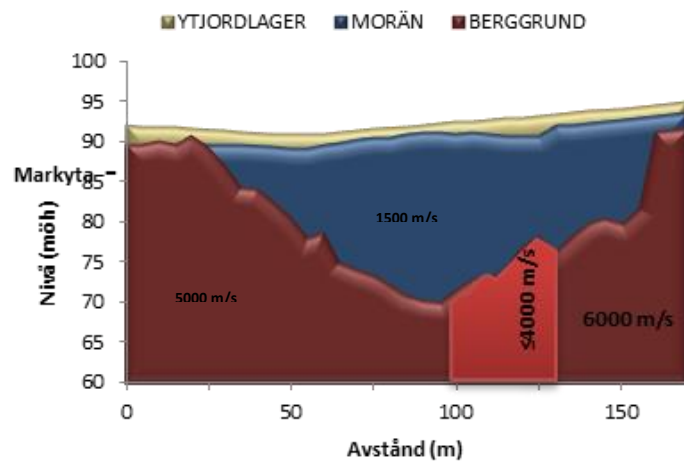
Tisaren 2



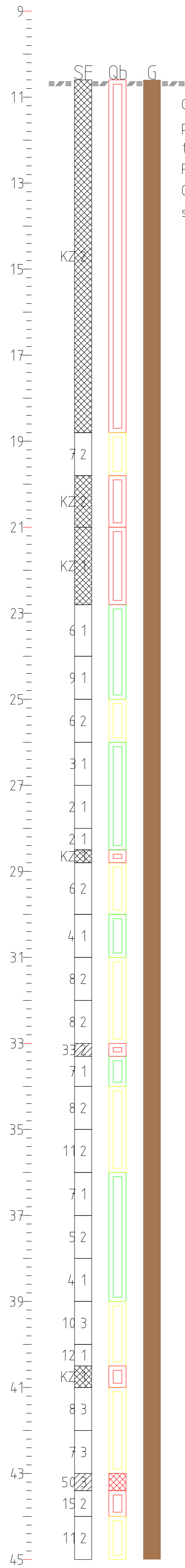
Verkasjön



Fröshyttan

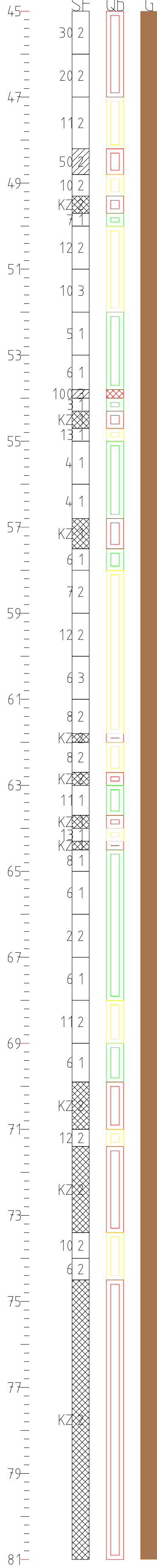


Vätternvatten DBH1

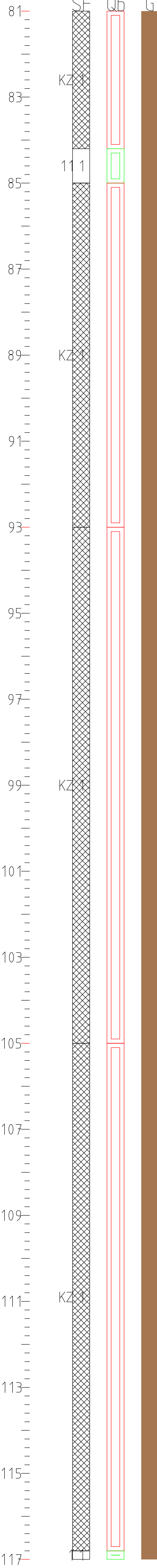


Granitoid. Ställvis grovkornig, då förekommer plagioklaskrystaller som fenokryster. Annars fin-medelkornig. Läkta mikrosprickor. Råa sprickytor med tunn sprickfyllnad 0-1mm. Omväxlande klorit och kalcit som dominant sprickfyllnadsmineral.

Vätternvatten DBH1



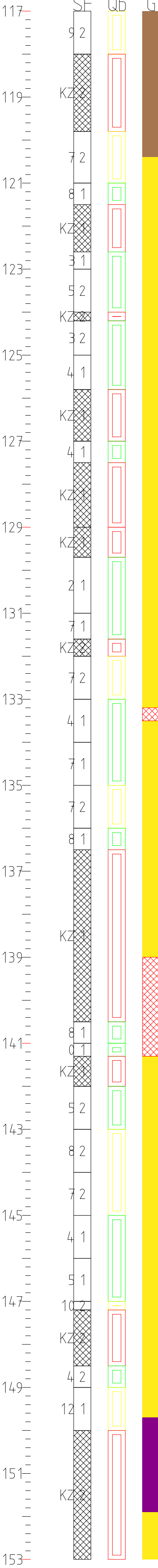
Vätternvatten DBH1



Mikrobreccia, matrisiserad granitoid mekanisk krossad, läkt

Kraftig kloritisering, leromvandling. Identifikation av moderbergarten kräver mikroskopering (troligen granitoid)

Vätternvatten DBH1



Metavulkanit. Finkornig, rik på glimmer och kvarts svagt folierad. Genomkorsad av 0-1mm breda sprickor läkta.

Metavulkanit uppblandat med granitoid. Granitoiden förekommer som enklaver i vulkaniten.

Metavulkanit.

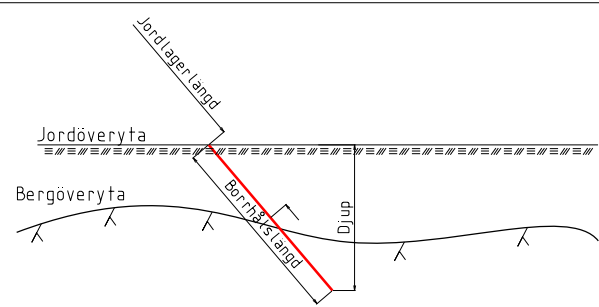
Metavulkanit uppblandad med granitoid.

Granit, fältspatsrik.

Metavulkanit uppblandad med granitoid.

Diabas

TECKENFÖRKLARING



BORRHÅLSDATA

Ansättning	+104.5 möh	Borrlängd	285 m	Riktning	27/144
Djup	198 m	Jordlagerlängd	10.6 m	Norr	Geografiskt
Kärndiameter	45 mm	Borrdatum	November 2014		
Koordinater	N 6538381.210 E 506109.150	Koordinatsystem	Sweeref 99 TM		

Drillcore Core AB Sweden

SPRICKFREKVEN (SF)

8	2	1	3
Antal observerade sprickgrupper		RQD = 10	RQD = 10
Sprickor per längdmeter			

INDELNING AV Q-BAS-VÄRDEN (Qb)

X	A	B	C	D
<1	1-4	4-10	10-40	40-100

GEOLOGI (G)

Granitoid / Granodiorit Vanligen gnejsig Äldre magmatisk djupbergart	Metavulkanit Vanligen skiktad Magnetisk eruptivbergart	Pegmatit Grovkristallin gångbergart av granitisk sammansättning Senare intrusivbergart	Diabas Fin-medelkornig gångbergart av basatisk sammansättning Senare intrusivbergart
--	--	--	--

KVALITETSSAMMANSTÄLLNING

Kärnlängd	279.4 m	Qb < 1	1%	1 < Qb < 4	30%
4 < Qb < 10	17%	10 < Qb < 40	31%	40 < Qb < 100	21%
Intakt kärna	69%	Sprickzon	1%	Krosszon	30%

REV	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM
-----	-----	-----------------	------	-------

Färdig handling

Norconsult

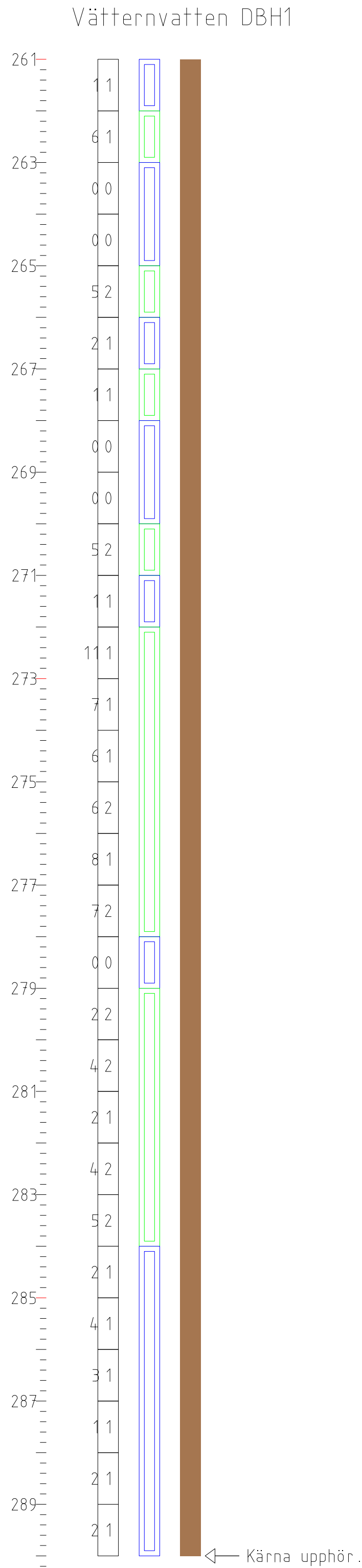
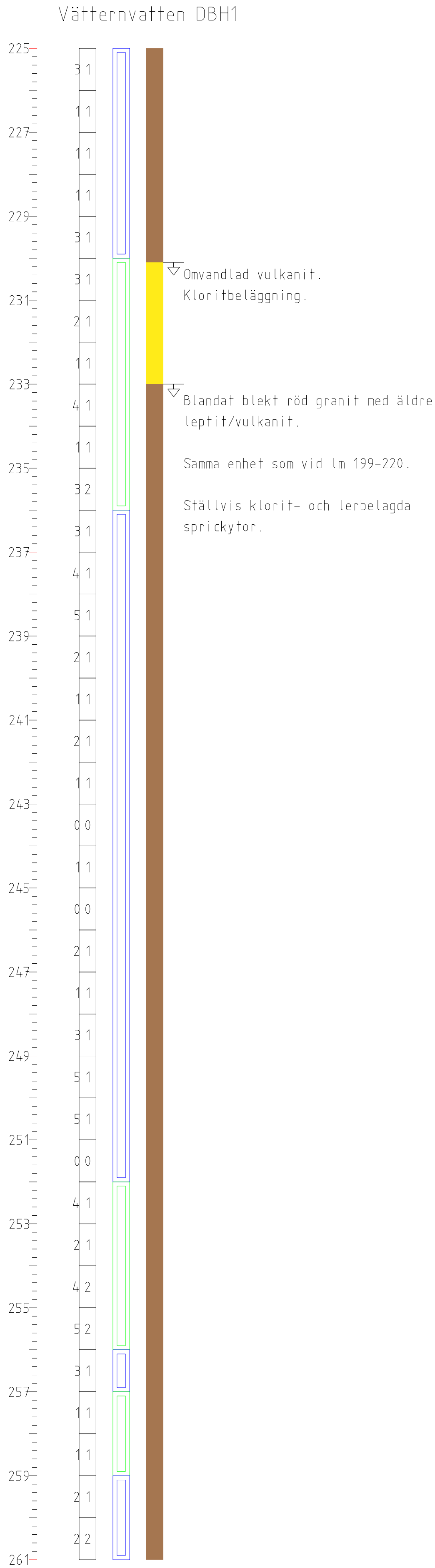
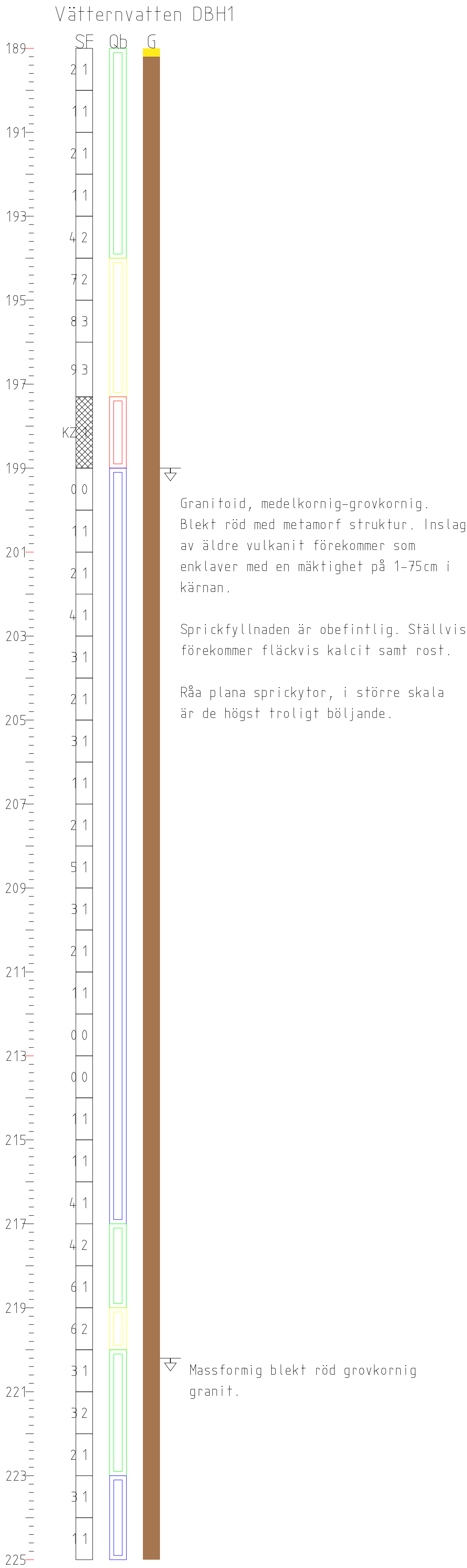
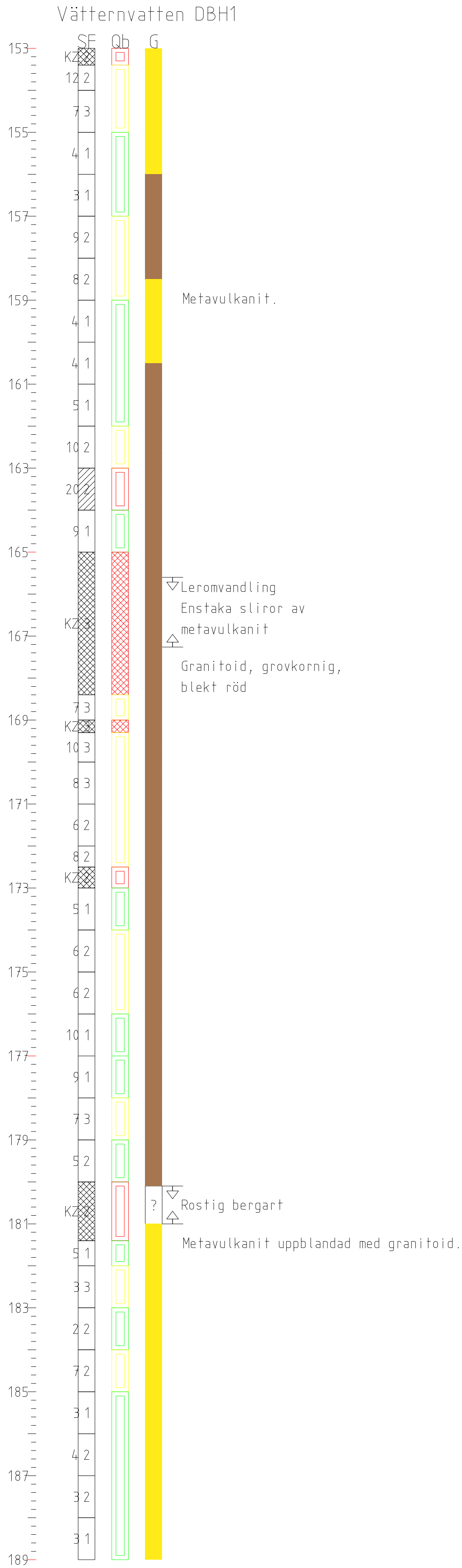
Norconsult AB
Box 8774
402 76 Göteborg

Tfn 031 - 50 70 00
www.norconsult.se

UPPDRAG NR 1021364	RITAD/KONSTR AV M. Tengzelius	HANDLÄGGARE PE / MF
DATUM 2016-02-02	ANSVARIG Per Eriksson	

Vätternvatten
Redovisning av kärnkartering
Borrhål DBH1
Tisaren

SKALA 1:75	NUMMER VV-KK-01	REV -
---------------	--------------------	----------



TECKENFÖRKLARING

SPRICKFREKVENS (SF)

Sprickzon
(1 sprickgrupp)

Krosszon

RQD = 10

RQD = 10

Antal observerade
sprickgrupper

Sprickor per
längdmeter

INDELNING AV Q-BAS-VÄRDEN (Qb)

X A B C D

<1 1-4 4-10 10-40 40-100

GEOLOGI (G)

Granitoid / Granodiorit
Vanligen gnejsig
Äldre magmatisk djupbergart

Metavulkanit
Vanligen skiktad
Magnetisk eruptivbergart

Pegmatit
Grovkristallin gångbergart av granitisk sammansättning
Senare intrusivbergart

Diabas
Fin-medelkornig gångbergart av basaltisk sammansättning
Senare intrusivbergart

REV	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM
-----	-----	-----------------	------	-------

Färdig handling

Norconsult

Norconsult AB
Box 8774
402 76 Göteborg

Tfn 031 - 50 70 00
www.norconsult.se

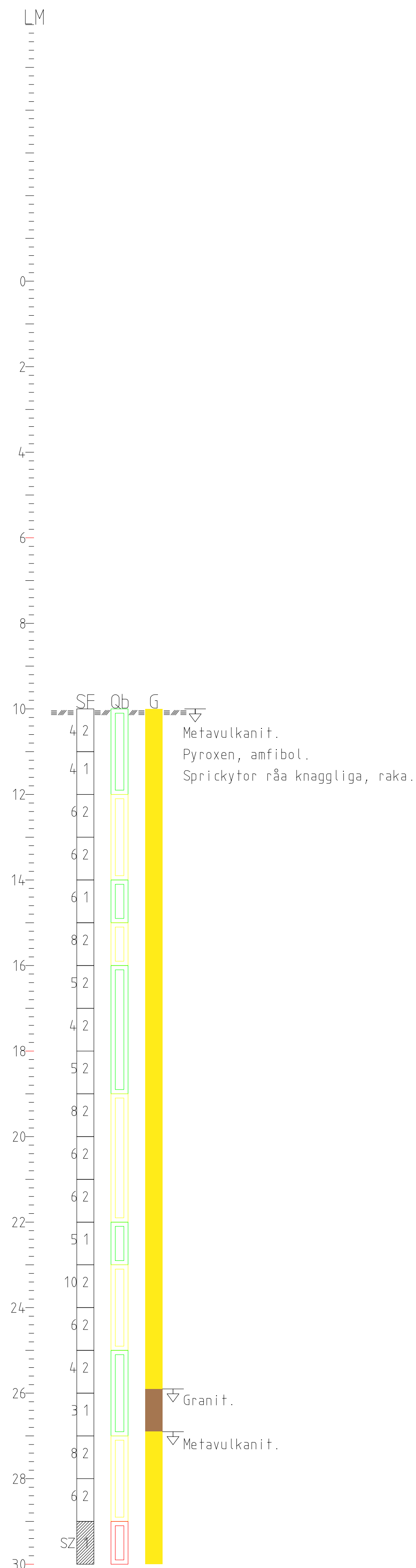
UPPDRAG NR 1021364	RITAD/KONSTR AV M. Tengzelius	HANDLÄGGARE PE / MF
-----------------------	----------------------------------	------------------------

DATUM 2016-02-02	ANSVARIG Per Eriksson
---------------------	--------------------------

