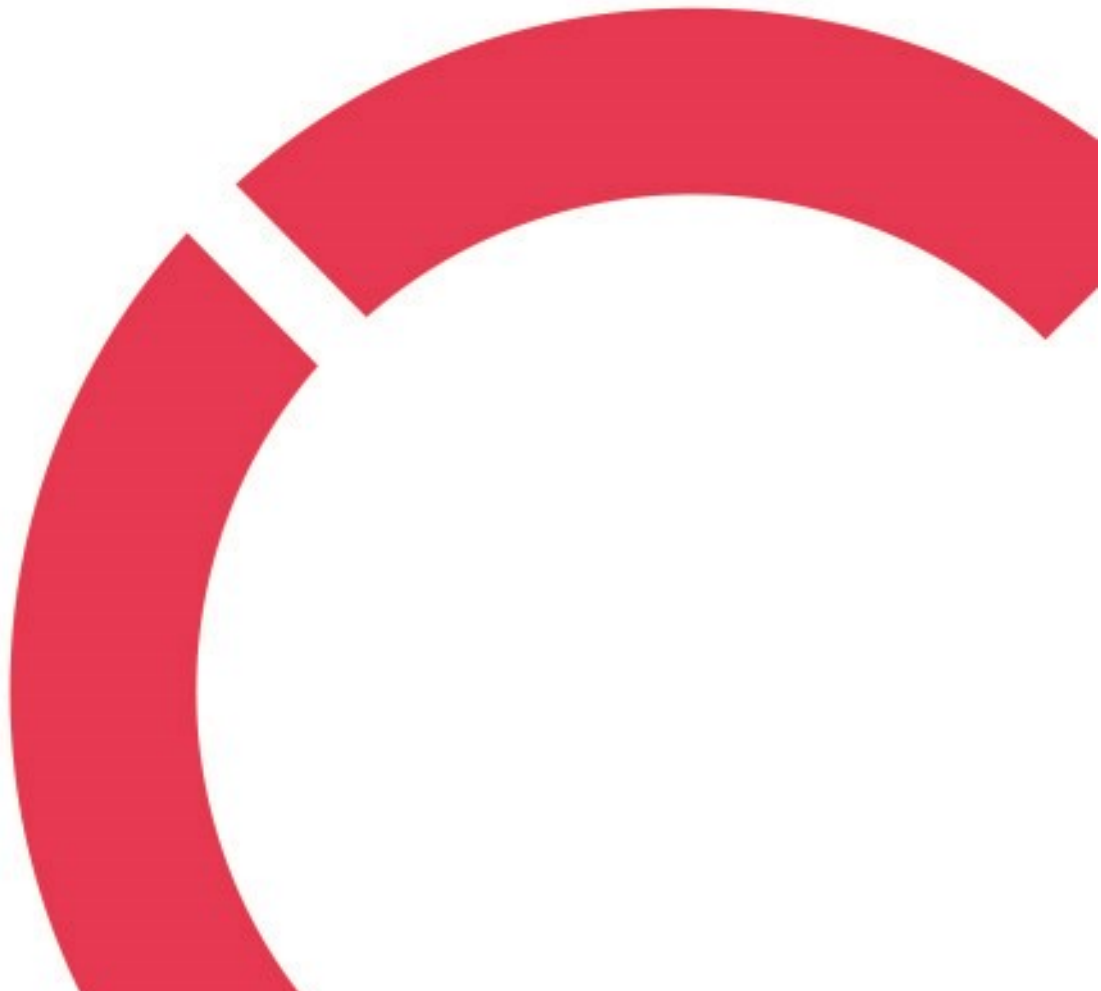


Nelli Komu

KAIVOSTÄYTÖN KUONAN MÄÄRÄN OPTIMOINTI

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutus
Syyskuu 2022**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Syyskuu 2022	Tekijä/tekijät Nelli Komu
Koulutus Kemiantekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi KAIVOSTÄYTÖN KUONAN MÄÄRÄN OPTIMOINTI		
Työn ohjaaja Risto Puskala		Sivumäärä 26 + 3
Työelämäohjaaja Maria Koffert		
<p>Pyhäsalmi Mine Oy louhinnan päätyttyä keväällä 2022 kaivostäyttöä koskevat vaatimukset laskivat, joten kaivostäytön sideaineena käytettävää kuonan määrää on mahdollista laskea. Tutkimuksen tavoitteena oli todentaa louhinnan aikana käytettävän kaivostäytön sisältämä kuonan määrä ja löytää louhinnan jälkeen käytettävän kaivostäytön kuonan määrä kohtalaisten sekä lähes olemattomien lujuusvaatimusten ollessa voimassa. Tutkimuksessa tietoperustana on käytetty aiemmin tehtyjä tutkimuksia, joissa on tutkittu ja todettu kaivostäytöltä vaadittu lujuus tietyssä mittakaavassa.</p> <p>Tutkimusmenetelmäksi valittiin aiemmassa tutkimuksessa hyväksi todettu keino, jossa puristettavat valut tehtiin Pringles-purkkeihin. Valujen lujuutta testattiin erilaisilla resepteillä ja kovettumisajoilla kahdella eri aineenkoetuskoneella.</p> <p>Kuonan määräksi louhinnan aikaiselle kaivostäytölle saatiin 150 kg/m^3, jolla varmasti saavutetaan 2 MPa:n lujuus. Lujuusvaatimusten ollessa kohtalaisia kuonan määrä tulee olla 90 kg/m^3, ja vaatimusten ollessa lähes olemattomat kuonan määränä riittää 50 kg/m^3.</p> <p>Tutkimuksessa havaittiin virhe nykyisen kaivostäytön reseptin laskennassa, minkä takia kuonaa on mennyt kaivostäyttöön liian vähän. Jatkossa kaivostäytön lujuutta tulee säännöllisesti tarkkailla.</p>		
Asiasanat hydraulinen täyttö, kaivostäyttö, kuona, puristuslujuus		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date September 2022	Author Nelli Komu
Degree programme Chemical Engineering		
Name of thesis OPTIMIZATION OF SLAG USED IN MINE FILL		
Centria supervisor Risto Puskala	Pages 26 + 3	
Instructor representing commissioning institution or company Maria Koffert		
<p>When mining at Pyhäsalmi Mine Oy comes to its end, strength requirements regarding mine filling decreases. After that, it is possible to lower the amount of slag which is used as adhesive in hydraulic fill. The aim of this thesis work was to verify and optimize the amount of slag used during mining, and after strength requirements are moderate and almost non-existent. The theoretical background used in this thesis work was previously conducted studies, which have examined and established the strength requirement of the mine fill on a certain scale.</p> <p>As a research method, a method proven in a previous study was chosen. In this method, castings were made with Pringles cans. The strengths of castings were tested with different kinds of recipes, curing times and with two different compressive strength machines.</p> <p>The amount of slag used when mining was verified to be 150 kg/m^3. When strength requirements are moderate, the amount of slag must be 90 kg/m^3, and when almost non-existent 50 kg/m^3 is enough.</p> <p>During the thesis work it was noticed that there was a mistake in current calculation of hydraulic fill. In future it is important that the strength of mine fill is checked regularly.</p>		
Key words hydraulic fill, mine fill, slag, compressive strength		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

KAIVOSTÄYTTÖ

Louhinnassa syntyneiden tyhjien tilojen täyttämiseen käytetty materiaali

PATO

Tyhjän louhoksen suulle puusta, raudasta ja betonista valmistettava seinä

RIKASTUS

Arvometallien erotus kiviaineksesta

TÄYTTÖNOUSU

Kaivokseen louhittu nousu, joka sisältää arvotonta sivukiveä

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 PYHÄSALMEN KAIVOS	2
3 KAIVOSTÄYTTÖ	4
3.1 Hydraulinen täyttö	4
3.2 Sivukivitäyttö	5
3.3 Pyhäsalmen kaivoksen kaivostäytön koostumus	5
3.1.1 Partikkelikokojakauma	6
3.1.2 Kuona ja kalkkimaito	7
4 SIDEAINEEN VAIKUTUS KAIVOSTÄYTÖN LUJUUTEEN	8
4.1 Pyhäsalmen kaivoksen kaivostäytön lujuusvaatimus	8
4.2 Pyhäsalmen kaivoksen kaivostäytön lujuusvaatimuksen poistuminen ja sen vaikutukset.....	9
5 KOKEELLINEN OSA	10
5.1 Valujen valmistus	11
5.2 Kovettumisen tarkkailu	13
5.3 Valujen valmistelu puristuslujuuskokeisiin.....	14
5.4 Puristuslujuuskokeet.....	14
6 TULOKSET	17
6.1 Pituuden vaikutus.....	17
6.2 Kovettumisajan vaikutus.....	17
6.3 Tiheyden vaikutus	18
6.4 Kokkola ja Pyhäsalmi rinnakkaisnäytteet.....	19
6.5 Kuonan määrän vaikutus	22
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET	25
LÄHTEET	26
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Kovettumisajan vaikutus laboratoriovaluihin.....	18
KUVIO 2. Prosessista valettujen valujen lujuudet	21
KUVIO 3. Laboratoriossa valmistettujen valujen lujuudet	22
KUVIO 4. Kuonan määrän vaikutus puristuslujuuteen	23
KUVAT	
KUVA 1. Pyhäsalmen kaivos.....	2
KUVA 2. Kaivostäytön valmistuksen prosessikaavio.....	6
KUVA 3. Sideaineen määrän vaikutus.....	8

KUVA 4. Pringles-purkki muokattuna	11
KUVA 5. Prosessijätteen sekoitus mittausvaiheessa.....	12
KUVA 6. Näytteet laatikossa.....	13
KUVA 7. Valujen päiden tasoitus sirkelöimällä.....	14
KUVA 8. Centria-ammattikorkeakoulun aineenkoetuskone	15
KUVA 9. Pyhäsalmen kaivoksen puristin	15
KUVA 10. Laitteiston suojaus foliolla	16
KUVA 11. Kuona 60-valu puristuksen jälkeen	20
KUVA 12. Kuona 60R-valu puristuksen jälkeen.....	20
KUVA 13. Kuonan määrä silmin nähtävissä	24

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Rinnakkaisnäytteiden tiedot.....	19
TAULUKKO 2. Rinnakkaisnäytteiden puristuslujuuskokeiden tulokset.....	19
TAULUKKO 3. Kuonan määrä valuissa	23

1 JOHDANTO

Pyhäsalmen kaivoksen toiminta-ajan lähestyessä loppua louhittavat malmit sijaitsevat sellaisilla alueilla, jotka ovat jo aiemmin louhittujen sekä täytettyjen alueiden vieressä. Tämä mahdollistaa kaivostäyttöön liittyvien vaatimusten alenemisen ja sitä myötä mahdollistaa kaivostäytön kovettumiseen vaikuttavan sideaineen määrän laskemisen. Sideaineen määrän laskemisella olisi vuositasolla merkittäviä taloudellisia hyötyjä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli optimoida kaivostäytössä käytettävän kuonan määrää lujuusvaatimusten pienennyttyä. Kaivostäyttöä tarvitaan vielä kaivoksen sulkemisen jälkeenkin, ja samalla tuli määrittää sille ajalle kaivostäytön resepti. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävät aiheet kaivostäyttömene- telmistä ja kaivostäytön lujuusvaatimuksista on rajattu sen mukaan, mitä menetelmiä ja vaatimuksia on ollut käytössä Pyhäsalmen kaivoksella.

