



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# KIVIAINEKSEN SEULONNAN MALLINNUS

## Menetelmän optimointi

Mira Adolfsson

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2018  
Energia- ja ympäristötekniikka  
Laboriotekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Energia- ja ympäristötekniikka  
Laboratoriotekniikka

ADOLFSSON, MIRA:  
Kiviaineksen seulonnan mallinnus  
Menetelmän optimointi

Opinnäytetyö 85 sivua, joista liitteitä 30 sivua  
Toukokuu 2018

---

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Metso Minerals Oy ja se tehtiin yrityksen Tampereen toimipisteen tutkimuskeskuksessa sijaitsevaan kivilaboratorioon. Laboratoriossa on kiviaineksen seulontaa mallintava testiseula, jossa kiviaines kulkee ympyrärataa. Ympyräradalle kivet saadaan tärinän sekä seulaan kiinnitettävän keskikupin avulla, jolloin testi-seulalla voidaan ottaa huomioon myös murskaamoiden seulojen pituus. Testiseulaan laitetaan yksi seula kerrallaan, joten keskikuppia joudutaan vaihtamaan seulasta toiseen. Vaihtaminen on osoittautunut kuitenkin haastavaksi ja aikaa vieväksi.

Opinnäytetyön tavoitteena oli lyhentää testeihin kuluva aikaa ja saada testistä käyttäjystävällisempi. Tarkoituksena oli katsoa, miten toisen materiaalin ympyräradalle saatavan komponentin poistaminen vaikuttaa testiseulalla saataviin tuloksiin. Testit tehtiin ilman keskikuppia, ja testeistä saatuja tuloksia verrattiin aikaisemmin keskikupilla tehtyjen testien tuloksiin sekä laskennallisiin arvoihin. Vertailua tehtiin seulontatehokkuutta, läpäisyprosentteja ja kiviaineksen liikeratoja analysoimalla.

Keskikupiton testitapa todettiin tuloksien perusteella käyttökelpoiseksi. Sillä saatiin parempia tuloksia läpäisyprosentteja tarkasteltaessa 80 %:ssa tapauksista ja seulontatehokkuuksissa 83 %:ssa tapauksista. Testeissä, joissa keskikupillinen tapa oli parempi, erot eivät olleet kuitenkaan suuria testien välillä. Liikeradoissa selkein ero oli, että ilman keskikuppia materiaali pääsi seulan keskelle. Kiviaines kulki silti seulan reunoilla ympyrärataa ja keskellä olevista rakeista suurin osa ponnahteli lähes paikoillaan.

Tehtyjen testien perusteella keskikupin poistamisella vaikuttaisi olevan parantava vaikutus sellaisten seulojen seulontatehokkuuteen, joille jää paljon ylitettä. Jatkossa voisi tutkia, toistuuko ilmiö myös muilla kuin 12,5 mm:n seuloilla. Testit antavat myös suuntaa seulontatehokkuuteen vaikuttavien tekijöiden vaikutussuhteista, joita voisi myös tutkia jatkossa tarkemmin.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Laboratory Engineering

ADOLFSSON, MIRA:  
Screening Simulation of Rock Material  
Method Optimization

Bachelor's thesis 85 pages, appendices 30 pages  
May 2018

---

This thesis was done for Metso Minerals Oy, located in Tampere. Metso Minerals produces and delivers crushers and screens for mining and aggregate industries and provides services regarding the products. In the rock laboratory, abrasiveness and crushability of aggregates are done in addition to screening tests and research. There is a test screen in the laboratory with which it is possible to conduct different kinds of tests and analyze and model real situations. For example, the screening efficiency of different kinds of aggregates can be measured. Aggregates travel a circular path along the test screen with the help of vibration and a cylinder that is attached in the center of the screen. There is only one screen at the time in the test screen, so the cylinder must be moved every time the screen is changed. Changing turned out to be time consuming and hard so new tests without the cylinder were done in this thesis.

The aim was to shorten the time used to conduct the tests and make the procedure more practical. The purpose was to study the effects of removing the cylinder by comparing the results to the results of the tests with the cylinder and theoretical values. The comparison was done by analyzing the trajectory of the material, the screening efficiency and the screenability of the material or, in other words, the amount of material passing through the sieves.