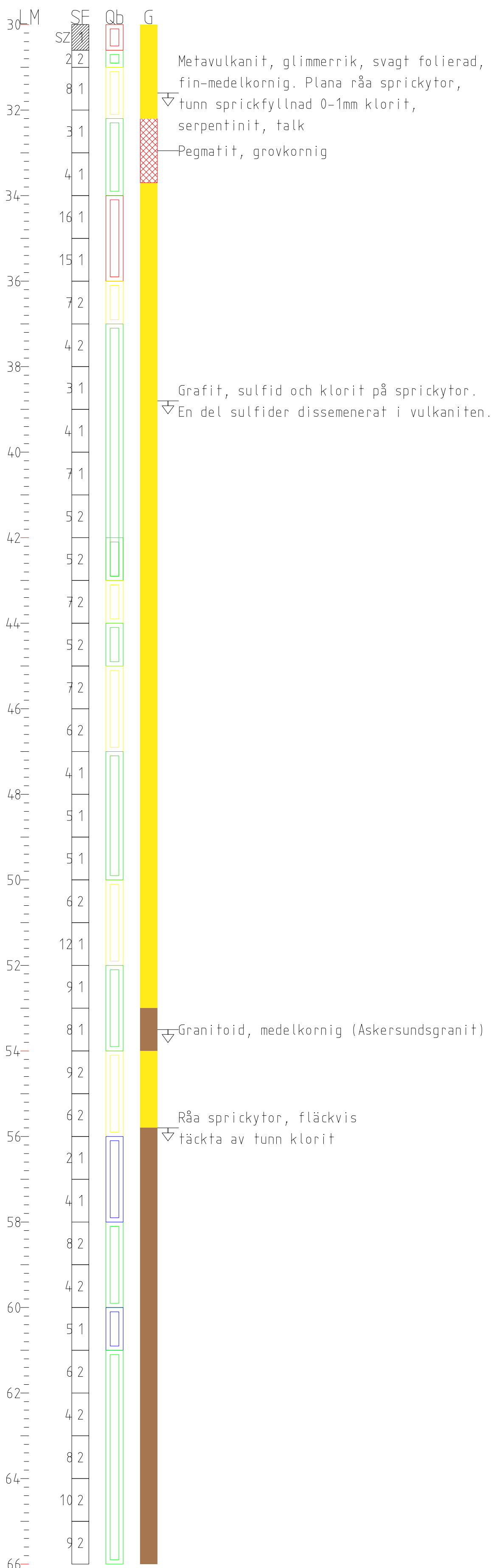
Vätternvatten
Redovisning av kärnkartering
Borrhål DBH1
Tisaren

SKALA 1:75	NUMMER VV-KK-02	REV -
---------------	--------------------	----------

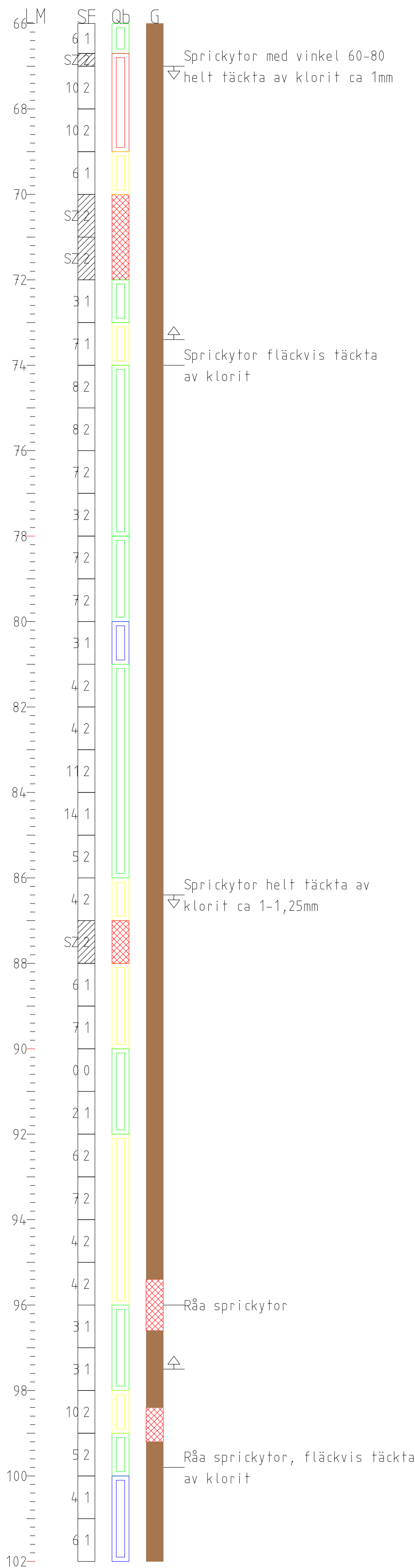
Vätternvatten DBH2



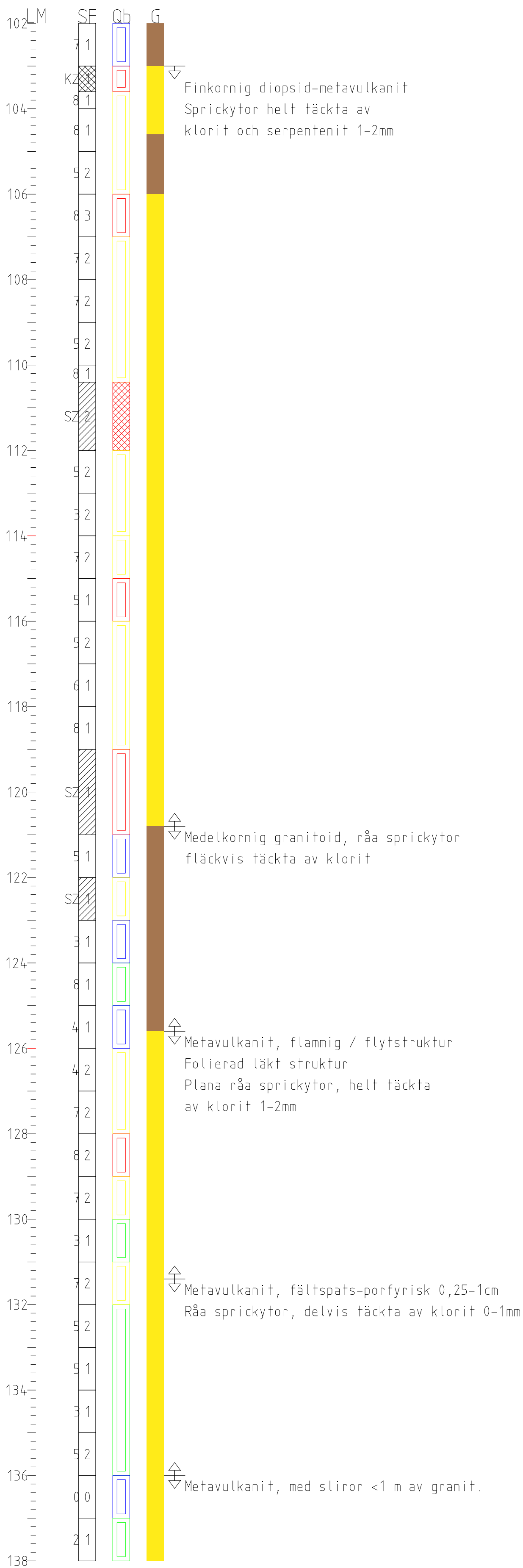
Vätternvatten DBH2



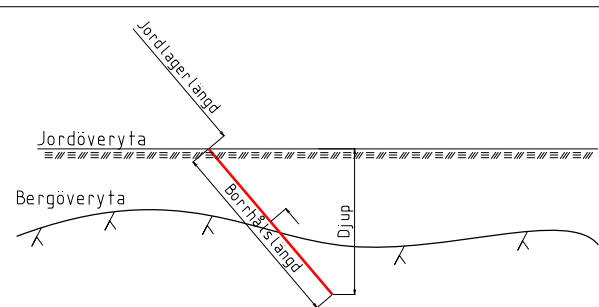
Vätternvatten DBH2



Vätternvatten DBH2



TECKENFÖRKLARING



BORRHÅLSDATA

Ansättning	+106.4 moh	Borrhållängd	144 m	Riktning	252.7/45.4
Djup	xxx	Jordlagerlängd	xxx	Norr	Geografiskt
Kärndiameter	45 mm	Borrdatum	November 2014		
Koordinater	N 6524139.028 E 501684.366	Koordinatsystem	Swerref 99 TM		
Borrtreprenrör					

Drilicon Core AB Sweden

SPRICKFREKVEN (SF)

Sprickzon (1 sprickgrupp)	Krosszon
8 2	1 3
RQD = 10	RQD = 10
Antal observerade sprickgrupper	
Sprickor per längdmeter	

INDELNING AV Q-BAS-VÄRDEN (Qb)

X	A	B	C	D
<1	1-4	4-10	10-40	40-100

GEOLOGI (G)

Granitoid / Granodiorit	Vanligen gnejsig	Äldre magmatisk djupbergart
Metavulkanit	Vanligen skiktad	Magmatisk eruptivbergart
Pegmatit	Grovkristallin gångbergart av granitisk sammansättning	Senare intrusivbergart
Diabas	Fin-medelkornig gångbergart av basaltisk sammansättning	Senare intrusivbergart

KVALITETSSAMMANSTÄLLNING

Kärnlängd	140.4 m	Qb < 1	3%	1 < Qb < 4	9%
4 < Qb < 10	35%	10 < Qb < 40	45%	40 < Qb < 100	8%
Intakt kärna	92%	Sprickzon	7%	Krosszon	1%

REV	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM
-----	-----	-----------------	------	-------

Färdig handling



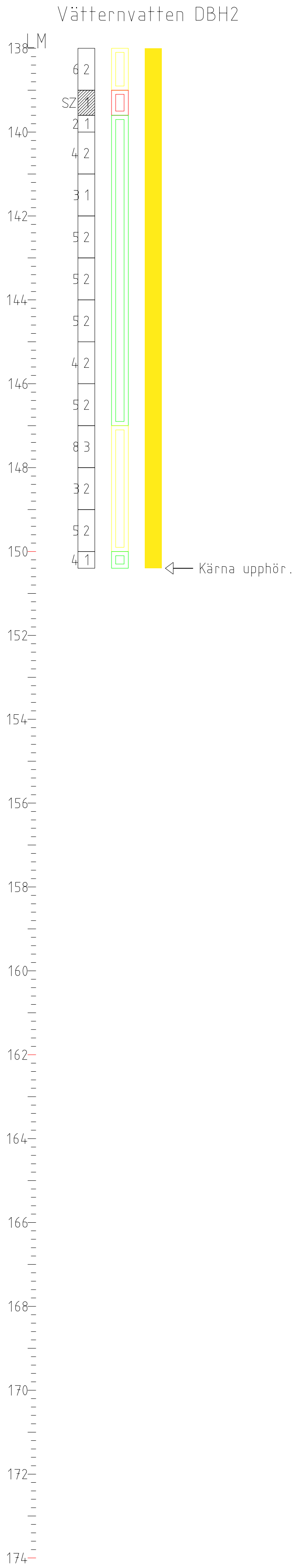
Norconsult AB
Box 8774
402 76 Göteborg

Tfn 031-50 70 00
www.norconsult.se

UPPDRAG NR	RITAD/KONSTR AV	HANDLÄGGARE
1021364	M. Tengzelius	PE / MF
DATUM	ANSVARIG	
2016-02-02	Per Eriksson	

Vätternvatten
Redovisning kärnkartering
Borrhål DBH2
Nyhyttan

SKALA	NUMMER	REV
1:75	VV-KK-03	-



TECKENFÖRKLARING

SPRICKFREKVENS (SF)

8

2

Sprickzon
(1 sprickgrupp)

RQD = 10

Krosszon

RQD = 10

Antal observerade
sprickgrupper

Sprickor per
längdmeter

INDELNING AV Q-BAS-VÄRDEN (Qb)

X

A

B

C

D

<1

1-4

4-10

10-40

40-100

GEOLOGI (G)

Granitoid / Granodiorit
Vanligen gnejsig
Äldre magmatisk djupbergart

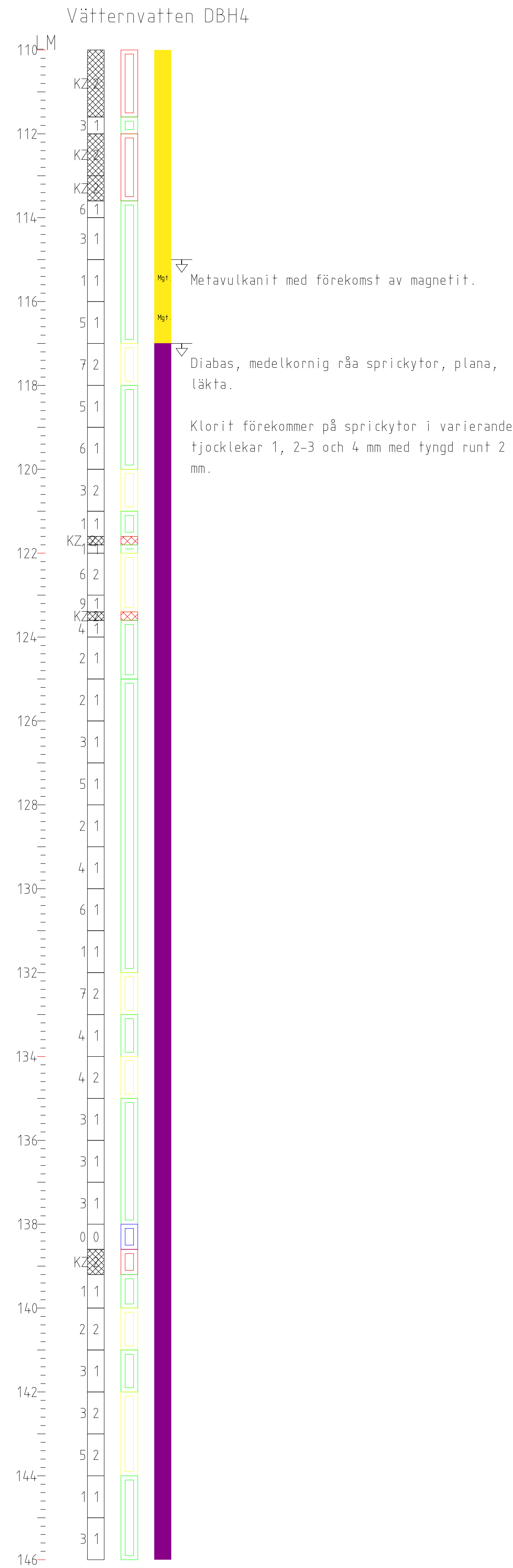
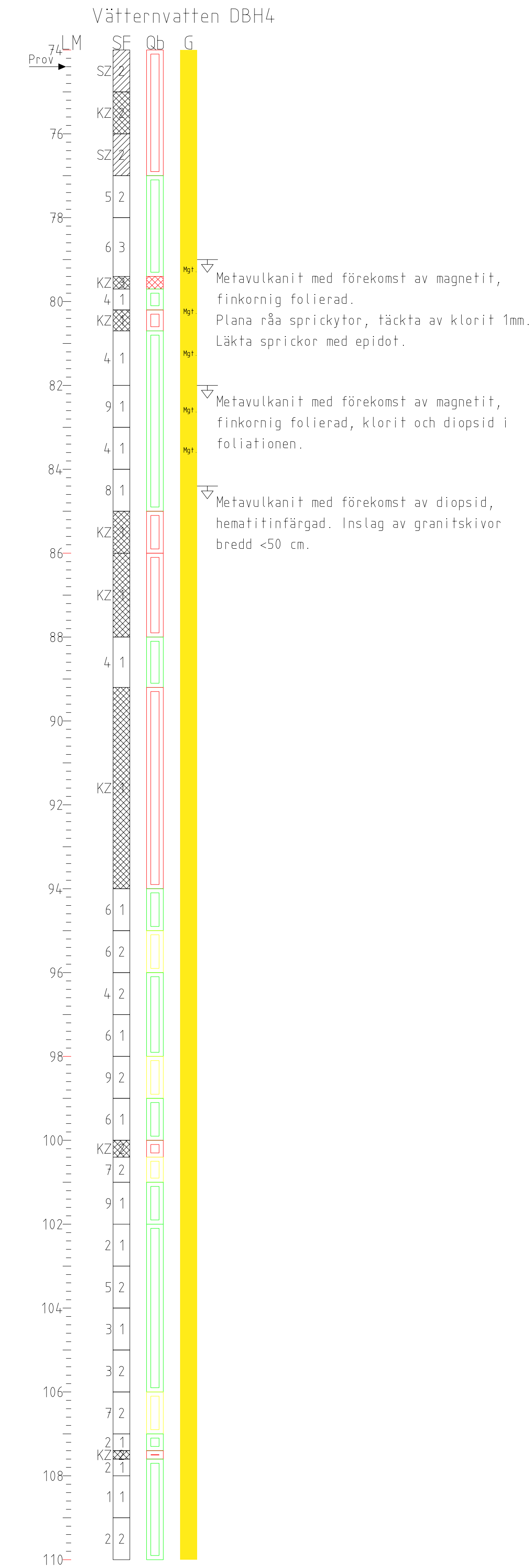
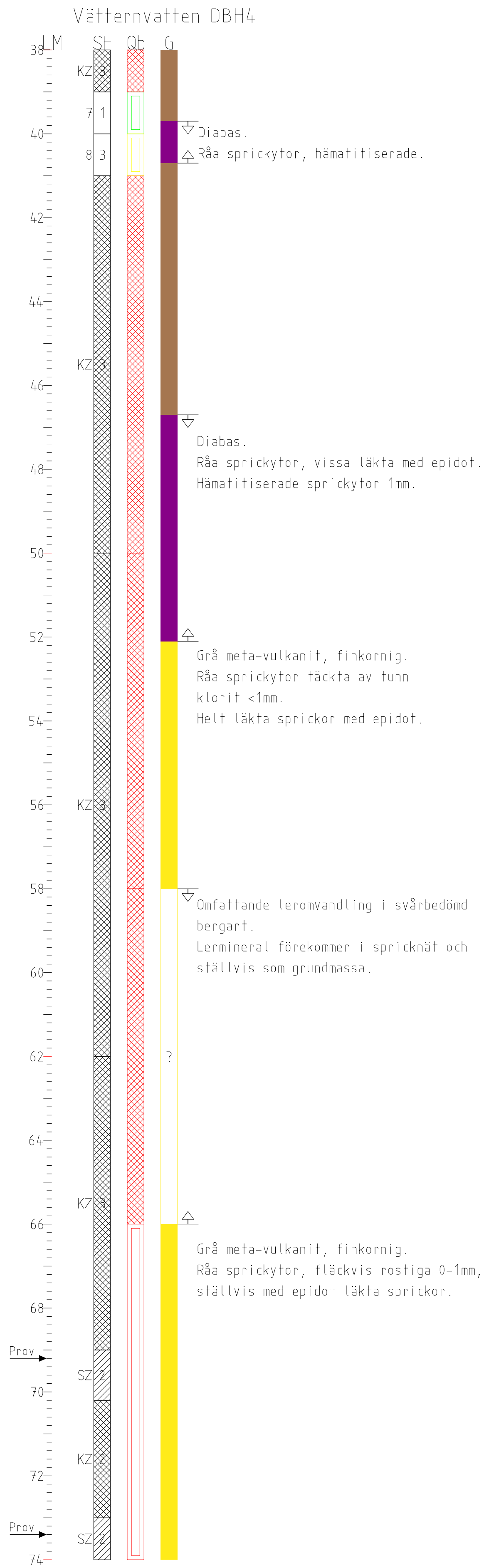
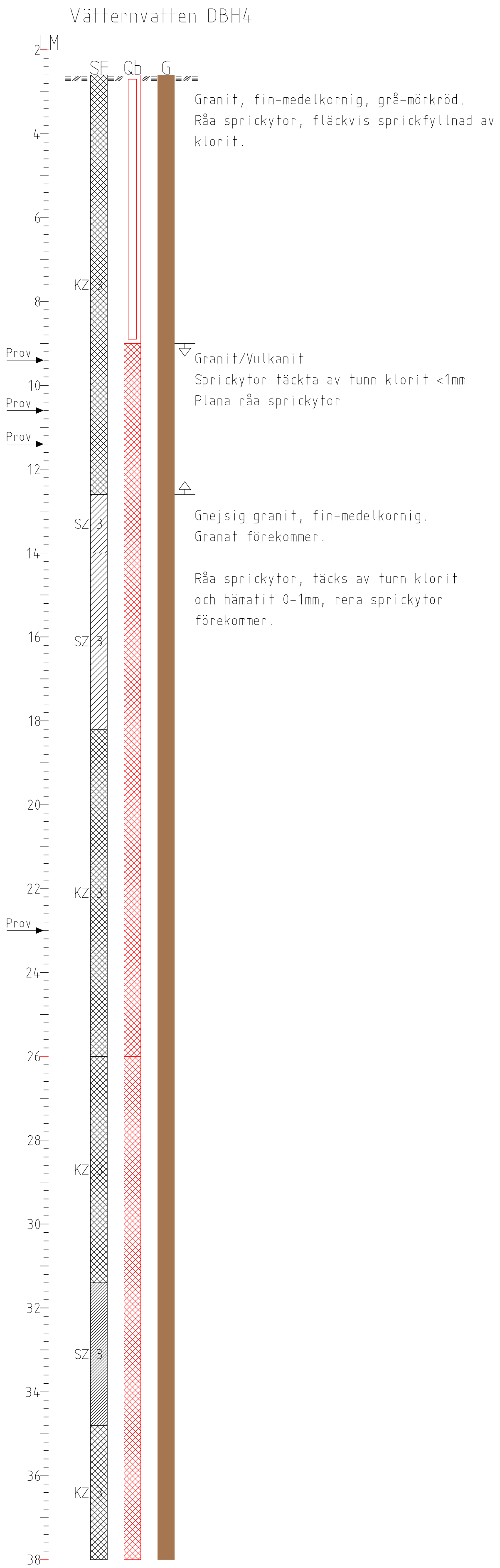
Metavulkanit
Vanligen skiktad
Migmatisk eruptivbergart

