



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SUOMEN KAIVOSTOIMINNAN KIVIAINESTEN TESTAUSTAR- PEIDEN SELVITYS

TEKIJÄ: Ville Hottola

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Ville Hottola			
Työn nimi Suomen kaivostoiminnan kiviainesten testaustarpeiden selvitys			
Päiväys	12.12.2018	Sivumäärä/Liitteet	25/2
Ohjaajat Yliopettaja Merja Tolvanen ja TKI-asiantuntija Maarit Janhunen			
Toimeksiantaja Savonia-ammattikorkeakoulu, tutkimusinsinööri Sami Pekkarinen			
Tiivistelmä			
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Kuopiossa toimivalle Savonia-ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratoriolle, joka tarjoaa betonin ja kiven testauspalveluita, sekä tekee rakennusfysikaalisia mittauksia. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kaivosteollisuuden kiviaineksen testaustarpeita ja yleisesti käytössä olevia menetelmiä. Kiven lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien testauksia käytetään kaivoksilla kalliorakentamisessa, louhoksen seinämien stabiliteetin määrittämisessä, poraus- ja räjäytysuunnittelussa.</p> <p>Kartoitus tehtiin haastatteluilla kaivoskäynneillä ja puhelimitse. Työhön kuuluu yleinen osuus Suomen kaivosteollisuudesta ja sen toimijoista, kaivoksen elinkaaresta, kaivostoiminnan eri vaiheista ja ympäristövaikutuksista. Tämä osuus on tehty yhdessä insinööriopiskelija Jukka Luostarisen kanssa, jonka työ käsittelee kaivostoiminnan kaivosvesien testaustarpeita. Kartoitusosuus käsittelee kiven materiaaliominaisuuksia ja testausmenetelmiä sekä niiden hyödyntämismahdollisuuksia. Käsiteltävinä testausmenetelminä on yksiaksaalinen puristuslujuus, epäsuora vetolujuus, kimmokerroin ja Poissonin luvun määrittäminen.</p> <p>Työn tuloksena koottiin toimeksiantajalle selvitys kaivosten tutkimustarpeista ja testausnormeista. Lisäksi selvitettiin standardien ja julkaisujen avulla testien teoriaa. Tämän avulla rakennustekniikan laboratorio kykenee kehittämään toimintaansa kaivosteollisuudelle soveltuvammaksi. Samalla kaivoskäynneillä tehtiin Savonian tarjontaa tunnetuksi. Haastatteluiden perusteella kiviainestestauksia ei ole mielekästä tarjota itse kaivosyhtiölle. Lujuus- ja muodonmuutosominaisuus tiedot ovat hyödyllisempiä louhinta, kallio- ja maanrakennustyötä tekeville toimijoille, jotka ovat osalla kaivoksista ulkoistettu urakoitsijoille.</p>			
Avainsanat kaivosteollisuus, kiviainestestaus, muodonmuutos, puristuslujuus			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Ville Hottola			
Title of Thesis Needs Analysis of Rock Testing in Finnish Mining Industry			
Date	12 December 2018	Pages/Appendices	25/2
Supervisor(s) Ms. Merja Tolvanen, Principal Lecturer, and Ms. Maarit Janhunen, RDI Specialist			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences, Research Engineer Sami Pekkarinen			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was commissioned by the construction laboratory practising concrete and rock testing in Savonia University of Applied Sciences in Kuopio. The objective of this thesis was to find out the rock testing needs of mining industry and the most common testing methods. Rock strength and deformation properties testing is used in mines for rock engineering, quarry slope stability, drilling and blasting planning.</p> <p>The analysis part was implemented by mine visits and telephone interviews. The Finnish mining industry were studied including its operators, mine lifespan, different phases of mining activity and their environmental impacts. This part was made with another engineering student, Jukka Luostarinen, whose thesis enlarged on the needs of research and water treatment for mining companies. Material properties of rock and testing methods with their usage possibilities were studied in the analysis part. Testing methods under consideration were uniaxial compressive strength, indirect tensile strength, elastic modulus and Poisson's ratio.</p> <p>The results of this thesis for the commissioner was a survey about research and testing practices of mining industry. In addition, there was a survey about testing standards and theory. This enables the construction laboratory to develop its operations more suitable for mining industry. At the same time, visits to mines made Savonia well-known. Based on the interviews, it is not sensible to offer rock tests directly to the mining companies. Rock strength and deformation information are useful for quarrying, rock engineering and excavating workers who in some mines are outsourced.</p>			
<p>Keywords mining industry, rock testing, deformation, compressive strength</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	KAIVOSTEOLLISUUS SUOMESSA.....	6
2.1	Kaivostoiminnan yleisesittely.....	6
2.2	Kaivoksen elinkaari, tuotannon vaiheet ja ympäristövaikutukset.....	9
2.2.1	Malminetsintävaihe.....	10
2.2.2	Kaivoksen avaamisvaihe	10
2.2.3	Tuotantovaihe.....	11
2.2.4	Jälkihoitovaihe	12
3	KIVIAINESTEN TUTKIMUKSISSA KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT.....	13
3.1	Kivilajit.....	13
3.2	Kiven muodonmuutos, lujuus ja testausmenetelmät.....	13
3.3	Testausmenetelmien käytännön suoritus	16
4	SAVONIAN TARJOAMAT PALVELUT KAIVOSTEOLLISUUDEN KIVIAINEKSELLE.....	19
5	KAIVOSALAN TUTKIMUSPALVELUJEN KARTOITUS	20
6	SAVONIAN KYKY VASTATA TARPEISIIN.....	21
7	KILPAILIJA-ANALYYSI RAKENNUSTEKNIIKAN LABORATORION KIVITESTAUKSISTA.....	22
8	YHTEENVETO.....	23
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	24
	LIITE 1: ESITTELYMATERIAALI.....	26

1 JOHDANTO

Tilastokeskuksen mukaan vuonna 2017 Suomen kaivostoiminnan ja louhinnan myydyn tuotannon arvo on 1560 miljoonaa euroa, joka on 1,8 prosenttia teollisuuden tuotannosta. Tuotannon arvo on toista vuotta peräkkäin kasvussa. Samana vuotena Suomessa toimi yhteensä 44 kaivosta, joista metallimalmikaivokset ovat kokonaiskiven määrässä suurin kaivostoiminta-ala. Kaivosteollisuuden toiminnanjohtaja Pekka Suomelan mukaan ala työllistää suoraan noin 6000 työntekijää.

Savonia-ammattikorkeakoulu oy on Pohjois-Savossa toimiva ammattikorkeakoulu, jonka yksiköitä on kolmessa eri kaupungissa Kuopiossa, Iisalmissa ja Varkeudessa. Opetustarjontaa on seitsemältä eri alalta. Ammattikorkeakoulun tehtävänä opetuksen lisäksi on tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotyö, johon rakennustekniikan laboratorion testauspalvelut kuuluvat. Savonian neljä painoalaa ovat soveltava hyvinvointiteknologia, uudistuva kone- ja energiateollisuus, vastuullinen ruokatuonto ja vesiturvallisuus.

Tämän opinnäytetyön aiheena on kartoittaa Suomen kaivosteollisuuden kiviainesten testaustarpeita Savonia-ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratorion tarjonnan kannalta. Aiheen antoi Savonian rakennustekniikan laboratorion tutkimusinsinööri Sami Pekkarinen. Rakennustekniikan laboratorio tekee akkreditoitua betonin testausta, joten selvitys on heille kiinnostava mahdollisen kiviainesten testaamiseen laajentamisen kannalta.

Työn alku käsittelee Suomen kaivosteollisuutta ja sen suurimpia toimijoita, jonka lisäksi perehdytään kaivoksen toiminnan eri vaiheisiin ja niiden ympäristövaikutuksiin. Lopuksi käsitellään kiven materiaaliominaisuuksia, kiviaineksen testausmenetelmiä lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien osalta ja niiden hyödyntämismahdollisuuksia kaivosteollisuudessa.

Opinnäytetyön Suomen kaivosteollisuuden yleisesittely osuus on tehty yhteistyössä insinööriopiskelija Jukka Luostarisen kanssa (Suomen kaivostoiminnan kaivosvesien testaustarpeiden selvitys, 35 s, 2018), jonka työssä selvitettiin kaivosteollisuus tutkimustarpeita Savonia-ammattikorkeakoulu oy:n vesiturvallisuus painoalalle. Kummassakin opinnäytetyössä on sisällöltään samanlainen Suomen kaivosteollisuuden yleisesittely, mutta kaivosten kartoitustarpeet ja tutkimusmenetelmät ovat eriytetty omiksi opinnäytetöiksi.

Lähtökohtana työnteolle on ympäristötekniikan koulutuksen kautta saatua ymmärrystä kaivosteollisuudesta. Työn yhtenä osana oli perehtyminen kiviainestestaukseen ja sen käyttökohteiden teoriaan. Kaivosteollisuuden kiviainesten testaustarpeiden selvityksen tarkoituksena on selvittää mitä kiviainestestauksia kaivoksilla tällä hetkellä tehdään, miksi niitä tehdään ja minkälaisille testauksille heillä olisi tarvetta. Lisäksi selvitettävänä on ennakkoon valittujen testausmenetelmien käyttökohteet ja edut kaivosteollisuudelle. Tavoitteena on löytää Savonian rakennustekniikan laboratoriolle uusia kontakteja kaivoksilta ja saada Savonian tarjontaa tunnetuksi laajemmin Suomessa.