The test procedure without the cylinder was shown to be an applicable method for conducting the tests. The tests without the cylinder gave better results in 80 % of cases in screenability tests and 83 % of cases in screening efficiency tests. The difference between tests were still small when the tests conducted with the cylinder gave better results. The differences in the trajectory of rock material were expected since the material could access the middle of the screen without the cylinder. For the most part material still traveled a circular path without the cylinder in the outer part of the screen.

Based on the screening efficiency results, it appears that the removing of the cylinder increases screening efficiency with screens that have many oversized granules among the feed. In the future, it would be interesting to study whether the same phenomenon reoccurs in other screens as well in addition to the 12.5 mm screen. The findings also suggest that some factors have a greater effect on screening efficiency than others. In the future, more tests could be done to determine more accurately the different effect relations.

---

Key words: screening, simulation, screening efficiency, screenability, test screen

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	KIVILAJEISTA JA NIIDEN OMINAISUUKSISTA .....	8
	2.1 Basaltti .....	8
	2.2 Raekoko ja -muoto.....	8
	2.3 Rakeisuus ja lajitepitoisuus.....	9
3	SEULONTA.....	11
	3.1 Seulalaitteistot.....	12
	3.2 Laboratorioseulat .....	13
	3.3 Laboratorioseulonta .....	14
	3.4 Välppäys ja litteysluku .....	15
	3.5 Seulontatehokkuus ja siihen vaikuttavat tekijät.....	17
	3.5.1 Seulottavan kiviaines .....	17
	3.5.2 Seula.....	18
	3.5.3 Seulakone .....	18
4	TESTISEULA .....	20
	4.1 Taajuusmuuttaja.....	22
	4.2 Tärykoneet .....	23
5	TYÖN SUORITUS .....	24
	5.1 Näytteet.....	24
	5.2 Testit .....	25
	5.3 Manuaalinen seulonta .....	27
6	TULOKSET .....	29
	6.1 Tulosten käsittely.....	29
	6.2 Keskikupillisten testien tulokset .....	33
	6.3 Laskennalliset arvot .....	35
	6.4 Vertailu .....	36
	6.4.1 Lämpäisyprosentit .....	36
	6.4.2 Seulontatehokkuudet.....	42
	6.4.3 Liikeradat .....	48
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	50
	LÄHTEET.....	54
	LIITTEET .....	56
	Liite 1. 12,5 kg:n näytteen koostumus .....	56
	Liite 2. 10 kg:n näytteen koostumus .....	57
	Liite 3. 8 kg:n näytteen koostumus .....	58
	Liite 4. 6,3 kg:n näytteen koostumus .....	59

Liite 5. 5 kg:n näytteen koostumus .....	60
Liite 6. 12,5 kg:n näytteen alitteen määrä sekunnin välein .....	61
Liite 7. 10 kg:n näytteen alitteen määrä mitattuna sekunnin välein .....	64
Liite 8. 8 kg:n näytteen alitteen määrä mitattuna sekunnin välein .....	67
Liite 9. 6,3 kg:n näytteen alitteen määrä mitattuna sekunnin välein .....	70
Liite 10. 5 kg:n näytteen alitteen määrä mitattuna sekunnin välein .....	73
Liite 11. 12,5 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat .....	76
Liite 12. 10 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat .....	77
Liite 13. 8 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat .....	78
Liite 14. 6,3 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat .....	79
Liite 15. 5 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat .....	80
Liite 16. 12,5 kg:n näytteen manuaalinen seulonta .....	81
Liite 17. 10 kg:n näytteen manuaalinen seulonta .....	82
Liite 18. 8 kg:n näytteen manuaalinen seulonta .....	83
Liite 19. 6,3 kg:n näytteen manuaalinen seulonta .....	84
Liite 20. 5 kg:n näytteen manuaalinen seulonta .....	85