Pegmatit
Grovkristallin gångbergart av granitisk sammansättning
Senare intrusivbergart

Diabas
Fin-medelkornig gångbergart av basaltisk sammansättning
Senare intrusivbergart

REV	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM
Färdig handling				
Norconsult Norconsult AB Box 8774 402 76 Göteborg Tfn 031-50 70 00 www.norconsult.se				
UPPDRAG NR 1021364	RITAD/KONSTR AV M. Tengzelius	HANDLÄGGARE PE / MF		
DATUM 2016-02-02	ANSVARIG Per Eriksson			
Vätternvatten Redovisning kärnkartering Borrhål DBH2 Nyhyttan				
SKALA 1:75	NUMMER VV-KK-04	REV -		

ORIGINALFORMAT A1



TECKENFÖRKLARING

BORRHÅLSDATA

Ansättning	99.9 m	Borrhållängd	198 m	Riktning	66.4/45.2
Djup	140 m	Jordlagerlängd	2.6 m	Norr	Geografiskt
Kärndiameter	45 mm	Borrdatum	November 2014		
Koordinater	N 6524727.463	E 501989.502	Koordinatsystem	SweRef 99 TM	
Borrentreprenör	Drillcone Core AB Sweden				

SPRICKFREKVEN (SF)

Sprickzon (1 sprickgrupp)		Krosszon
8	2	3
RQD = 10		RQD = 10
Antal observerade sprickgrupper		
Sprickor per längdmeter		

INDELNING AV Q-BAS-VÄRDEN (Qb)

X	A	B	C	D
<1	1-4	4-10	10-40	40-100

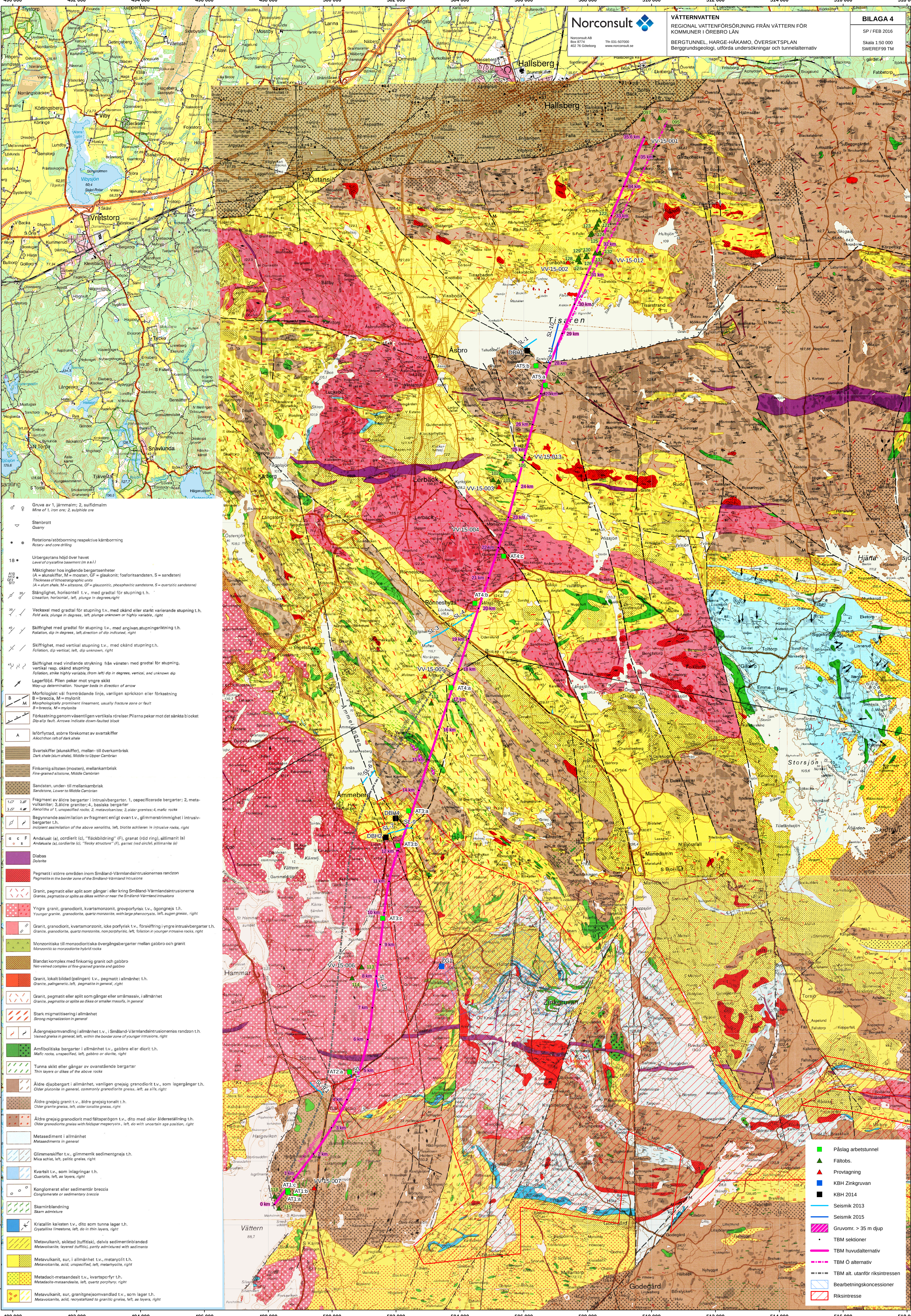
GEOLOGI (G)

	Granitoid / Granodiorit Vanligen gnejsig Äldre magmatisk djupbergart
	Metavulkanit Vanligen skiktad Magmatisk eruptivbergart
	Pegmatit Grovkristallin gångbergart av granitisk sammansättning Senare intrusivbergart
	Diabas Fin-medelkornig gångbergart av basaltisk sammansättning Senare intrusivbergart

KVALITETSSAMMANSTÄLLNING

Kärnlängd	199.4 m	Qb < 1	29%	1 < Qb < 4	16%
4 < Qb < 10	10%	10 < Qb < 40	43%	40 < Qb < 100	2%
Intakt kärna	54%	Sprickzon	7%	Krosszon	39%

REV	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM
Färdig handling				
Norconsult Norconsult AB Box 8774 402 76 Göteborg Tfn 031-50 70 00 www.norconsult.se				
UPPDRAG NR	RITAD/KONSTR AV	HANDLÄGGARE		
1021364	M. Tengzelius	PE / MF		
DATUM	ANSVARIG			
2016-02-02	Per Eriksson			
Vätternvatten				
Redovisning kärnkartering				
Borrhål DBH4				
Nyhyttan				
SKALA	NUMMER			REV
1:75	VV-KK-05			-
ORIGINALFORMAT				



ENVIRONNEMENT NATUREL ARCHITECTURAL ET CONSTRUIT (ENAC)
 Institut des Infrastructures, des Ressources et de l'Environnement (ICARE)
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES ROCHES (LMR)

EPFL ENAC-ICARE-LMR
 GC C1 413 (Bâtiment GC)
 Station 18
 CH 1015 Lausanne

Téléphone : +4121 693 23 25
 Fax : +4121 693 41 53
 E-mail : lmr@epfl.ch
 Site web : <http://lmr.epfl.ch/>



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
 FÉDÉRALE DE LAUSANNE

NORCONSULT AB

BOX 8774

402 76 GÖTEBORG

SWEDEN

V/réf.

N/réf.

Lausanne, January 21th, 2015

R0862 VÄTTERN WATER SUPPLY TUNNEL

Dear Sir,

Please find in appendix the results of the **Cerchar Abrasivity** tests that we performed on the samples we received on January 11th, 2015.

In Cerchar test, a sharp steel indenter (hardness of 200 kg/mm²) of 90° cone angle is applied to the surface of a rock specimen with a static force of 70 N. The steel point is then slowly moved on 10 mm. This procedure is repeated five times in various directions on the rock surface, always using a fresh steel tip.

The abrasivity of the rock is obtained by measuring with a microscope the resulting wear flat on the steel cone. The unit of abrasivity is defined as a wear flat of 0.1 mm diameter.

The abrasivity scale is given in Table 1.

CAI value	Scale
<0.3	not abrasive
0.3 - 0.5	not very abrasive
0.5 - 1.0	medium abrasive
1.0 - 2.0	abrasive
2.0 - 4.0	very high abrasive
4.0 - 6.0	extremely abrasive
6.0 - 7.0	quartz

Table 1. CAI scale

Remarks:

- o The tests results, presented in Appendix, show respectively CAI mean values for quartz-porphyry of 3.8 ± 0.3 , thus at the limit between very high and extremely abrasive behaviour.
- o For the sample DBH4-10.6 (quartz-porphyry) we observe the highest mean value 4.1 ± 0.6 , typical of extremely abrasive rock.
- o For granite we observe also very high abrasive behaviour with values of 3.4 ± 0.2 .
- o The sample DBH4-74.3 has been described as granitoide since in its matrix the crystals are not clearly defined.

Please do not hesitate to contact us for any further information you may wish.

Yours sincerely,

Laboratory Director
Dr. J. Zhao
p.o. V. Labiouse

Engineer in charge of the study
Dr. F. Sandrone

Tests report



No project : R0862
Project name : VÄTTERN WATER SUPPLY TUNNEL
Client : NORCONSULT AB
Report date : January 21st 2015
According your order : January 11th 2015

Attached protocols :

No sample	Test	Number of pages	(1)
R0862-CAI	Cerchar Abrasivity Index	1	E

(1) E means that the test is executed according to the LMR+S standards

If necessary, continuation of the list of protocols on page 2

Laboratory Director

Dr. J. Zhao

p.o. V. Labiouse

Engineer in charge of the study

Dr. F. Sandrone

The attached protocols can be partially reproduced only with our written agreement.

The tested samples will be kept two months. After this deadline they will be destroyed, unless the client asks for the extension of the time limit.

**CERCHAR ABRASIVITY**

Performed according to Standard LMS+R ER.720

Study title		Client		
		Name		Address
VATTERN WATER SUPPLY TUNNEL		NORCONSULT AB		SWEDEN
Delivery date	Test date	Engineering		Operator
		Name	Signature	
11.01.2015	19.01.2015	F. SANDRONE		LG

No sample	Rock type	Surface	ICA ₁	ICA ₂	ICA ₃	ICA ₄	ICA ₅	Mean	St-deviation
DBH4-10.6	QUARTZ-PORPHYRY	SAWN	4.4	3.8	3.8	3.5	4.9	4.1	0.6
DBH4-11.3	QUARTZ-PORPHYRY	SAWN	4.4	3.8	3.2	4.1	3.5	3.8	0.5
DBH4-23.0	QUARTZ-PORPHYRY	SAWN	2.9	3.2	3.5	4.1	4.1	3.5	0.5
DBH4-69.2	Basalt with olivine and grenats	SAWN	3.2	2.9	4.1	3.2	3.8	3.4	0.5
DBH4-73.3	QUARTZ-PORPHYRY	SAWN	4.4	3.8	3.5	4.1	3.8	3.9	0.3
DBH4-74.3	GRANITOIDE	SAWN	4.4	3.5	3.5	3.8	3.5	3.7	0.4
Askersunds-granit	GRANITE	SAWN	3.2	3.5	3.5	3.2	3.5	3.4	0.2

Notes:

NORCONSULT AB
Therese Svenssons gata 11
Box 8774
402 78 GÖTEBORG
SWEDEN

V/réf.

N/réf.

Lausanne, November 9th, 2015

R0902 VÄTTERN WATER SUPPLY TUNNEL – PART II

Dear Sirs,

Please find in appendix the results of the Cerchar Abrasivity tests that we performed on the samples we received on October 30th, 2015.

In Cerchar test, a sharp steel indenter (hardness of 200 kg/mm²) of 90° cone angle is applied to the surface of a rock specimen with a static force of 70 N. The steel point is then slowly moved on 10 mm. This procedure is repeated five times in various directions on the rock surface, always using a fresh steel tip.

The abrasivity of the rock is obtained by measuring with a microscope the resulting wear flat on the steel cone. The unit of abrasivity is defined as a wear flat of 0.1 mm diameter.

The abrasivity scale is given in Table 1.

CAI value	Scale
<0.3	not abrasive
0.3 - 0.5	not very abrasive
0.5 - 1.0	medium abrasive
1.0 - 2.0	abrasive
2.0 - 4.0	very high abrasive
4.0 - 6.0	extremely abrasive
6.0 - 7.0	quartz

Table 1. CAI scale

Remarks:

- o The tests results, presented in Appendix, show for all tested samples values of CAI index from very high to extremely abrasive, the CAI mean values is 4.0 ± 0.2 .
- o There is not big difference between granit and gneiss. The lowest value of CAI index is observed for granitoide and gneiss with higher content of biotite.

Please do not hesitate to contact us for any further information you may wish.

Yours sincerely,

Laboratory Director
Dr. M. Violay

Engineer in charge of the study
Dr. F. Sandrone

Tests report



No project : R0902
Project name : VÄTTERN WATER SUPPLY TUNNEL PART II
Client : NORCONSULT AB
Report date : November 9st 2015
According your order : October 30th 2015

Attached protocols :

No sample	Test	Number of pages	(1)
R0902-CAI	Cerchar Abrasivity Index	1	E

(1) E means that the test is executed according to the LEMR+S standards

If necessary, continuation of the list of protocols on page 2

Laboratory Director

Dr. M. Violay

Engineer in charge of the study

Dr. F. Sandrone

The attached protocols can be partially reproduced only with our written agreement.

The tested samples will be kept two months. After this deadline they will be destroyed, unless the client asks for the extension of the time limit.

CERCHAR ABRASIVITY

Performed according to Standard LMS+R ER.720

Study titel		Client		
		Name		Address
VÄTTERN WATER SUPPLY TUNNEL - PART II		NORCONSULT AB		SWEDEN
Delivery date	Test date	Engineering		Operator
		Name	Signature	
30.10.2015	09.11.2015	F. SANDRONE		LG

No sample	Rock type	Surface	CAI ₁	CAI ₂	CAI ₃	CAI ₄	CAI ₅	Mean	St-deviation
R0902-VV-15-001	GNEISS	SAWN	4.1	4.1	3.5	3.8	5.5	4.2	0.8
R0902-VV-15-002	GRANITOIDE	SAWN	3.5	4.1	3.8	3.5	3.5	3.7	0.3
R0902-VV-15-003	PINK GNEISS	SAWN	3.5	3.5	5.5	4.1	3.8	4.1	0.8
R0902-VV-15-004	PINK GRANIT	SAWN	4.1	3.8	3.5	5.2	4.4	4.2	0.7
R0902-VV-15-007	BIOTITE GNEISS	SAWN	4.1	4.1	3.5	4.1	3.5	3.8	0.3

Notes:

15001IG - Restricted

Test report

Drillability

Determination of Drilling Rate Index™ and Cutter Life Index™ of 2 rock core samples

Author

Filip Dahl



SINTEF Byggeforsk
SINTEF Building and Infrastructure
Address:
Postboks 4760 Sluppen
NO-7465 Trondheim
NORWAY

Telephone: +47 73593000
Telefax: +47 73593380

byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Enterprise /VAT No:
NO 948007029 MVA

**KEYWORDS**

Drillability

TBM performance

Test report

Drillability

Determination of Drilling Rate Index™ and Cutter Life Index™ of 2 rock core samples

VERSION 2		DATE 2015-01-20
AUTHOR Filip Dahl		
CLIENT Norconsult AB		CLIENT'S REF. Peter Wilén
PROJECT NO. 102006983-1		NUMBER OF PAGES 17
TEST OBJECT 2 rock core samples		TEST OBJECT RECEIVED 2015-01-12
TEST PROGRAM DRI™, CLI™	TEST LOCATION Geological Engineering laboratory	DATE OF TEST From 2015-01-12 To 2015-01-16

ABSTRACT

The samples are analysed in order to determine Drilling Rate Index™ (DRI™) and Cutter Life Index™ (CLI™).

Drilling Rate Index™ (DRI™) and Cutter Life Index™ (CLI™) are determined in accordance with: *<http://www.drillability.com>, SINTEF/NTNU (2003), Suggested Methods for determining DRI™, BWI™ and CLI™*. The trademarked acronyms and terms Drilling Rate Index™, Cutter Life Index™, DRI™ and CLI™ are unique for test results and calculated indices originating from the NTNU/SINTEF laboratory and can only be obtained by testing samples at our reference laboratory.

The test results relate only to the items tested

PREPARED BY Joakim Eggen	SIGNATURE
APPROVED BY Filip Dahl	SIGNATURE
REPORT NO. 15001IG	CLASSIFICATION Restricted

Table of contents

1	Executive summary	3
2	Results DRI™ and CLI™	4
3	Comments and remarks on NTNU/SINTEF Drillability tests and test methods	5
3.1	Brittleness Value (S_{20})	5
3.2	Sievers' J-Value (SJ)	6
3.3	Abrasion Value Cutter Steel (AVS)	7
3.4	Drilling Rate Index™	8
3.5	Cutter Life Index™	9
4	Individual values from tests used to determine DRI™ and CLI™	10
5	Sievers' J-Value drillings presented as charts	11
6	Photographs of the NTNU/SINTEF drillability test and methodology	13
7	Photographs of the received rock core samples	17

1 Executive summary

Test results, calculated indices and classifications are given in the following table.

Sample ID (given by the Client)	No. 1 Yngre granit	No. 2 Diabase DBH4 LM 201.5
Brittleness Value (S_{20})	43.0 <i>Medium</i>	42.1 <i>Medium</i>
Sievers' J-Value (SJ)	8.5 <i>Medium surface hardness</i>	3.7 <i>Very high surface hardness</i>
Abrasion Value Cutter Steel (AVS)	22.5 <i>Medium</i>	12.5 <i>Low</i>
Drilling Rate Index TM (DRI TM)	42 <i>Low</i>	37 <i>Low</i>
Cutter Life Index TM (CLI TM)	9.5 <i>Medium</i>	8.7 <i>Medium</i>

Classification of S_{20} , SJ and AVS according to Dahl, F., et al. 2012. Classifications of properties influencing the drillability of rocks, based on the NTNU/SINTEF test method. Tunnelling and Underground Space Technology 28 (2012). 150-158.

Classification of DRITM and CLITM according to Project Report "13A-98 Drillability Test Methods", published by the Department of Civil and Transport Engineering at the Norwegian University of Science and Technology.