Tutkimus toteutettiin valamalla kaivostäytöstä valuja Pringles-purkkeihin. Tutkimuksen toteuttamisen valittu menetelmä oli aiemmissa, Pyhäsalmen kaivoksen kaivostäyttöä koskevissa tutkimuksissa hyväksi todettu. Yksi merkittävin kirjallisuuslähde tälle tutkimukselle ja sen tuloksille oli Harri Kuulan toimittama tutkimus vuodelta 2004.

Tämän tutkimuksen keston vaikutti oleellisesti valujen onnistuminen sekä niiden kovettumisaika. Kovettumisaajan jälkeen tehtyjen puristuslujuuskokeiden tuloksia tarkasteltiin useasta näkökulmasta, jotta tutkimuksen perimmäiseen kysymykseen saatiin vastattua. Määritetystä kuonan määrän laskemisesta tehtiin myös kustannus selvitys, jotta tutkimuksen saavuttama taloudellinen hyöty saatiin selville.

2 PYHÄSALMEN KAIVOS

Pyhäsalmen kaivos, eli Pyhäsalmi Mine Oy (KUVA1), sijaitsee Pyhäjärven kaupungissa Pohjois-Pohjanmaalla. Pyhäsalmen kaivos aloitti toimintansa vuonna 1962, ja kaivoksesta louhitaan pääasiassa kuparia, sinkkiä sekä rikkiä. Louhinta oli aluksi pelkkää avolouhintaa, kunnes maanalainen tuotanto aloitettiin vuonna 1967. (Luukkonen, Lähteenmäki & Mäki 2012, 31.) Avolouhinta lopetettiin kokonaan vuonna 1975. Kaivosta alettiin syventää vaiheittain, ja nykyinen kaivoksen syvyys on 1 440 metriä. Pyhäsalmen kaivoksen omisti alun perin Outokumpu Oy, kunnes vuonna 2002 kaivos myytiin Inmet Mining -yhtiölle. (Luukkonen ym. 2012, 137.) Vuonna 2013 kaivos myytiin kanadalaiselle First Quantum Minerals Ltd. -yhtiölle, ja kaivos on edelleen kyseisen yhtiön omistuksessa (Colpaert 2017, 8).



KUVA 1. Pyhäsalmen kaivos (Pyhäsalmi Mine Oy 2022)

Vuonna 2020 Pyhäsalmen kaivos työllisti 130 henkilöä, ja samana vuonna malmia louhittiin 773 852 tonnia. Malmin louhinnan oli määrä loppua Pyhäsalmen kaivoksella jo vuonna 2018, mutta niin sanottu ”pyriittiprojekti” jatkoi kaivoksen ikää reilulla kahdella vuodella. Pyriittiprojektissa louhittiin

kaivoksessa jäljellä olevia pyriittipitoisia pilareita, ja metallin hintojen nousun myötä on ollut mahdollista louhia myös heikompi-pitoisia malmeja, joita ei alkuperäisen suunnitelman mukaan ollut tarkoitus louhia. (Aulakoski 2021.)

Maanalaisesta kaivoksesta louhittu malmi rikastetaan maanpinnalla sijaitsevalla rikastamolla. Rikastus-prosessin vaiheita ovat: murskaus, seulonta ja jauhatus sekä kuparin, sinkin ja rikin vaahdotus. Vaahdotuksen jälkeen rikasteista poistetaan ylimääräinen vesi käyttämällä erilaisia suotimia. Rikastukseen kuuluu olennaisena osana myös vesien- sekä rikastushiekan käsittely. (Pekkala 2010, 21–26.) Maanalaisen louhinnan päättymisen jälkeen rikastamolla aloitetaan rikastushiekka-alueelle läjitetyn pyriittipitoisen materiaalin prosessointi. Tämä tarkoittaa sitä, että prosessista jää pois kupari- sekä sinkkivaahdotus, sekä primäärijauhatusta lukuun ottamatta kaikki muut jauhatuksen vaiheet pois. (Majava 2021.)

3 KAIVOSTÄYTTÖ

Kaivostäytöllä tarkoitetaan maanalaisesta louhinnasta syntyneiden tyhjien tilojen täyttämiseen käytettyä materiaalia. Aiemmin tyhjien tilojen täyttämisen suurin hyöty oli hävittää esimerkiksi rikastuksesta sekä louhinnasta syntyneet arvottomat jätteet. Myöhemmin kaivostäytön tärkeimmäksi rooliksi on muodostunut tuenta. (Hakapää & Lappalainen 2011, 233.) Tyhjien louhosten sekä muiden tilojen täyttäminen kaivostäytöllä lisää vaihtoehtoja louhintasuunnitelmien toteuttamiseen (Potvin 2005, 3). Kaivostäytön eri muotoja ovat esimerkiksi hydraulinen täyttö, sivukivitäyttö sekä pastatäyttö (Hakapää & Lappalainen 2011, 234–235; Potvin 2005, 3). Sivukivitäyttö tai sivukivitäytön ja hydraulisen kaivostäytön yhdistelmä ovat käytössä Pyhäsalmen kaivoksella (Colpaert 2017, 20). Tässä opinnäytetyössä käsitellään hydraulista täyttöä sekä sivukivitäyttöä.

3.1 Hydraulinen täyttö

Hydraulinen kaivostäyttö on muodoltaan lietettä, joka johdetaan tyhjiin louhoksiin käyttämällä apuna painovoimaa tai pumppausta. Lietteen kiintoaineena on yleensä rikastamon rikastusprosessista syntyvä rikastushiekka. Rikastushiekan sijoittaminen hydraulisen kaivostäytön mukana kaivokseen vähentää rikastushiekan aiheuttamaa ympäristökuormitusta, sillä silloin rikastushiekkaa ei tarvitse sijoittaa niin suuria määriä rikastushiekka-alueille. Mikäli hydraulinen kaivostäyttö on tarpeellista kovettaa, kovetus tapahtuu lisäämällä kiintoaineen mukaan sideainetta. Pyhäsalmen kaivoksella hydraulisen täytön sideaineena käytetään jauhattua masuunikuonaa (Hakapää & Lappalainen 2011, 233–235.) Jauhetun masuunikuonan aktivaattorina käytetään kalkkia (Colpaert 2017, 2; Kuula 2004, 3).

Kiintoaineen ja mahdollisen sideaineen lisäksi hydraulisessa kaivostäytössä on vettä, joka suotautuu louhoksista pois louhosten suuaukoille rakennettujen patojen ja niissä olevien suotoputkien kautta. Suuri vesimäärä aiheuttaa sideaineen lajittumisen, ja hydraulisessa täytössä käytettävä veden määrä vaikuttaa myös käytettävän sideaineen määrään. (Hakapää & Lappalainen 2011, 235). Patojen suunnittelussa on otettava huomioon hydraulisen täytön aiheuttama paine sekä veden suotautuminen. Veden käytön minimointi hydraulisessa täytössä vähentää oleellisesti kaivosveden pumppaukseen kohdistuvia kustannuksia. (Potvin 2005, 7.)

3.2 Sivukivitäyttö

Sivukivitäyttö on kivitäyttöä. Sivukiveä saadaan sekä kaivoksen valmistavista töistä, kuten peränojasta, mutta myös maanpäällisistä avolouhoksista. (Hakapää & Lappalainen 2011, 235; Colpaert 2017, 20.) Pyhäsalmen kaivoksella avolouhoksesta louhittu sivukivi johdetaan kaivokseen täyttönousua pitkin (Colpaert 2017, 20; Kuula 2004, 3). Sivukivitäyttö nostaa kaivostäytön lujuutta, ja sitä käytetäänkin usein niissä louhoksissa, joiden täyttämiseen vaaditaan kaivostäytöltä korkeaa lujuutta. Sivukivitäyttö voidaan johtaa täytettäviin louhoksiin esimerkiksi hihnan, kuilun tai lastaus-koneen avulla. (Hakapää & Lappalainen 2011, 235.) Pyhäsalmen kaivoksella sivukivi kuljetetaan louhoksiin lastaus-koneilla (Colpaert 2017, 20). Sivukivitäyttö ja hydraulinen täyttö voidaan sekoittaa keskenään, jolloin kyseessä on kovettuva sivukivitäyttö (Hakapää & Lappalainen 2011, 235; Potvin 2005, 7).

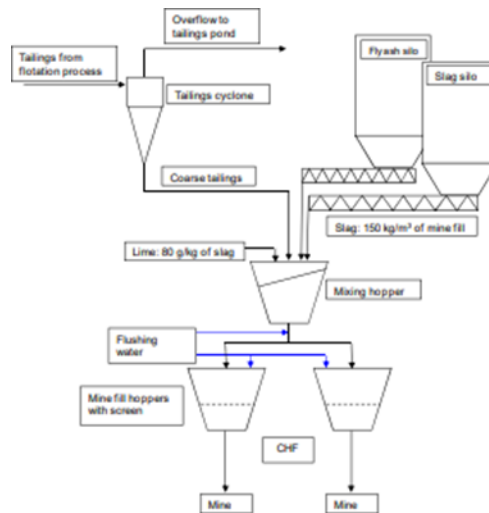
3.3 Pyhäsalmen kaivoksen kaivostäytön koostumus

Pyhäsalmen kaivoksen hydraulisen kaivostäytön resepti on ollut lähes samanlainen vuodesta 1986 saakka. Pyhäsalmen hydraulinen kaivostäyttö koostuu rikastuksen rikkipiirin jätteestä, eli rikastushiekasta, sekä jauhetusta masuunikuonasta ja kalkkimaidosta. Nämä kolme ainesosaa sekoitetaan keskenään sekoitussuppilossa. Nykyinen kuonan määrä hydraulisessa kaivostäytössä on 150 kg yhtä täyttökuutiota kohti, ja kalkkimaidon määrä on 8 % kuonan määrästä. (Pekkala 2010, 29; Colpaert 2017, 22.) Täyttökuutiot lasketaan kaavalla

$$Täyttökuutiot \left[\frac{m^3}{h} \right] = \frac{KTvirtaus \left[\frac{m^3}{h} \right] \cdot KT:n \text{ virt.tiheys} \left[\frac{t}{m^3} \right] \cdot KT:n \text{ lietetiheys} [p-\%]}{Täyttökuutioon ominaispainovakio \left[\frac{t}{m^3} \right]}$$

(Pekkala 2010, 29).

Kaivostäytön valmistuksen prosessikaavio on esitetty kuvassa 2. Ennen vuotta 2009 kaivostäyttölinjoja oli vain yksi. Kovettuvan kaivostäytön tarpeen kasvaessa rakennettiin toinen linja rikastamolta tasolle +1175, jolloin pystyttiin täyttämään myös aiemmin täyttämättä jääneet louhokset (Pekkala 2010, 35.)



KUVA 2. Kaivostäytön valmistuksen prosessikaavio (Pekkala & Kuosmanen 2011, 4).