## LYHENTEET JA TERMIT

absorptio	aine pidättäytyy (esim. liukenee, imeytyy) toiseen aineeseen
adsorptio	aine pidättäytyy toisen aineen pinnalle
alite	seulan läpäissyt raekoko
deformaatio	pysyvä muutos esimerkiksi tierakenteen eri kerroksissa
epäkeskomassa	kappaleen massa ei ole toiseen kappaleeseen nähden keskellä
epäkeskomoottori	muuttaa pyörimisliikkeen edestakaiseksi liikkeeksi tai toisinpäin
fraktio	osa näytteestä, jolla on tietty raekoko
irtotiheys	kuivan kiviaineksen massa jaettuna määritelmän mukaisen näyteastian tilavuudella ( $t/m^3$ )
kapasiteetti	kuvaa seulan kykyä erotella syötetty kiviaines tonneina neliometriä kohden ( $t/h$ )
kerrostuminen	kiviaines järjestäytyy siten, että isoimmat rakeet ovat päällimmäisinä ja pienimmät alimmaisina
keskikuppi	testiseulan lieriömäinen osa, joka kiinnitetään verkkoseulan keskelle
kiintotiheys	kiviaineksen massan suhde sen syrjäyttämään veden tilavuuteen ( $t/m^3$ )
korroosio	metallien hapettumista ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta
litteysluku	litteiden kivien määrä (%)
maton paksuus	seulalle levittäytyneen kiviainekerroksen paksuus
MMO	Metso Minerals Oy
polyuretaani	polymeeri, joka sisältää uretaaniryhmän
syöte	seulomaton kiviaines
taajuusmuuttaja	säätää mm. tärykoneiden pyörimisnopeutta
tärykaappi	tärinää tuottava tärytin, joka parantaa rakeiden erottumista
vastapaino	seulan tärytinskyksikön osa, joka tuottaa halutunlaisen seulonta-iskun materiaalille
välipiiri	toimii energiavarastona sähköisissä systeemeissä
välppäys	litteiden kivien erottelu materiaalista
ylite	seulalle jäänyt raekoko

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Tampereen Hatanpäällä sijaitsevaan Metso Minerals Oy:n tutkimuskeskuksen kivilaboratorioon ja sitä hyödynnetään MMO:n tutkimusjohtajan Keijo Viilon tekeillä olevassa väitöskirjassa. MMO tekee ja toimittaa kivenmurskaus- ja kaivosteollisuuden erilaisia murskaimia ja seuloja sekä tarjoaa niihin liittyviä palveluja. Kivilaboratoriossa muun muassa testataan erilaisten kivien kuluttavuutta ja murskautuvuutta sekä tehdään seulonta-analyysejä ja -tutkimusta.

Laboratoriossa on testiseula, jolla voidaan testata erilaisten kiviainesten seulontaominaisuuksia kuten esimerkiksi kosteuden vaikutusta seulontatehokkuuteen. Testiseula mallintaa seulontalaitteen seulojen pituutta siten, että sillä voidaan jatkaa seulontaa loputtomiin ympyrän muotoisen radan ansiosta. Ympyrärata saadaan aikaiseksi kiinnittämällä ympyrän muotoisen seulan keskelle keskikuppi ja ravistelemalla sitä oikealla tavalla. (Kekäläinen 2010, 19.) Keskikuppi on kuitenkin työlästä ja aikaa vievää vaihtaa seulasta toiseen, sillä laitteeseen laitetaan kerrallaan vain yksi seula.

Opinnäytetyön tavoitteena on lyhentää testiin kuluva aikaa ja kehittää sitä käytännöllisemmäksi. Tarkoituksena on tutkia, miten toisen ympyräradalle ohjaavan komponentin, keskikupin, poistaminen vaikuttaa testiseulalla saataviin tuloksiin. Saaduista tuloksista lasketaan seulontatehokkuus sekä läpäisyprosentti ja kiviaineksen liikeratoja tarkastellaan testien aikana silmämääräisesti ja videoilta. Molempien testien laskettuja arvoja verrataan keskenään. Läpäisyprosentteja verrataan myös laskennallisiin arvoihin. Keskikupilliset testit on tehty ennen tämän opinnäytetyön aloitusta ja tässä opinnäytetyössä tehdään keskikupittomat testit. Materiaalina keskikupillisissa testeissä oli käytetty basalttia, joten tämän opinnäytetyön keskikupittomissa testeissä käytetään myös samaa basalttia.