2 Results DRI™ and CLI™

Basis: <http://www.drillability.com>, SINTEF/NTNU (2003), Suggested Methods for determining DRI™, BWT™ and CLI™

TEST RESULTS

Sample ID. (given by the Client)	No. 1 Yngre granit	No. 2 Diabase DBH4 LM 201.5
Brittleness Value (S_{20} , 11.2 - 16.0 mm) [%]	43.0	42.1
Flakiness (f)	1.29	1.33
Compaction index	1	1
Density (ρ) [g/cm ³]	2.71	2.93
Sievers' J-Value (SJ) [mm/10]	8.5	3.7
Abrasion Value Cutter Steel (AVS) [mg]	22.5	12.5

CALCULATED INDICES

Drilling Rate Index™ (DRI™)	42	37
Cutter Life Index™ (CLI™)	9.5	8.7

CLASSIFICATION

Category	DRI™	CLI™
Extremely Low	≤ 25	< 5
Very Low	26 - 32	5.0 - 5.9
Low	33 - 42	6.0 - 7.9
Medium	43 - 57	8.0 - 14.9
High	58 - 69	15 - 34
Very High	70 - 82	35 - 74
Extremely High	≥ 83	≥ 75

3 Comments and remarks on NTNU/SINTEF Drillability tests and test methods

3.1 Brittleness Value (S_{20})

Rock brittleness or the ability to be crushed by repeated impacts is determined by the Brittleness Value. The Brittleness Value test is normally performed on three extractions from one representative and homogenized sample of crushed and sieved rock material and should hence be regarded as representative for the tested rock sample.

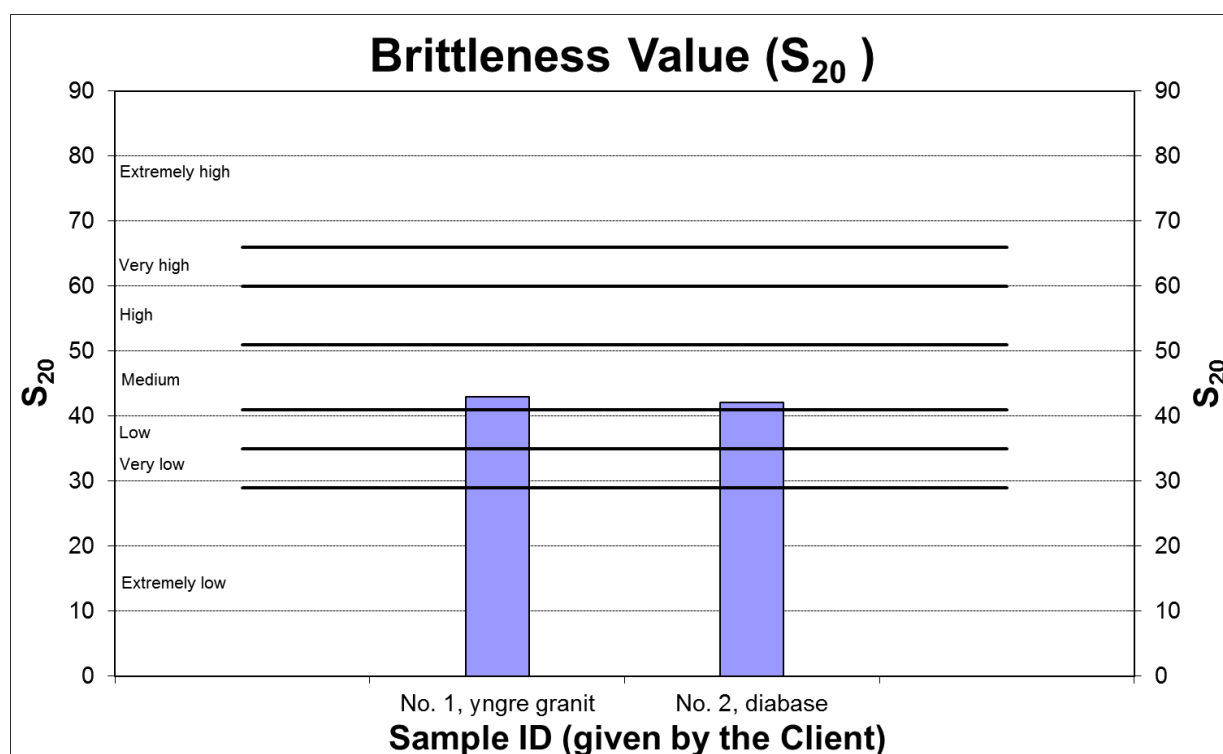


Table 1. Classification of rock brittleness or the ability to be crushed by repeated impacts according to Dahl, F., et al. TUST 28 (2012) 150 -158.

Category – brittleness	Brittleness Value [%]	Cumulative percentage
Extremely low	≤ 29.0	0 – 5 %
Very low	29.1 – 34.9	5 – 15 %
Low	35.0 – 40.9	15 – 35 %
Medium	41.0 – 50.9	35 – 65 %
High	51.0 – 59.9	65 – 85 %
Very high	60.0 – 65.9	85 – 95 %
Extremely high	≥ 66.0	95 – 100 %

3.2 Sievers' J-Value (SJ)

Rock surface hardness or the resistance to indentation is determined by the Sievers' J-Value. The standard number of Sievers' J drillings performed on each sample is 4 to 8, depending on the variation in the texture of the sample. We try to place the holes in soft and hard layers according to a visual interpretation of the composition of the rock. E.g. 60% light and 40% dark layers in a sample would result in 3 holes in the light layer(s) and 2 holes in the dark layer(s). We also try to avoid the soft/hard combination, but we do not always succeed in that matter due to e.g. thin layers of alternating mineral composition.

The Sievers' J charts on pages 11 - 12 show elapsed time in seconds. The Sievers' J-Value is defined as the penetration depth after 200 revolutions and the rotation of the drill bit is hence stopped when this is achieved. As may be seen in some graphs, 200 revolutions occur after approximately 67 seconds of drilling.

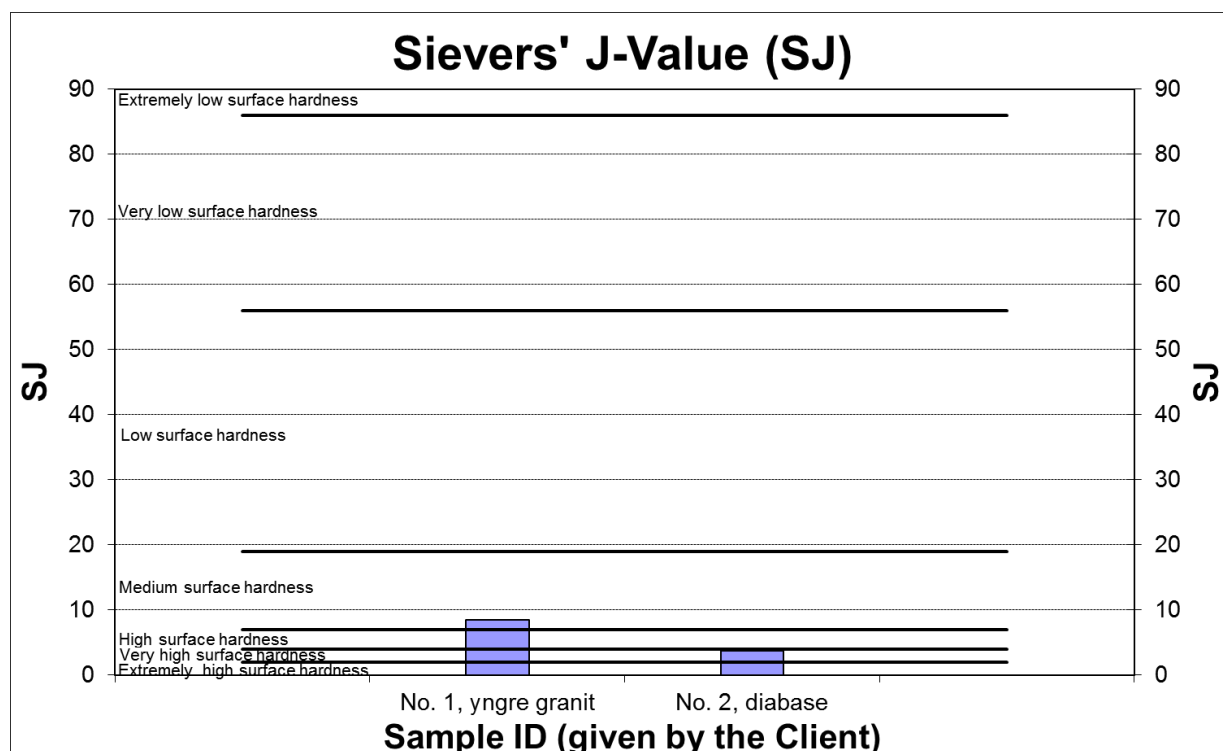


Table 2. Classification of rock surface hardness or the resistance to indentation according to Dahl, F., et al. TUST 28 (2012) 150 -158.

Category – surface hardness	SJ-Value [mm/10]	Cumulative percentage
Extremely high	≤ 2	0 – 5 %
Very high	2.0 – 3.9	5 – 15 %
High	4.0 – 6.9	15 – 35 %
Medium	7.0 – 18.9	35 – 65 %
Low	19.0 – 55.9	65 – 85 %
Very low	56.0 – 85.9	85 – 95 %
Extremely low	≥ 86.0	95 – 100 %

3.3 Abrasion Value Cutter Steel (AVS)

Rock abrasivity or the ability to induce wear on cutter ring steel is determined by the Abrasion Value Cutter Steel. Abrasion test material is taken from the extractions used for the Brittleness test. The AVS tests use test pieces of cutter ring steel. Quartz and other hard minerals will cause abrasion on the test pieces. Grain size, shape and binding are other factors that are believed to have substantial influence on the abrasiveness of the rock.

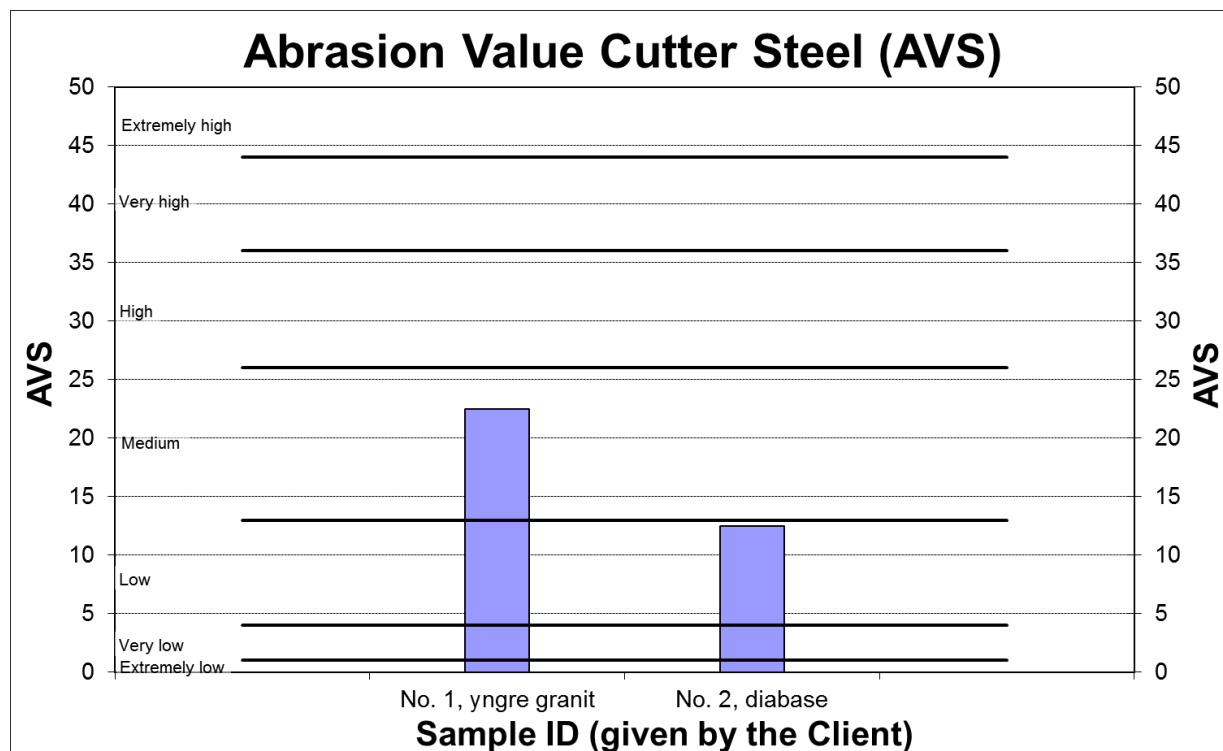


Table 3. Classification of rock abrasivity or the ability to induce wear on cutter ring steel according to Dahl.F., et al. TUST 28 (2012) 150 -158.

Category – cutter steel abrasion	AVS [weight loss mg]	Cumulative percentage
Extremely low	≤ 1.0	0 – 5 %
Very low	1.1 – 3.9	5 – 15 %
Low	4.0 – 12.9	15 – 35 %
Medium	13.0 – 25.9	35 – 65 %
High	26.0 – 35.9	65 – 85 %
Very high	36.0 – 43.9	85 – 95 %
Extremely high	≥ 44.0	95 – 100 %

3.4 Drilling Rate Index™

The Drilling Rate Index™ is assessed on the basis of the Brittleness Value (S_{20}) and the Sievers' J-Value (SJ). The DRI™ may be described as the Brittleness Value corrected for the rock surface hardness (SJ).

None of the tested samples showed DRI™ classified as extreme.

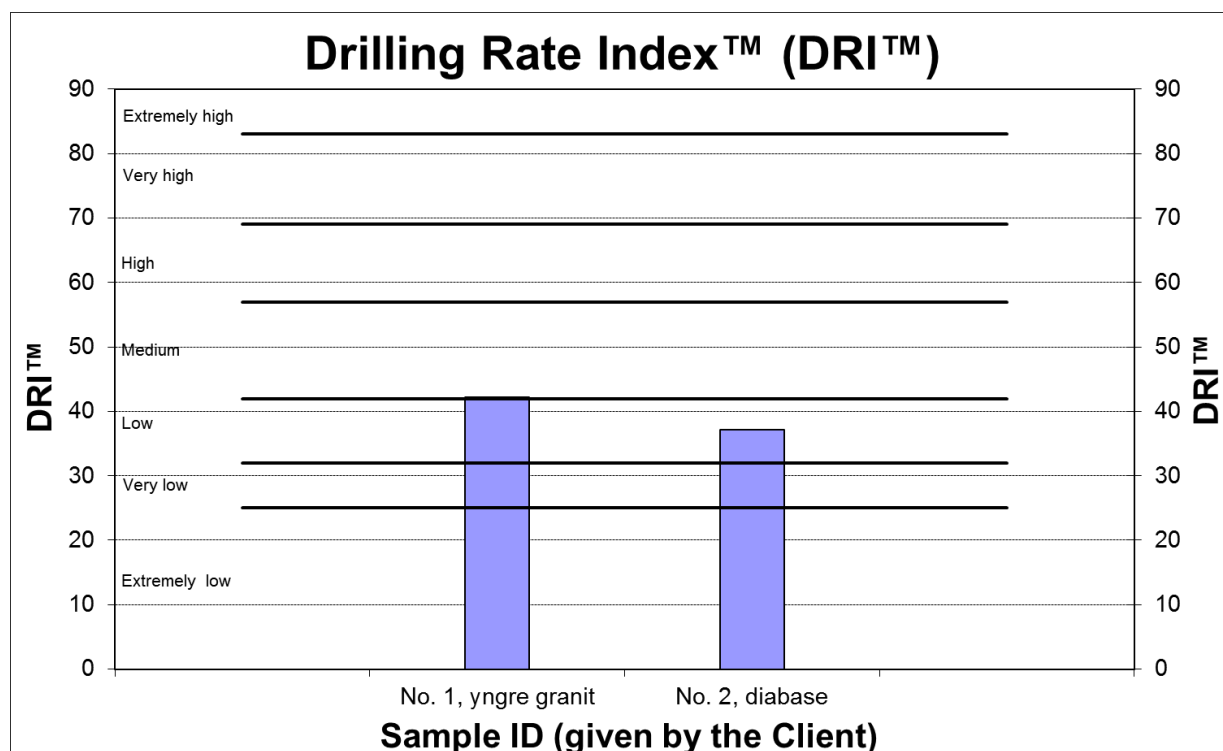


Table 4. Classification of Drilling Rate Index™ according to Project Report “13A-98 Drillability Test Methods”, published by the Department of Civil and Transport Engineering, NTNU.

Category – Drilling rate	Drilling Rate Index™	Cumulative percentage
Extremely low	≤ 25	0 – 5 %
Very low	26 – 32	5 – 15 %
Low	33 – 42	15 – 35 %
Medium	43 – 57	35 – 65 %
High	58 – 69	65 – 85 %
Very high	70 – 82	85 – 95 %
Extremely high	≥ 83	95 – 100 %

3.5 Cutter Life Index™

The Cutter Life Index™ is assessed on the basis of Sievers' J-Value (SJ) and the Abrasion Value Cutter Steel (AVS). The CLI™ expresses lifetime of TBM disc cutter steel.

None of the tested samples showed CLI™ classified as extreme.

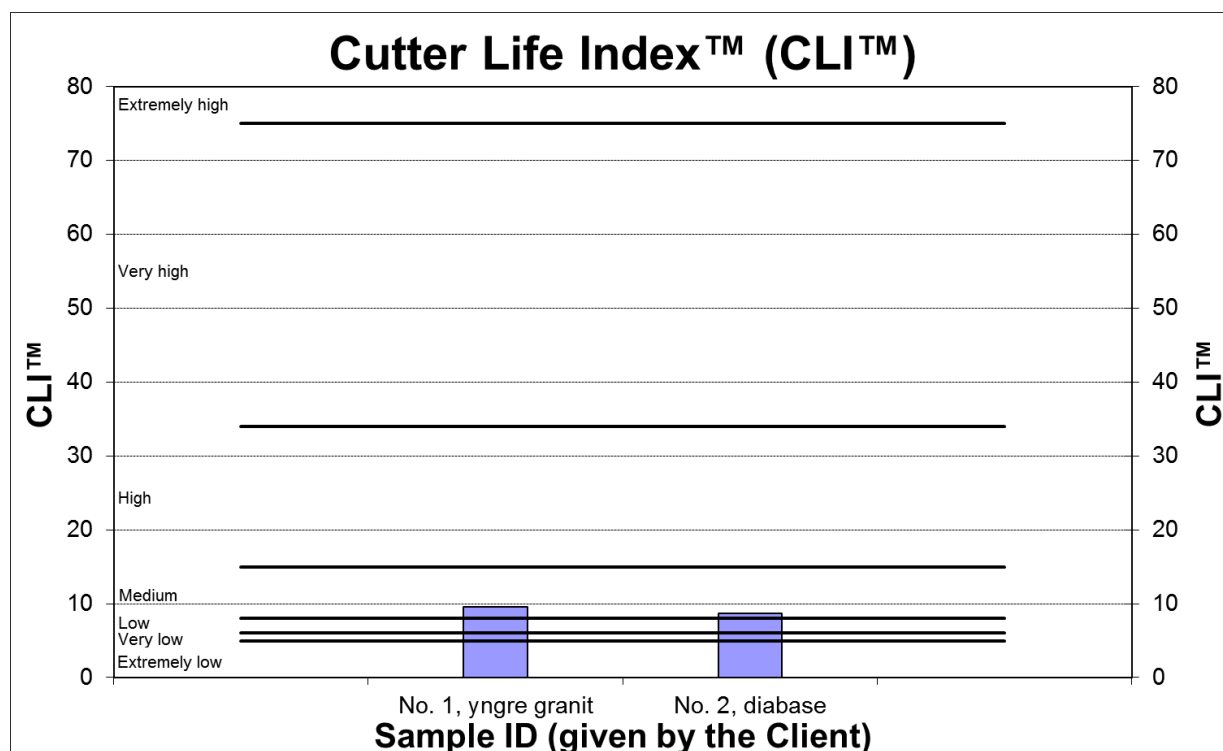


Table 5. Classification of Cutter Life Index™ according to Project Report “13A-98 Drillability Test Methods”, published by the Department of Civil and Transport Engineering, NTNU.