Ainesosien sekoituksen jälkeen valmis kaivostäyttöliete ohjataan kaivokseen kairareikää pitkin painovoimaa hyödyntäen. Tasolta +1175 liete ohjataan putkistoja pitkin halutulle tuotantotasolle ja siitä edelleen täytettävään louhokseen. (Pekkala 2010, 32.) Kaivostäyttölietteen tulisi liikkua maanalaisissa putkistoissa heterogeenisesti ja turbulentlyisesti keskinopeudella. Turbulenttinen virtaus on kuitenkin suurempi kuin laskeutumisnopeus. Lietteän partikkelikokojakaumalla sekä lietetiheydellä on suuri vaikutus lietteän virtauskäyttäytymiseen. Hydraulisen kaivostäytön lietetiheys on yleensä 40–50 tilavuusprosentin välillä. (Grice 2005, 67.) Kaivostäytön lietetiheys lasketaan kaavalla

$$KT:n\ lietetiheys\ [\%] = \frac{KT_{om.paino} \cdot (KT:n\ virt.tiheys\ [\frac{t}{m^3}] - 1)}{KT:n\ virt.tiheys\ [\frac{t}{m^3}] \cdot (KT_{om.paino} - 1)}$$

(Pekkala 2010, 30).

3.1.1 Partikkelikokojakauma

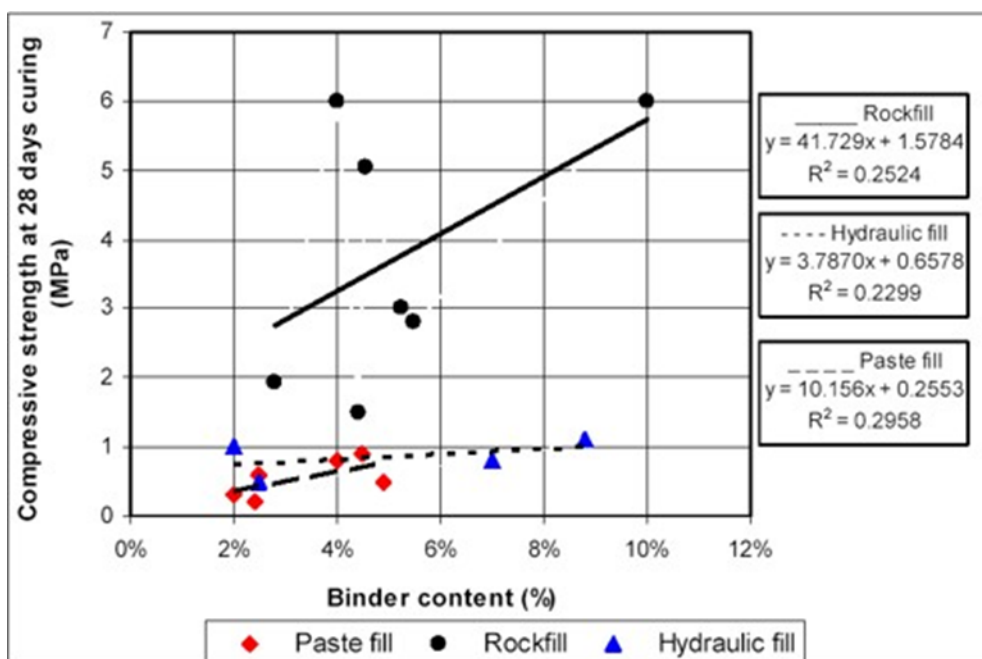
Partikkelikokojakaumalla on virtauskäyttäytymisen lisäksi vaikutusta myös kaivostäytön läpäisevyyteen. Yleensä maksimi partikkelikoko hydraulisessa kaivostäytössä on 1 mm (Grice 2005, 67.) Kuulan (2004) tekemän kirjallisuusselvityksen pohjalta on myös huomattu, että kovettuvassa täytteessä oleva hienoaines on edellytys tarpeeksi suuren lujuuden saavuttamiseksi. Hienoaineksen vähäisyys tuli ilmi myös Kuulan (2004) tekemissä laboratoriokokeissa, joissa hienoaineksen puuttuminen vähensi laboratorio-olosuhteissa saatua huippulujuutta 30 %. (Kuula 2004, 38.)

3.1.2 Kuona ja kalkkimaito

Sideaineena käytettävä kuona on jauhemaista granuloitua masuunikuonaa, jota syntyy raakaraudan valmistuksen sivutuotteena. Piilevillä hydraulisilla ominaisuuksilla varustettua granuloitua masuunikuonaa muodostuu, kun sula kuona jäähdytetään nopeasti vedellä. Nämä piilevät hydrauliset ominaisuudet voidaan aktivoida sopivan aktivaattorin avulla, kuten esimerkiksi kalsiumhydroksidilla eli kalkkimaidolla. (Finnsementti Oy.) Koska masuunikuona voidaan aktivoida kalsiumhydroksidilla, se luokitellaan pozzolaaniseksi sideaineeksi (Oberlink 2010, 6; Henderson & Revell 2005, 19). Reagoidessaan kalkin kanssa pozzolaanit muodostavat hyvin samankaltaisia yhdisteitä kuin betoni kovettuessaan, ja masuunikuona sisältääkin samoja kovettumiselle välttämättömiä ainesosia kuin sementti (Henderson & Revell 2005, 18–19).

4 SIDEAINEEN VAIKUTUS KAIVOSTÄYTÖN LUJUUTEEN

Kaivostäytön lujuutta tarkastellaan usein suhteuttamalla lujuus kaivostäytössä olevaan sideaineen määrään. Sideaineen määrästä ja sen vaikutuksesta kaivostäytön lujuuteen on tehty useita eri tutkimuksia. Sideaineen määrä ei kuitenkaan ole ainut vaikuttava tekijä täytteen lujuuteen, vaan siihen vaikuttavat oleellisesti myös esimerkiksi kovettumisikä, näytteen koko sekä näytteen kosteuspitoisuus. Sideaineen määrän vaikutusta on testattu hydraulisen kaivostäytön lisäksi myös sivukivitäytössä sekä pasta- täytössä (KUVA 3). (Kuula 2004, 14.)



KUVA 3. Sideaineen määrän vaikutus (Kuula 2004, 16)

4.1 Pyhäsalmen kaivoksen kaivostäytön lujuusvaatimus

Pyhäsalmen kaivos on teettänyt vuonna 2004 tilaustutkimuksen, jonka tavoitteena on ollut määrittää kaivostäytönäytteiden lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia. Tilaustyön raportin on toimittanut Harri Kuula. Tilaustutkimuksessa on tutkittu kaivostäytön lujuusvaatimusta, sekä sideaineiden ja runkoaineiden suhteiden vaikutusta kaivostäytön lujuuteen niissä tapauksissa, kun kaivostäytöllä täytettyjen louhosten päältä, alta tai yhdeltä tai kahdelta sivulta louhitaan. Tilaustutkimus on toteutettu valmistamalla

neljällä erilaisella reseptillä halkaisijaltaan 300 mm olevia täytenäytteitä. Täytenäytteiden lujuutta on testattu kahden eri kovettumisajan jälkeen MTS 815-laitteistolla. Kovettumisajat tutkimuksessa ovat olleet 63–68 vuorokautta sekä 160–168 vuorokautta. (Kuula 2004, 10, 17.)

Tutkimuksessa laskettuihin lujuuksiin on vaikuttanut varmuuskerroin, joka vaihtelee esimerkiksi täytettävän louhoksen lähellä tapahtuvien kuormitusten, kuten räjäytysten, mukaan, sekä mahdollisen täytteen lajittumisen perusteella. Varmuuskerroin voi olla jotain välillä 2.5–3.0, mutta kaikista yksinkertaisimmassa käyttötarkoituksessa kaivostäytön täytyy kestää vain omasta painostaan johtuva jännitys. (Kuula 2004, 17.) Tilaustutkimuksessa on huomioitu myös laboratoriomittakaava. Tilaustutkimuksen tulosten mukaan kaivostäytönäytteiden, joiden halkaisija on 300 mm, täytyy olla lujuudeltaan 2.0 MPa, ja tutkimusta tehdessä nykyisellä sideaineen määrällä on saatu jopa kaksi kertaa lujempaa kaivos-täytettä kuin on vaadittu. Tulosten mukaan täytenäytteiden lujuus ei kasva merkittävästi enää 60 vuorokauden jälkeen. (Kuula 2004, 12, 28.)

4.2 Pyhäsalmen kaivoksen kaivostäytön lujuusvaatimuksen poistuminen ja sen vaikutukset

Kaivoksen louhinnan loppuessa kaivostäyttöä tullaan käyttämään sellaisiin paikkoihin, joiden vieressä, päällä tai alla ei enää louhita, joten jatkossa kaivostäytöltä poistuu lujuusvaatimus, jolloin sideaineen määrää voidaan vähentää. Tyhjien louhosten täyttämiseen voitaisiin käyttää pelkkää hiekkaa, mutta Pyhäsalmen kaivoksen tapauksessa on varauduttava siihen, että maanalaisissa kaivoksen tiloissa tulee olemaan vielä toimintaa louhinnan jälkeen, jolloin kovettamaton täyte ei ole vaihtoehto. (Kuosmanen 2021.) Jatkossa kaivostäytöltä vaaditaan vain kohtalaista kovettumista ja kasassa pysymistä (Koffert 2021).

5 KOKEELLINEN OSA

Pienimmän mahdollisen kuonan määrän selvittämiseksi kaivostäytöstä valmistettiin laboratoriomittakaavaisia valuja puristuslujuuskokeita varten. Valujen valmistukseen päätettiin käyttää Pringles-purkkeja, sillä niitä oli aiemmin käytetty eräässä kaivostäyttötutkimuksessa (Pekkala 2010) ja ne oli todettu käyttökelpoisiksi kyseiseen tehtävään. Valujen mitoissa tavoiteltiin Ruotsin standardointilaitoksen luomia standardeja, joita käytetään betonin puristuslujuuden mittaamisessa. Ruotsin standardointilaitoksen standardin SS 137207 mukaan (Swedish Standards Institute 2005, 3) sylinterin muotoisen kappaleen pituuden tulee olla kaksinkertainen sen halkaisijaan nähden. Näin ollen kaivos-täyttönäytteiden tulee kovettumisen jälkeen olla vähintään 14 senttimetriä korkeita, jos ne valetaan 7 senttimetrin halkaisijan omaavaan Pringles-purkkiin.

Tuloksissa haluttiin ottaa huomioon kovettumisaika. Valujen lujuutta päätettiin testata vaihtelevasti erilaisilla kovettumisajoilla, jotta saatiin varmuutta kovettumisajan vaikutuksesta lujuuteen. Tulosten varmistamiseksi valujen lujuutta päätettiin testata kahdella eri puristimella, joista toinen sijaitsee Kokkolassa Centria-ammattikorkeakoululla ja toinen Pyhäsalmen kaivoksen rikastamolla. Jokaisella reseptillä valmistettiin siis neljä eri rinnakkaisnäytettä: 30 vuorokauden kovettumisajalle, 60 vuoro-kauden kovettumisajalle, Centria-ammattikorkeakoululla puristettavaksi sekä yksi näyte varalle.

Kaikki näytteet valmistettiin Pyhäsalmen kaivoksen rikastamolla sijaitsevassa koevaahdotushuoneessa. Valuja valmistettiin 6.9.2022 sekä 21.9.2021. Myöhemmin haluttiin vielä valmistaa vertailua ja tulosten varmuutta varten suoraan prosessista valmistetut valut. Suoraan prosessista valmistettujen valujen rinnalle valmistettiin vielä valut, joihin lisättiin laboratoriossa käsin laskettu määrä kuonaa ja kalkkia. Suoraan prosessista valmistettuja valuja valmistettiin 17.2.2022 sekä 22.2.2022. Laboratoriossa valmistettuja valuja valmistettiin 22.2.2022. Valuissa testattu kuonan määrä vaihtelee välillä 50–220 kg/m³. Kuonan määrä, kaivostäytön lietetiheys sekä valujen lopulliset mitat ja puristuspäivämäärät ovat luettavissa liitteessä 1 (LIITE 1).