2 KAIVOSTEOLLISUUS SUOMESSA

Tämä luku on yhteinen osa Jukka Luostarisen opinnäytetyötä (Jukka Luostarinen, Suomen kaivostoiminnan kaivosvesien testaustarpeiden selvitys, 2018)

2.1 Kaivostoiminnan yleisesittely

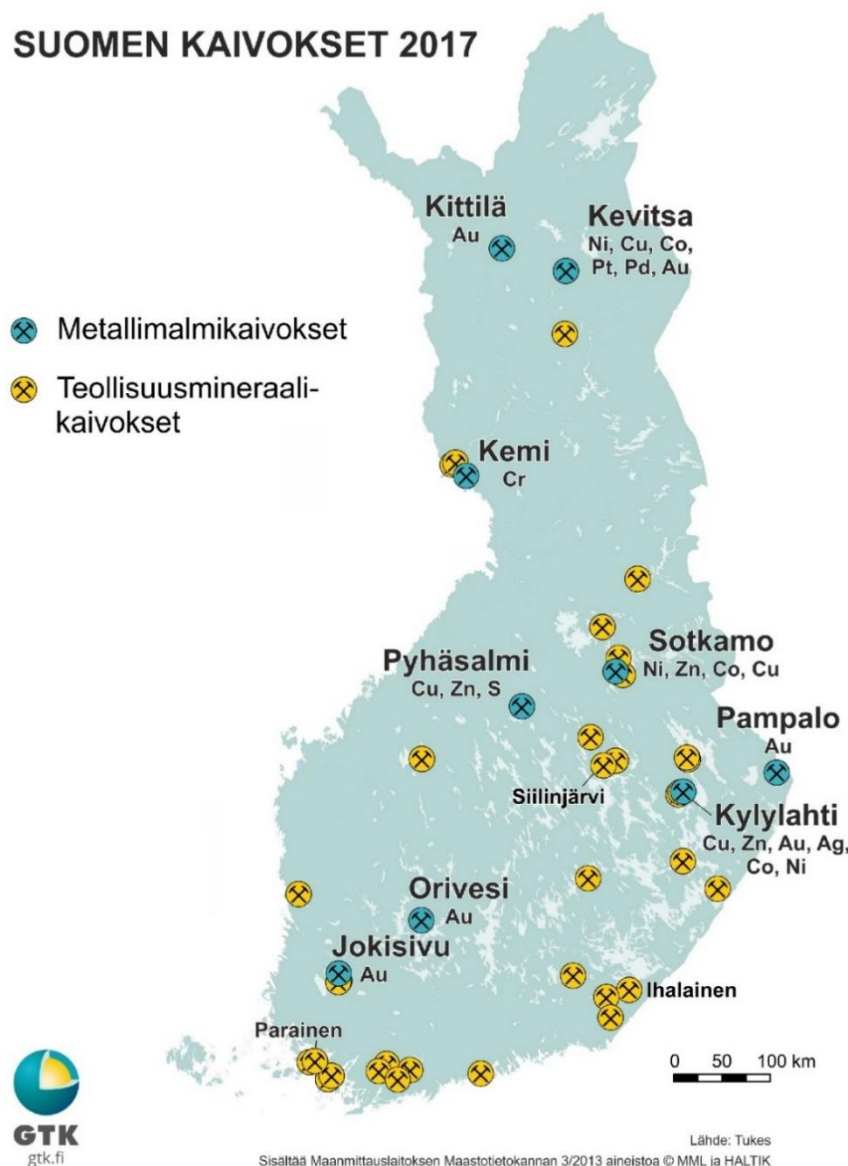
Suomessa toimiva kaivannaisteollisuus käsittää kaivosteollisuuden, kiviainesteollisuuden ja luonnonkiviteollisuuden. Kaivosteollisuudella tarkoitetaan yleensä metallimalmien ja teollisuusmineraalien tuotantoa. (TEM 2013, 12.) Laajemmin tarkasteltuna kaivannaisteollisuus voidaan jakaa metallimalmiteollisuuteen, teollisuusmineraaliteollisuuteen, kiviainesalaan, luonnonkiviteollisuuteen, raaka-ainesten etsintään, kaivosteollisuuden laitteiden valmistamiseen sekä kaivannaisteollisuutta tukeviin palveluihin (Särkkä ja Suomela, toim. Hakapää ja Lappalainen 2011, 13).

Suomessa oli vuonna 2017 9 metallimalmikaivosta, 14 karbonaattikivikaivosta, 13 muuta teollisuusmineraalikaivosta sekä 8 teollisuuskivi- tai muuta kaivosta (Kuva 1). Yhteensä aktiivisia kaivoksia oli 44. (Tukes 2017, 1). Vuonna 2017 kaivostoimintaan investoitiin 61,4 M€, kaivostoimintaan investoitiin 303 M€ ja louhintaa tehtiin yhteensä 120,4 Mt. Vuonna 2017 varausilmoituksia tehtiin 96 kpl ja malminetsintäluupahakemuksia 185 kpl. Malminetsintäkairausta tehtiin yhteensä 273 kilometriä. (Liikamaa 2018, 2-5.)

Suurin kaivostoiminta-ala vuonna 2017 oli kokonaiskiven määrässä mitattuna metallimalmikaivokset (85 153 167 t). Seuraavaksi suurimmat alat olivat muut teollisuusmineraalikaivokset (29 569 002 t) ja karbonaattikivet (5 245 845 t) (Tukes 2017, 1.)

Nostetun kokonaiskiven määrässä mitattuna Suomen suurimpia kaivostoimijoita vuonna 2017 olivat Boliden Kevitsa Mining Oy (42 483 658 t), Terrafame Oy (35 097 345 t) ja Yara Suomi Oy (25 382 529 t) (Tukes 2017, 1).

SUOMEN KAIVOKSET 2017



KUVA 1. Suomen metallimalmi- ja teollisuusmineraali-kaivokset vuonna 2017. (Geologian tutkimuskeskus, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2018).

Suomen kaivostoimijoita

Boliden oy:llä on Suomessa kaksi kaivosta, Kevitsassa ja Kylylahdessa. Boliden osti Kevitsan avolouhoksen vuonna 2016. Kevitsan kaivos ja rikastamo on otettu käyttöön vuonna 2012, joten kaivos on käynnistysvaiheessa. Kaivoksella työskentelee noin 380 henkilöä. Kaivoksen syvyys on noin 500 metriä. Vuonna 2016 kaivoksella rikastettiin noin 451 800 tonnia malmin. Vuonna 2017 kaivoksella rikastettiin 7 911 000 tonnia malmin. Kevitsan kaivoksen päätuotteita ovat kupari ja nikkeli. Kaivoksen rikaste sisältää mm. nikkeliä, kuparia, kultaa, platinaa ja palladiumia. (boliden.fi.)

Bolidenilla on kaivostoimintaa myös Polvijärven Kylylahdessa. Kaivos siirtyi Bolidenin omistukseen vuonna 2014. Kylylahden kaivos on maanalainen ja sen syvyys on 800 metriä. Vuonna 2017 kaivoksella tuotettiin noin 809 000 tonnia rikastetta. Kaivoksen päätuotteita ovat kupari-, kulta- ja sinkkiriikaste (boliden.fi).

Dragon Miningin oy:n toiminta keskittyy Suomessa Vammalaan, Jokisivuun, Orivedelle ja Kaapelinkulmaan. Vammalan rikastamossa rikastetaan Jokisivun ja Oriveden kultakaivosten malmia. Rikastamossa käsitellään noin 300 000 tonnia malmia vuodessa. Rikastamosta saadaan kahdenlaista rikastetta, suoraan myytäväksi kelpaavaa puhtaampaa rikastetta sekä vaahdotusrikastetta. Vaahdotusrikaste kuljetetaan Dragon Miningin Svartlidenin toimipisteeseen Ruotsissa, missä rikaste jatkojalostetaan Doré-harkoiksi. (dragonmining.com.)

Endomines oy omistaa maanalaisen kultakaivoksen Pampalossa, Ilomantsin läheisyydessä. Alueella on arkeinen orogeeninen kultaesiintymä. Vallatun alueen koko on 296,4 hehtaaria. Esiintymä on löydetty vuonna 1990. Endomines aloitti suuremman mittakaavan toiminnan Pampalossa vuonna 2011. Vuodesta 2016 lähtien louhinnassa on keskitytty rikkaimpiin alueisiin tuottavuuden parantamiseksi.

Endominesilla on rikastamo Pampalossa. Käsittelykapasiteetti on 420 000 tonnia vuodessa. (endomines.com)

Kesäkuussa 2018 Endomines tiedotti keskeyttävänsä väliaikaisesti Pampalon kaivoksen toiminnan, koska toiminnan jatkaminen olisi vaatinut kaivoksen syventämistä, ja toiminta ei ollut kannattavaa senaikaisella kullan hinnalla. Toistaiseksi yhtiö keskittyy kultaesiintymien etsimiseen Karjalan alueelta. (endomines.com.)