## 2 KIVILAJEISTA JA NIIDEN OMINAISUUKSISTA

Maan kallioperä koostuu kivilajeista, jotka sisältävät erilaisia mineraaleja. Kivilajit jaotellaan kolmeen pääryhmään: magmakiviin, sedimentteihin ja metamorfisiin kiviin. Suomen maaperä koostuu pääosin magmakivistä ja metamorfisista kivistä, mutta myös seoskivilajeja esiintyy. Kiviaineksien ominaisuuksia ovat muun muassa koostumusominaisuuksiksi luokiteltavat raekoko, raemuoto ja lajitepitoisuus. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 1979, 13–16, 26, 71.)

### 2.1 Basaltti

Basaltti luokitellaan magmakiveksi, sillä se muodostuu tulivuorenpurkauksen seurauksena kuumen laavan jäähtyessä. Basalttikivissä saattaa esiintyä huokosia ja ne voivat olla joko mustia, harmaita tai punertavia. (Korotev n.d.) Ne ovat myös emäksisiä ja koostuvat plagioklaasista, sarvivälkkeestä, pyrokseenistä, oliviinista ja rautaoksidoista (Hytönen 1999, 12).

Basaltti on yksi yleisimmistä kivilajeista maapallolla: esimerkiksi melkein kaikki Havaijin kivistä ovat basalttia. Maapallo ei ole kuitenkaan ainoa paikka, missä basalttia esiintyy. Sitä on myös muun muassa Marssissa, Kuussa ja joissakin meteoriiteissa. Kuussa sitä on noin 17 %. (Korotev n.d.)

### 2.2 Raekoko ja -muoto

Raekoko ilmoitetaan kahden seulakoon avulla, joista toisen rakeet läpäisevät ja toista eivät. Merkintätapana käytetään  $d_i/D_i$ , jossa  $d$  on pienemmän seulan koko ja  $D$  isomman seulan. Esimerkiksi jos raekoko on 5/6,3, rakeet läpäisevät 6,3 mm:n seulan, mutta jäävät 5 mm:n seulalle. (SFS-EN 933-3 2012, 4–5.)

Rakeet jaetaan muotonsa perusteella kolmeen pääryhmään: vakioläpimittäisiin, litteisiin ja neulamaisiin rakeisiin (kuva 1). Vakioläpimittaiset rakeet voidaan vielä jakaa terä-  
väsärmäisiin, pyöreäsärmäisiin ja pyörityneisiin rakeisiin. Raemuoto vaikuttaa muun



muassa kiviaineksen tiiviyteen ja rakeiden lujuteen. Rakeen särmikkyys taas vaikuttaa esimerkiksi kiviaineksen lujuusominaisuuksiin ja leikkauslujuuteen. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 1979, 72; Jääskeläinen 2011, 46.)



KUVA 1. Rakeiden muoto

### 2.3 Rakeisuus ja lajitepitoisuus

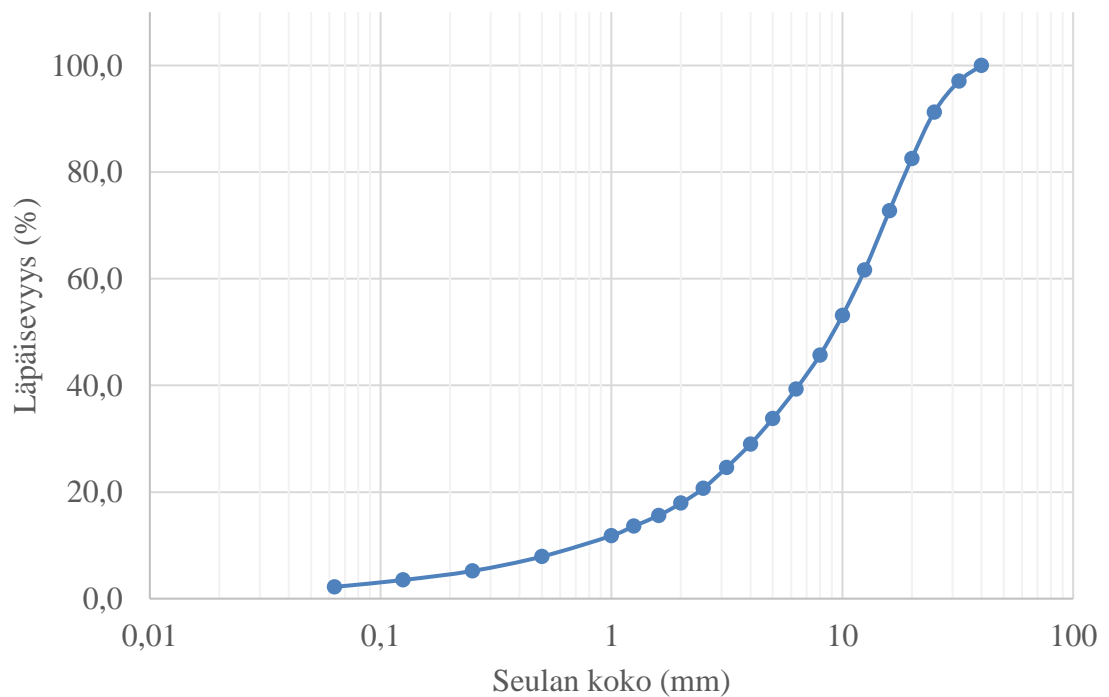
Rakeisuus määritellään erisuuruisten rakeiden suhteellisena massajakaumana näytteessä. Yleensä rakeisuusjakauma selvitetään seulomalla. (Suomen Geotekninen Yhdistys Ry 1985, 10.) Maalajitteeksi kutsutaan sellaista fraktiota näytteestä, jolla on määrätty rae-koko  $d_i/D_i$ . Hienoimman ja karkeimman fraktion rajoista vain toinen on määritelty. Maalajitteiden avulla voidaan geoteknillisen maalajiluokituksen avulla antaa kiviainekselle tai maa-ainekselle nimi, kuten siltti tai savi. (Jääskeläinen 2011, 20)