Kaikki valut valmistettiin tavalla, joka on kuvattu tämän opinnäytetyön kohdassa 5.1. Koevaahdotus-huoneessa oli saatavilla kaikki valujen valmistukseen tarvittavat välineet, joita olivat: muoviset ämpärit, mittalasis, vaaka, automaattipipetti ja sekoitin. Myös tarvittavat suojavälineet, kuten suoja-lasit sekä suojakäsineet, olivat saatavissa rikastamolla.

5.1 Valujen valmistus

Kokeellinen osuus aloitettiin valmistelemalla Pringles-purkit kaivostäyttövalujen valmistusta varten. Pringles-purkit tyhjennettiin, sekä niiden pohjat leikattiin irti. Pohjaan teipattiin suodinkangas yli-määräisen veden poissuotautumisen mahdollistamiseksi (KUVA 4). Jokaisen purkin kanteen merkattiin tussilla koodi, jotta jokainen näyte oli tunnistettavissa myöhemmin.



KUVA 4. Pringles-purkki muokattuna

Pringles-purkkien valmistelujen jälkeen aloitettiin valujen valmistus. Näytteisiin tulevat ainesosat sekoitettiin ensin mittalasisissa ennen Pringles-purkkeihin kaatamista. Valujen valmistuksessa ensimmäiseksi mitattiin prosessijäte muoviämpäristä mittalasiin. Prosessijätettä sekoitettiin jatkuvasti lajittamisen estämiseksi (KUVA 5).



KUVA 5. Prosessijätteen sekoitus mittaussvaiheessa

Prosessijätteen mittaamisen jälkeen mitattiin oikeat määrät jauhattua masuunikuonaa sekä kalkkimaitoa. Kuonan oikean määrän mittaamiseen käytettiin vaakaa sekä kalkkimaidon mittaamiseen automaattipipettiä, ja ne lisättiin prosessijätteen sekaan mittalasiin. Lopuksi mittalasin suulle asetettiin korkki, ja ainesosat sekoitettiin kääntelemällä mittalasia ylösalaisin. Sekoituksen jälkeen seos kaadettiin Pringles-purkkiin ja päälle asetettiin Pringles-purkin muovinen kansi. Pringles-purkit asetettiin rikastamolla

sijaitsevaan puiseen laatikkoon (KUVA 6), johon oli muovipäällysteellä keinotekoisesti luotu lämpimät ja kosteahkot, kaivosta muistuttavat, olosuhteet. Laatikon pohjalle laitettiin ritilä, jotta ylimääräinen vesi pääsee vapaasti valumaan Pringles-purkkien pohjasta. Valut jätettiin laatikkoon kovettumaan.



KUVA 6. Näytteet laatikossa

5.2 Kovettumisen tarkkailu

Valujen kovettumista seurattiin lähes päivittäisellä silmämääräisellä tarkkailulla. 20.9.2021 huomattiin, että 6.9.2021 valettujen valujen liete oli suotautunut huomattavan määrän suodinkankaan läpi. Valujen tilalle oli tehtävä uudet, jotta valujen pituuden ja halkaisijan suhde olisi riittävä luotettaville puristustuloksille. Lietteen suurelle vajumiselle pääteltiin olevan syynä liian matala lietetiheys, ja seuraavien valujen valmistuksessa sitä nostettiin. Uusien valujen valamisen jälkeen kovettumisen tarkkailua lisättiin, jotta mahdolliseen liian suureen suotautumiseen olisi osattu reagoida ajoissa. Lietetiheyden nostamisen jälkeen valut alkoivat kovettua ilman liian suurta lietteen suotautumista, ja valujen pääteltiin olevan tarpeeksi pitkiä puristuslujuuskokeisiin.

5.3 Valujen valmistelu puristuslujuuskokeisiin

Valitun kovettumisajan jälkeen valut valmisteltiin puristuksia varten. Pringles-purkit purettiin valujen ympäriltä repimällä. Ennen puristusta valujen päät tasattiin Pyhäsalmen kaivoksen näytteenkäsittelytiloissa sijaitsevalla sirkkelillä (KUVA 7).

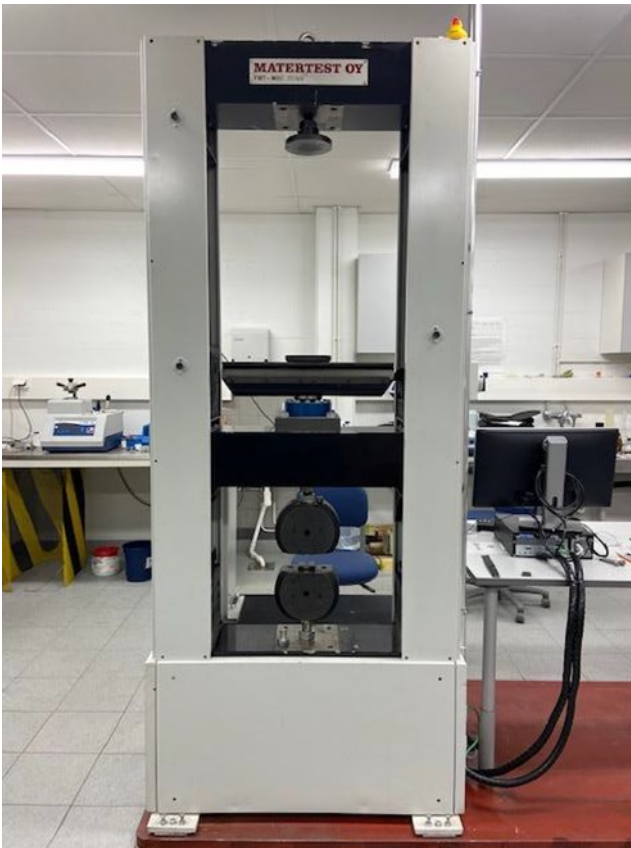


KUVA 7. Valujen päiden tasoitus sirkkelöimällä (Maria Koffert)

Päiden tasoituksen jälkeen valut asetettiin säilytykseen minigrip-pusseihin, joihin merkittiin tussilla valua vastaava koodi, jotta valut olivat puristusvaiheessa erotettavissa toisistaan.

5.4 Puristuslujuuskokeet

Valujen lujuutta testattiin kahdella eri puristimella. Toinen puristin (KUVA 8) sijaitsee Kokkolassa Centria-ammattikorkeakoulun tiloissa. Kyseisellä aineenkoetuskoneella on mahdollista tehdä myös vetolujuustestejä. Toinen lujuuden testauksessa käytetty puristin (KUVA 9) sijaitsee Pyhäsalmen kaivoksen rikastamon koevaahdotushuoneessa. Centria-ammattikorkeakoulun aineenkoetuskonetta ohjattiin Centria-ammattikorkeakoulun opettajan Juha Junkalan toimesta.



(KUVA 8) Centria-ammattikorkeakoulun aineenkoetuskone



KUVA 9. Pyhäsalmen kaivoksen puristin

Ennen varsinaista puristuskokeen suorittamista aineenkoetuskoneeseen säädettiin valujen puristukseen sopivat asetukset koneen ohjaajan toimesta. Puristuksen päättymiseksi valittiin se hetki, jolloin maksimilujuus oli tippunut puoleen. Jokaisen valun kohdalla puristukset aloitettiin mittaamalla valun pituus ja halkaisija. Laitteen puristuspinnoja suojattiin kuvan 10 mukaisesti sotkeutumiselta folioasti-alla tai paperilla (KUVA 10).



KUVA 10. Laitteiston suojaus foliolla

Ennen automaattista puristusta laitteiston puristuspinnoja ajettiin käsiä jolla lähemmäs toisiaan. Automaattisen puristuksen alkaessa aineenkoetuskoneelta piirtyi puristuslujuutta kuvaava kuvaaja (LIITE 2). Valun lujuuden todentamisen jälkeen jokainen valu dokumentoitiin, ja asetettiin takaisin nimettyyn minigrip-pussiin. Puristetut valut hävitettiin prosessijätteeseen.

Puristuslujuuskokeita suoritettiin Kokkolassa 5.11.2021 ja 4.2.2022. Pyhäsalmissa puristuslujuuskokeet suoritettiin 2.12.2021, 13.1.2022, 25.3.2022, 5.4.2022, ja 9.5.2022, jolloin valuilla oli eri kovettumisaikoja (LIITE 1). Puristuslujuuslaitteistojen erilaisuudesta riippumatta puristukset suoritettiin Kokkolassa ja Pyhäsalmissa samalla periaatteella.

6 TULOKSET

Tuloksia arvioitiin valun pituuden, kovettumisajan ja tiheyden näkökulmasta. Myös Kokkolassa ja Pyhäsalmissa puristettuja rinnakkaisnäytteitä verrattiin toisiinsa, kuten myös suoraan prosessista otettujen ja niille vertailuksi valmistettujen laboratorioissa tehtyjen valujen lujuuksia verrattiin.

6.1 Pituuden vaikutus

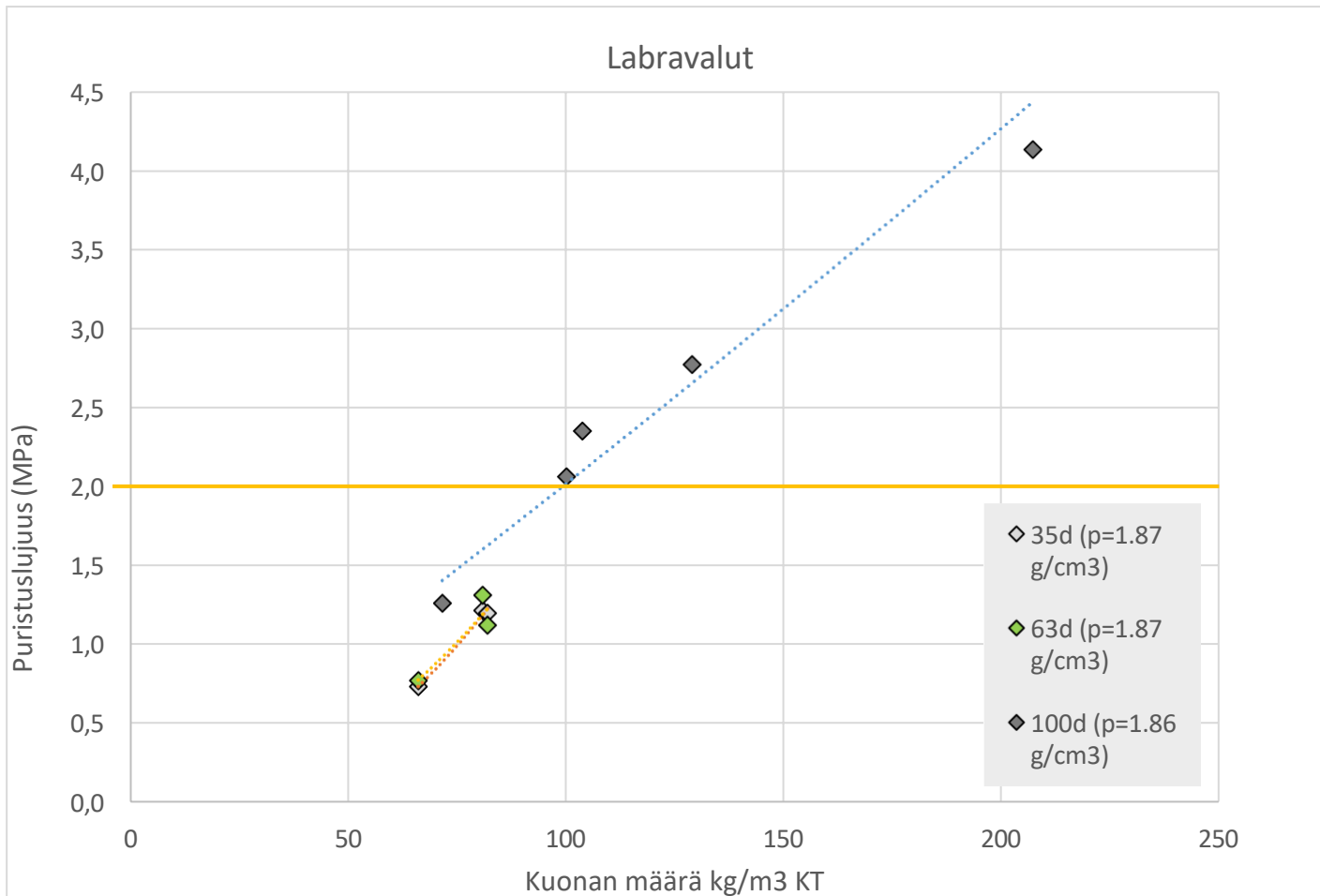
Pituuden vaikutusta lujuuteen testattiin valuilla PROS 70-2 ja PROS 70-3. Toinen valuista puristettiin täydessä mitassa ja toinen sahattiin puolikkaaksi. Kummankin valun kovettumisaika puristettaessa oli 76 vuorokautta. Täyspitkinä puristetun valun PROS 70-2 lujuustulos puristettaessa oli 0,44 MPa, kun taas puolikkaana puristetun valun PROS 70-3 lujuustulos oli 0,48 MPa.