Nordkalk oy ab on Pohjois-Euroopassa toimiva kalkkikivipohjaisten tuotteiden valmistaja. Tuotteita toimitetaan useille teollisuudenaloille eri käyttötarkoituksiin kuten vedenkäsittelyyn. Nordkalkin omistaa suomalainen Rettig Group. Yrityksellä on toimintaa Suomessa 10 paikkakunnalla, joista yhdeksässä on kaivostoimintaa. Suurimmat kaivokset ovat Paraisten ja Lappeenrannan avolouhokset sekä Tytyrin maanalainen kaivos Lohjalla. Näiden kaivosten toiminta on aloitettu yli 100 vuotta sitten. Niistä muodostuu 92 prosenttia Nordkalkin 3,07 miljoonan tonnin kalkkikiven tuotannosta Suomessa. Kokonaislouhintamäärä on 4,44 miljoonaa tonnia. Kalkkikiven lisäksi yritys louhii sivukiveä ja Lappeenrannassa myös wollastoniittia. Nordkalk tuottaa myös poltettua ja sammutettua kalkkia. (kaivosvastuu.fi.)

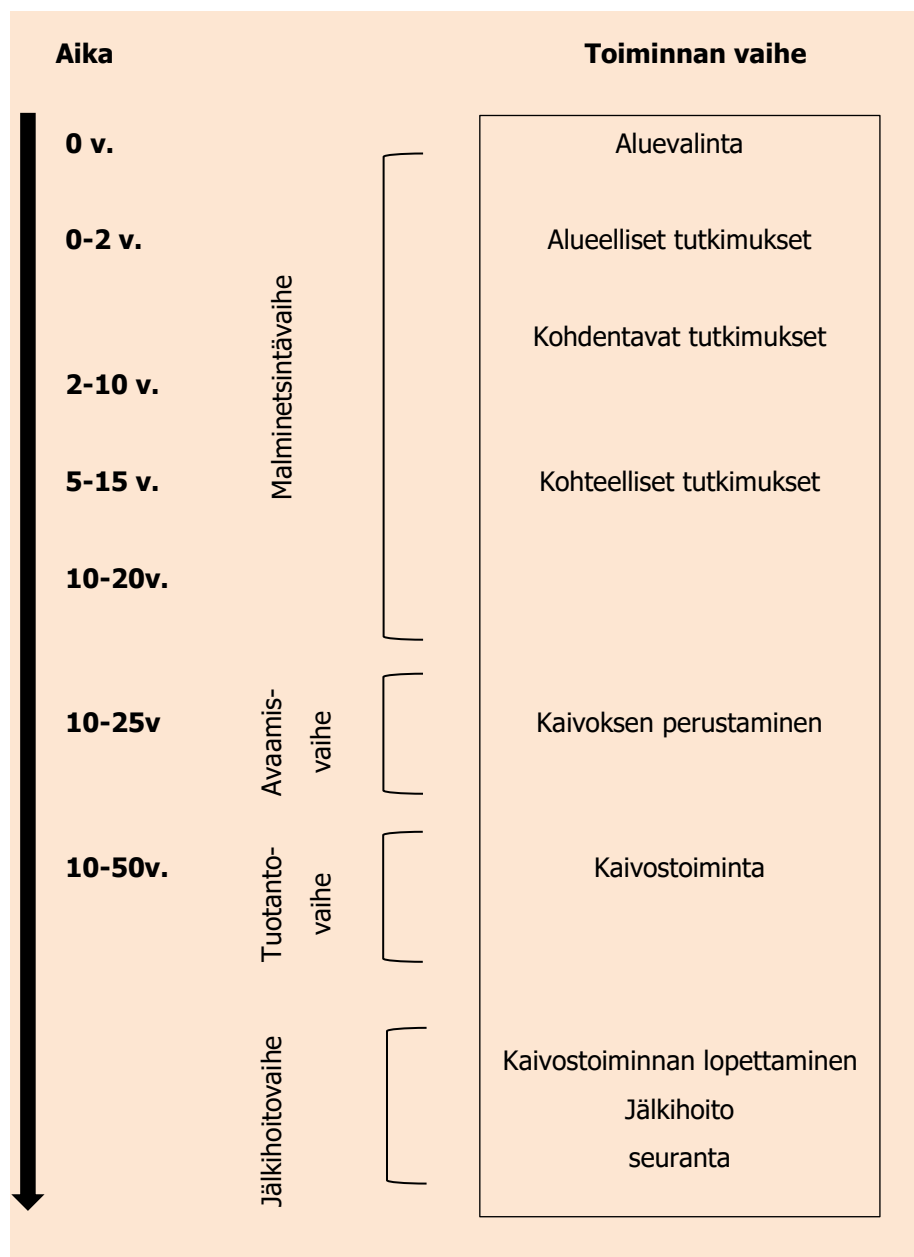
Lappeenrannassa on Nordkalkin suurin tuotantolaitos, johon kuuluu kaivoksen lisäksi jauhatuslaitos, kaksi rikastamo ja myyntikonttori. Lappeenrannan kaivoksessa louhitaan ainoana Euroopassa wollastoniittia. (nordkalk.fi.)

Terrafame Group omistaa 77,1 % Terrafame Oy:stä. Terrafame Group on kokonaan Suomen valtion omistuksessa. (terrafame.fi) Terrafame operoi Sotkamossa sijaitsevaa Talvivaaran kaivosta. Kaivostoiminta aloitettiin vuonna 2008 (mtv.fi). Terrafame osti kaivosoikeudet Talvivaara-konsernilta vuonna 2015. Vuonna 2016 Terrafame vahvisti ostavansa kaivostoimintaan liittyvät omaisuuserät Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj:ltä (terrafame.fi).

Siilinjärvellä sijaitsevilla **Yara Suomi Oy:n** tehtailla ja kaivoksella valmistetaan päätuotteina fosforihappoa ja erilaisia lannoitteita. Lannoitteita tuotetaan noin 300 000 tonnia vuodessa ja fosforihappoa tuotetaan noin 500 000 tonnia vuodessa. Työntekijöitä Siilinjärvellä on noin 600, sisältäen urakoitsijat. Siilinjärven kaivos on tällä hetkellä Länsi-Euroopan ainoa toiminnassa oleva fosfaattikaivos (yara.fi.)

2.2 Kaivoksen elinkaari, tuotannon vaiheet ja ympäristövaikutukset

Kaivoksen elinkaarissa on tyypillisesti neljä päävaihetta: malminetsintävaihe, kaivoksen avaaminen, tuotantovaihe ja jälkihoitovaihe (Kuvio 1).



KUVIO 1. Kaivoksen elinkaari. Muokattu materiaalista Kaivoksen elinkaari, Heikkinen et al. 2005.

2.2.1 Malminetsintävaihe

Malminetsintävaihe saattaa kestää useita vuosia, koska kaivoksen avaamisen edellytyksenä on taloudellisesti hyödynnettävän malmiesiintymän löytäminen. Malminetsintä aloitetaan alueellisella etsinnällä, jonka tavoitteena on selvittää malmipotentialisten vyöhykkeiden sijainti jatkotutkimuksia varten. Etsintävaiheessa hyödynnetään geologisia, geofysikaalisia ja geokemiallisia tietoaineistoja kuten GTK:n kallioperä- ja maaperäkarttoja ja alueellisia moreenigeokemiallisia aineistoja (GTK 2015, 11.)

Malminetsinnän alavaiheena on kohdentava malminetsintä, jonka avulla tutkittavat kohteet rajataan tarkemmin löydetystä malmipotentialisista alueista. Kohdentavassa malminetsinnässä tehdään suoria havaintoja ja mittauksia kalliopaljastumista, lohokareiden etsintää, kallio- ja moreeninäytteenottoa ja näytteiden analysointia (GTK 2015, 12.)

Ympäristövaikutusten arviointi sisältää kaivostoiminnan vaikutukset luontoon, ihmisiin ja yhteiskuntaan. Yleisesti olennaisimpia vaikutuksia kaivostoiminnasta ovat muutokset maankäytössä ja topografiassa, pölyäminen ja melu, sekä rapautuminen ja muut ajan myötä muodostuvat muutokset kaivannaisjätteiden läjitysalueilla ja louhosten seinämissä, ja niiden aiheuttamat muutokset pinta- ja pohjavesiin. (Kauppila, Lampinen, Siirama ja Suomela, toim. Lappalainen ja Paalumäki 2015, 435.)

Malmiesiintymälle tehtävien etsimis- ja tutkimisvaiheiden ympäristövaikutukset ovat yleisesti vähäiset, jos etsintätoimet on suunniteltu hyvin. Luonnonsuojelulliset kohteet tulee kartoittaa ja etsintätyössä välttää kyseisiä alueita. Alueen luonnolle tulee tehdä perustilaselvitys ennen suurempien tutkimuskaivantojen aloittamista, jotta vaikutukset ympäristöön voidaan tunnistaa. Etsintätoimien lopuksi pitää etsinnöistä aiheutuneet jätteet ja jäljet korjata pois luonnosta. (Kauppila ym. 2015, 440.)

