

LISA 15 - GEOLOOG MIKAEL TAKALA TÄIENDAV
EKSPERTARVAMUS MAA-ALUSE GRANIIDI SÜVENDI RAJAMI-SE
KOHTA (RESPONSES TO SEA QUESTIONS), 20.06.2012 (KOOS
TÕLKEGA EESTI KEELDE)

MEMO

Project **Muuga Hydro Power station**
Client **Ramboll Eesti**

Date **20.6.2012**

Author **Mikael Takala**
Geologist

Responses to SEA questions

1. Analyze the impact that running sea water through pump-hydro accumulation station has on the durability of granite shafts and tanks both chemically as well as wear and tear caused by the water flow.

Water flow will be considered when designing the final rock support for the shafts and caverns. In weak rock, with clay filled joints, generally these tunnel or shaft sections are lined with concrete (shotcrete). The concrete and rock bolts used will be tested and approved for use in sea water environments. This requires e.g. the use of sulfate resistant concrete and corrosion resistant bolts (f.ex. zinc plated bolts).

The intact granite does resist sea water and is not weathered faster in contact with sea water. Freezing and melting of water in rock joints do accelerate weathering of Rapakivi granite, but at the depth of the Hydro power station the temperature is constant and always above freezing temperature. Despite its name, Rapakivi is actually very durable. For example Rapakivi granite is visible at the shore line of southern Finland. The rock has been exposed to extreme conditions (freezing, melting and seawater) since the last ice age for over 10 000 years ago. The rock is still intact and weathering of the rock and boulder has been minimal (see figures 1 and 2).

Päivämäärä 14/06/2012

Ramboll
Niemenkatu 73 C
15140 LAHTI

P +358 20 755 7800
F +358 20 755 7801
www.ramboll-analytics.fi



Figure 1. Rapakivi granite polished by a glacier ca. 10 000 years ago at the coast line of the Gulf of Finland at Vironlahti Finland (photo by Lauri Axelsson).



Figure 2. Rapakivi boulders transported to their current location in the Gulf of Finland by a glacier ca. 10 000 years ago. Photo from Vironlahti, Finland (photo by Lauri Axelsson).

2. It is necessary to identify the mechanical properties of the granite layer material to find out how large spans of granite may be allowed in the planned space ceilings. In what stage of planning or design of these studies are being done?

The investigations are done in different phases. First it is essential to investigate the top of the bedrock or granite layer. These investigations include geophysical methods and drilling.

These investigations are done in the preliminary design phases. Secondly the rock quality (fracture density, compressive strength etc.) and the in-situ rock stress (vertical and horizontal stress) are investigated. These investigations utilize diamond core drilling and various geophysical methods. Drilled rock samples are tested in a laboratory to determine the compressive strength of the rock. Based on these results the geometry and rock support requirements are designed. These investigations are done in the more detailed design phases of the project and based on these results the final positions and geometry of the facility is designed. Finally the rock quality is monitored and mapped during the construction phase and required adjustments are made for the final rock support design based on these findings.

3. Are there any requirements for sampling and laboratory work in planning and designing similar granite projects? Are there any requirements for laboratories, which carry out analyses and tests of all material properties of granite to prepare a project?

The requirements vary in different countries. Good designing practices determine that it is necessary to collect rock samples and do investigations to determine the rock mass properties. Laboratory samples are tested for the compression and tensile strength of the intact rock specimens. The rock samples are collected from different geological units. It is essential to perform these tests to get the required parameters for the cavern and tunnel design geometry and required rock support. The diamond core samples are logged by experienced geologists who map for instance the rock type, fracture density and fracture properties such as joint wall roughness, joint alteration. Also these parameters are essential in the design of the cavern and tunnel geometry and rock support. The rock mineralogy can be determined from hand specimens and in more detail by microscopic studies of thin sections. Laboratories that perform stress tests for rock specimens should perform the tests by approved and accredited methods. The requirements for laboratories vary in different countries. Several institutes grant accreditations for laboratories.

4. How big is the risk of collapse of granite cavities? What should be done to prevent it?

The risk depends on how well are the rock conditions mapped before and during the construction. With modern design and rock support methods the risk of a large collapse is minimal. There are several standards for rock support needs that have been used for decades and developed constantly. In the Nordic countries the most used standard is the Norwegian Q-method developed by NGI. In the Q-method the rock quality is classified based on the rock mass properties such as fracture density, joint orientation, joint surface properties and rock stress conditions. For numerical application the Hoek & Brown (2002) rock failure criterion is commonly used. Modern modeling software (e.g. Phase) is used to optimize the geometry and rock support need for the facility. The stability of the caverns is ensured with adequate rock support. The rock support is usually done by installing rock bolts and shotcrete and in some cases steel ribs. The behavior of the rock mass surrounding the caverns is monitored during and after the construction works. The monitoring typically includes periodical measurements of the tunnel and cavern convergence, the use of extensometers and in some cases in-situ stress sensors are used to verify that the rock mass behaved as expected.