Pituuden vaikutus lujuuteen todettiin myös valuilla PROS 150-2 ja PROS 150-3, joilla molemmilla kovettumisaika ennen puristuslujuuskokeita oli 76 vuorokautta. PROS 150-2 oli puristettaessa 133 mm pitkä, ja PROS 150-3 valu 60 mm. PROS 150-2 lujuustulos puristettaessa oli 2,34 MPa, ja lyhempi PROS 150-3 valu 2,16 MPa.

Näiden tulosten perusteella todettiin, että valun pituudella ei ole merkittävää vaikutusta puristuslujuustuloksiin.

6.2 Kovettumisajan vaikutus

Kovettumisajan vaikutusta lujuuteen testattiin puristamalla rinnakkaisia näytteitä noin 1 kuukauden, 2 kuukauden sekä 3 kuukauden kovettumisajoilla. Kovettumisajan vaikutus laboratorioissa valmistettuihin valuihin on havainnoitu kuviossa 1 (KUVIO 1).



KUVIO 1. Kovettumisaajan vaikutus laboratoriovaluihin.

Kuviossa melkein keskellä kulkeva keltainen viiva merkitsee 2,0 MPa lujuusrajaa, joka kaivostäytöltä oli vaadittu tiettyjen ehtojen täytyttyä. 35 vuorokauden tai 63 vuorokauden kovettumisaajoilla, suhteellisen alhaisella kuonan määrällä tätä 2,0 MPa rajaa ei saavutettu. Kovettumisaajalla todettiin kuitenkin olevan oleellisesti vaikutusta valujen lujuuteen.

6.3 Tiheyden vaikutus

21.9.2021 valetussa valussa Kuona 84 ja Kuona 70, jossa kuonan laskettu määrä oli välillä 91–103 kg/m³ ja tiheys välillä 1,757–1,782 g/cm³. Näiden valujen lujuus oli 2.12.2021 puristettuna välillä 0,76–0,87 MPa. 22.2.2022 laboratorioissa tehdyissä valuissa LABRA 70 ja LABRA 98 kuonan laskettu määrä oli välillä 83,5–110,2 kg/m³ ja tiheys välillä 1,91–1,94 g/cm³. Näiden valujen lujuus 22.4.2022 puristettuna oli välillä 1,31–1,94 MPa. Pienemmällä kuonan määrällä, mutta korkeammalla tiheydellä

saatiin siis valmistettua lujuudeltaan vahvempia valuja. Näiden tulosten perusteella todettiin, että tiheydellä on vaikutusta valujen puristuslujuuteen.

6.4 Kokkola ja Pyhäsalmi rinnakkaisnäytteet

Tässä kohdassa tarkastellaan puristuslujuuslaitteiston vaikutusta lujuustuloksiin. Kokkolassa ja Pyhäsalmissa puristettuja rinnakkaisia näytteitä oli useampia, mutta tässä kohdassa tarkastellaan vain Kuona 60 ja Kuona 60R valuja. Rinnakkaisnäytteiden tiedot on luettavissa taulukossa 1 (TAULUKKO 1).

TAULUKKO 1. Rinnakkaisnäytteiden tiedot

Näyte	Kuonan määrä (kg/m ³)	Valettu (pvm.)	Tiheys (g/cm ³)
Kuona 60	81	1.10.2021	1,870
Kuona 60R	82	1.10.2021	1,881

Valujen puristustulokset Kokkolassa ja Pyhäsalmissa ovat luettavissa taulukosta 2 (TAULUKKO 2).

TAULUKKO 2. Rinnakkaisnäytteiden puristuslujuuskokeiden tulokset

Näyte	Puristus (pvm.)	Kovettumisaika (vrk)	Paikka	MPa
Kuona 60	5.11.2021	35	Kokkola	1,21
Kuona 60R	5.11.2021	35	Kokkola	1,20
Kuona 60	2.12.2021	62	Pyhäsalmi	1,31
Kuona 60R	2.12.2021	62	Pyhäsalmi	1,12

Rinnakkaisista näytteistä saatiin siis hyvin samat tulokset puristuslujuuskojeistosta huolimatta. Kokkolassa puristetut valut puristuslujuuskokeiden jälkeen on nähtävissä kuvissa 11 ja 12 (KUVAT 11 ja 12). Kuvista on nähtävissä, että valut halkesivat hyvin samalla tavalla. Kuona 60R kuvassa lohjennut palanen irtosi valua siirrettäessä.