Lajitepitoisuus kertoo kunkin maalajitteen pitoisuuden näytteessä prosentteina ja se vaikuttaa kiviaineksen rakenneominaisuuksiin. Lajitepitoisuus selvitetään useimmiten seulomalla. Seulonnan punnitustuloksista voidaan laskea läpäisyprosentti (lyhennetty  $l\%$ ) jokaiselle seulalle summaamalla kunkin seulan kaikille alapuolella oleville seuloille jääneiden aineiden prosenttiosuudet (kaava 1). Läpäisyprosentteista taas voidaan

piirtää rakeisuuskäyrä (kuvio 1), joka havainnollistaa näytteen eri lajitepitoisuuksia. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 1979, 72–73.)

$$l - \% = y - \%_{\text{pienempi seula}} + l - \%_{\text{pienempi seula}} \quad (1)$$

jossa yliteprosentti on lyhennetty  $y - \%_{\text{pienempi seula}}$  ja se kuvaa sitä seulaa pienemmän seulan ylitteen määrä prosentteina, jolle läpäisyprosentti lasketaan.  $l - \%_{\text{pienempi seula}}$  kuvaa saman seulan läpäisyprosenttia, jolle kaavassa käytettävä yliteprosentti on laskettu. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 1979, 72–73).



KUVIO 1. Esimerkkinä tämän opinnäytetyön näytteiden rakeisuuskäyrä

### 3 SEULONTA

Murskattava tai murskattu kiviaines koostuu halkaisijaltaan hyvin erikokoisista rakeista (kuva 2), jotka voidaan erottaa toisistaan seulomalla. Murskattavasta kiviaineksesta eli syöttestä erotetaan riittävän hienojakoinen aines, koska se muun muassa säästää murskaimen kuluvia osia, energiaa ja parantaa sen kapasiteettia. Murskattua kiviainesta, eli tuotetta seulotaan, jotta saataisiin pidettyä murskeen raekoko haluttuna. Karkeampi fraktio voidaan tällöin palauttaa takaisin murskaimeen. Tuotetta seulotaan usein myös siksi, että saataisiin tarpeista riippuen oikean kokoista fraktiota erotettua. (Lukkarinen 1985, 113.) Esimerkiksi teiden rakentamisessa ja kunnostuksessa käytetään kiviä, joiden raekoko on 0/31 tai 0/16. Perustuksiin taas käytetään 0/150 kokoista kiveä ja talonrakennukseen ja tien pohjiin sopii parhaiten raekooltaan 0/56 kiviaines. (Aalto 2015.)