2.2.2 Kaivoksen avaamisvaihe

Kun malmiesiintymän louhinta- ja rikastusmenetelmät on valittu ja hyödyntäminen on todettu kannattavaksi, kaivoksen rakentaminen voidaan aloittaa. Rakentaminen kestää yleensä noin kaksi vuotta, jos kaivoksen yhteyteen rakennetaan myös rikastamo. Rakennusvaiheessa kaivokselle tehdään tie- ja sähköyhteydet, kuivatus- ja vedenjohtamisjärjestelmät sekä valmistellaan tuotantolouhintaa. Lisäksi rakennetaan läjitysalueet louhinnassa ja rikastuksessa syntyville kaivannaisjätteille. Avolouhinta-alueilta poistetaan pintamaat. Poistettua pintamaata voidaan hyödyntää kaivosalueella maarakentamisessa. Maanalaisen kaivoksen rakentaminen aloitetaan louhimalla vinotunneli ja mahdollinen nostokuilu sekä huolto-, varasto- ja prosessointitilat. Syntyvät sivukivet hyödynnetään alueen rakennuskohteissa tai läjitetään sivukivialueelle. Kaivosalueelle rakennetaan tarpeellisuusjärjestyksessä pysyvät rakennukset, kuten rikastamo-, varasto- tai toimistorakennukset. (GTK 2015, 12-13.)

Rakentamisvaiheen ympäristövaikutukset näkyvät merkittävänä muutoksena alueen maisemassa ja maankäytössä. Avolouhos vaatii suuria maanpoistoja ja maanalainen kaivos tunneleiden ja kuilujen

perustamisen yhteydessä sivukiven poistamista ja läjittämistä maanpinnalle. Rikastuksen tapahtuessa paikan päällä, tulee kaivokselle tehdä myös rikastusjätteitä varten oma läjitysalueensa. Louhinnan aloittaminen vaikuttaa pohjaveden pinnankorkeuteen ja virtaussuuntiin. Merkittävimmät muutokset kaivosalueen maisemaan, kasvillisuuteen ja pintavesien hydrologiaan aiheutuvat rakennusvaiheessa. Rakentamisvaiheessa tehdään tärkeät ratkaisut päästöihin ja ympäristövaikutuksiin liittyen. Kaivannaisjätteiden läjitysalueiden patoja ja pohjarakenteita on tuotantovaiheessa hankalaa tai jopa mahdotonta muuttaa. Toiminnan suunnittelussa tulee valita sellaiset tekniikat ja menetelmät, joilla minimoidaan päästöjä ja ympäristövaikutuksia. (Kauppila ym. 2015, 440-441.)

2.2.3 Tuotantovaihe

Tuotantovaiheessa malmin irrotetaan kallioperästä avolouhinnalla tai maanalaisella louhinnalla. Usein toiminta aloitetaan avolouhintana ja myöhemmin siirrytään maanalaisen louhintaan. Avolouhintaa tehdään yleensä joko pengerialouhinta tai paikalleen räjäyttämällä. Maanalaisessa louhinnassa käytettäviä tekniikoita ovat mm. pilari-, välitaso-, pengerialouhinta, lyhytreikätyttö-, pengertäyttö-, makasiini-, levysorros- ja lohkosorroslouhinta. Louhitut kivet kuljetetaan murskaamolle autoilla tai hihnakuuljettimilla. (GTK tutkimusraportti 222, 12-14.)

Rikastuksessa louhitun malmin arvoaineet tai -mineraalit irrotetaan. Ennen rikastusta malmi murskataan, seulotaan ja jauhetaan. Prosessin tarkoitus on saada malmi sellaiseen raekokoon, että malmin sisältämät mineraalit voidaan erotella rikastusprosessissa muista mineraaleista. Yleisimpiä rikastusmenetelmiä ovat vaahdotus, ominaispainorikastus, magneettinen rikastus ja liutusmenetelmät. Usein rikastusmenetelmiä yhdistellään paremman saannin varmistamiseksi. Rikastusvaiheessa käytetään usein kemiallisia menetelmiä tehostamaan arvoaineiden erottumista muusta kiviaineksestä. Rikastuksen lopputuotteena on kuiva, hienoksi jauhettu arvometallit sisältävä mineraaliaines. Toisaalta osa malmeista on käyttökelpoista sellaisenaan, esimerkiksi murskattu kalkkikivi. (GTK 2015, 14.)

Kaivostoiminnan sivutuotteena syntyy rikastushiekkaa ja hyödyntämätöntä sivukiveä. Rikastushiekka koostuu jauhetusta malmi- ja haimemineraaleista ja rikastuskemikaalien jäämistä. Jos sivukivi tai rikastushiekka ei sovellu hyötykäyttöön kaivosalueella, ne läjitetään varastokasoihin tai jätealtilsiin. Muita kaivostoiminnan tuottamia jätteitä ovat mm. poistettavat pintamaat ja rikastuksessa tai vesien käsittelyssä syntyvät lietteet ja sakat. Yleensä lietteet ja sakat läjitetään omiin läjitysalttilsiinsa. (GTK 2015, 14-15.)

Tuotantovaiheessa malmi louhitaan, murskataan ja jauhetaan rikastusprosessiin sopivaksi. Nämä ovat vaiheita, joista lähes kaikista tulee päästöjä ilmaan tai veteen, jonka lisäksi toiminta aiheuttaa melua ja tärinää. Määrältään suurimmat päästöt louhinnassa ja rikastuksessa ovat niistä muodostuvat kaivannaisjätteet. Päästöihin ja ympäristövaikutuksiin vaikuttavat malmin koostumus ja käsittelyssä käytettävistä menetelmistä. Toiminnan aikana merkittävimmät vaikutukset luonnonympäristöön aiheutuvat pölyämisestä ja alueen vesistöjen muutoksista. Toiminta muuttaa jatkossakin maisemaa varastoitujen kaivannaisjätteiden määrän lisääntyessä. Tehokkaimmin päästöistä aiheutuvia

ympäristövaikutuksia vähennetään päästöjä pienentämällä ja ennaltaehkäisemällä. Kaivostoiminnasta vesiin aiheutuu päästöjä louhinnasta ja kaivoksen kuivanapitovesistä, rikastusprosessista, vesien hallinnasta sekä kaivannaisjätteiden varastoimisesta. Pohjavettä ja louhokseen valuvaa pintavettä pumpataan pois kaivoksen kuivana pitämiseksi. Pumpkauksen seurauksena pohjaveden pinnan korkeus alenee, joka voi aiheuttaa lähialueen kaivojen kuivumista. Kuivanapitovesissä on kiintoainesta, räjähdysaineita ja malmista peräisin olevia haitta-aineita (metalleja, puolimetalteja, suoloja, typen yhdisteitä) sekä mahdollisesti myös koneista valuneita öljyjä. Rikastusprosessin jätevedet sisältävät malmissa olevia haitta-aineita ja jäämiä rikastuskemikaaleista (metalleja, puolimetalteja, suoloja, orgaanisia yhdisteitä, ravinteita). Jätevesistä johtuvia päästöjä vähennetään vesiä puhdistamalla ennen niiden johtamista vesistöihin. Puhdistamisessa käytetään esimerkiksi kemikaalilisäyksiä, ilmastusta, laskeuttamista, kosteikkoja tai imeytyskenttiä, reaktiivisia ojia tai patoja. (Kauppila ym. 2015, 441-442.)

2.2.4 Jälkihoitovaihe

Kaivostoiminnan päättyessä aloitetaan kaivoksen sulkemis- ja jälkihoitovaihe. Kaivosalueelta poistetaan tarpeettomat rakenteet ja varmistetaan, että jäljelle jäävistä rakenteista ei aiheudu riskejä tai haittoja luonnolle, ihmisille tai alueen jatkokäytölle. Suljettu kaivosalue voi muodostua merkittäväksi elinympäristöksi uusille lajeille, jolloin alueen kunnostuksessa tulee huomioida uusien lajien asettuminen alueelle. (GTK 2015, 15.)

Sulkemisvaiheen suunnittelu on syytä aloittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa kaivoksen elinkaarta, jotta ympäristövaikutuksia voidaan vähentää ennaltaehkäisevästi. Varsinainen sulkemissuunnitelma tehdään ympäristölupaa hakiessa ja sitä pitää päivittää kaivostoiminnan edetessä. Kaikille kaivosalueen toiminnoille laaditaan sulkemissuunnitelma, jossa kuvataan sulkemisen tavoitteet ja toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi. Sulkemistoimenpiteet määritetään tapauskohtaisesti, huomioiden kaivoksen erityispiirteet, kuten malmityyppi, louhintatapa, muodostuvat loppusijoitettavat massat, alueen sijainti ja todetut ympäristövaikutukset. (GTK 2015, 15.)

Kaivoksen kannattavuus arvioinnissa tulisi huomioida myös sulkemiskustannukset. Kaivosluvan haltija veloitetaan asettamaan lopetus- ja jälkihoitotoimenpiteitä varten kaivoslain mukainen vakuus, joka on sidoksissa toiminnan laajuuden ja laadun kanssa. Vakuuden suuruuden päättää lupaviranomainen. Sulkemissuunnitelmaan tulee kaivostoiminnan edetessä päivityksiä, jotka vastaavat toimintaa ja toiminnalle annettuja lupaehtoja. Lopullinen sulkemissuunnitelma tehdään 1-2 vuotta ennen sulkemistoimenpiteisiin ryhtymistä. (Kauppila ym. 2015, 444-445.)