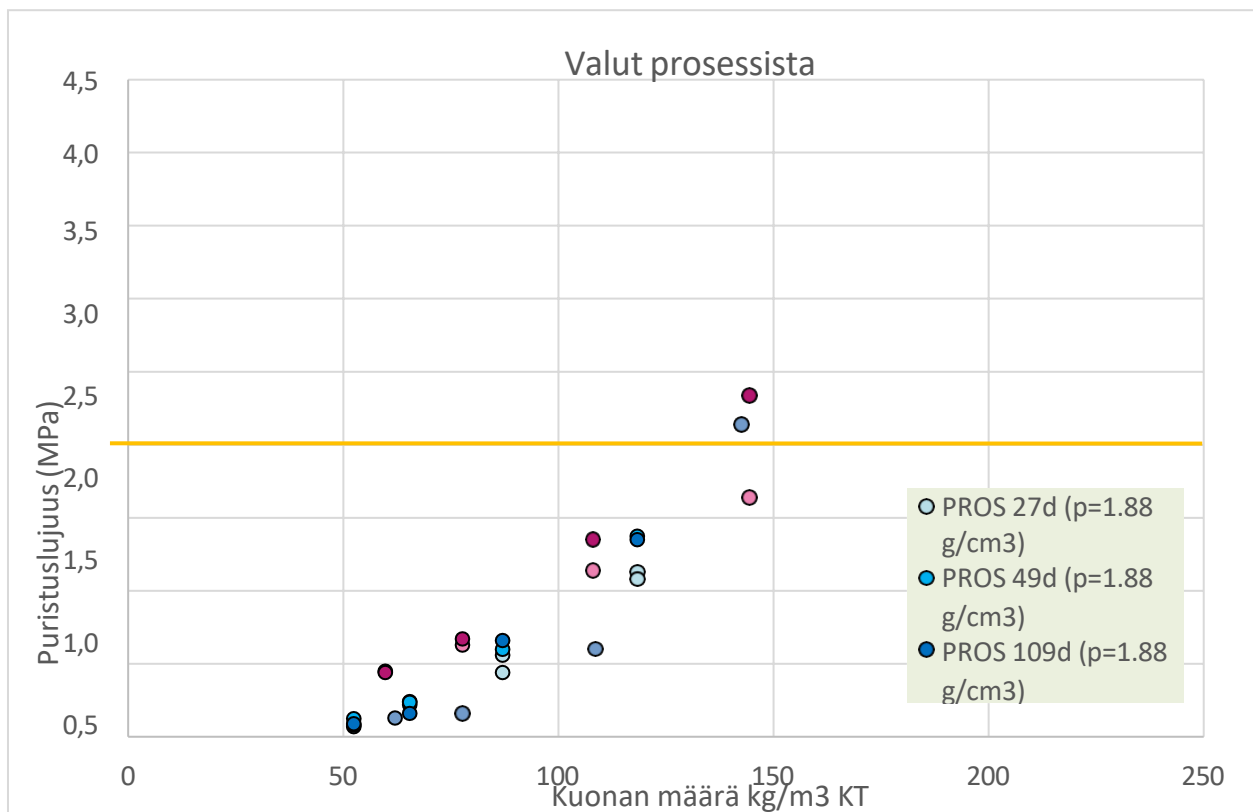


KUVA 11. Kuona 60-valu puristuksen jälkeen

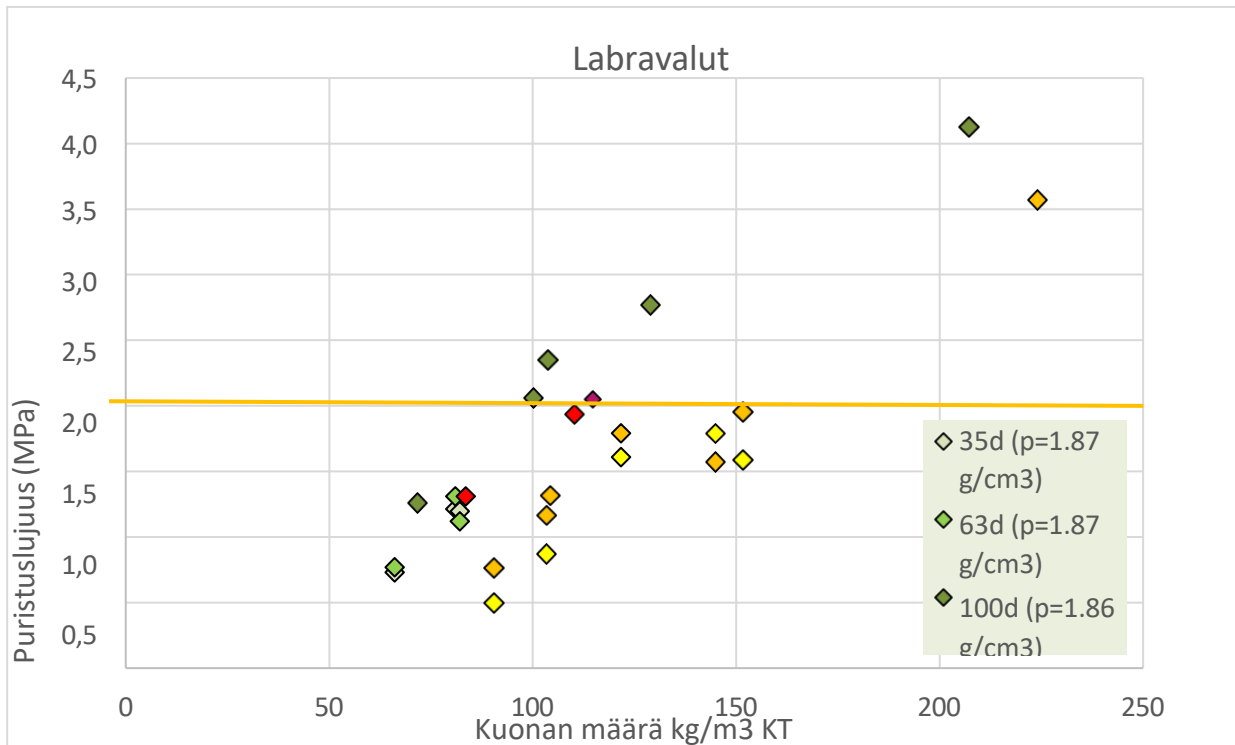


KUVA 12. Kuona 60R-valu puristuksen jälkeen

Suoraan prosessista valmistetuissa valuissa tiheys oli välillä 1,88–1,96 g/cm³ ja pituudet ennen puristuslujuuskokeita välillä 108–139 mm. Kuonan määrä suoraan prosessista valmistetuissa valuissa kuonan määrä vaihteli välillä 59,7–144,0 kg/m³. Valuissa, joihin lisättiin kuona ja kalkki laboratoriossa käsin laskennan jälkeen, tiheys oli välillä 1,91–1,94 g/cm³ ja pituudet välillä 127–139 mm. Näissä valuissa kuonan määrä oli välillä 83,5–139,0 kg/m³. Kummallakin tavalla valmistetuissa valuissa tiheys ja pituus olivat erittäin hyviä puristuslujuuskokeita varten. Prosessista valmistettujen sekä laboratoriossa valmistettujen valujen puristuslujuustulokset on nähtävissä kuvioissa 2 ja 3 (KUVIO 2 ja 3).



KUVIO 2. Prosessista valettujen valujen lujuudet

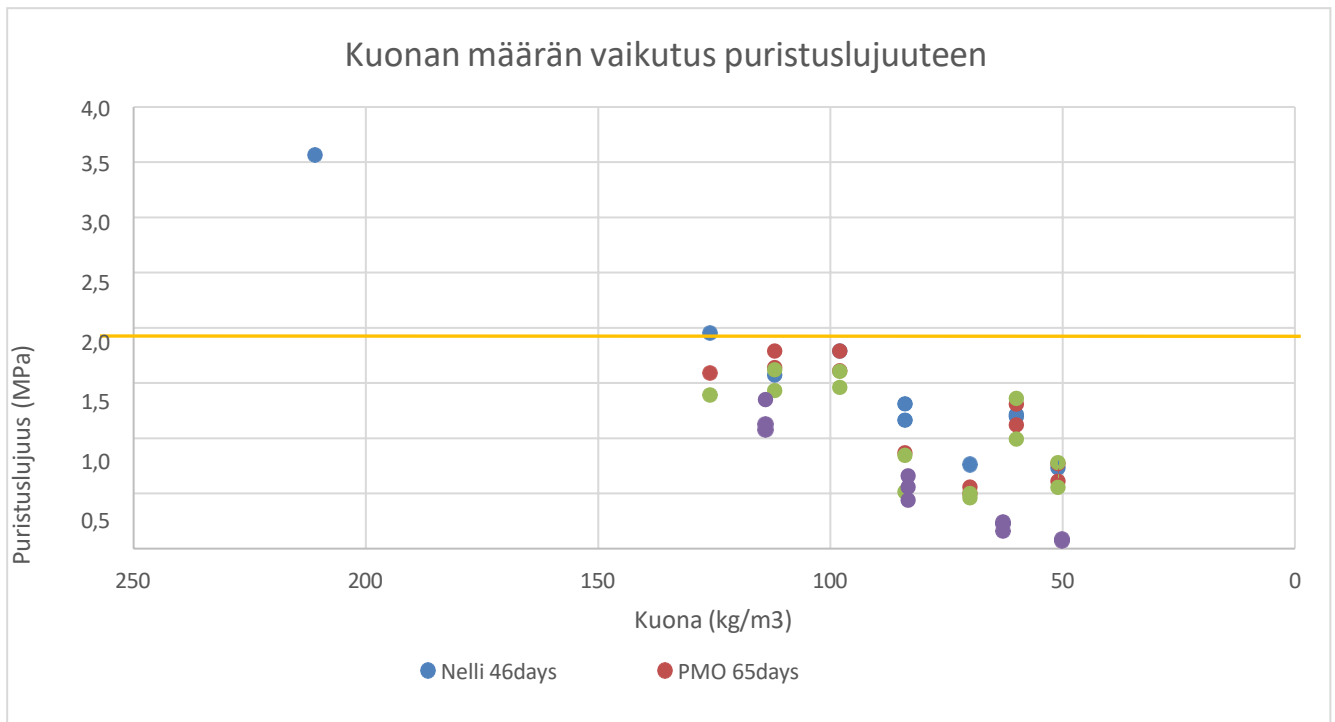


KUVIO 3. Laboratoriossa valmistettujen valujen lujuudet

Puristuslujuuskokeiden jälkeen huomattiin, että suoraan prosessista valmistetuissa valuiissa lujuus jäi huomattavasti paljon pienemmäksi, kuin laboratoriossa valmistetuissa, tiheyden, pitoisuuden, kuonan määrän sekä kovettumisajan ollessa lähes sama. Kun asiaa tutkittiin tarkemmin, huomattiin, että kaivostäytön valmistusprosessissa kuonan ja kalkin laskennassa on häiriö, jonka vuoksi kuonaa ja kalkkia on mennyt kaivostäyttöön liian vähän. Kaivostäytön laskentakaava (LIITE 3) on pitkä ja moni-mutkainen, eikä sitä ei tässä työssä käsitellä tarkemmin. Kaivostäytön valmistus laskennan osalta korjattiin pikimmiten, ja häiriön aikaisten vaikutusten arviointi käynnistettiin.

6.5 Kuonan määrän vaikutus

Kuonan määrän vaikutus puristuslujuuteen oli tutkittu jo aiemmissa kaivostäyttöä koskevissa tutkimuksissa, joten sitä ei tässä työssä perinpohjaisesti tutkittu. Kuonan määrän vaikutusta puristuslujuuteen kuitenkin testattiin, jotta voitiin todeta sillä olevan vaikutusta tässäkin tutkimuksessa. Kuonan määrän vaikutus todettiin vertailemalla samoilla tiheyksillä, pitouksilla ja kovettumisajoilla olevilla valuilta. Kuonan määrän vaikutus varmistettiin vielä vertaamalla Kokkolassa sekä Pyhäsalmissa puristettuja valuja. Kuonan määrän vaikutus on nähtävissä kuviossa 4 (KUVIO 4).



KUVIO 4. Kuonan määrän vaikutus puristuslujuuteen

Kuviosta on nähtävissä, että kuonan määrän noustessa puristuslujuuskin nousee. Kuonan määrä oli myös silmin havaittavissa valuissa. Kuonan määrän vaikutus on nähtävissä kuvassa 13 (KUVA 13). Kuvassa 13 vasemmalta oikealle valut ovat: PROS 70, PROS 90, PROS 120 ja PROS 150. Valujen käsin lasketut kuonamäärät ovat luettavissa taulukosta 3 (TAULUKKO 3). Tiheydet sekä kovettumisajat olivat jokaisella valulla samat.

TAULUKKO 3. Kuonan määrä valuissa

Valu	Kuonan määrä (kg/m ³)
PROS 70	62,0
PROS 90	77,7
PROS 120	108,7
PROS 150	142,6



KUVA 13. Kuonan määrä silmin nähtävissä

Vähiten kuonaa sisältävä valu oli huomattavasti pehmeämmän näköinen, kuin eniten kuonaa sisältävä. Kovuus selvästi kasvoi sitä mukaa, kuin kuonan määräkin.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Tuloksista pääteltiin, että mikäli kaivostäyttöön kohdistuu vaatimuksia, kuonan määrän tulisi olla 150 kg/m³, jotta kaivostäyttö varmasti saavuttaisi 2 MPa lujuuden. Mikäli kaivostäyttöön ei kohdistu erityisiä vaatimuksia, vaan siltä vaaditaan kohtalaista kasassa pysymistä, kuonan määrän tulisi olla 90 kg/m³, mikäli tiheys ym. muut lujuuteen vaikuttavat tekijät ovat kunnossa. Jos taas kaivostäytöltä vaaditaan vain jonkinlaista kasassa pysymistä, 50 kg/m³ määrä kuonaa on riittävä.

Tutkimuksessa havaittu heitto kaivostäytön reseptin laskennassa tulee poissulkea jatkossa kaivos-täytön säännöllisellä tarkkailulla ja lujuuden varmistamisella

LÄHTEET

- Aulakoski, M. 2021. Henkilökohtainen tiedonanto, keskustelu. 22.11.2021.
- Colpaert, K. 2017. *Kovettuvan kaivostäytön kehittäminen Pyhäsalmen kaivoksella*. Oulu: Oulun yliopisto, Teknillinen tiedekunta. Prosessitekniiikan koulutusohjelma. Diplomityö. Viitattu: 20.11.2021.
- Finnsementti Oy. Masuunikuonajauhe KJ400. Viitattu: 16.6.2022. Saatavissa: <https://finnsementti.fi/tuotteet/seosaineet/masuunikuona-kj400/>.
- Grice, T. 2005. Introduction to Hydraulic Fill. Teoksessa Y. Potvin, E. Thomas & A. Fourie (toim.) *Handbook on Mine Fill*. Australia, Australian Centre for Geomechanics, 66–79.
- Hakapää, A. & Lappalainen, P. 2011. *Kaivos- ja louhintateknikka*. 2. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.
- Henderson, A. & Revell, M. 2005. Basic Mine Fill Materials. Teoksessa Y. Potvin, E. Thomas & A. Fourie (toim.) *Handbook on Mine Fill*. Australia, Australian Centre for Geomechanics, 12–20.
- Koffert, M. 2021. Henkilökohtainen tiedonanto, keskustelu. 13.9.2021.
- Kuosmanen, I. 2021. Kaivostäytön lujuusvaatimus. Henkilökohtainen sähköposti. 27.9.2021. Viestin saaja Nelli Komu.
- Kuula, H. 2004. *Pyhäsalmen kaivoksen kovettuva täyttö. Ominaisuudet, lujuusvaatimus ja laadun parantaminen*. Espoo. Teknillinen korkeakoulu, kalliotekniikka. Viitattu: 30.9.2021.
- Luukkonen, K., Lähteenmäki, S. & Mäki, T. 2012. *Pyhäsalmen kaivos 1962–2012*. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy.
- Majava, O-P. 2021. Tehdassuunnittelu. Henkilökohtainen sähköposti. 9.11.2021. Viestin saaja Nelli Komu.
- Oberlink, A. E. 2010. *Non-Portland cement activation of blast furnace slag*. Kentucky: University of Kentucky. Master's Thesis. Viitattu: 16.6.2022. Saatavissa: https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1036&context=gradschool_theses.
- Pekkala, T. 2010. *Pyhäsalmen kaivoksen kovettuvan kaivostäytön kehittäminen*. Lopputyö. Viitattu: 16.6.2022.
- Pekkala, T. & Kuosmanen, I. 2011. *Case study-Developing cemented hydraulic mine fill at Pyhäsalmi Mine*. Viitattu: 16.6.2022.
- Potvin, Y. 2005. Introduction. Teoksessa Y. Potvin, E. Thomas & A. Fourie (toim.) *Handbook on Mine Fill*. Australia, Australian Centre for Geomechanics, 1–10.
- Pyhäsalmi Mine Oy. 2022. Yrityksen sisäiset tiedostot.
- SS 137207. *Betonprovning – Hårdnad betong – Tryckhållfasthet – Omräkningsfaktorer*. 2005. Tukholma: Swedish Standards Institute SIS.