Glossary:	
Shotcrete:	Sprayed concrete that reacts rapidly forming a concrete layer on the surface it is applied onto.
In-Situ stress:	The magnitude of the stress in the rock. The magnitude depends on the geologic setting and depth. In most cases the horizontal stress is larger than the vertical stress.
Thin section:	A thin plate (ca. 30 µm) made from a rock specimen. The thin sections are analyzed with a petrographic microscope. The sample is lit from below allowing the light to travel through the sample. A polarizing element is used to help distinguish the minerals.
Rapakivi granite:	Hornblende-biotite granite containing large crystals of orthoclase mantled with oligoclase. The different heat expansion properties of the rapakivi components make exposed rock crumple especially in environment where temperatures vary.
References:	
Hoek&Brown 2002	Hoek&Brown Failure criterion 2002 edition. Evert Hoek, Carlos Carranza-Torres, Brent Corkum. www.rocscience.com .

MEMO

Projekt **Muuga pump-hüdroakumulatsioonijaam**
Klient **Ramboll Eesti**
Kuupäev **20.06.2012**
Koostaja **Mikael Takala**
Geoloog

Vastused KSH küsimustele

1. Analüüsida, kuidas mõjutab PHAJ töötamise ajal merevesi graniidist šahtide ja mahutite vastupidavust nii keemiliselt kui ka veevoolu poolt põhjustatava kulumise tulemusena?

Veevoolu võetakse arvesse, kui projekteeritakse lõplikku kivimitoetust šahtide ja õõnsuste jaoks. Nõrga kivimi puhul, kus praod on täidetud saviga, on need tunneli või šahti seksioonid üldiselt kaetud betooniga (torkreet). Kasutusele võetavad betooni- ja kivipoldid peavad olema testitud ja heaks kiidetud merevee keskkonnas kasutamiseks. Selleks on vaja näiteks sulfaadile vastupidavaid betooni- ja korrosioonikindlaid polte (näiteks tsingiga kaetud polte).

Kahjustamata graniit on mereveekindel ega murene kokkupuutel mereveega kiiremini. Vee külmumine ja sulamine kivi pragudes küll kiirendab rabakivigraniidi murenemist, aga hüdrojaama sügavusel püsib temperatuur konstantsena ja on alati üle külmumistemperatuuri. Hoolimata oma nimest¹ on rabakivi väga vastupidav. Näiteks on rabakivigraniit nähtav Lõuna-Soome rannajoonel. Kivim on olnud paljastatud ekstreemsetele tingimustele (külmumine, sulamine ja merevesi) alates viimasest jääajast üle 10 000 aasta tagasi. Kivim on endiselt terve ning kivimi ja rändrahnude murenemine on olnud minimaalne (vt joonised 1 ja 2).

Ramboll Eesti AS
Laki 34
12915 Tallinn

T +372 664 5808
F +372 664 5818
www.ramboll.ee

¹ Soome k. rapa – sete, muda, pori, kruus; rapautuminen – murenemine (tõlkija märkus)



Joonis 1. Liustiku poolt umbes 10 000 aastat tagasi lihvitud rabakivigraniit mererannal Soome lahes. Vironlahti, Soome (foto Lauri Axelsson)



Joonis 2. Rabakivi rahnud, mis on transporditud liustike poolt oma praegusele asukohale Soome lahes umbes 10 000 aastat tagasi. Vironlahti, Soome (foto Lauri Axelsson)

2. On vaja tuvastada graniidilasumi materjali mehhaanilised omadused, et saada teada, kui suuri sildeid tohib lubada graniidi sisse plaanitavate ruumide lagedel. Millises planeerimise või projekteerimise staadiumis neid uuringuid tehakse?

Uuringuid tehakse erinevates etappides. Esiteks on oluline uurida aluspõhjakivimi ehk graniidikihi pealispinda. Need uuringud sisaldavad geofüüsikalisi meetodeid ja puurimist. Uurin-

gud tehakse eelprojekti etapis. Teiseks uuritakse kivimi kvaliteeti (purunenud pinna tihe- dust, survetugevust jne) ja *in-situ* kivimi koormust (vertikaalset ja horisontaalset koor- must). Need uuringud kasutavad teemantsüdamik-puurimist ja erinevaid geofüüsikalisi mee- todeid. Kivimite puurkehasid kontrollitakse laboris, et määrata kivimi survetugevus. Nende tulemuste põhjal kujundatakse kivimi toetuse nõuded ja geomeetria. Need uuringud tehakse detailsemates projekteerimise etappides ning nendel tulemustel põhinedes kavandatakse lõplikud asukohad ja rajatise geomeetria. Lõpuks jälgitakse ja kaardistatakse ehitusetapi ajal kivimi kvaliteeti ning nendel leidudel põhinedes tehakse vajalikud muudatused kivimi- toetuse konstruktsioonile.