Kaivoksen sulkemisen jälkeen aloitetaan seurantavaihe. Seurantavaiheessa varmistetaan, että asetetut tavoitteet saavutetaan, ja että ratkaisut toimivat suunnitellulla tavalla. Seuranta vaativia asioita voivat olla esimerkiksi vesienkäsittelyn tai läjitysalueiden peittorakenteiden toimivuus, alueen vedenlaatu tai kaivospatojen, loppusijoitettujen läjitysalueiden ja sortumavaarallisten alueiden fyysikaalinen vakaus. Toisaalta alueella voi olla keskenään ristiriidassa olevia sulkemistarpeita, jolloin ratkaisut tehdään tapauskohtaisesti. (GTK 2015, 15.)

3 KIVIAINESTEN TUTKIMUKSISSA KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT

3.1 Kivilajit

Kivilajit jaotellaan yleisesti syntyperänsä mukaisiin pääluokkiin syväkivet, vulkaaniset eli pintakivet, sedimenttikivet ja metamorfiset kivilajit. Kotimainen kallioperä muodostuu pääosin syväkivilajeista ja metamorfisista kivilajeista. Sedimenttikiviä esiintyy vain pienehköllä ja rajatulla alueella. Geologisesti kivilajien luokitteluun vaikuttavat synty tapa, mineraalikoostumus, rakenne ja kiven muuttumisasteen mukainen yksikkö. Yli puolet kallioperämme alasta koostuu syväkivilajeista kuten, graniitti, dioriitti, garbo ja peridotiitti. Metamorfisten kivilajien osuus on noin 40 % kallioperästä, joista yleisimpinä Suomessa ovat gneissit, amfiboliitit, liuskeet, kvartsiitit ja leptiitit. (Patrikainen 1983, 6.)

Kivilajeilla on ominainen mineraalikoostumus. Lisäksi kivilajeilla on fysikaalis-kemiallisista ominaisuuksista koostuvia materiaaliominaisuuksia. Luokitusominaisuuksiin kuuluu esimerkiksi raekoko, raemuoto, rakeiden lohkeavuus, huokoisuus, ominaispaino, tiheys ja tilavuuspaino. Ominaisuudet ovat kokonaan samanlaisia kivilajin ollessa homogeeninen, mutta ominaisuuksien vaihtelu tekee kivilajista heterogeenisen. Mineraalirakeiden muoto vaikuttaa kuinka lujasti kivilajin rakeet ovat kiinnittyneet toisiinsa. Erimuotoiset ja sekaisin olevat rosoiset rakeet muodostavat lujemman rakenteen kuin samat mineraalit pyöreinä ja sileäpintaisina. (Patrikainen 1983, 8.)

Mineraalit muodostovat yksin tai yhdessä toisten mineraalien kanssa eri kivilajeja ja kivilajit muodostavat kallioperän. Silikaatit mineraaliryhmä muodostostaa 90 % maankuoresta. Niiden sisältämiä metalleja ei yleisesti voida hyödyntää liian alhaisten pitoisuuksien takia. Myös metallien luja sitoutuminen mineraalin atomirakenteeseen vaikeuttaa erottamista. Yleisimmät malmimineraalit ovat oksideja tai sulfideja, jotka sisältävät paljon metalleja ja niiden erottaminen on taloudellisesti kannattavaa. (kaiva.fi.)

3.2 Kiven muodonmuutos, lujuus ja testausmenetelmät

Kiven muodonmuutos- ja lujuusominaisuuksien tietoja tarvitaan louhoksen seinämän stabiliteettia määritettäessä, kallioluokituksissa, kalliomekaanisessa suunnittelussa, tunnelikartoituksissa, poraus- ja räjäytyssuunnittelussa.

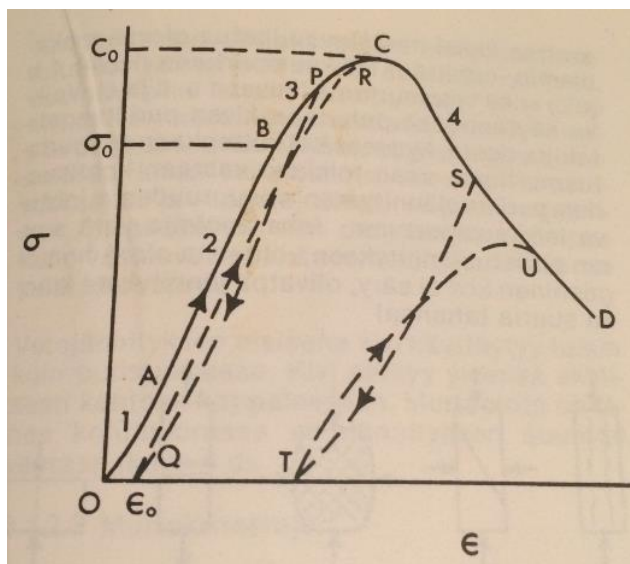
Kiven lujuuteen vaikuttavat sisäiset tekijät ovat kivilajin muodostavien mineraalien laatu, lujuus, lohkeavuus, murtumistaipumus, raekoko ja rakeen yhteenliittymistapa, rapautuneisuus ja rakenne. Ulkoiset lujuuteen vaikuttavat tekijät ovat lämpötila, kosteus ja mekaanisen jännityksen kasvunopeus. (Patrikainen 1983, 12.)

Kiven muodonmuutos- ja lujuusominaisuuksia tutkitaan puristamalla aksiaalisesi lieriön muotoista koekappaletta, jonka halkaisija on noin 54 mm ja pituus 2,5 – 3 kertaa halkaisija. Akselin ja halkaisijan suuntaiset muodonmuutokset kuormituksessa voidaan mitata koekappaleeseen kiinnitettyjen venymäliuska-anturien tai ekstensometrinen (kuva 2) avulla. (Särkkä ja Johansson 1982, 48.)



KUVA 2. Ekstensometri malli 0712 (Toni Technik 2018.)

Jännitys-muodonmuutuskäyrällä (kuvio 2.) kuvataan kiven käyttäytymistä jännityksen alaisena. Käyrän alueilla OA ja AB kivi toimii melkein elastistisesti. Alueella BC käyrä alkaa kääntyä vaakasuoraksi, jolloin jännitys on aiheuttanut kiveen palauttamattomia muutoksia, ja peräkkäisillä kuormituskerroilla käyrät muuttuvat. Kuormitettaessa kiveä uudelleen saadaan poikkiviivoilla kuvattu QR, jossa poikkeavuutta on jo havaittavissa. Käyrän viimeinen osuus CD alkaa muodonmuutuskäyrän huipulta ja sille normaalia on jännityksen lasku muodonmuutoksen kasvaessa. Kuormituksen loputtua kiveen jää merkittävä pysyvä muodonmuutos. Kiveä vielä kuormitettaessa käyrän kohtaa S ei enää savuuteta. (Särkkä ym. 1982, 49.)



KUVIO 2. Kiven täydellinen jännitys-muodonmuutuskäyrä. (Särkkä ym. 1982, 49)

Kiveä voidaan kuvata sitkeäksi, jos sen kuormankantokykyä ei menetetä pysyvällä muodonmuutoksella. Toisaalta kiven kuormitusolojen muuttuessa sama kivi voi menettää kuormankantokykyä muodonmuutoksen kasvaessa. Kiven tärkeimpiä muodonmuutosominaisuuksia voidaan kuvata kimmodulilla eli kimmokerroin E (Young's modulus) ja Poissonin luvulla ν (Poisson's ratio). Ne vaihtelevat yhdelläkin kivellä varsin suurissa rajoissa kuormitustilanteen mukaan.

Kimmokertoimalla tarkoitetaan kiveen vaikuttavan jännityksen suhdetta jännityksen suuntaiseen muodonmuutokseen. Niiden suhdetta voidaan mitata erilaisissa kuormitusilanteissa tangenttimoduulina, joka voidaan matemaattisesti esittää kuvion 3. merkinnöillä:

$$E = \frac{L \Delta F}{A \Delta \varepsilon_l} \quad (1)$$

missä

E = kimmokerroin (GPa)

L = näytteen alkuperäinen pituus (mm)

ΔF = voiman muutos (N)

A = näytteen poikkipinta-ala (mm^2)

$\Delta \varepsilon_l$ = näytteen pituuden muutos (mm)

Suomalaisilla kivillä kimmokertoimiksi on mitattu lukemia alueelta 20 – 160 GN/m². (Särkkä ym. 1982, 49.)