Category – Cutter life	Cutter Life Index™	Cumulative percentage
Extremely low	< 5	0 – 5 %
Very low	5.0 – 5.9	5 – 15 %
Low	6.0 – 7.9	15 – 35 %
Medium	8.0 – 14.9	35 – 65 %
High	15 – 34	65 – 85 %
Very high	35 – 74	85 – 95 %
Extremely high	≥ 75	95 – 100 %

4 Individual values from tests used to determine DRI™ and CLI™

Sample ID: No. 1, yngre granit

Test No.	Brittleness Value S_{20} [%]	Sievers' J-Value SJ [1/10 mm]	Abrasion Value Cutter Steel AVS [mg]
1	40.7	4.6	24
2	43.4	11.3	21
3	44.8	24.2	
4		4.2	
5		2.5	
6		4.3	
Mean	43.0	8.5	22.5
Stdev	2.09	8.28	2.12

Sample ID: No. 2, Diabase, DBH4 LM 201.5

Test No.	Brittleness Value S_{20} [%]	Sievers' J-Value SJ [1/10 mm]	Abrasion Value Cutter Steel AVS [mg]
1	45.6	5.3	13
2	39.8	3.1	12
3	40.9	3.2	
4		3.4	
Mean	42.1	3.7	12.5
Stdev	3.07	1.03	0.71

5 Sievers' J-Value drillings presented as charts

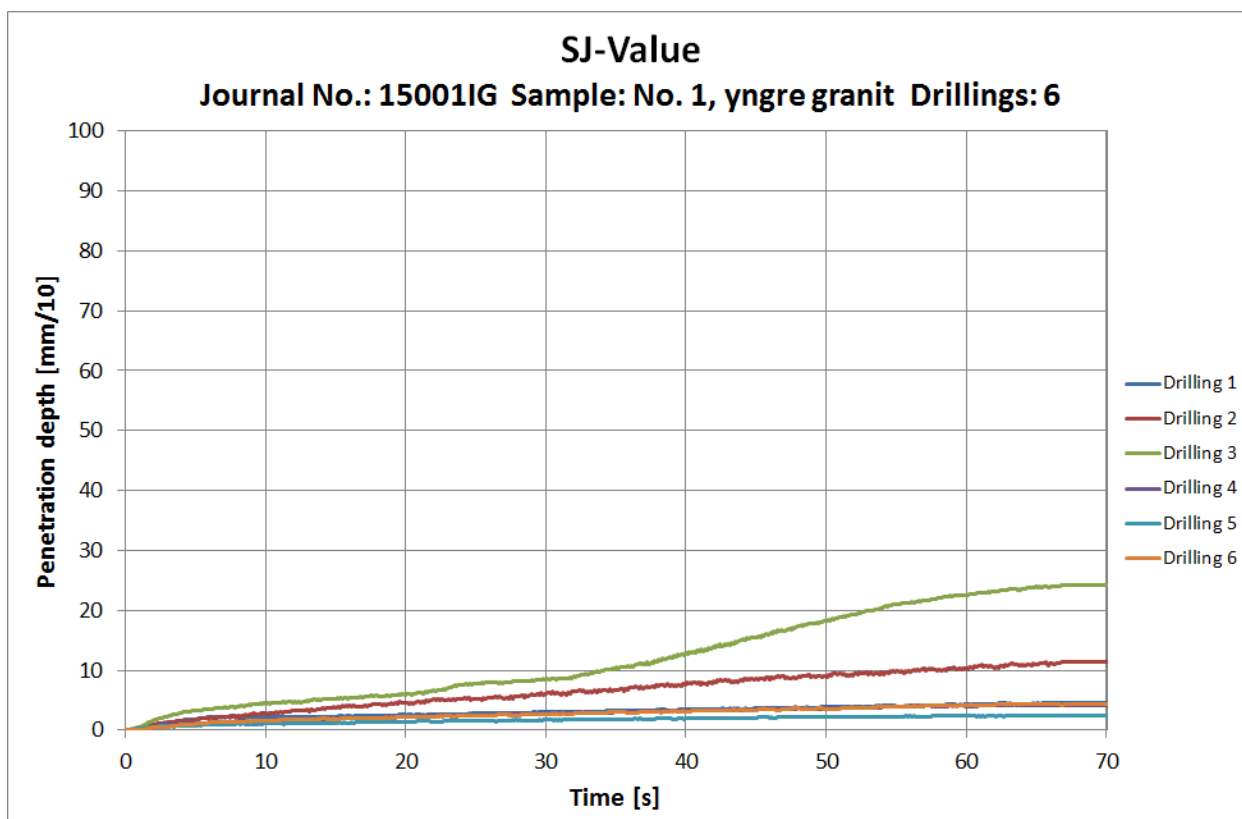


Photo of the Sievers' J (SJ) specimen subsequent to completed testing. Yellow arrows and figures indicate the position of the drillings.

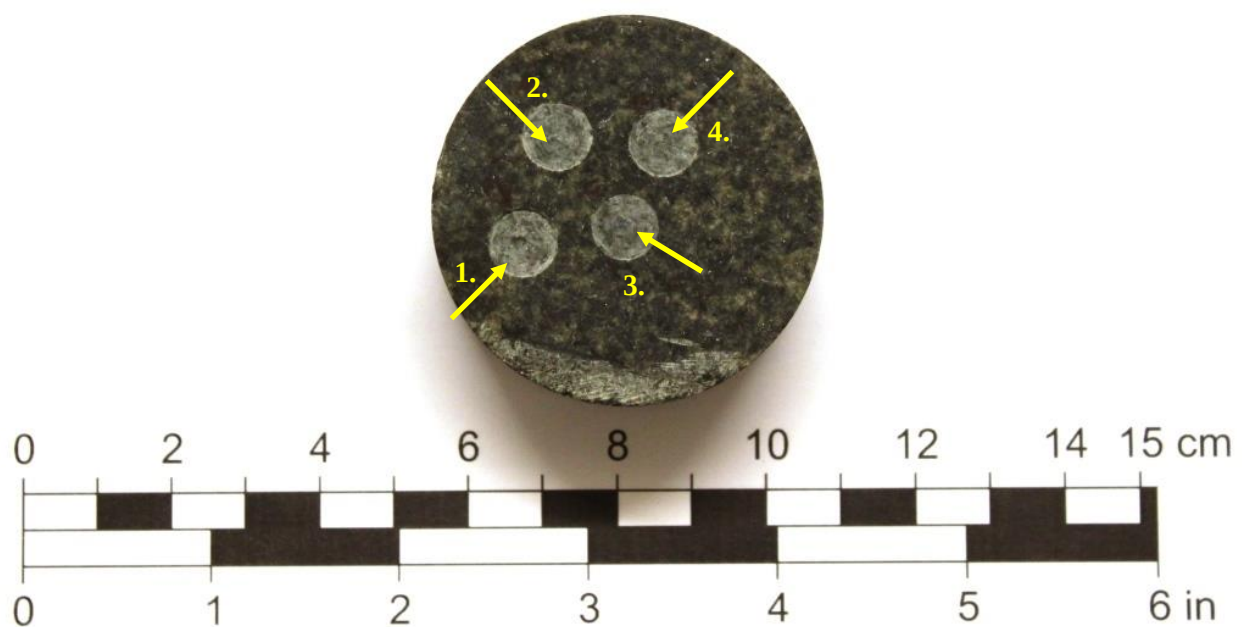
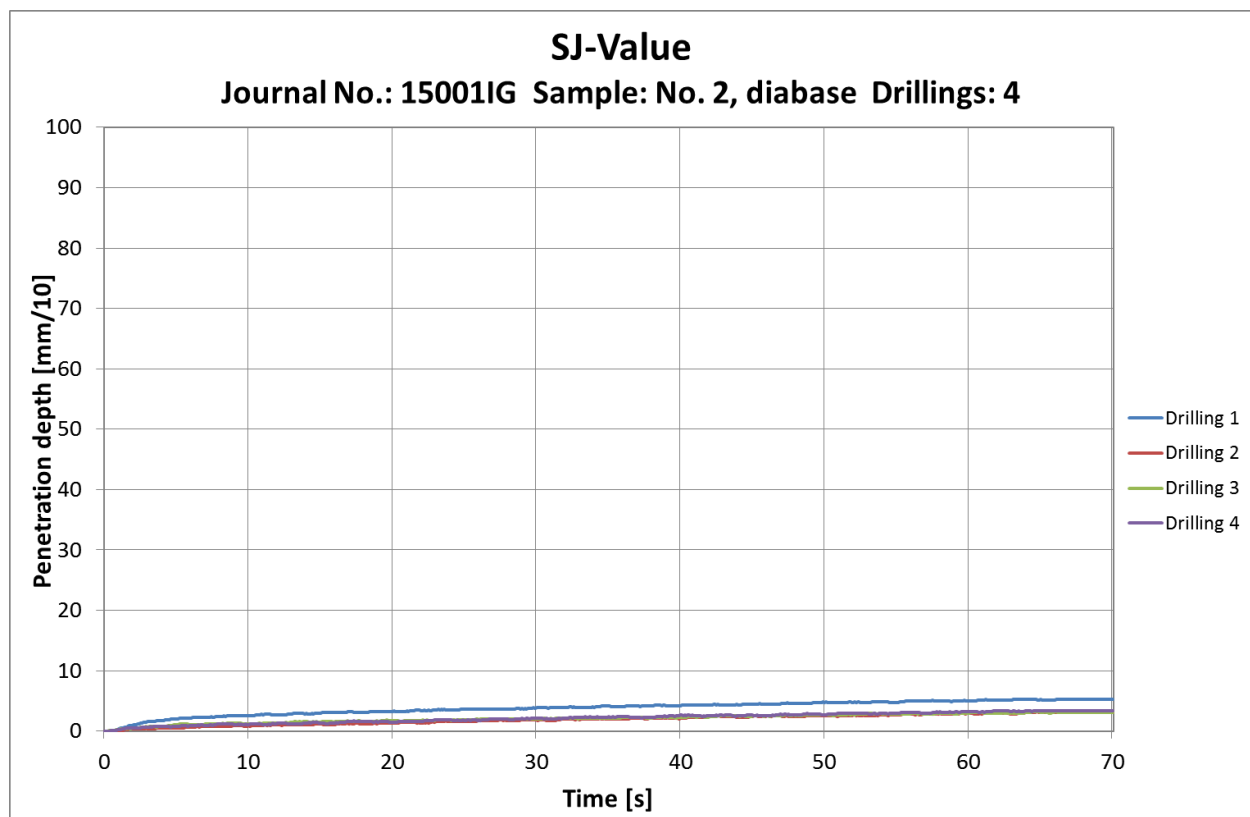


Photo of the Sievers' J (SJ) specimen subsequent to completed testing. Yellow arrows and figures indicate the position of the drillings.

6 Photographs of the NTNU/SINTEF drillability test and methodology



Pre-cutting of a piece from a rock core for determination of Sievers' J-Value.



A section of a rock core sample showing the orientation of the pre-cut Sievers' J piece in relation to the core axis and foliation.



Jaw crusher.



Sieving machine.



Brittleness test equipment.



Brittleness test. Mortar with sample.



A sample prior to impacts.



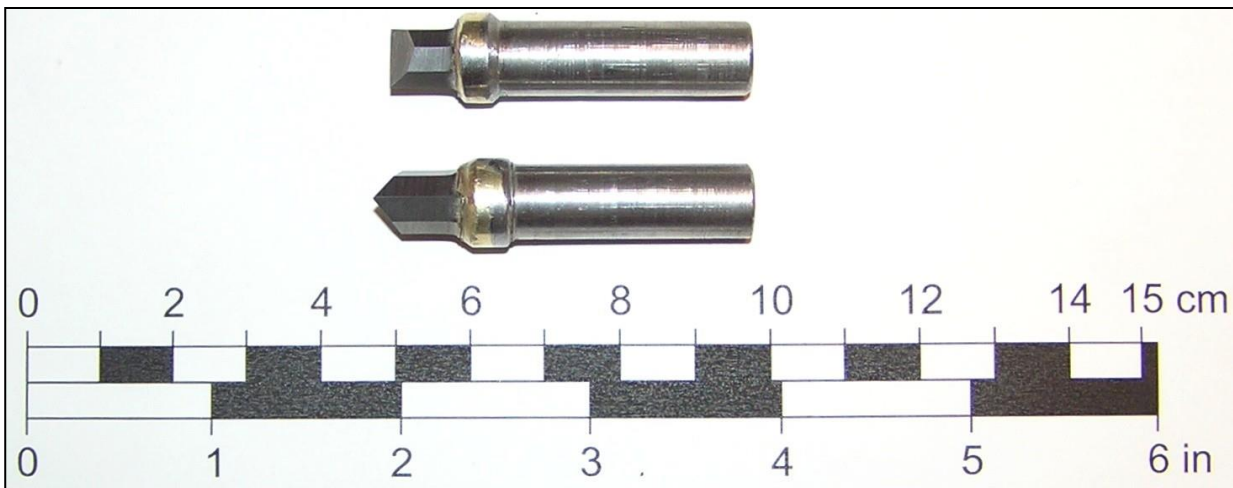
A sample subsequent to 20 impacts.



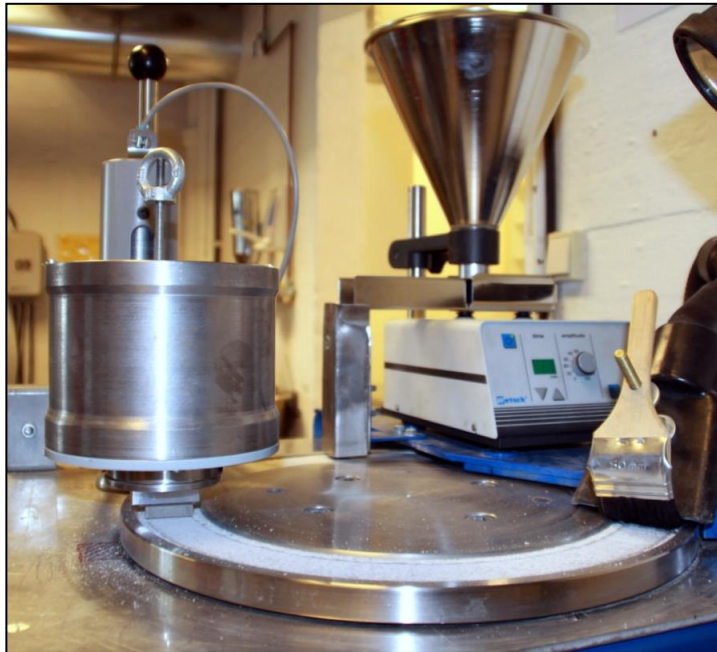
Sievers' J-Value test equipment.



Close up of drill and Sievers' J piece.



Miniature drills used to determine Sievers' J-Value.



Test equipment used to determine Abrasion Value (AV) and Abrasion Value Cutter Steel (AVS).



Part of a cutter ring, a 10 mm slice taken from the same ring, and two prepared AVS test pieces which are cut out of the centre of the slice.



AV (left) and AVS (right) test pieces subsequent to testing. For scale, the right-hand test piece is 30 mm long.

7 Photographs of the received rock core samples



Sample No. 1, yngre granit



Sample No. 2, diabase, DBH4 LM 201.5



Technology for a better society

www.sintef.no

15081IG - Restricted

Test report

Drillability

Determination of Drilling Rate Index™ and Cutter Life Index™ of 2 rock samples

Author

Joakim Eggen



SINTEF Byggforsk
SINTEF Building and Infrastructure
Address:
Postboks 4760 Sluppen
NO-7465 Trondheim
NORWAY

Telephone: +47 73593000
Telefax: +47 73593380

byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Enterprise /VAT No:
NO 948007029 MVA

**KEYWORDS**

Drillability
TBM performance

Test report

Drillability

Determination of Drilling Rate Index™ and Cutter Life Index™ of 2 rock samples

VERSION
2

DATE
2015-11-13

AUTHOR
Joakim Eggen

CLIENT
Norconsult AB

CLIENT'S REF.
Per Eriksson

PROJECT NO.
102009979-1

NUMBER OF PAGES
17

TEST OBJECT
2 rock core samples

TEST OBJECT RECEIVED
2015-11-02

TEST PROGRAM
DRI™, CLI™

TEST LOCATION
Geological Engineering
laboratory

DATE OF TEST
From 2015-11-03
To 2015-11-12

ABSTRACT

The samples are analysed in order to determine Drilling Rate Index™ (DRI™) and Cutter Life Index™ (CLI™).

Drilling Rate Index™ (DRI™) and Cutter Life Index™ (CLI™) are determined in accordance with: <http://www.drillability.com>, SINTEF/NTNU (2003), *Suggested Methods for determining DRI™, BWI™ and CLI™*. The trademarked acronyms and terms Drilling Rate Index™, Cutter Life Index™, DRI™ and CLI™ are unique for test results and calculated indices originating from the NTNU/SINTEF laboratory and can only be obtained by testing samples at our reference laboratory.

The test results relate only to the items tested

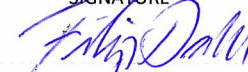
PREPARED BY
Joakim Eggen

SIGNATURE



APPROVED BY
Filip Dahl

SIGNATURE



REPORT NO.
15081IG

CLASSIFICATION
Restricted

Table of contents

1	Executive summary	3
2	Results DRI™ and CLI™	4
3	Comments and remarks on NTNU/SINTEF Drillability tests and test methods	5
3.1	Brittleness Value (S_{20})	5
3.2	Sievers' J-Value (SJ)	6
3.3	Abrasion Value Cutter Steel (AVS)	7
3.4	Drilling Rate Index™	8
3.5	Cutter Life Index™	9
4	Individual values from tests used to determine DRI™ and CLI™	10
5	Sievers' J-Value drillings presented as charts	11
6	Photographs of the NTNU/SINTEF drillability test and methodology	13
7	Photographs of the received rock core samples	18

1 Executive summary

Test results, calculated indices and classifications are given in the following table.

Sample ID (given by the Client)	No. 1 VV-15-001	No. 2 VV-15-003
Brittleness Value (S_{20})	60.7 <i>Very high</i>	39.3 <i>Low</i>
Sievers' J-Value (SJ)	2.7 <i>Very high surface hardness</i>	2.0 <i>Extremely high surface hardness</i>
Abrasion Value Cutter Steel (AVS)	37.0 <i>Very high</i>	28.0 <i>High</i>
Drilling Rate Index TM (DRI TM)	54 <i>Medium</i>	31 <i>Very low</i>
Cutter Life Index TM (CLI TM)	5.1 <i>Very low</i>	5.0 <i>Very low</i>

Classification of S_{20} , SJ and AVS according to Dahl, F., et al. 2012. Classifications of properties influencing the drillability of rocks, based on the NTNU/SINTEF test method. Tunnelling and Underground Space Technology 28 (2012). 150-158.

Classification of DRITM and CLITM according to Project Report "13A-98 Drillability Test Methods", published by the Department of Civil and Transport Engineering at the Norwegian University of Science and Technology.

2 Results DRI™ and CLI™

Basis: <http://www.drillability.com>, SINTEF/NTNU (2003), Suggested Methods for determining DRI™, BWT™ and CLI™

TEST RESULTS

Sample ID. (given by the Client)	No. 1 VV-15-001	No. 2 VV-15-003
Brittleness Value (S ₂₀ , 11.2 - 16.0 mm) [%]	60.7	39.3
Flakiness (f)	1.30	1.34
Compaction index	1	0
Density (ρ) [g/cm ³]	2.60	2.65
Sievers' J-Value (SJ) [mm/10]	2.7	2.0
Abrasion Value Cutter Steel (AVS) [mg]	37.0	28.0

CALCULATED INDICES

Drilling Rate Index™ (DRI™)	54	31
Cutter Life Index™ (CLI™)	5.1	5.0

CLASSIFICATION

Category	DRI™	CLI™
Extremely Low	≤ 25	< 5
Very Low	26 - 32	5.0 - 5.9
Low	33 - 42	6.0 - 7.9
Medium	43 - 57	8.0 - 14.9
High	58 - 69	15 - 34
Very High	70 - 82	35 - 74
Extremely High	≥ 83	≥ 75

3 Comments and remarks on NTNU/SINTEF Drillability tests and test methods

3.1 Brittleness Value (S_{20})

Rock brittleness or the ability to be crushed by repeated impacts is determined by the Brittleness Value. The Brittleness Value test is normally performed on three extractions from one representative and homogenized sample of crushed and sieved rock material and should hence be regarded as representative for the tested rock sample.