KUVA 2. Mursketta, jossa on erikokoisia rakeita

Seulonta tehdään tavallisesti murskaamoissa kuivana, mutta märkää ainesta voidaan myöskin seuloa. Karkeasta, liejuisesta murskeesta lieju voidaan erottaa helposti märkäseulonnalla. Märkäseulonnalla ei kuitenkaan pystytä erottelemaan tarpeeksi tehokkaasti

alle millimetrin kokoisia rakeita, kun taas kuivaseulonnalla päästään usein hyvään erotuskykyyn jopa 100 µm:n raekokoalueella. Karkeaa materiaalia seulottaessa kuiva- ja märkäseulonnalla ei ole juurikaan eroa. (Lukkarinen 1985, 113–114.)

Seulan aukkoja puolet pienemmät rakeet menevät läpi helposti ja puolestaan puolet isommat jäävät helposti seulalle (Lukkarinen 1985, 114). Mitä enemmän rakeen halkaisija lähestyy seulaverkon halkaisijaa, sen epätodennäköisempää läpimeno on (Sullivan 2012, 1). Tällaisilla rakeilla on myös isompi todennäköisyys jäädä seulaverkon aukkoihin jumiin ja vaikeuttaa muiden rakeiden läpimenoa. Läpimienon todennäköisyyteen vaikuttaa muun muassa seulan pituus, kiviaineksen määrä ja seulonnan tehokkuus. (Lukkarinen 1985, 114–116.)

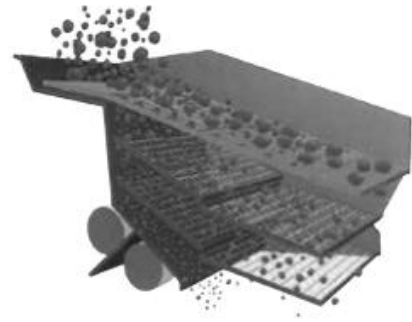
Kiviaineksen läpimienon parantamiseksi seuloja joudutaan usein ravistelemaan. Tällöin pienemmät rakeet jäävät pohjalle ja menevät helpommin seulan läpi, eli kiviaines kerrostuu seulalla. Ravistelun avulla saadaan seulan verkkokoon alittavien kivien läpimeno todennäköisemmäksi, sillä seulalla liikkuessaan ja poukkoillessaan ne lähestyvät seulan aukkoja aina uudelleen ja uudelleen. Ravisteluliike voi olla monenlaista: ympyrän muotoista, horisontaalista, vertikaalista tai näiden kaikkien sekoitusta. Jokaisella ravistelutyyppillä on omat erityispiirteensä ja seulasta sekä halutusta lopputuloksesta riippuu, minkä tyyppinen liike on tehokkain. (Sullivan 2012, 1–2.)

### **3.1 Seulalaitteistot**

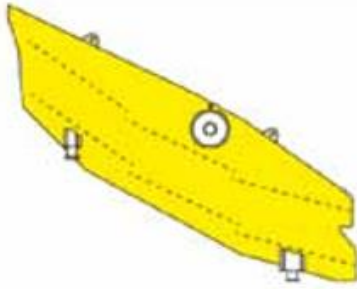
Murskaamoiden seuloja on hyvin monenlaisia, sillä erilaiset materiaalit ja halutut lopputulokset luovat erilaisia tarpeita. Seulat voidaan kuitenkin jakaa neljään päätyyppiin (kuva 3). Maailmalla käytetyistä seuloista 80 % ovat ensimmäistä päätyyppiä eli yhdessä kaltevuuskulmassa olevia seuloja. (Metso Oyj 2015, 4:3.)



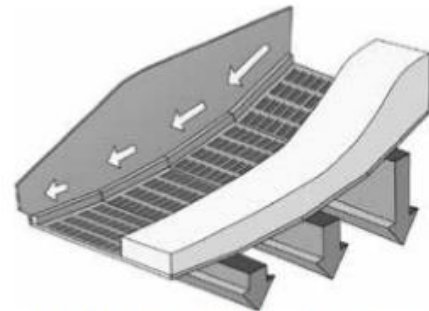
Yksi kaltevuuskulma



Kaksi kaltevuuskulmaa



Kolme kaltevuuskulmaa



Neljä kaltevuuskulmaa (banaaniseula)

KUVA 3. Erilaisia seuloja (Metso Oyj 2015, 4:3, muokattu)