Poissonin luvulla tarkoitetaan jännitystä vastaan kohtisuoran muodonmuutoksen suhdetta jännityksen suuntaiseen muodonmuutokseen. Poissonin luvun esitys kuvion 3 merkinnöillä onnistuu matemaattisesti seuraavalla kaavalla:

$$\nu = \frac{L \varepsilon_r}{r \varepsilon_l} \quad (2)$$

missä

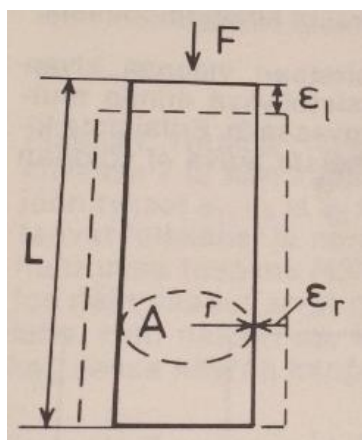
ν = Poissonin luku

L = näytteen alkuperäinen pituus (mm)

ε_r = näytteen säteen muutos (mm)

r = näytteen alkuperäinen säde (mm)

ε_l = näytteen pituuden muutos (mm)



KUVIO 3. Kiven muodonmuutoksen tunnuslukujen mittausmenetelmä. (Särkkä 1982, 49)

Teoriassa kiven käyttäessä elastisesti voi Poissonin luku olla alueella 0 – 0,5, mutta käytännössä mitatut lukemat ovat alueella 0,1 – 0,4. Jännitystason kasvaessa Poissonin luvulla on tapana kasvaa. (Särkkä ym. 1982, 49-50.)

Kiven lujuudella yleensä tarkoitetaan kiven suurinta kuormituksensietokykyä ennen murtumista, kuten esimerkiksi kuvion 2 käyrän kohdassa C. Homogeeninen kivi ei murru jos sitä kuormitetaan yhtä suurella puristusjännityksellä joka puolelta. Yksiaksaaliset puristumurtolujuudet vaihtelevat tavallisesti suomalaisilla kivillä 40 – 300 MPa välillä ja taulukossa 1 nähtävät lukemat ovat ohjeellisia arvoja. Nämä voivat käytännössä vaihdella suuremmissakin rajoissa. Lujuuteen vaikuttaa pääasiassa kiven rakenne, mineraalikoostumus ja mineraalikoko. Homogeeninen ja pienirakeinen kivi on yleisesti lujempaa kuin vastaava useista erilaisista isoista rakeista koostuva. Kivi käyttäytyy vetojännityksen alaisena erilaisesti kuin puristuksessa. Se särkyä yleensä äkillisesti kahteen osaan murtopinnan ollessa lähes kohtisuorassa vetojännityksen suuntaa vastaan. (Särkkä ym. 1982, 50-51.)

Taulukko 1. Tavallisimpia puristumurtolujuuksia muutamille suomalaisille kivilajeille. (Patrikainen, Pekka, GTK 1983.)

Kivilaji	Puristumurtolujuus, (MPa)
graniitti	200...350
gneissi	150...300
gabro	260...350
amfiboliitti	150...450
kvartsiitti	200...300
kiilleliuske	100...250
leptiitti	200...450
kalkkikivi	50...150
rapakivi	100...250

3.3 Testausmenetelmien käytännön suoritus

Näytekappaleen vaatimuksissa mitoituksen, muodon ja pinnan sallitut mittapoikkeamarajat ovat tärkeitä kiven ominaisuuksia määritettäessä. Näytteen tulee olla pyöreän sylinterin muotoinen ja sen pituuden ja halkaisijan suhde tulee olla 2,0 – 2,5, jonka lisäksi halkaisijan ei tulisi olla alle 47 mm, mielellään 54 mm. Halkaisijan olisi suositeltavaa olla vähintään kymmenkertainen suurimpaan mineraalin raekokoon nähden. Näytteen vaipan tulee olla yleisesti sileä ja vapaa suurista poikkeavuuksista pinnassa. Sivujen pitää olla koko näytteen pituudelta suora 0,50 mm sallitulla heitolla. Päädyt tulee leikata yhdensuuntaisiksi ja oikeaan kulmaan pituusakseliin nähden, sekä ne tulee olla hiottu tasaisiksi 25 mikrometrin tarkkuudella. Näytteen suoritus mitataan halkaisija mittalaitteella 120 asteen väleillä kolmesta suunnasta näytteen vaippaa. Päätyihin tehdään kaksi halkaisija merkkiä ja niiden avulla mitataan päätyjen tasaisuus. Päätyjen tasaisuus tarkastetaan vielä asettamalla suorakulmamittaa vasten ja silmämääräisesti tarkastamalla, ettei rakoja löydy näytteen ja työkalun väliltä. Näytekappaleen pituus ja halkaisija mitat otetaan raporttiin ylös. (ASTM D 4543 – 85.)

Yksiaksaalinen puristuslujuus (kuva 3) eli UCS (Uniaxial compressive strength) testi tehdään edellä kuvailulla näytekappaleella. Näyte asetetaan pysty suunnassa puristimeen näytteen muotoisten teräslevyjen väliin, joiden Rockwell-kovuusluokan ei tulisi olla alle 58 HRC. Levyjen halkaisijan tulee olla väliltä D ja D + 2 mm, jossa D on näytteen halkaisija ja levyjen tulisi olla vähintään 15 mm

paksut. Näytteitä ei tulisi säilyttää yli 30 päivää. Näytteen lujuutta määritettäessä kuormaa tulee lisätä jatkuvasti siten, että kuormaa lisätään välillä 0,5 – 1,0 MPa/s. Näytteitä tulee tehdä vähintään viisi kappaletta, jotta saadaan luotettavat keskiarvot. Yksiaksaalinen puristuslujuus lasketaan seuraavalla kaavalla (isrm.net.)

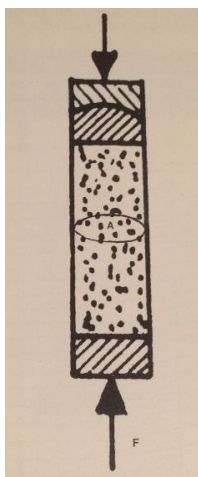
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

missä

σ = yksiaksaalinen puristuslujuus (MPa),

F = murtokuorma (N)

A = poikkileikkauspinta-ala (mm²)



KUVA 3. Yksiaksaalinen puristumurtolujuuden määrittäminen. (Särkkä 1982, 67)

Yksiaksaalisen puristuslujuuden määrittämisen yhteydessä ekstensometrillä voidaan näytteen keskeltä määrittää sivulla 14 kuvio 2. kaltaiset jännitys-muodonmuutoskäyrät, joiden avulla voidaan määrittää kiven kimmokerroin sekä Poissonin luku. Kyseisessä esimerkki kuviossa on ainoastaan jännityksenmuutosta kuvaava käyrä. Aksiaalista kuormaa jatkuvasti lisätään, jonka yhteydessä aksiaalista ja poikittaista muodonmuutos tietoa monitoroidaan jännityksen funktiona. Kun murtolujuus saavutetaan, on monitorille piirtynyt lujuuskäyrän lisäksi myös aksiaalinen ja poikittainen venymäkäyristä nähtävät lukemat. Näiden avulla saadaan laskettua muodonmuutoskerroimet. **Kimmokerroin** on aksiaalisen jännityksen ja aksiaalisen pituuden muutoksen suhde

$$E = \frac{\sigma_a}{\varepsilon_a} \quad (4)$$

missä

E = kimmokerroin (GPa)

σ_a = aksiaalinen jännitys (N)

ε_a = aksiaalinen suhteellinen pituudenmuutos (mm)

Aksiaalisesta venymäkäyrästä lasketaan tangenttimoduulin avulla jännityksen muutoksen suhde jaettuna venymän muutoksen suhde kuormituksen kohdasta 50 prosenttia. **Poissonin luku** määritetään kaavalla

$$\nu = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_a} \quad (5)$$

missä

ν = Poissonin luku

ϵ_l = halkaisijan muutos (mm)

ϵ_a = aksiaalinen pituudenmuutos (mm)

Jännitysmuodonmuutoskäyristä lasketaan Poissonin luku jakamalla aksiaalisen muutoskäyrän kulmakertoimen poikkittaisen muutoskäyrän kulmakertoimella.

Epäsuora vetolujuus eli **Brazilian testi** (kuva 4), on yleisesti suositellumpi testi vetolujuuden määrittämiseksi, koska se on suoraa vetolujuuden määrittystä yksinkertaisempi ja edullisempi tehdä. Kalliomekaanista suunnittelua tehdessä käsitellään kalliioon kohdistuvia erilaisia puristus- ja vetojännityksiä, joiden määrittämisessä puristus- ja vetolujuus tarjoavat olosuhteita kuvaavampaa tietoa.

Näytteen tulee olla kiekon muotoinen kappale, jonka halkaisijan tulisi olla 54mm ja paksuus halkaisija suhteen olla välillä 0,2 ja 0,75. Näytekappaleita tulisi testata ainakin kymmenen kappaletta keskiarvojen saamiseksi. Näyte asetetaan kyljelleen puristimeen kuvan 4 mukaisesti. Puristimen levyt asetetaan näytteeseen kiinni löyhästi, jonka jälkeen puristusta lisätään jatkuvasti 0.05 ja 0.35 MPa/s lisäys tahdilla, jota jatketaan kunnes näyte murtuu ja saadaan tulos tallennettua. Vetolujuus lasketaan alla olevasta kaavasta (ism.net.; ASTM 1991.)