FODELLINEN KUUNAMAARÄ										
Istikettu kÄsitiästikettu prosocci-ästikettu ghoitöön V Kuona [kg/m ³] Kuona [kg/m ³]	Kuona [kg/m ³]	Kuona [kg/m ³]	VALOKSEN Valupvm Thiess g/cm ³	KN	Neliön mitaukset, kokkoka mm ² Pituus [mm]	MPa mitauspur vik	Pitus [mm]	PMD mitaukset MPa mitauspur vik	PMD mitaukset MPa mitauspur vik	
										224
Kuona 211	211	224	219.2021	1,766	14,732	4128,2	3,57	5,11.2021	46	
Kuona 126	126	162	219.2021	1,776	8,153	4173,9	1,95	5,11.2021	46	
Kuona 112	112	145	219.2021	1,775	6,44	4094,2	1,57	5,11.2021	46	
Kuona 112R	112		219.2021	1,775	7,452	4162,5	1,79	5,11.2021	46	
Kuona 98	98		219.2021	1,775	7,452	4162,5	1,79	5,11.2021	46	
Kuona 98R	98		219.2021	1,782	4,761	4082,8	1,17	5,11.2021	46	
Kuona 84	84	103	219.2021	1,746	5,382	4105,5	1,31	5,11.2021	46	
Kuona 84R	84	104	219.2021	1,746	5,382	4105,5	1,31	5,11.2021	46	
Kuona 70	70	91	219.2021	1,757	3,163	4151,1	0,76	5,11.2021	46	
Kuona 70R	70		110.2021	1,870	5,014	4128,2	1,21	5,11.2021	35	
Kuona 60	60	81	110.2021	1,881	4,979	4162,5	1,20	5,11.2021	35	
Kuona 60R	60	82	110.2021	1,887	3,047	4162,5	0,73	5,11.2021	35	
Kuona 51	51	66	6.9.2021	1,86						
Kuona 51	51		6.9.2021	1,85						
Kuona 200	200	207	6.9.2021	1,86						
Kuona 120	120	129	6.9.2021	1,86						
Kuona 93	93	104	6.9.2021	1,86						
Kuona 80	80	100	6.9.2021	1,85						
Kuona 67	67	72	6.9.2021	1,86						
PROS 50	50,2	52,4	17.12.2021	1,88						
PROS 50-2	50,2	52,4	17.12.2021	1,91						
PROS 50-3	50,2	52,4	17.12.2021	1,91	0,506	4071,5	1,30	0,12	4,2.2022	49
PROS 50-4	50,2	52,4	17.12.2021	1,91						
PROS 70	62,9	65,4	17.12.2021	1,87						
PROS 70-2	62,9	65,4	17.12.2021	1,86						
PROS 70-3	62,9	65,4	17.12.2021	1,86	0,978	4128,2	1,40,88	0,24	4,2.2022	49
PROS 70-4	62,9	65,4	17.12.2021	1,86						
PROS 90	83,3	87,0	17.12.2021	1,88						
PROS 90-2	83,3	87,0	17.12.2021	1,88	2,496	4173,9	1,42,89	0,60	4,2.2022	49
PROS 90-3	83,3	87,0	17.12.2021	1,93						
PROS 90-4	83,3	87,0	17.12.2021	1,91						
PROS 120	114,0	118,3	17.12.2021	1,88						
PROS 120-2	114,0	118,3	17.12.2021	1,88						
PROS 120-3	114,0	118,3	17.12.2021	1,88						
PROS 120-4	114,0	118,3	17.12.2021	1,89	5,688	4116,9	1,31,99	1,37	4,2.2022	49
PROS 70	62,0	59,7	22.2.2022	1,93						
PROS 70-2	62,0	59,7	22.2.2022	1,93						
PROS 70-3	62,0	59,7	22.2.2022	1,92						
PROS 70-4	62,0	59,7	22.2.2022	1,95						
PROS 90	77,7	77,7	22.2.2022	1,91						
PROS 90-2	77,7	77,7	22.2.2022	1,91						
PROS 90-3	77,7	77,7	22.2.2022	1,93						
PROS 90-4	77,7	77,7	22.2.2022	1,88						
PROS 120	108,7	108,0	22.2.2022	1,93						
PROS 120-2	108,7	108,0	22.2.2022	1,92						
PROS 120-3	108,7	108,0	22.2.2022	1,96						
PROS 120-4	108,7	108,0	22.2.2022	1,88						
PROS 150	142,6	144,4	22.2.2022	1,94						
PROS 150-2	142,6	144,4	22.2.2022	1,94						
PROS 150-3	142,6	144,4	22.2.2022	1,96						
PROS 150-4	142,6	144,4	22.2.2022	1,93						
LABRA 70	70,0	83,5	22.2.2022	1,94						
LABRA 98	98,0	110,2	22.2.2022	1,91						
LABRA 98-2	98,0	133	22.2.2022	1,93						
LABRA 126	126,0	139,0	22.2.2022	1,92						

pötkön reuna hieman lohjennut ennen puristusta

testataan pötkön pitiuden vaikutusta, tekataan suhteeseen 12 ja 11

mitaus "nyssä"

lukkunuruma

pullahti

Testi 12 Kuona211

Asiakas

2022-02-04 12:33:08

00:01:31

Standardi

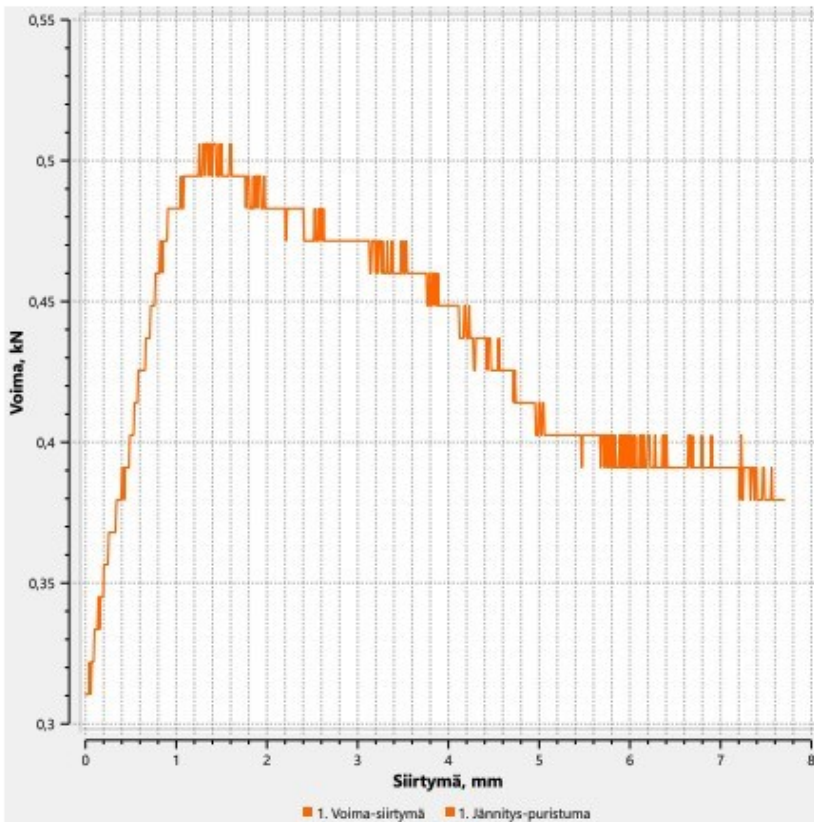
Testitulokset

Materiaali

Murtovenymä	%	Murtokurouma	100.000	%
Kimmokerroin (E1)	N/mm ²	Murtolujuus (Rm)	0.00	N/mm ²
Alempi myötöraja (ReL)	N/mm ²	Maksimivoima	0.506	N
Ylempi myötöraja (ReH)	N/mm ²	Muistiinpanot		
0.2%:n venymä (Rp0.2)	N/mm ²	Mittaushäiriö		
1.0%:n venymä (Rp1.0)	N/mm ²			

Syöttötiedot

Loppuhalkaisija		mm	Putkisegm. aineenvahv.	mm
Loppupituus	92.30	mm	Putkisegm. leveys	mm
Lo		mm	Suorakulmion sivu a	mm
Le		mm	Suorakulmion sivu b	mm
Lc	100.00	mm	Pinta-ala S0	4071.504
			Nopeus elastisella alueella	0.100
Halkaisija	72	mm	Kavennusalueen isoin m	mm



Testi 13 Kuona211

Asiakas

2022-02-04 12:37:34

00:03:16

Standardi

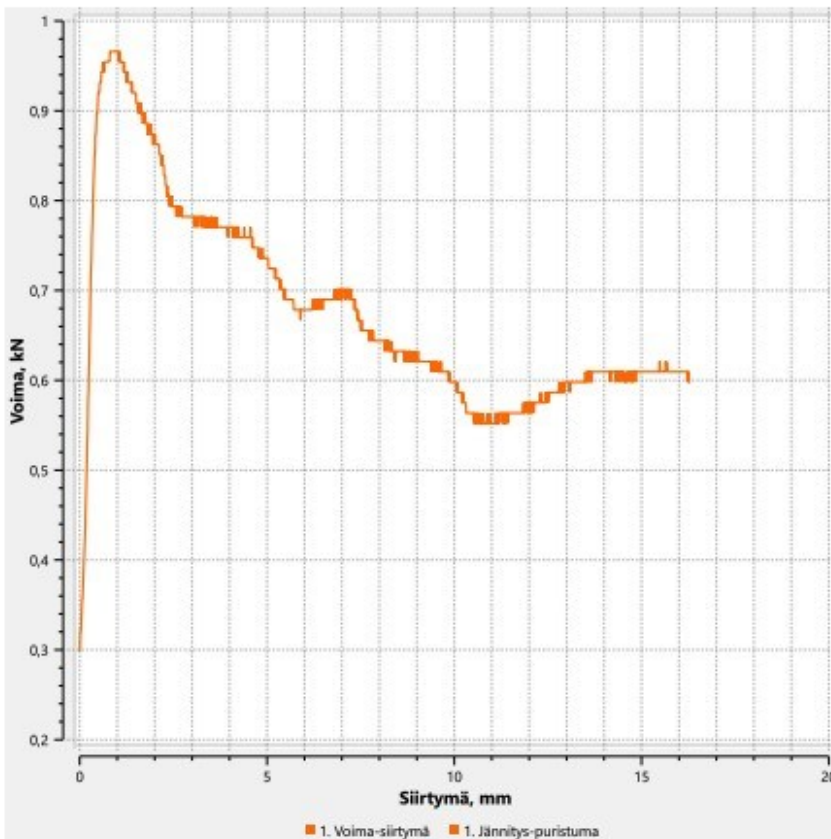
Testitulokset

Materiaali

Murtovenymä	%	Murtokourouma	100.000	%
Kimmokerroin (E1)	N/mm ²	Murtolujuus (Rm)	0.00	N/mm ²
Alempi myötöraja (ReL)	N/mm ²	Maksimivoima	0.978	N
Ylempi myötöraja (ReH)	N/mm ²	Muistiinpanot		
0.2%:n venymä (Rp0.2)	N/mm ²	näyte 2		
1.0%:n venymä (Rp1.0)	N/mm ²			