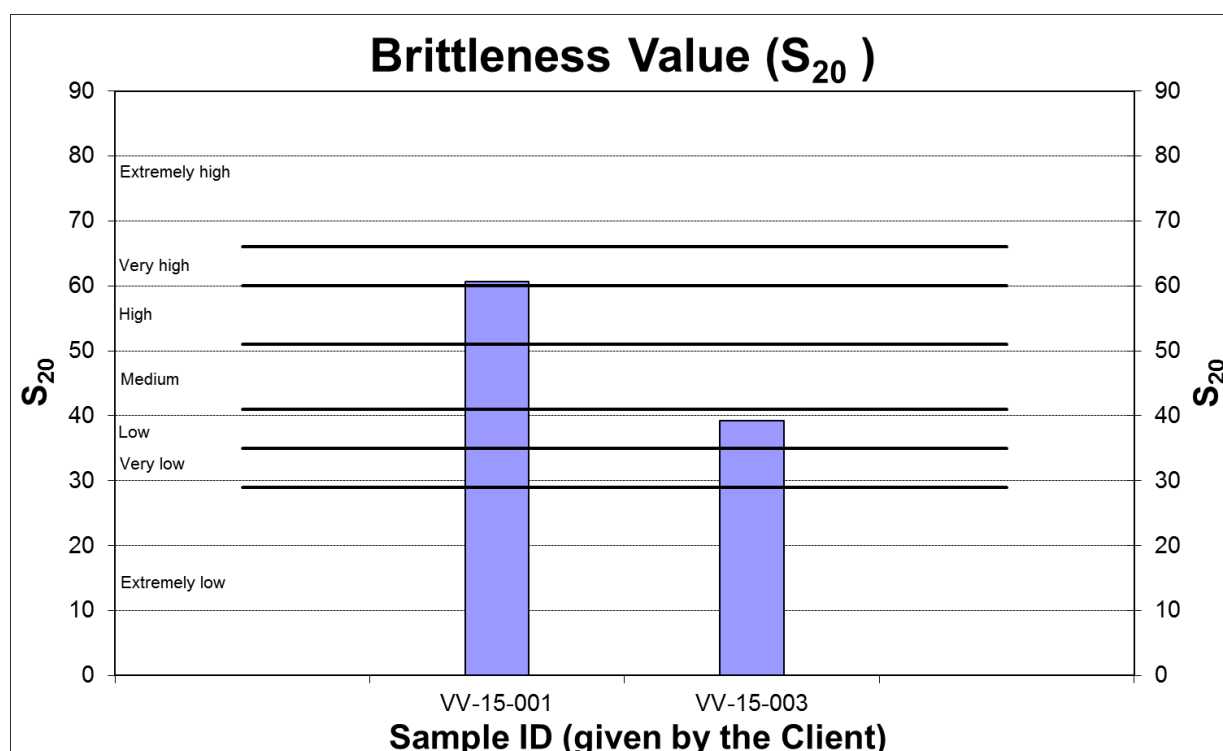


Table 1. Classification of rock brittleness or the ability to be crushed by repeated impacts according to Dahl, F., et al. TUST 28 (2012) 150 -158.

Category – brittleness	Brittleness Value [%]	Cumulative percentage
Extremely low	≤ 29.0	0 – 5 %
Very low	29.1 – 34.9	5 – 15 %
Low	35.0 – 40.9	15 – 35 %
Medium	41.0 – 50.9	35 – 65 %
High	51.0 – 59.9	65 – 85 %
Very high	60.0 – 65.9	85 – 95 %
Extremely high	≥ 66.0	95 – 100 %

3.2 Sievers' J-Value (SJ)

Rock surface hardness or the resistance to indentation is determined by the Sievers' J-Value. The standard number of Sievers' J drillings performed on each sample is 4 to 8, depending on the variation in the texture of the sample. We try to place the holes in soft and hard layers according to a visual interpretation of the composition of the rock. E.g. 60% light and 40% dark layers in a sample would result in 3 holes in the light layer(s) and 2 holes in the dark layer(s). We also try to avoid the soft/hard combination, but we do not always succeed in that matter due to e.g. thin layers of alternating mineral composition.

The Sievers' J charts on pages 11 - 12 show elapsed time in seconds. The Sievers' J-Value is defined as the penetration depth after 200 revolutions and the rotation of the drill bit is hence stopped when this is achieved. As may be seen in some graphs, 200 revolutions occur after approximately 67 seconds of drilling.

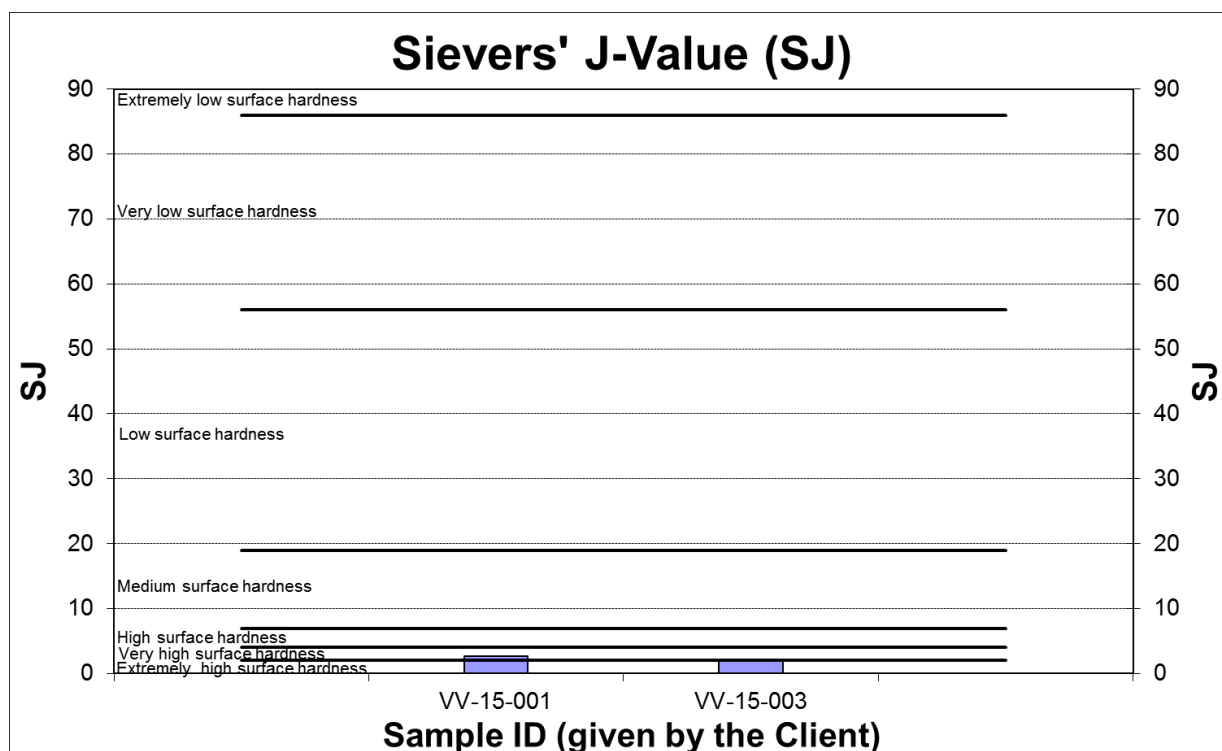


Table 2. Classification of rock surface hardness or the resistance to indentation according to Dahl, F., et al. TUST 28 (2012) 150 -158.

Category – surface hardness	SJ-Value [mm/10]	Cumulative percentage
Extremely high	≤ 2	0 – 5 %
Very high	2.0 – 3.9	5 – 15 %
High	4.0 – 6.9	15 – 35 %
Medium	7.0 – 18.9	35 – 65 %
Low	19.0 – 55.9	65 – 85 %
Very low	56.0 – 85.9	85 – 95 %
Extremely low	≥ 86.0	95 – 100 %

3.3 Abrasion Value Cutter Steel (AVS)

Rock abrasivity or the ability to induce wear on cutter ring steel is determined by the Abrasion Value Cutter Steel. Abrasion test material is taken from the extractions used for the Brittleness test. The AVS tests use test pieces of cutter ring steel. Quartz and other hard minerals will cause abrasion on the test pieces. Grain size, shape and binding are other factors that are believed to have substantial influence on the abrasiveness of the rock.

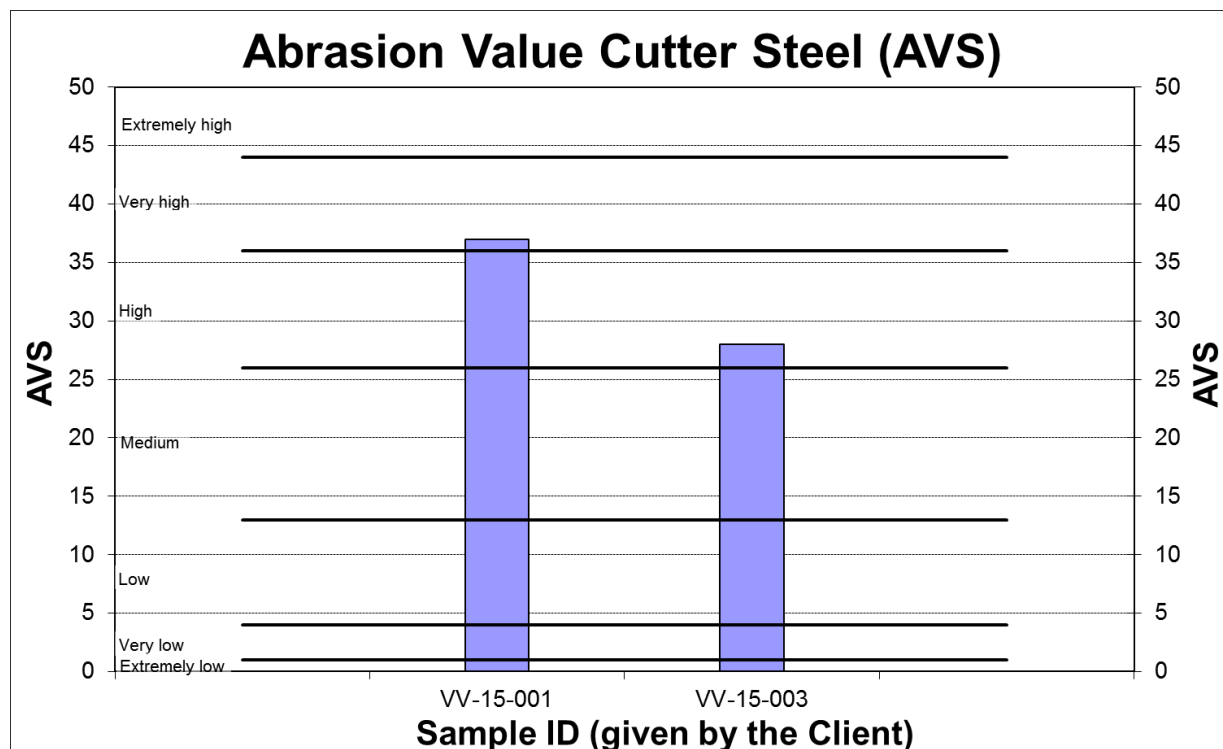


Table 3. Classification of rock abrasivity or the ability to induce wear on cutter ring steel according to Dahl.F., et al. TUST 28 (2012) 150 -158.

Category – cutter steel abrasion	AVS [weight loss mg]	Cumulative percentage
Extremely low	≤ 1.0	0 – 5 %
Very low	1.1 – 3.9	5 – 15 %
Low	4.0 – 12.9	15 – 35 %
Medium	13.0 – 25.9	35 – 65 %
High	26.0 – 35.9	65 – 85 %
Very high	36.0 – 43.9	85 – 95 %
Extremely high	≥ 44.0	95 – 100 %

3.4 Drilling Rate Index™

The Drilling Rate Index™ is assessed on the basis of the Brittleness Value (S_{20}) and the Sievers' J-Value (SJ). The DRI™ may be described as the Brittleness Value corrected for the rock surface hardness (SJ).

None of the tested samples showed DRI™ classified as extreme.

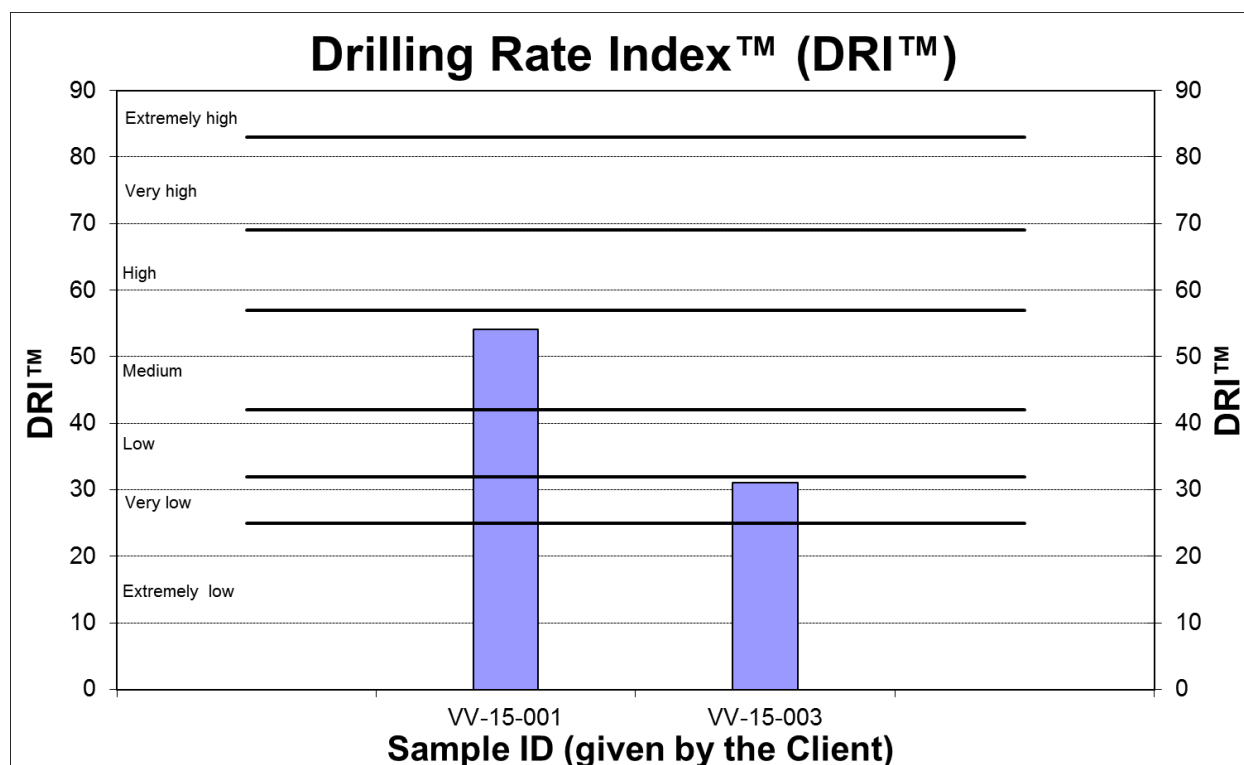


Table 4. Classification of Drilling Rate Index™ according to Project Report “13A-98 Drillability Test Methods”, published by the Department of Civil and Transport Engineering, NTNU.

Category – Drilling rate	Drilling Rate Index™	Cumulative percentage
Extremely low	≤ 25	0 – 5 %
Very low	26 – 32	5 – 15 %
Low	33 – 42	15 – 35 %
Medium	43 – 57	35 – 65 %
High	58 – 69	65 – 85 %
Very high	70 – 82	85 – 95 %
Extremely high	≥ 83	95 – 100 %

3.5 Cutter Life Index™

The Cutter Life Index™ is assessed on the basis of Sievers' J-Value (SJ) and the Abrasion Value Cutter Steel (AVS). The CLI™ expresses lifetime of TBM disc cutter steel.

Both samples showed CLI™ classified as very low, close to extremely low.

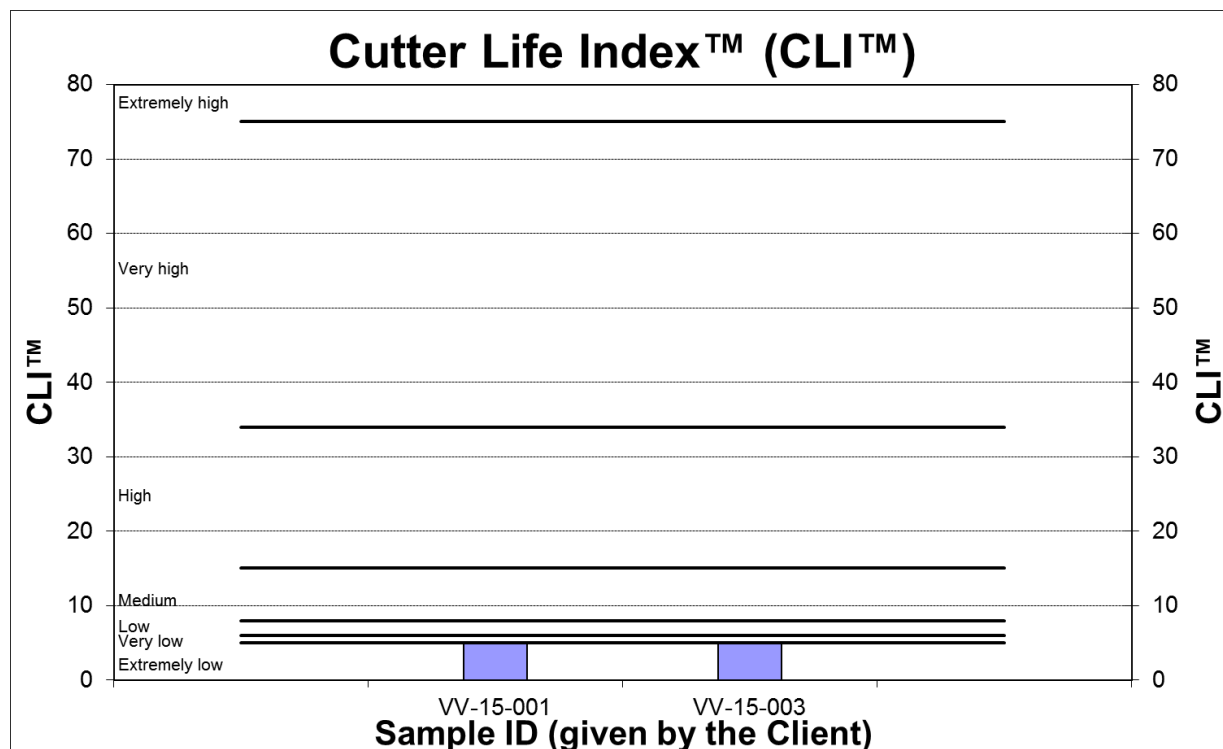


Table 5. Classification of Cutter Life Index™ according to Project Report “13A-98 Drillability Test Methods”, published by the Department of Civil and Transport Engineering, NTNU.