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi Dt} = 0,636 \frac{P}{Dt} \quad (6)$$

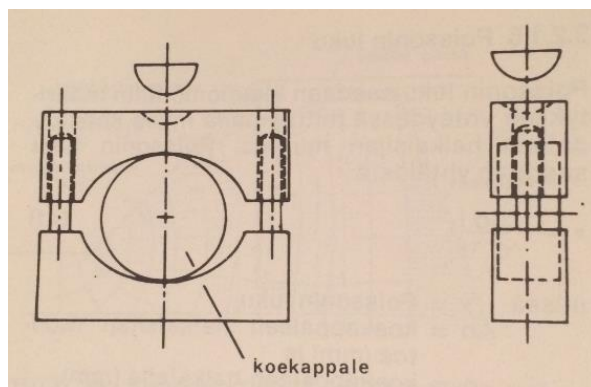
missä

σ_t = vetolujuus (MPa)

P = murtokuorma (N)

D = näytteen halkaisija (mm)

t = näytteen pituus (mm)



Kuva 4. Brazilian testillä määritettävä vetolujuus. (Särkkä ym. 1982, 68)

4 SAVONIAN TARJOAMAT PALVELUT KAIVOSTEOLLISUUDEN KIVIAINEKSELLE

Savonian rakennustekniikan laboratorio on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T301, joka täyttää kansainvälisen standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaiset akkreditointivaatimukset kalibrointi ja testauslaboratoriolle. Laboratorion testaus- ja mittauspalveluihin kuuluvat seuraavat akkreditoidut betonitestaukset: puristuslujuuden (SFS-EN 12390-3, SFS-EN 12504-1), paineellisen veden tunkeutuman (SFS-EN 12390-8), huokosjaon (SFS-EN 480-11:2005) ja tiheyden määritykset (SFS-EN 12390-7). Muita betonitestauksia ovat vetolujuus (SFS 5445), absoluuttinen kosteuden määrittäminen (VTT-2650), halkaisulujuus (SFS-EN 12390-6), tartuntalujuus (SFS 5446), kloridipitoisuus (SFS-EN 14629) ja kimmovasaratestausta (SFS-EN 12504-2:2013). Kiviainestestauksena tehdään kairasydännäytteille UCS eli yksiaksaalista puristuslujuutta (D7012-14e1) ja vetolujuuden määritystä. Tarkoituksena on laajentaa tarjontaa kimmokertoimen ja Poissonin luvun määritykseen sekä Brazilian testiin (ASTM D3967-16). Lisäksi rakennustekniikan laboratorio tekee rakennusfysikaalisia mittauksia kuten rakennusakustiset mittaukset (SFS 5907:en), rakennusten tiiviysmittaukset (SFS-EN ISO 9972:en), rakennusten paine-eromittaus (SFS-EN 12599), radonmittaus (SFS-EN 11665-1:en) ja lämpökamerakuvaus (RT 14-10850). Uutena laboratoriossa tehdään myös kimmovasaran kalibrointipalvelut Liikenneviraston ohjeen 21/2016 "Kimmovasaran käyttäjän ohjeen" mukaisesti. (rakennustekniikka.savonia.fi)

5 KAIVOSALAN TUTKIMUSPALVELUJEN KARTOITUS

Kartoitus suoritettiin aluksi selvittämällä mitä kaivoksia Suomessa ylipäättään on toiminnassa. Entuudestaan tuttujen lähialueilla toimivien ja mediassa näkyvillä olevien kaivosten lisäksi kaivoksia on kaikkiaan aktiivisena 44, joista yhteydenottoja yritettiin noin puoleen. Useiden toimijoiden ympäristö- ja geotekniikan osajien yhteystietoja on verrattain hankalasti saatavilla ja kaivosten kiireistä johtuen heikosti tavoiteltavissa opinnäytetyötä varten. Lopulta viiden kaivoksen kanssa saatiin haastattelut suoritettua kaivoskäynneillä ja videohaastattelulla. Haastatteluissa esiteltiin Savonian laboratorioden tarjontaa ja selvitettiin kaivosten nykyisin käytössä olevia ja tulevaisuudessa tarvittavia kiven testaustarpeita. Kaivoksilta kartoitettiin saman aikaisesti sekä kaivosvesien, että kiviaineksen testaus- ja tutkimustarpeet. Liitteessä 1 kaivoksilla esitetty rakennustekniikan laboratorion esittelymateriaali.

Haastattelujen pohjalta raportoidut tutkimustarpeet ja kirjallisuusselvityksen avulla löydetyt kiviainestestausten hyödyntämiskohteet on käsitelty ja luovutettu tilaajalle.

6 SAVONIAN KYKY VASTATA TARPEISIIN

Savonian rakennustekniikan laboratorion nykyisen laitteiston ja mahdollisten lisälaittehankintojen kautta saavutettavaa laajempaa kiviainestestausten tarjontaa verrattiin kaivoksilla havaittuihin testitarpeisiin. Savonian kyky vastata kiviaineksen puristus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämisen tarpeeseen on hyvällä tasolla. Selvityksessä esitettiin kohdennetusti testien hyödyntämiskohdet ja minkä alan toimijoilla niille olisi tarvetta. Savonian testauspalveluiden hyödyntäminen kohdistuu kaivostoiminnan aloittamisessa tehtäviin kalliomekaanisiin tutkimuksiin ja tuotantovaiheen louhintaan vaikuttaviin kiveaineksen lujuuden määrittäisiin ja kaivosturvallisuuteen.

Yksityiskohtainen selvitys Savonian kyvystä vastata tarpeisiin on luovutettu tilaajalle.

7 KILPAILIJA-ANALYYSI RAKENNUSTEKNIIKAN LABORATORION KIVITESTAUKSISTA

Kilpailija-analyysissä vertailtiin Savonia-ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratorion palveluita muihin kiviainestestauksia tekeviin yrityksiin, sekä muihin akkreditoitua betonin puristuslujuutta määrittäviin ammattikorkeakouluihin ja yliopistoihin. Vertailu tehtiin kartoittamalla yritysten ja korkeakoulujen palvelutarjontaa niiden verkkosivuilta. Kiviainestestauksen osalta selvitettiin yksiaksiaalisen puristuslujuuden, epäsuoran vetolujuuden, kimmokertoimen ja Poissonin luvun määrittäviä tekevät toimijat.

Kilpailija-analyysin tulokset on luovutettu tilaajalle.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tehtävänä oli selvittää kaivosteollisuuden kivianeksen testaustarpeet ja perehtyä kiviaineksen yksiaksaalisen puristuslujuuden, Brazilian testin, kimmokertoimen ja Poissonin luvun määrittysten teoriaan. Tehtävään kuului myös selvitys laitteistohankinnoista. Pelkkien kiviainestestauksen standardien pohjalta testien teoria, suorittaminen ja merkitys avautuu kalliomekaniikkaa opiskelemattomalle ihmisille heikosti. ISRM (International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering) nettisivuilta löytyy kiviainestesteistä paljon teoriaa. Videoiden perusteella testimenetelmät tulevat helpommin tutuksi. Kaivoskäynneillä saatiin varsin yksiselkoinen kartoitustulos testaustarpeista kiviaineksen osalta. Hyödyllisenä voidaan pitää tietoa siitä, että kaivokset eivät tarvitse kiviainestestauksia. Tämä auttoi ymmärtämään tarpeen olevan maa- ja kalliorakentamiseen erikoistuneilla urakoitsijoilla, jotka toimivat kaivosten louhoksilla. Kiviainestestien teoria ei ole tässä työssä avattuna parhaalla mahdollisella tavalla. Kyseisten testien tekeminen itse olisi mahdollisesti antanut työhön paremman näkemyksen. Laitehankintojen selvitys jäi teoria tasolle ja kustannuksista ei saatu tietoa.

Opinnäytetyö perustuu lähtöoletukselle, että kaivosteollisuudessa tarvitaan kiviaineksen lujuus- ja muodonmuutostietoja. Työn alussa selvityksen alaisena oli, mitä puristus- ja vetolujuus, kimmokerroin ja Poissonin luvun määrittämisessä ylipäätään tutkitaan ja mitkä ovat niiden hyödyntämistarkoitukset. Menetelmistä löytyy internetistä paljon tutkielmia ja vertailuja testien korrelaatioista. Varsinainen käyttötarkoitus, jonka selvittämistä varten kyseisiä tietoja pitäisi testata, on vaikea löytää.

Kaivoshaastatteluiden kautta ilmeni, ettei itse kaivostoimijoilla juurikaan löytynyt tarvetta kiviainestestauksille ulkopuoliselta taholta. Käyttökohde kiven puristuslujuudelle tunnistettiin louhoksen seinämän stabiliteetin määrittämisessä. Muutoin tarve siirtyy louhintaa ja kalliorakennustyötä tekeville toimijoille. Kiviaineksen ominaisuustietoja tarvitaan poraus- ja räjäytyssunnittelussa. Tietoja kiviaineksesta tarvitaan myös kallion murtokriteerin määrittämisessä, sekä tunnelin ja kalliotilan kestävyys- ja turvallisuus selvityksissä.

Selvitystä tehtäessä keskittyi tarpeenkartoitus nimenomaan kaivosyhtiöihin ja koko kaivostoimintaan, joka on laaja prosessi. Parempaa tietoa kiviainestestauksen tarpeista ja hyödyistä olisi saanut haastatteluilla kalliomekaniikkaa, kalliorakentamista ja louhintaa pääasiallisena toimena tekevien yritysten suunnittelijoiden kanssa. Ylipäätään kalliomekaniikkaa tai kalliorakentamista käsittelevän kurssin opiskeleminen olisi toiminut erinomaisena pohjana kyseisen selvityksen tekemiselle. Opinnäytetyön tekijän parhaita lähtökohtia olisi myös osata kyseenalaistaa selvitettävän lähtötiedon paikkaansa pitävyys ja perusteet.