3. Kas on olemas nõuded proovivõtmiseks ja laboratoorseteks töödeks analoogsete graniit- tööde kavandamisel ja projekteerimisel? Kas on nõudeid laboritele, kus viia läbi ana- lüüsid ja katsed graniidi kõikide oluliste omaduste teadasaamiseks projekti koostami- seks?

Nõuded on eri riikides erinevad. Hea projekteerimistava kohaselt on vaja koguda kivimi- proove ja teha uuringuid, et kindlaks määrata kivimi massiomadused. Laboriproove testitak- se terve purkeha surve- ja purunemistugevuse suhtes. Puurkehasid kogutakse erinevatest geoloogilistest kihtidest. Need katsed on olulised saamaks vajalikud parameetrid õõnsuste ja tunneli projekti geomeetrilise lahenduse projekteerimiseks ning nõutava kivimitoetuse ta- gamiseks. Teemantpuurimise proovikehasid kirjeldatakse kogunud geoloogide poolt, kes kaardistavad näiteks kivimi tüübi, murenemise astme ja murenemise omadused nagu seinte ebatasasus, murrangutest tingitud muutused. Lisaks on need parameetrid olulised õõnsuse ja tunneli geomeetria ning kivimi toetuse projekteerimisel. Kivimi mineraloogia saab kind- laks määrata võetud kivimiproovidest ja üksikasjalikumalt saab andmeid õhikute mikroskoo- piliste uuringute abil. Laborid, mis teostavad surveteste kivimitele, peavad katsed läbi viima tunnustatud ja akrediteeritud meetodite järgi. Laboritele esitatavad nõuded on riigiti erine- vad. Laboritele annavad akrediteeringuid mitmed institutsioonid.

4. Kui suur on risk graniidiõõnsuste sissekukkumiseks? Mida on vaja teha selle vältimiseks?

Risk sõltub sellest, kui hästi on kivimi tingimused kaardistatud enne ehitust ja ehitamise käigus. Kasutades kaasaegseid projekteerimise ja kivimi toetusemeetodeid on suure kok- kuvarisemise risk minimaalne. Kivimi toetamise vajaduste kohta on mitmeid standardeid, mida on kasutatud aastakümneid ja mida arendatakse pidevalt. Põhjamaades on kõige levi- num standard Norra Q-meetod, mille on välja töötanud NGI. Q-meetodis on kivimi kvaliteet klassifitseeritud tuginedes kivimi massi omadustele nagu murenemise tihedus, lõhede orien- tatsioon, lõhede vahelise pealispinna omadused ja kivimi survetugevused. Numbriliste and- mete saamise jaoks kasutatakse tavaliselt Hoek & Brown (2002) kivimi rikke kriteeriume. Kaasaegset modelleerimise tarkvara (näiteks Phase) kasutatakse selleks, et optimeerida geomeetria ja kivimitoetuse vajadust. Õõnsuste stabiilsus tagatakse vastava kivimitoega. Kivimi toetus tehakse tavaliselt paigaldades kivipolte ja torkreeti ning mõnel juhul terasest vardaid. Koobaste õõnsusi ümbritseva kivimimassi käitumist jälgitakse ehitustööde käigus ja pärast töid. Tavaliselt hõlmab järelevalve tunneli ja koopa konvergenksi perioodilisi mõõtmisi, tensomeetri kasutamist ning mõnel korral kasutatakse *in-situ* surve andureid kontrolli- maks, et kivim käituks vastavalt oodatule.

Mõisted:

Torkreet – pihustatud/pritsitud betoon, mis reageerib kiiresti moodustades betoonikihi pinnal, millele seda kantakse.

In-situ surve – pinge ulatus kivimis. Suurusjärg sõltub geoloogilisel keskkonnast ja sügavusest. Enamasti on horisontaalne pinge suurem kui vertikaalne.

Õhik – kiviproovist võetud õhuke plaat (umbes 30 mikromeetrit). Õhikut analüüsitakse petrograafilise mikroskoobiga. Proov valgustatakse altpoolt lubades valgusel liikuda läbi proovi. Mineraalide eristamiseks kasutatakse polariseerivat elementi.

Rabakivigraniit – küünekivi-biotiitgraniit, mis sisaldab oligoklassiga ümbritsetud suuri ortoklassi kristalle. Rabakivi komponentide erinevad soojuspaisumise omadused muudavad katmata kivimi murenevaks eriti keskkonnas, kus temperatuur kõigub.

Viited:

Hoek&Brown Failure criterion 2002 edition. Evert Hoek, Carlos Carranza-Torres, Brent Corkum. www.rocscience.com.