Category – Cutter life	Cutter Life Index™	Cumulative percentage
Extremely low	< 5	0 – 5 %
Very low	5.0 – 5.9	5 – 15 %
Low	6.0 – 7.9	15 – 35 %
Medium	8.0 – 14.9	35 – 65 %
High	15 – 34	65 – 85 %
Very high	35 – 74	85 – 95 %
Extremely high	≥ 75	95 – 100 %

4 Individual values from tests used to determine DRI™ and CLI™

Sample ID.: No. 1, VV-15-001

Test No.	Brittleness Value S_{20} [%]	Sievers' J-Value SJ [1/10 mm]	Abrasion Value Cutter Steel AVS [mg]
1	60.7	2.0	37
2	60.3	3.6	37
3	61.1	2.3	
4		2.9	
Mean	60.7	2.7	37.0
Stdev	0.41	0.72	0.00

Sample ID: No. 2, VV-15-003

Test No.	Brittleness Value S_{20} [%]	Sievers' J-Value SJ [1/10 mm]	Abrasion Value Cutter Steel AVS [mg]
1	38.3	2.0	29
2	40.3	2.1	27
3		2.0	
4		1.7	
Mean	39.3	2.0	28.0
Stdev	1.41	0.17	1.41

5 Sievers' J-Value drillings presented as charts

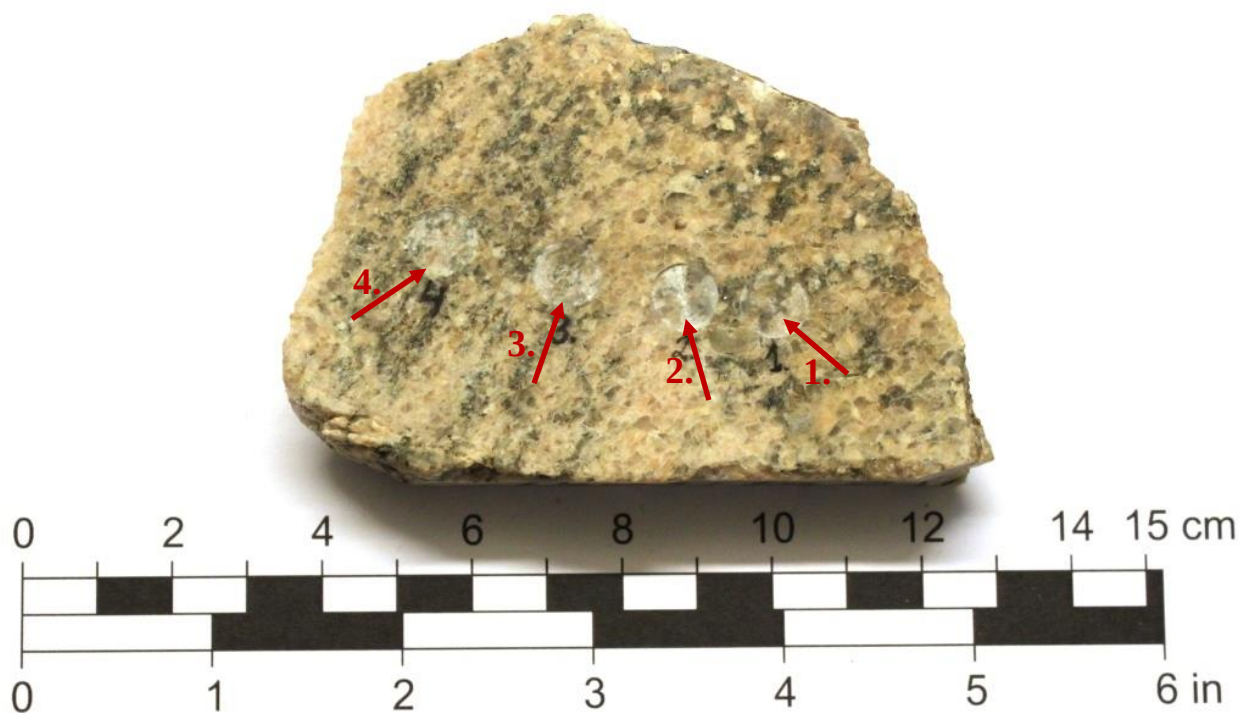
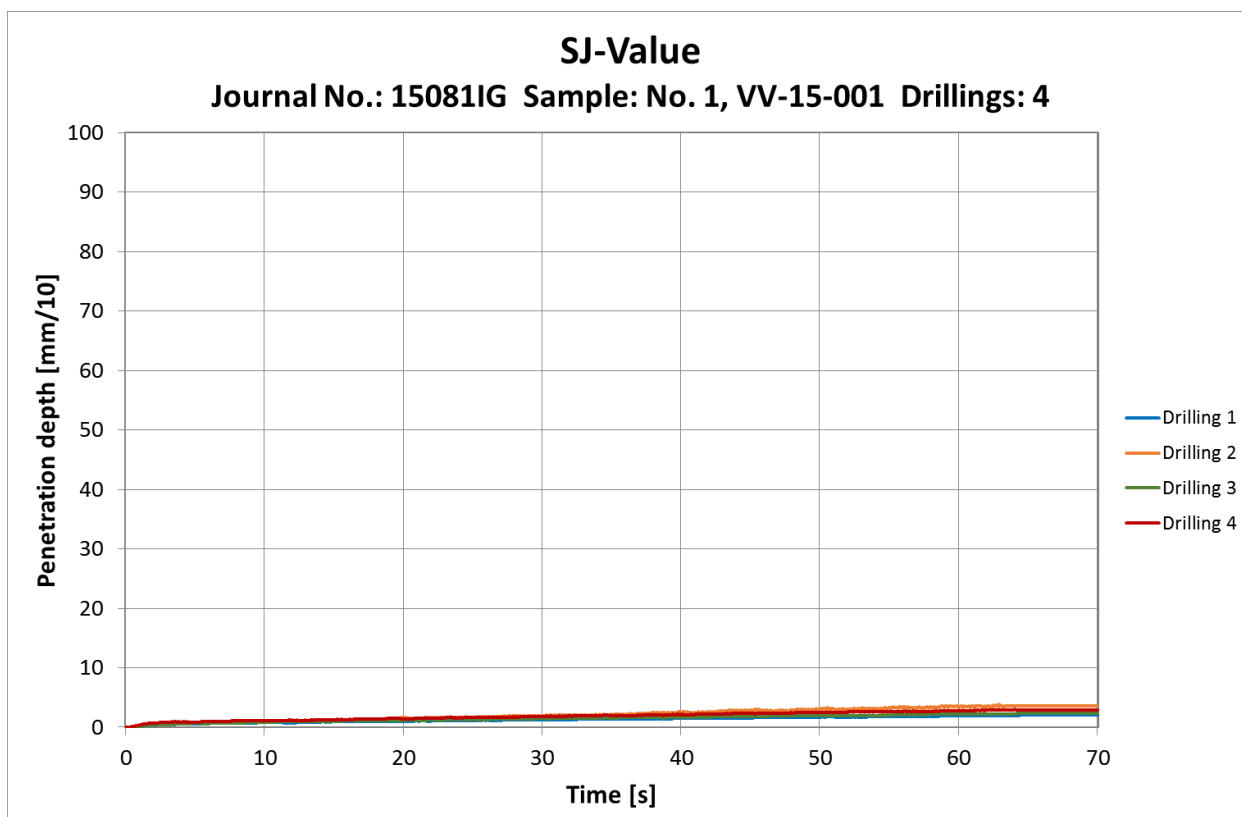


Photo of the Sievers' J (SJ) specimen subsequent to completed testing. Red arrows and figures indicate the position of the drillings.

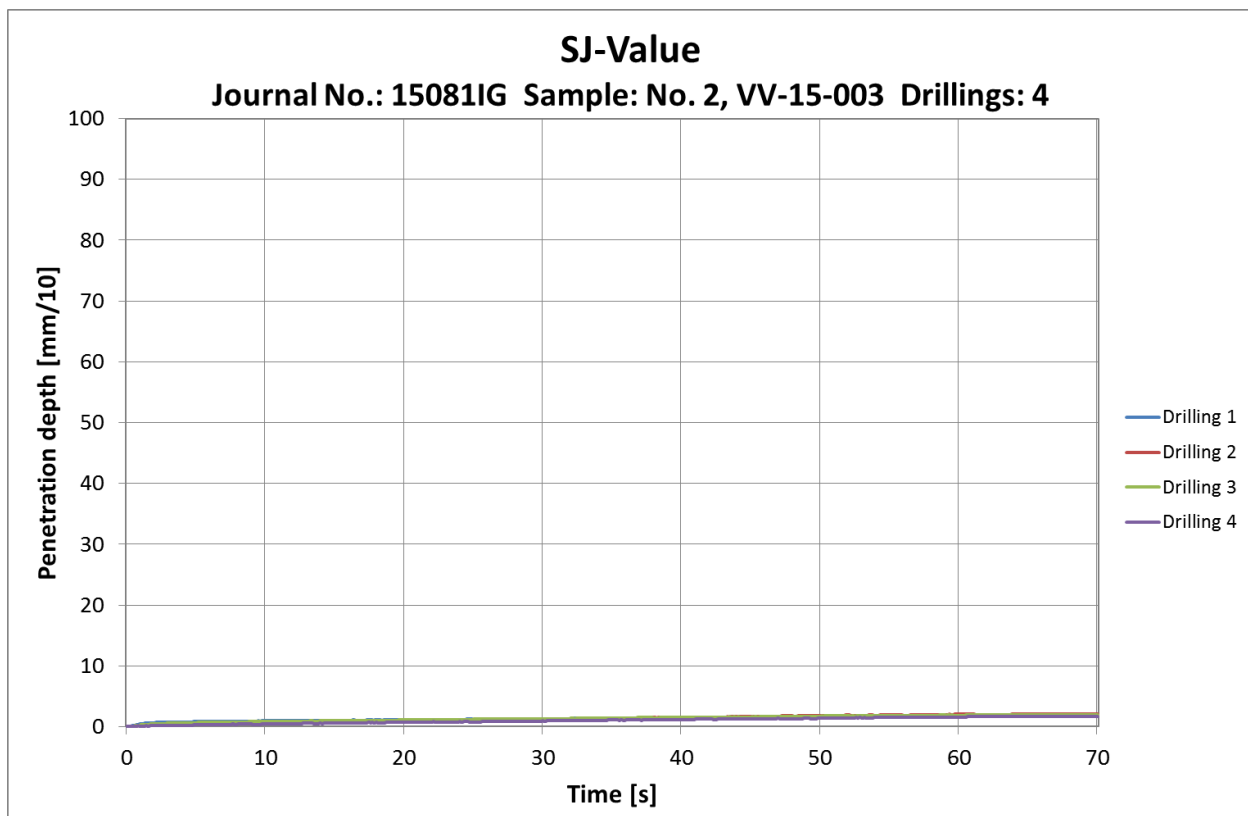


Photo of the Sievers' J (SJ) specimen subsequent to completed testing. Yellow arrows and figures indicate the position of the drillings.

6 Photographs of the NTNU/SINTEF drillability test and methodology



Pre-cutting of a piece from a rock core for determination of Sievers' J-Value.



A section of a rock core sample showing the orientation of the pre-cut Sievers' J piece in relation to the core axis and foliation.



Jaw crusher.



Sieving machine.



Brittleness test equipment.



Brittleness test. Mortar with sample.



A sample prior to impacts.



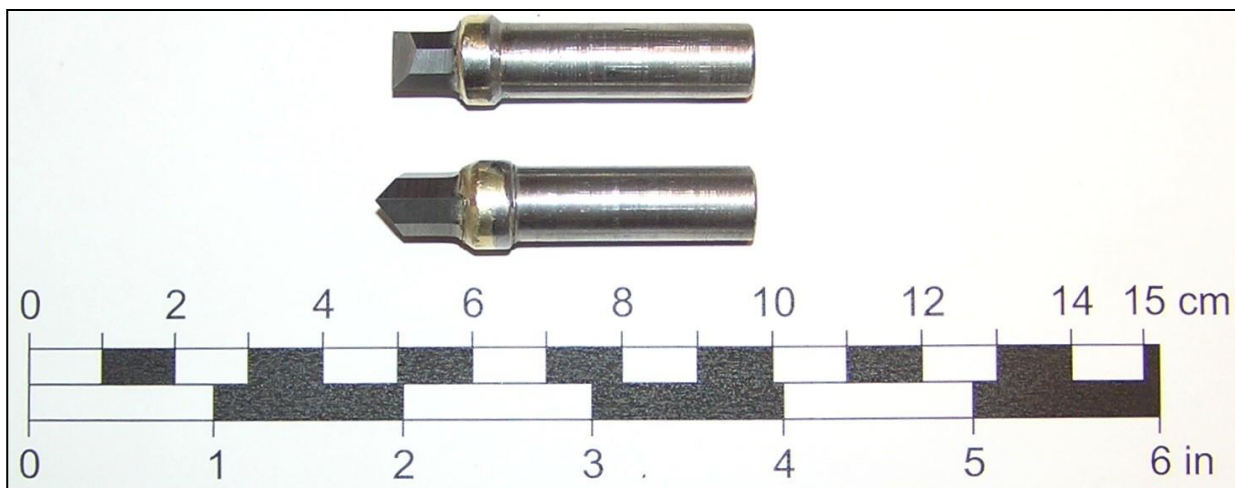
A sample subsequent to 20 impacts.



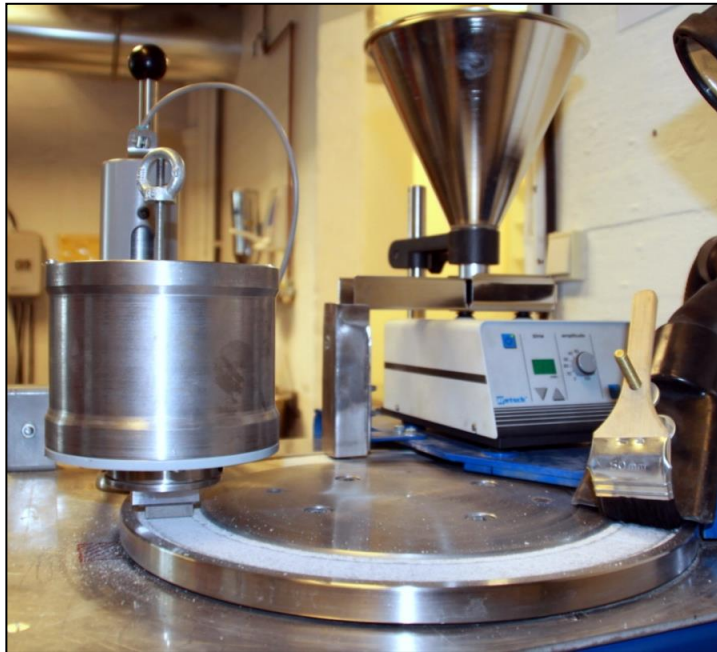
Sievers' J-Value test equipment.



Close up of drill and Sievers' J piece.



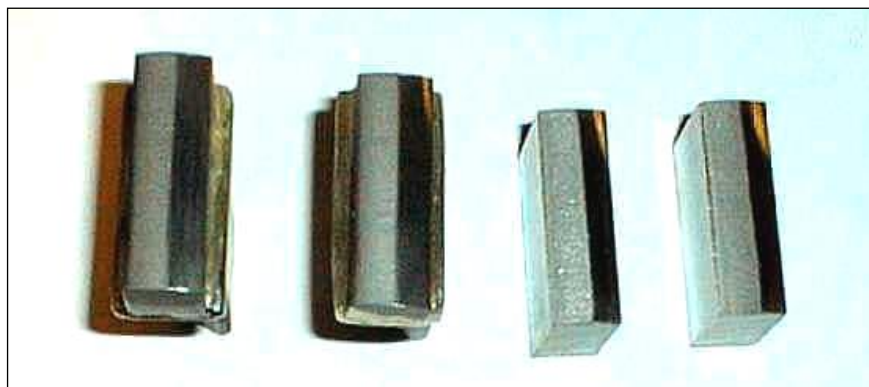
Miniature drills used to determine Sievers' J-Value.



Test equipment used to determine Abrasion Value (AV) and Abrasion Value Cutter Steel (AVS).



Part of a cutter ring, a 10 mm slice taken from the same ring, and two prepared AVS test pieces which are cut out of the centre of the slice.



AV (left) and AVS (right) test pieces subsequent to testing. For scale, the right-hand test piece is 30 mm long.

7 Photographs of the received rock core samples



Sample No. 1, VV-15-001



Sample No. 2, VV-15-003



Technology for a better society

www.sintef.no

Petrografisk analys – Terminologi och begreppsförklaring

Förklaring av termer och graderingen av företeelser som används i Tabell 9 ges nedan. Denna bygger på klassificeringen som presterades till Vägverket 2002 (Eliasson, T., 2002: E6 provväg – Kallsås; mineralogisk undersökning, SGU Dnr. 08-1113/2002.).

Kornstorlek. Med kornstorlek avses storleksintervallet för huvuddelen av de enskilda mineralkornen som bygger upp bergarten. I porfyriska bergarter förekommer stora korn (strökorn) i en finkornigare grundmassa. I dessa fall anges också kornstorleken för strökornen.

Kornfogning. Kornfogning är till stor del kopplat till kristallform. Euhedra kristaller med plana kristallytor resulterar i liten sammanväxt mellan angränsande kristaller. Anhedra kristaller och ojämnkornighet resulterar i ojämna kristallytor och hög grad sammanväxna korngränser (dvs. god sammanfogning av mineralkornen). En textur med hög grad av sammanväxning mellan mineralkornen är i allmänhet gynnsam för en bergarts hållfasthet. Graden av sammanväxning av mineralkornen i de undersökta materialen anges i en femgradig skala. Värdet 1 innebär att kornfogar är plana och mineralkornen har låg grad av sammanväxt (se fig. 9). Värdet 5 betyder hög grad av sammanväxt mellan mineralkornen.

Kristallform. Med kristallform beskrivs de enskilda kristallernas yttre form. Följande termer används: *euhedral* avser kristall med väl utbildade, vanligen plana, ytor, *subhedral* avser kristall med endast några väl utbildade, vanligen plana, ytor, *anhedral* avser kristall med oregelbundna (utan typiska) kristallytor

Foliation. Graden av foliation i materialen bedöms dels i tunnslipen, dels i de stenbitar som utgör rester av provmaterialen. En femgradig skala används där 1 anger att bergarten är massformig (isotrop) och 5 anger att foliationen är helt genomträngande och de flesta mineral är långsträckta och parallellorienterad. Normalt kan bergartens klyvbarhet till viss del kopplas till intensiteten i foliationen. Av stor betydelse är dock vad som orsakar planstrukturen. En glimmerrik skiffer med tätt liggande skikt av biotit och muskovit kan lätt klyvas parallellt med de glimmerrika planen. En gnejsig glimmerfattig granit där foliationen definieras av parallellorienterad kvarts och fältspat har lägre klyvbarhet.

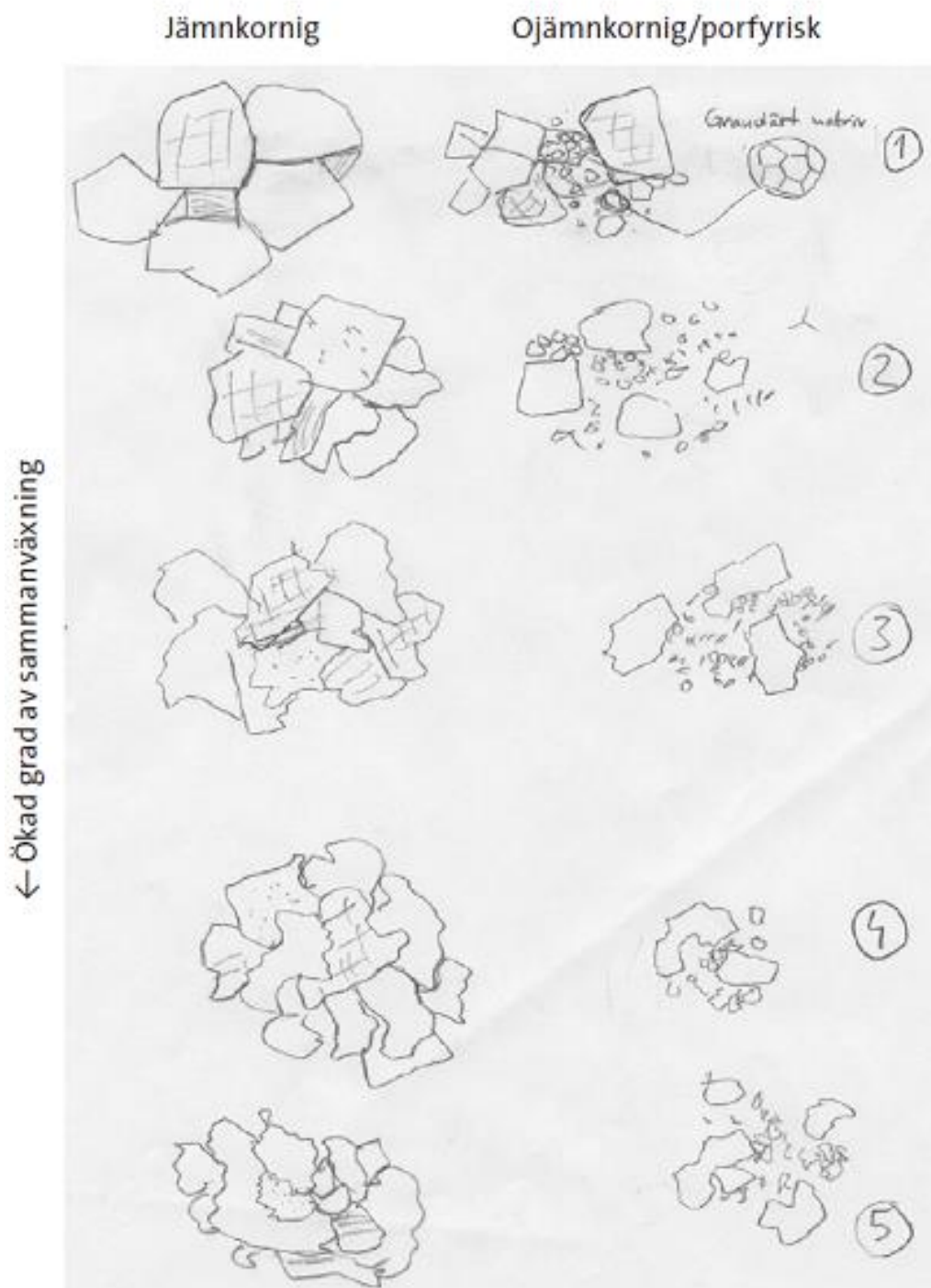
Omvandling av biotit. Med omvandling av biotit avses i vilken grad mineralkornen är kloritiserad. Omvandling innebär att biotit bryts ner, helt eller partiellt, till klorit. Normalt behålls biotitens yttre form och kloriten bildar pseudomorfer efter biotit. Dessa innehåller ofta avblandade finkorniga mineral så som rutil, kalifältspat eller fluorit.