Savonian rakennustekniikan laboratoriolta on betonintestauksen pohjalta hyvä lähtökohta pohtia myös laajemman kiviainestestauksen tekemistä. Mahdollisten laitehankintojen yhteydessä olisi loistava mahdollisuus opinnäytetyön tekemiselle, joka sisältäisi yritykselle tehtävät koenäytteiden lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien testaukset. Niiden avulla opinnäytetyö saisi laadukasta sisältöä ja yritys hyödyllistä tietoa mahdollisia uusia testejä varten.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ASTM 1991. Standard practices for preparing rock core specimens and determining dimensional and shape tolerances. Reapproved 1991. United States: American Society for testing and materials.

ASTM 2016. Standard test method for splitting tensile strength of intact rock core specimens. ASTM D3967- 16. Approved 2016. United States: American Society for testing and materials.

Boliden.com. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-10-08]. Saatavissa: <https://www.boliden.com/fi/>

Polku: boliden.com/fi. Operations. Mines. Boliden Kevitsa.

Boliden.com. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-10-08]. Saatavissa: <http://www.boliden.com/fi/>

Polku: boliden.com/fi. Operations. Mines. Boliden Kylylahti.

Dragonmining.com. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-10-01] Saatavissa: <http://www.dragonmining.com>. Polku: dragonmining.com. Operations.

Endomines.com. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-10-01] Saatavissa: <https://endomines.com/fi/>. Polku: endomines.com/fi. Sijoittajat. Tiedotteet.

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS 2015. [verkkoaineisto]. Tutkimusraportti 222. Hyviä käytäntöjä kaivos- ja louhinta- ja kaivostekniikan ympäristövaikutusten arvioinnissa. Saatavissa: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_222.pdf

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS, TURVALLISUUS- JA KEMIKAALIVIRASTO 2018. Suomen kaivokset, joissa malmeja louhittiin vuonna 2017. [verkkoaineisto] [viitattu 2018-10-08] Saatavissa: <https://kaiva.fi/> Polku: kaiva.fi. Kaivannaisala. Kaivostoiminta.

Isrm.net. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-11-22] Saatavissa: <http://isrm.net/>.

Polku: isrm.net. Products and publications. ISRM suggested methods.

Isrm.net. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-11-25]. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. Saatavissa: https://www.isrm.net/fo-tos/gca/1129631264isrm_sm_uniaxial_compressive_strength_and_deformability-_1979.pdf

Kaiva.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-11-26]. Saatavissa: <http://kaiva.fi/> .

Polku: kaiva.fi. Geologia. Kivilajit ja malmien synty. Alkuaineet;

Kaivosvastuu.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-10-08] Saatavissa: <https://www.kaivosvastuu.fi/yrityskortti/>. Polku: <https://www.kaivosvastuu.fi/yrityskortti/>. 2016 Nordkalk Oy Ab.

KAUPPILA, Päivi, LAMPINEN, Hanna, SIIRAMA, Lauri ja SUOMELA, Pekka 2015. 21. Ympäristövaikutusten hallinta ja ohjaus. Julkaisussa LAPPALAINEN, Pekka ja PAALUMÄKI, Tauno (toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Helsinki: Kaivosteollisuus ry ja Opetushallitus, 435 – 445.

LIKAMAA, Terho 2018. Kaivosviranomaisen (Tukes) ajankohtaiskatsaus malminetsinnästä ja kaivosteollisuudesta vuodelta 2018 [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <https://tukes.fi/documents/5470659/6373016/Kaivosviranomaisen+ajankohtaiskatsaus+malminetsinn%C3%A4st%C3%A4+ja+kaivosteollisuudesta+vuodelta+2017/d00e753d-2593-4fae-a4c7-64b788958505/Kaivosviranomaisen+ajankohtaiskatsaus+malminetsinn%C3%A4st%C3%A4+ja+kaivosteollisuudesta+vuodelta+2017.pdf>

Mtv.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-10-01] Saatavissa: <https://www.mtv.fi/uutiset/talous/artikkeli/sotkamossa-alkoi-nikkelin-tuotanto/2104366>

Nordkalk.com. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-10-08] Saatavissa: <http://www.nordkalk.fi>. Polku: Yhteystiedot. Toimipaikat. Lappeenranta.

PATRIKAINEN, Pekka 1983. Suomen kivilajien merkittävimmät materiaaliominaisuudet ydinjätteen loppusijoituksen kannalta. Geologian tutkimuslaitos, Espoo. Saatavissa: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/ydinjate/yst_025.pdf

Savonia.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-7-10] Saatavissa: <http://rakennustekniikka.savonia.fi/fi/>

Polku: rakennustekniikka.savonia.fi/fi/. Palvelut.

SÄRKKÄ, Pekka ja JOHANSSON, Erik 1982. 3. Kalliomekaniikka. Julkaisussa MATIKAINEN, Risto (toim.) Kaivos- ja louhintatekniikan käsikirja. Hanko: Vuorimiesyhdistys, 48 – 51, 67 – 68.

SUOMELA, Pekka ja SÄRKKÄ, Pekka 2011. 1. Kaivostoiminta. Julkaisussa: PAALUMÄKI, Tauno, LAPPALAINEN, Pekka ja HAKAPÄÄ, Antero (toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Helsinki: Kaivosteollisuus ry ja Opetushallitus, 19 – 33.

TEM 2013. Suomi kestävän kaivannaisteollisuuden edelläkävijäksi - toimintaohjelma [verkkajulkaisu]. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 15/2013. [Viitattu 2018-02-07]. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/2864661/Suomi+kest%C3%A4v%C3%A4n+kaivannaisteollisuuden+edell%C3%A4k%C3%A4vij%C3%A4ksi+toimintaohjelma+29042013.pdf>

Terrafame.fi. Saatavissa: <https://www.terrafame.fi> Polku: terrafame.fi. Terrafame Oy.

Terrafame.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-10-08]. Saatavissa: <https://www.terrafame.fi/ajankoh-taista/uutiset/2016/07/terrafame-ostaa-kaivostoimintaan-liittyvat-omaisuuserat-talvivaaran-kaivos-osakeyhtio-oyjlta.html>

Toni Technik 2018. [verkkajulkaisu] [viitattu 2018-11-08]. Saatavissa: <https://tonitechnik.com/> Polku: tonitechnik.com. Products. Machines. Deformation measurement.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (s.a.). Rikasteiden, metallien, mineraalien ja vuolukiven tuotanto v. 2005–2016 [verkkajulkaisu]. Saatavissa: http://www.tukes.fi/Tiedostot/kaivokset/tilastot/Tuotantoluvut_2005-2016.pdf

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2017. Tilastotietoja vuoriteollisuudesta 2017 [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-10-08] Saatavissa: <https://tukes.fi/documents/5470659/6373016/Vuoriteollisuustilasto+2017/4d8e29bd-6377-4e7e-9057-a3a89211a38a/Vuoriteollisuustilasto+2017.pdf>

Yara.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-10-08] Saatavissa: <http://www.yara.fi>. Polku: yara.fi. Tietoa Yarasta. Yara Suomi. Toimipaikat. Yara Siilinjärvi.

LIITE 1: ESITTELYMATERIAALI



RAKENNUSLABORATORIO



rakennustekniikka.savonia.fi

Laboratoriomme testaus ja mittauspalvelut



- Rakennusfysikaaliset mittaukset
 - Palveluvalikoima on laaja
- Kalibrointipalvelut
 - Uutta Savoniassa
- Betonintestaus
 - Neljä akkreditoitua testausta
 - Myös muita betonintestauksia
- Kivitestaus
 - Kairasydännäytteiden tutkiminen

Rakennusfysikaaliset mittaukset

- Rakennusakustiset mittaukset
 - Ilmääni, askelääni ja melu
- Rakennusten tiiviysmittaukset
 - Ilmavuotopaikannus
- Rakennusten paine-eromittaus
- Radonmittaus
- Rakenteiden kosteusmittaukset
- Lämpökamerakuvaus



Betonintestaus



- Rakennuslaboratorio on ollut vuodesta 1985 lähtien toiminnassa, tehden laadukasta jälkeä eri testausaloilla.
- Akkreditoituna betonintestauksesta on
 - Puristuslujuuden määrittäminen
 - Paineellinen veden tunkeutuma
 - Huokosjakomäärittäminen (pakkasenkestävyys)
 - Tiheyden määrittäminen

Betonintestaus



- Muita betonintestauksia:
 - Vetolujuuden määrittäminen
 - Absoluuttisen kosteuden määrittäminen
 - Halkaisulujuus
 - Tartuntalujuus
 - Kloridipitoisuuden määrittäminen
 - Kimmovasaratestaus (lujuuden määrittäminen, rakenteita rikkomatta)

Kivitestaus



- Savonian rakennuslaboratorio tekee kairasydännäytteistä UCS testausta, puristus- ja vetolujuuden määrittäykset
- Tarkoituksena laajentaa repertuaaria kimmomodulin, Poissonin luvun ja Brazilian testauksiin kairasydännäytetutkimuksissa.