Ensimmäinen neljästä päätyypistä on sellainen seula, jossa kaikki seulat ovat samassa kaltevuuskulmassa. Toisessa seulatyyppissä seulat ovat kahdessa eri kaltevuuskulmassa, kolmannessa taas kolmessa ja viimeisessä monessa kaltevuuskulmassa. Monen kaltevuuskulman seuloja kutsutaan myös banaaniseuloiksi niiden muodon takia. Kaltevuuden lisäksi seulat eroavat usein liikuteltavuutensa, seulojen liikkeen suunnan ja sen aiheuttajan kanssa toisistaan. Lisäksi seula voi olla muun muassa yksi- tai moniakselinen eli siinä voi olla joko vain yksi seula tai monia seuloja päällekkäin. (Metso Oyj 2015, 4:2–4:3.)

### 3.2 Laboratorioseulat

Laboratorioseulat (kuva 4) ovat huomattavasti pienempiä kuin murskaamoiden seulat. Seuloista kootaan seulasarja, jonka avulla halutulle materiaalille voidaan tehdä esimerkiksi standardin SFS-EN 933-1 mukainen seula-analyysi. Seula-analyysissä tutkitaan muun muassa litteyslukua ja rakeisuusjakamaa. Seulasarja koostuu tilanteesta riippuen

tarvittavasta määrästä erilaisia seuloja, jotka pinotaan päällekkäin siten, että suuriaukkoisin seula on päällimmäisenä. Seulasarjan alimmaiseksi laitetaan pohja, jonne kaikkein hienojakoisin fraktio erottuu. (Lukkarinen 1985, 13.)



KUVA 4. Verkkoseula

Standardin SFS-EN 933-2 mukaan 4 millimetrin ja siitä isompien seulojen tulee olla reikäseuloja ja alle 4 millimetrin seulojen tulee olla kudottuja verkkoseuloja. 4 millimetrin ja sitä suuremmat seulat voivat olla myös verkkoseuloja, jos voidaan osoittaa tuloksien korrelaatio reikäseulojen ja verkkoseulojen välillä. Kaikkien seulojen aukkojen tulee olla neliömäisiä. (SFS-EN 933-2 1996, 3.)

Seulojen aukkojen koot erilaisissa seulasarjoissa muuttuvat yleensä geometrisen sarjan mukaan. Geometrisessä sarjassa on suhdeluku  $q$ , joka kertoo peräkkäisten termien suhteen ja se on aina sama. Mitä pienempi suhdeluku, sitä tiheämpi seulasarja on kyseessä. (Lukkarinen 1985, 13.)

### 3.3 Laboratorioseulonta

Laboratoriossa useimmiten käytetään lajitepitoisuuden määrittämiseen manuaalista kuivaseulontaa. Kuivaseulonnassa näyte seulotaan nimensä mukaisesti kuivana ja näytteen

koko on yleensä välillä 0,5–1 kg. Näyte kaadetaan seulasarjalle, jota tärytetään koneellisesti (kuva 5) yleensä noin kymmenen minuuttia. Jos tärytysaika on liian lyhyt, kaikki pienimmät rakeet eivät ole ehtineet vielä asettua oikealle seulalle. Usein myös hienojakoisin aines joudutaan seulomaan kahdessa osassa, sillä pienempiaukkoiset seulat tukkeutuvat erittäin helposti hienoaineksen määrän ollessa suuri. Seulonnan päätyttyä jokainen seulalle jäänyt fraktio punnitaan erikseen gramman tarkkuudella ja kirjataan ylös. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 73; Jääskeläinen 2011, 17.)



KUVA 5. Scanteknikin tärykaappi ja MR-3 tärytin

### 3.4 Välppäys ja litteysluku

Välppäyksellä tarkoitetaan litteiden kivien pois seulomista murskeesta (SFS-EN 933-3 2012, 7). Litteiden kivien poistaminen ennen murskeen jatkokäsittelyä on joskus tarpeen, sillä litteät rakeet muun muassa murtuvat paljon helpommin kuin pyöreät. Esimerkiksi

paljon litteitä kiviä sisältävästä murskeesta valmistettu asfaltti on alttiimpaa deformaatiolle. (Torppa & Räisänen 2008, 2–3.) Myös betonin valmistamisessa litteät rakeet ovat haitaksi. Ne muodostavat enemmän ilmataskuja seokseen, jonka seurauksena hiekkaa tarvitaan enemmän täyttämään niitä. Hiekan määrän kasvaessa myös veden tarve kasvaa. (Legg, Waddell & Dobrowolski 1998, Quiroga & Fowler'n 2004, 14–15 mukaan.)