Omvandling av plagioklas. Med omvandling av plagioklas avses i vilken grad plagioklas är saussuritiserad (omvandling till en mycket finkornig bladning av bl.a. albit, epidot och kalcit) eller sericitiserad (omvandling till mycket finkornig muskovit eller sericit). Denna omvandling sker genom att hett vatten eller gas (s.k. pneumatolytiska eller hydrotermala lösningar) reagerar med berget. En relativ femgradig skala används där 1 anger att omvandling saknas eller är mycket ringa. 5 anger att omvandlingen är helt genomträngande. Det senare innebär att hela plagioklaskristallen mer eller mindre visar spår av omvandling.

Rödfärgning av plagioklas. Med grad av rödfärgning av plagioklas avses intensiteten av rödfärgning orsakad av impregnation av hematit och Fe-oxihydroxid ("rost") i plagioklas.

Omvandling längs kornfogar. Med omvandling längs kornfogar avses i vilken mängd det förekommer omvandlingsmineral (bildade genom vittring eller hydrotermalt processer) så som klorit, sericit, lermineral, Fe-oxihydroxid etc. En femgradig skala används. Där 1 anger att ingen omvandling observerats och 5 innebär att omvandling förekommer längs alla kornfogar.

Vittring. Med vittring avses i detta sammanhang i vilken omfattning bergarten påverkats av främst lervittring eller grusvittring. Med lervittring menas omvandling av mineral, främst genom kemisk vittring under låga temperaturer, till lermineral. Vittringen startar vanligtvis i korngränser eller i anslutning till mikrosprickor. Grusvittring innebär att bergarten spricker upp eller sprängs sönder längs mineralkontakter vid t.ex. snabba temperaturförändringar. En relativ femgradig skala används för att klassificera vittringsgraden där 1 anger lägst grad (ingen) av vittring.



Figur 7-1. Mall för bedömning av grad av sammanväxning mellan mineralkorn.

Bilaga 8 Vattenförlustmätningar

Bilaga 8.1 DBH1 Tisaren södra strand

Bilaga 8.2 DBH2 Nyhyttan

Bilaga 8.3 DBH4 Nyhyttan

Bilaga 8.1 DBH1 Tisaren

LÖPNR:	Åsbro	DATUM:	141112	TUNNELBETECKNING:	SEKTION:
OMGÅNGSNR/KONTROLL:		HÄLANTAL:		INJEKTERINGSKLASS:	CEMENTTYP
UTFÖRT AV:	Drillcon	HÄLLÄNGD: 290,10m		ANSVARIG ARBETSLEDARE:	GRUNDTV. TRYCK:
				Svante Berglund	

0,054

[illegible]

Lu

Cement kg:		Fyll i kg torrt bruk
Vatten L:		
VCT:		
Volym (L):	0	Färdigt bruk

Rätt arbetsbeskrivning
Utförandet dokumenterat

ANTECKNINGAR:

0,054LuUtskriven : 2015-02-18

LÖPNR:	Åsbro	DATUM:	141112	TUNNELBETECKNING:	SEKTION:
OMGÅNGSNR/KONTROLL:		HÅLANTAL:		INJEKTERINGSKLASS:	CEMENTTYP
UTFÖRT AV:	Drillcon	HÅLLÄNGD: 290,10m		ANSVARIG ARBETSLEDARE:	Grundv.Träck:
				Svante Berglund	

0.054

[illegible]

Lu

[illegible]

LÖPNR:	Åsbro	DATUM:	141112	TUNNELBETECKNING:	SEKTION:
OMGÅNGSNR/KONTROLL:		HÅLANTAL:		INJEKTERINGSKLASS:	CEMENTTYP
UTFÖRT AV:	Drillcon	HÅLLÄNGD: 290,10m		ANSVARIG ARBETSLEDARE:	GRUNDV.TRYCK:
				Svante Berglund	

[illegible]

Cement kg:		Fyll i kg torrt bruk
Vatten L:		
VCT:		
Volym (L):	0	Färdigt bruk

Rätt arbetsbeskrivning
Utförandet dokumenterat

LÖPNR:	Åsbro	DATUM:	141112	TUNNELBETECKNING:	SEKTION:
OMGÅNGSNR/KONTROLL:		HÅLANTAL:		INJEKTERINGSKLASS:	CEMENTTYP
UTFÖRT AV:	Drillcon	HÅLLÄNGD:		ANSVARIG ARBETSLEDARE:	Svante Berglund

[illegible]

Cement kg:		Fyll i kg torrt bruk
Vatten L:		
VCT:		
Volym (L):	0	Färdigt bruk

Rätt arbetsbeskrivning
Utförandet dokumenterat

ANTECKNINGAR:

Bilaga 8.2 DBH2 Nyhyttan

PLAT: _____	DATUM: _____	TUNNEL RETECKNING: _____
-------------	--------------	--------------------------

Utvärdering hydraulisk konduktivitet

Borrhålsdiameter

0.054

[illegible]

CHECKLISTA FÖR EGENKONTROLL:

Lathund vid beräkning av VCT och mängd cementbruk

Cement kg: Fyll i kg torrt bruk

Vatten L:

VCT:

Volym (L): 0 Färdigt bruk

Rätt arbetsbeskrivning
Utförandet dokumenterat

ANTECKNINGAR:

VATTENFÖRLUSTMÄTNING / INJEKTERING													
LÖPNR: Nyhyttan DBH2				DATUM: 141118		TUNNELBETECKNING:				SEKTION:			
OMGÅNGSNR/KONTROLL:				HÅLANTAL:		INJEKTERINGSKLASS:				CEMENTTYP			
UTFÖRT AV: Drillcon				HÅLLÄNGD: 150,4m		ANSVARIG ARBETSLEDARE: Svante Berglund				GRUNDV.TRYCK:			

Hål Nyhyttan DBH 2				Tillsats medel		Injekterad cement (liter)					Sluttryck (MPa)	Vattenförlustmätning		
				typ	mängd%	VCT	VCT 1	VCT 0,8	VCT 0,6	VCT		(MPa)	(l/min)	l/min m*MPa
18-21m	1min											0,5	2,40	
	2											0,5	2,10	
	3											0,5	2,10	
	4											0,5	2,00	
	5											0,5	2,00	
	6											0,5	1,90	
	7											0,5	1,90	
	8											0,5	1,90	
	9											0,5	2,00	
	10											0,5	1,90	
	11											0,5	1,90	
	12											0,5	1,90	
	13											0,5	1,90	
	14											0,5	1,90	
	15											0,5	1,90	
21-24m	1											0,5	0,00	
	15											0,5	0,00	
24-27m	1											0,5	0,00	
	15											0,5	0,00	
27-30m	1											0,5	0,00	
	15											0,5	0,00	
30-33m	1											0,5	0,00	
	15											0,5	0,00	
Σ (liter)		0				0	0	0	0		0			

Lathund vid beräkning av VCT och mängd cementbruk

Cement kg: Fyll i kg torrt bruk

Vatten L:

VCT:

Volym (L): 0 Färdigt bruk

CHECKLISTA FÖR EGENKONTROLL:

Rätt arbetsbeskrivning

Utförandet dokumenterat

ANTECKNINGAR:

Utvärdering hydraulisk konduktivitet

Borrhålsdiameter

0,054

Sektionslängd	K	Lu
3	2,13E-07	1,60
3	1,86E-07	1,40
3	1,86E-07	1,40
3	1,77E-07	1,33
3	1,77E-07	1,33
3	1,69E-07	1,27
3	1,69E-07	1,27
3	1,69E-07	1,27
3	1,77E-07	1,33
3	1,69E-07	1,27
3	1,69E-07	1,27
3	1,69E-07	1,27
3	1,69E-07	1,27
3	1,69E-07	1,27
3	1,69E-07	1,27
3	0,00E+00	0,00
3	0,00E+00	0,00
3	0,00E+00	0,00
3	0,00E+00	0,00
3	0,00E+00	0,00
3	0,00E+00	0,00
3	0,00E+00	0,00

VATTENFÖRLUSTMÄTNING / INJEKTERING

LÖPNR: Nyhyttan DBH2	DATUM: 141118	TUNNELBETECKNING:	SEKTION:
OMGÅNGSNR/KONTROLL:	HÅLANTAL:	INJEKTERINGSKLASS:	CEMENTTYP
UTFÖRT AV: Drillcon	HÅLLÄNGD: 150,4m	ANSVARIG ARBETSLEDARE: Svante Berglund	GRUNDV.TRYCK:

Hål Nyhyttan DBH 2				Tillsats medel			Injekterad cement (liter)					Sluttryck (MPa)	Vattenförlustmätning		
				typ	mängd%		VCT	VCT 1	VCT 0,8	VCT 0,6	VCT		(MPa)	(l/min)	<u>l/min</u> m*MPa
33-36m	1												0,5	0,00	
	15												0,5	0,00	
36-39m	1												0,5	0,00	
	15												0,5	0,00	
39-42m	1												0,5	0,00	
	15												0,5	0,00	
42-45m	1												0,5	0,00	
	15												0,5	0,00	
45-48m	1												0,5	0,00	
	15												0,5	0,00	
48-51m	1												0,5	0,00	
	15												0,5	0,00	
51-54m	1												0,5	0,00	
	15												0,5	0,00	
54-57m	1												0,5	0,00	
	15												0,5	0,00	
57-60m	1												0,5	0,00	
	15												0,5	0,00	
60-63m	1												0,5	0,00	
	15												0,5	0,00	
Σ (liter)	0					0	0	0	0	0	0				

Lathund vid beräkning av VCT och mängd cementbruk

Cement kg: Fyll i kg torrt bruk
Vatten L:

VCT:

Volym (L): 0 Färdigt bruk

CHECKLISTA FÖR EGENKONTROLL:

Rätt arbetsbeskrivning
Utförandet dokumenterat

ANTECKNINGAR:

LÖPNR: Nyhyttan DBH2	DATUM: 141118	TUNNELBETECKNING:	SEKTION:
OMGÅNGSNR/KONTROLL:	HÅLANTAL:	INJEKTERINGSKLASS:	CEMENTTYP
UTFÖRT AV: Drillcon	HÅLLÄNGD: 150,4m	ANSVARIG ARBETSLEDARE: Svante Berglund	GRUNDV.TRYCK:

[illegible]

Cement kg:		Fyll i kg torrt bruk
Vatten L:		
VCT:		
Volym (L):	0	Färdigt bruk

Rätt arbetsbeskrivning
Utförandet dokumenterat

ANTECKNINGAR:

Utskriven : 2015-02-18

LÖPNR: Nyhyttan DBH2	DATUM: 141118	TUNNELBETECKNING:	SEKTION:
OMGÅNGSNR/KONTROLL:	HÅLANTAL:	INJEKTERINGSKLASS:	CEMENTTYP
UTFÖRT AV: Drillcon	HÅLLÄNGD: 150,4m	ANSVARIG ARBETSLEDARE: Svante Berglund	GRUNDV.TRYCK:

[illegible]

Cement kg:		Fyll i kg torrt bruk
Vatten L:		
VCT:		
Volym (L):	0	Färdigt bruk

Rätt arbetsbeskrivning
Utförandet dokumenterat

LÖPNR: Nyhyttan DBH2	DATUM: 141118	TUNNELBETECKNING:	SEKTION:
OMGÅNGSNR/KONTROLL:	HÅLANTAL:	INJEKTERINGSKLASS:	CEMENTTYP
UTFÖRT AV: Drillcon	HÅLLÄNGD: 150,4m	ANSVARIG ARBETSLEDARE: Svante Berglund	GRUNDV.TRYCK:

[illegible]

Cement kg:		Fyll i kg torrt bruk
Vatten L:		
VCT:		
Volym (L):	0	Färdigt bruk

Rätt arbetsbeskrivning
Utförandet dokumenterat

ANTECKNINGAR:

Bilaga 8.3 DBH4 Nyhyttan

LÖP NR: Nyhyttan DBH4	DATUM: 20141217	TUNNELBETECKNING:	SEKTION:
ÖMGÅNGSNR/KONTROLL:	HÄLANTAL:	INJEKTERINGSKLASS:	CEMENTTYP
UTFÖRT AV: Drillcon	HÄLLÄNGD: 203,3m	ANSVARIG ARBETSLEDARE: Svante Berglund	GRUNDV. TRYCK:

0.054

[illegible]

längd

K

Lu

[illegible]

Lathund vid beräkning av VCT och mängd cementbruk

Cement kg:	Fyll i kg torrt bruk
Vatten L:	

VCT:		
Volym (L):	0	Färdigt bruk

CHECKLISTA FÖR EGENKONTROLL:

Rätt arbetsbeskrivning
Utförandet dokumenterat

ANTECKNINGAR:

VATTENFÖRLUSTMÄTNING / INJEKTERING

LÖPNR: Nyhyttan DBH4	DATUM: 20141217	TUNNELBETECKNING:	SEKTION:
OMGÅNGSNR/KONTROLL:	HÄLANTAL:	INJEKTERINGSKLASS:	CEMENTTYP
UTFÖRT AV: Drillcon	HÄLLÄNGD: 203,3m	ANSVARIG ARBETSLEDARE: Svante Berglund	GRUNDV.TRYCK:

Utvärdering hydraulisk konduktivitet

Borrhålsdiameter

0.054

[illegible]

	Sektionslängd
1	10
2	10
3	10
4	10
5	10
6	10
7	10
8	10
9	10
10	10
11	10
12	10
13	10
14	10
15	10
16	10
17	10
18	10
19	10
20	10
21	10
22	10
23	10
24	10
25	10
26	10
27	10
28	10
29	10
30	10
31	10
32	10
33	10
34	10
35	10
36	10
37	10
38	10
39	10
40	10
41	10
42	10
43	10
44	10
45	10
46	10
47	10
48	10
49	10
50	10
51	10
52	10
53	10
54	10
55	10
56	10
57	10
58	10
59	10
60	10
61	10
62	10
63	10
64	10
65	10
66	10
67	10
68	10
69	10
70	10
71	10
72	10
73	10
74	10
75	10
76	10
77	10
78	10
79	10
80	10
81	10
82	10
83	10
84	10
85	10
86	10
87	10
88	10
89	10
90	10
91	10
92	10
93	10
94	10
95	10
96	10
97	10
98	10
99	10
100	10

K

Lu

[illegible]

Lathund vid beräkning av VCT och mängd cementbruk

Cement kg:		Fyll i kg torrt bruk
Vatten L:		
VCT:		
Volym (L):	0	Färdigt bruk

CHECKLISTA FÖR EGENKONTROLL:

Rätt arbetsbeskrivning
Utförandet dokumenterat

ANTECKNINGAR:

LÖPNR: Nyhyttan DBH4	DATUM: 20141217	TUNNELBETECKNING:	SEKTION:
OMGÅNGSNR/KONTROLL:	HÅLANTAL:	INJEKTERINGSKLASS:	CEMENTTYP
UTFÖRT AV: Drillcon	HÅLLÄNGD: 203,3m	ANSVARIG ARBETSLEDARE: Svante Berglund	GRUNDV.TRYCK:

[illegible]

Lathund vid beräkning av VCT och mängd cementbruk

Cement kg: Fyll i kg torrt bruk
Vatten L:

VCT:

Volym (L): 0 Färdigt bruk

CHECKLISTA FÖR EGENKONTROLL:

Rätt arbetsbeskrivning
Utförandet dokumenterat

ANTECKNINGAR:

Bilaga 9 - Strukturella geologiska observationer inklusive kommentarer från år 2015 fältkurs													
Punkt	Lokalnamn	Bergart	Blottnng	SG1	SL	CC	SG2	SL	CC	SG3	SL	CC	Anteckningar
VV-15-001	Håkanmoberget	Äldre granitoid	>50m	135/90°	50m	-	60/80°	-	1,5m	235/10° _a	15m	0,5-1	Böljande råa sprickyor. Tunn ytvittring (<5mm)
VV-15-002	Tunbohässele	Sur metavulkanit	50m	275/90° _a	100m	-	10/90°	3-5m	-	-	-	-	Rundade hällar med fåtal avskalningar. Liten ytvittring (<5mm). SG2 utgör trolige ytliga dragsprickor tvärs hällens längdaxel.
VV-15-003	Ljungåå	Sur metavulkanit	5m	90/45° _a	-	-	320/90°	>5m	1,5-2m	-	-	-	Prov från under rotvälta. Liten ytvittring (<5mm). Hackiga råa sprickyor.
VV-15-004	Hovmansååen	Yngre granit	>50m	30/90°	>10m	4-6m	-	-	-	-	-	-	Grovporfyrisk förgnejas granit. Tunn ytvittring (<2mm). Prov anskaffat från avskalning.
VV-15-005	Ånstorp	Sur metavulkanit	10m	130/80° _a	-	-	160/85°	-	-	260/90° _x	-	-	Vååskårning. Obefintlig ytvittring. Råa undulerande sprickyor.
VV-15-006	Verkasjån	Yngre granit	25m	45/80°	>10m	1,5-3m	280/80°	3m	3m	-	-	-	Trasig vååskårning. Obefintlig ytvittring. Grovporfyrisk granit, mycket litet förgnejsad.
113	Verkasjån	Yngre granit	>200m	340/80°	30m	1,5-3m	260/80°	10m	4-5m	-	-	-	Rundad långstråkt håll som stryker i N-S. Ytvittring 5mm.
VV-15-007	Hargemarken	Äldre granitoid	75m	180/80°	-	2m	90/85°	-	3-5m	-	-	-	Naturlig bergslånt med amfibolitgåågar. Vittringsdjup <10mm
VV-15-012	Gruvmossen	Äldre granitoid	25m	250/80°	<10m	10m	265/80°	<10m	10m	350/70°	<10m	10m	Rundad håll vid vååskårning. Råa och undulerande sprickyor.
VV-15-013	Nyckelhult	Sur metavulkanit	-	110/75° _a	>3m	0,5-1m	10/85°	>3m	0,5-1m	-	-	-	Tunn kloritfyllnad i sprickyor. Liten ytvittring (2mm). Mycket råa undulerande sprickyor.
115	Hillevik	Äldre granitoid	>200m	30/70°	-	-	335/80°	-	-	50/15°	-	-	Svallad blockstrand. Blockstorlek i håll 0,5-2m. Tydlig och genomgående uppsprickning.
117	Hillevik	Äldre granitoid	>200m	200/75°	-	-	195/80°	-	-	160/30°	-	-	Blockstorlek i håll 0,25-2m. Tydlig och genomgående uppsprickning.
119	Hillevik	Äldre granitoid	>200m	0/70°	-	-	45/70°	-	-	200/35°	-	-	Blockstorlek i håll 0,25-2m. Tydlig och genomgående uppsprickning.
Förklaringsnyckel													
SG: Sprickgrupp													
SL: Spårlångd													
CC: Avstånd mellan sprickplan inom samma grupp													
a: Bankningsplan													
e: Långdaxel på håll													
o: Bandning/Foliation													
x: Gångbergart													