Syöttötiedot

Loppuhalkaisija		mm	Putkisegm. aineenvahv.	mm
Loppupituus	83.72	mm	Putkisegm. leveys	mm
Lo		mm	Suorakulmion sivu a	mm
Le		mm	Suorakulmion sivu b	mm
Lc	100.00	mm	Pinta-ala S0	4128.249 mm ²
Halkaisija	72.5	mm	Nopeus elastisella alueella	0.100 mm/s
			Kavennusalueen isoin m	mm



Testi 11 Kuona211

Asiakas

2022-02-04 12:26:38

00:01:11

Standardi

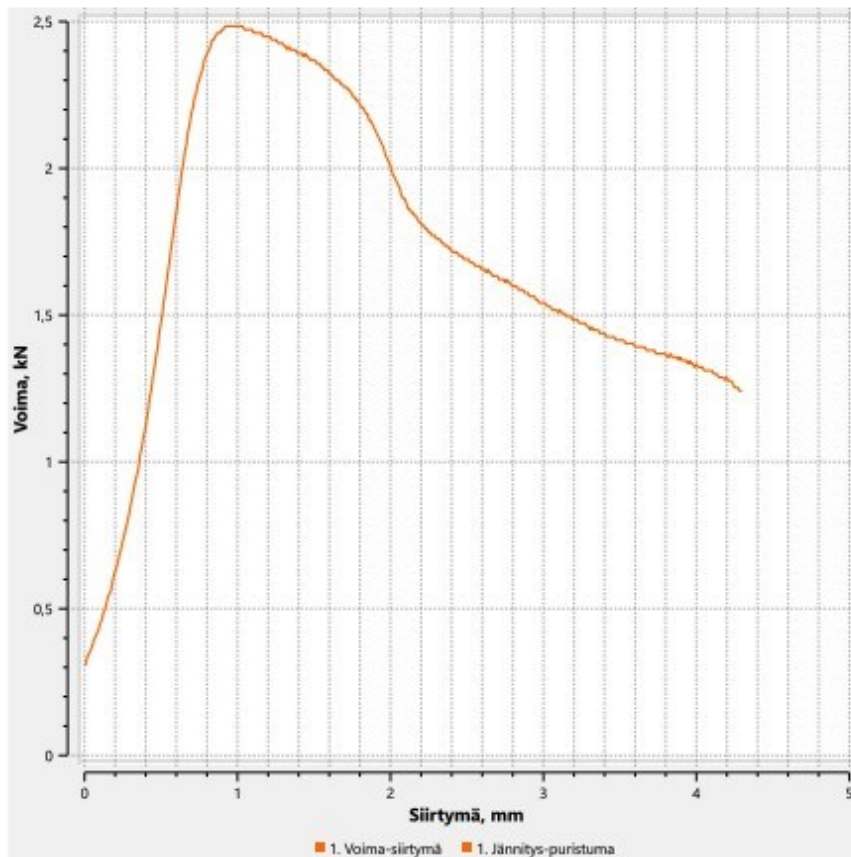
Testitulokset

Materiaali

Murtovenymä	%	Murtokouroma	%
Kimmokerroin (E1)	N/mm ²	Murtolujuus (Rm)	0.00 N/mm ²
Alempi myötöraja (ReL)	N/mm ²	Maksimivoima	2.496 N
Ylempi myötöraja (ReH)	N/mm ²	Muistiinpanot	
0.2%:n venymä (Rp0.2)	N/mm ²		
1.0%:n venymä (Rp1.0)	N/mm ²		

Syöttötiedot

Loppuhalkaisija		mm	Putkisegm. aineenvahv.	mm
Loppupituus	95.71	mm	Putkisegm. leveys	mm
Lo		mm	Suorakulmion sivu a	mm
Le		mm	Suorakulmion sivu b	mm
Lc	100.00	mm	Pinta-ala S0	4173.928 mm ²
Halkaisija	72.900001525	mm	Nopeus elastisella alueella	0.100 mm/s
			Kavennusalueen isoin m	mm



Testi 14 Kuona211

Asiakas

2022-02-04 12:44:19

00:01:02

Standardi

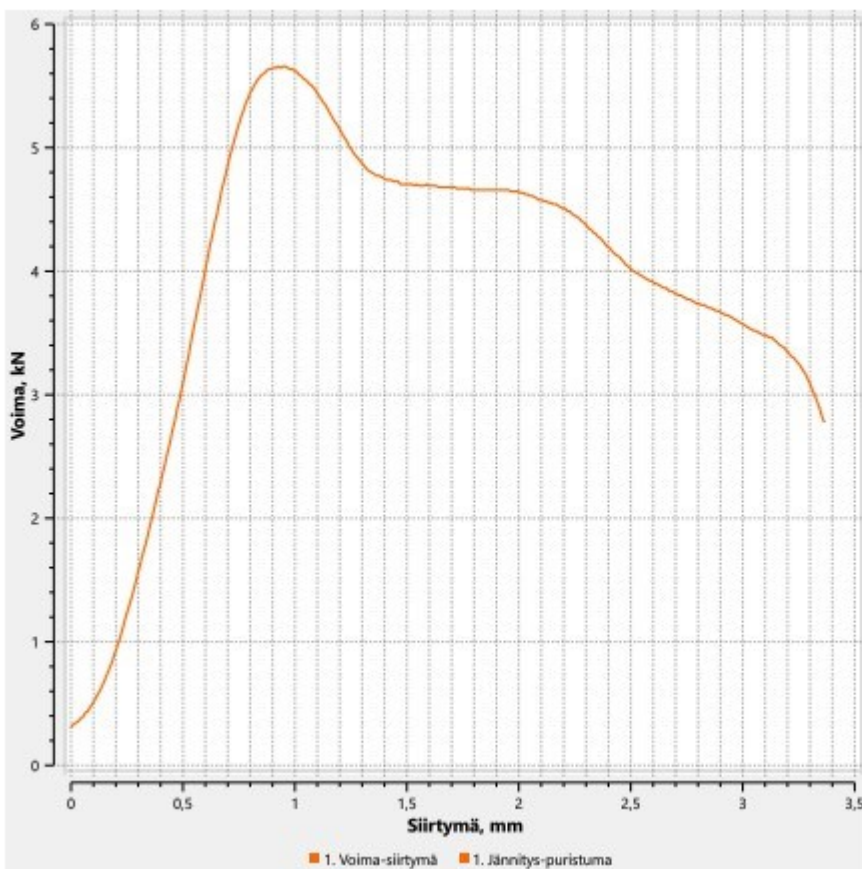
Testitulokset

Materiaali

Murtovenymä	%	Murtokurouma		%
Kimmokerroin (E1)	N/mm ²	Murtolujuus (Rm)	0.00	N/mm ²
Alempi myötöraja (ReL)	N/mm ²	Maksimivoima	5.658	N
Ylempi myötöraja (ReH)	N/mm ²	Muistiinpanot		
0.2%:n venymä (Rp0.2)	N/mm ²			
1.0%:n venymä (Rp1.0)	N/mm ²			

Syöttötiedot

Loppuhalkaisija		mm	Putkisegm. aineenvahv.	mm
Loppupituus	96.63	mm	Putkisegm. leveys	mm
Lo		mm	Suorakulmion sivu a	mm
Le		mm	Suorakulmion sivu b	mm
Lc	100.00	mm	Pinta-ala S0	4116.869 mm ²
			Nopeus elastisella alueella	0.100 mm/s
Halkaisija	72.400001525	mm	Kavennusalueen isoin m	mm



Kaava on: $(Q145 \cdot M66 + Q132 \cdot M80) / (C114 + 1e-5)$
Q145 = Ruuvisyötin 1KT käyntiin
M66 = kaivostäytön kuonanvirtaus
Q132= Lentotuhka ruuvisyötin käyntiin
M80= Lentotuhkan virtaus
C114=täyttökuutiot = $(C111 + Q145 \cdot M66 + Q132 \cdot M80) / C113$
C111= kaivostäytön kiintoaineen massavirta = $M112 \cdot C109 \cdot (M108 - 1) / (C109 - 1)$
C113=täyttökuution ominaispaino = $C109 \cdot 0.5 + 0.4$
C109=kaivostäytön kiintoaine ominaispaino = $(C103 \cdot P252 + C107 \cdot (P251 \cdot B45 + P250 \cdot P5) + C131 \cdot P253) / (C103 + C107 + C131 + 1e-5)$
M112= LP6BAV virtaus
M108= LP6BAV liete tiheys
C103= SS3SV tonnit PK3BAV:ille = $(M36 - M19) \cdot P252 \cdot (M35 - 1) / (P252 - 1 + 1e-5) \cdot B43 + B44 \cdot C104$
P252= SS3SV kiintoaineen sg
C107= SS5SK alite kaivostäyttöön = $B46 \cdot (C105 + C106)$
P251= SJ kiintoaineen sg (SV ohitettu)
B45= SV off, P5=0
P250= SJ kiintoaineen sg (SV päällä)
P5= SV päällä/ohitettu
C131= SAT KT kiintoainetonnit = $11555 \cdot 1M111 \cdot P253 \cdot (1M113 - 1) / (P253 - 1 + 1e-5)$
P253= SAT kiintoaineen sg
11555=LM1H taajuusmuuttaja käy
1M111=lietevirta satelliittijauhimolta
1M113=korppulietteentiheys
M36= SS3SV alitteen virtaus
M19= SS3SV alitevirran ohitus jätteelle
M35=SS3SV alitteen tiheys
B43= AP5/6SK kaivostäyttöön
B44=AP5/6SK syklooitu kaivostäyttöön
C104= F398 (SS3SV) syktonnit PK3BAV:ille = $(M36 - M19) / 2 \cdot P259 \cdot (M35 - 1) / (P259 - 1 + 1e-5)$
B46=AP9SK kaivostäyttöön
C105=F495 tonnit PK3BAV:ille (SVOFF) = $(M81 - M104) \cdot P251 \cdot (M55 - 1) / (P251 - 1 + 1e-5 \cdot B45)$
C106=F495 tonnit PK3BAV:ille (SVON) = $(M81 - M104 - M19) \cdot P250 \cdot (M55 - 1) / (P250 - 1 + 1e-6) \cdot P5$
Ja näiden ymmärtämiseen tarvitaan vielä:
P259=SS3SV syklonin alitteen sg
M81=SS5SK alitteen virtaus
M104=SS3SV alitteen ohitusvirtaus
M55 on SS5SK alitteen tiheys
Eli B43 = 1 kun AP5/6SK venttiili jätteelle ja PK3BAVS syöttöventtiili ovat molemmat kiinni
B44 = 1 kun PK3BAVs syöttöventtiili on auki ja AP5/6SK venttiili jätteelle on kiinni
eli B46 = 1 kun AP9SK venttiili jätteelle on kiinni ja B46= 0 kun AP9SK venttiili jätteelle on auki