Litteiden kivien määrää murskeessa kuvaa litteysluku  $FI$  (kaava 2). Litteysluku voidaan laskea koko näytteelle tai jokaiselle fraktiolla erikseen ja se ilmoittaa litteiden kivien määrän prosentteina. Tulos ilmoitetaan pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun. Testi on uusittava, jos ennen seulontaa punnittu massa ja seulonnan jälkeen saatujen fraktioiden summa eroavat toisistaan enemmän kuin 1 %. (SFS-EN 933-3 2012, 7.)

$$FI = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

jossa  $m_1$  on koko näytteen massa tai vaihtoehtoisesti tietyn raekoon massa ja  $m_2$  litteiden kivien kokonaismassa tai yhdessä raekoossa esiintyvien litteiden kivien massa (SFS-EN 933-3 2012, 7).

Litteitä kiviä seulotaan välppäseuloilla (kuva 6), joissa on yhdensuuntaisia pyöreitä tangoja. Tangot muodostavat suorakaiteen muotoisia aukkoja, joista vain tarpeeksi litteät rakeet mahtuvat läpi. Välppäseulojen koko raekoolle  $d_i/D_i$  on  $D_i/2$  eli esimerkiksi raekoolle  $4/5$  välppäseulan koko on 2,5. (SFS-EN 933-3 2012, 5)



KUVA 6. Välppäseula



### 3.5 Seulontatehokkuus ja siihen vaikuttavat tekijät

Seulontatehokkuutta  $E$  määritettäessä verrataan testissä seulan läpäisseen kiviaineksen massaa koko seulan verkkokoon alittavan kiviaineksen massaan näytteessä (kaava 3). Tulos ilmoitetaan prosentteina. Tehokkuutta voidaan määrittää myös vertaamalla seulalle jääneen kiviaineksen massaa koko seulan verkkokoon ylittävän kiviaineksen massaan, jos ylite halutaan alitteen sijasta erottaa murskeesta. (Sullivan 2012, 1.) Seulontatehokkuus on helppo määrittää laboratoriokoossa tekemällä seulonta-analyysit ylitteestä, alitteesta ja syöttestä. Kuivaseulonnassa voidaan saavuttaa jopa 95 %:n seulontatehokkuus, mutta teollisuudessa jo 80 – 90 %:n tehokkuus on hyvä. (Lukkarinen 1985, 117–118.)

$$E = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

jossa  $m_1$  on punnitun alitteen massa ja  $m_2$  koko verkkokoon alittavan kiviaineksen massa (Sullivan 2012, 1).

#### 3.5.1 Seulottavan kiviaines

Seulontatehokkuuteen vaikuttaa muun muassa seulottavan kiviaineksen kosteus, maton paksuus, raekokojakauma sekä rakeiden muoto ja koko. Tietyn muotoiset rakeet menevät seulojen rei'istä helpommin läpi kuin toiset. Kosteus taas voi olla joko absorboitunutta, adsorboitunutta tai molempia. Kun materiaali on kostunut adsorboitumalla, se ei enää kerrostu yhtä helposti, koska pintakosteus saa rakeet pysymään toisissaan kiinni tiukemmin. Rakeisuusjakauman ollessa tiedossa esimerkiksi seula-analyysin avulla, osataan paremmin valita oikeat seulat juuri tietylle murskeelle halutusta lopputuloksesta riippuen. (Sullivan 2012, 3–6.)

Syötteen maton paksuus eli määrä seulalla tulee myös ottaa huomioon tehokkuutta arvioidessa ja optimoitaessa. Liian paljon kiviainesta seulalla estää kerrostumisen ja sitä kautta päällimmäisten, aukkoja pienempien rakeiden läpimenon. Pieni määrä materiaalia seulalla ei alenna tehokkuutta, mutta se ei ole välttämättä kustannustehokasta halutun lopputuloksen kannalta. Maton paksuutta voidaan kontrolloida muuttamalla kiviaineksen syöttönopeutta seulalle. (Sullivan 2012, 11–14.)

### 3.5.2 Seula

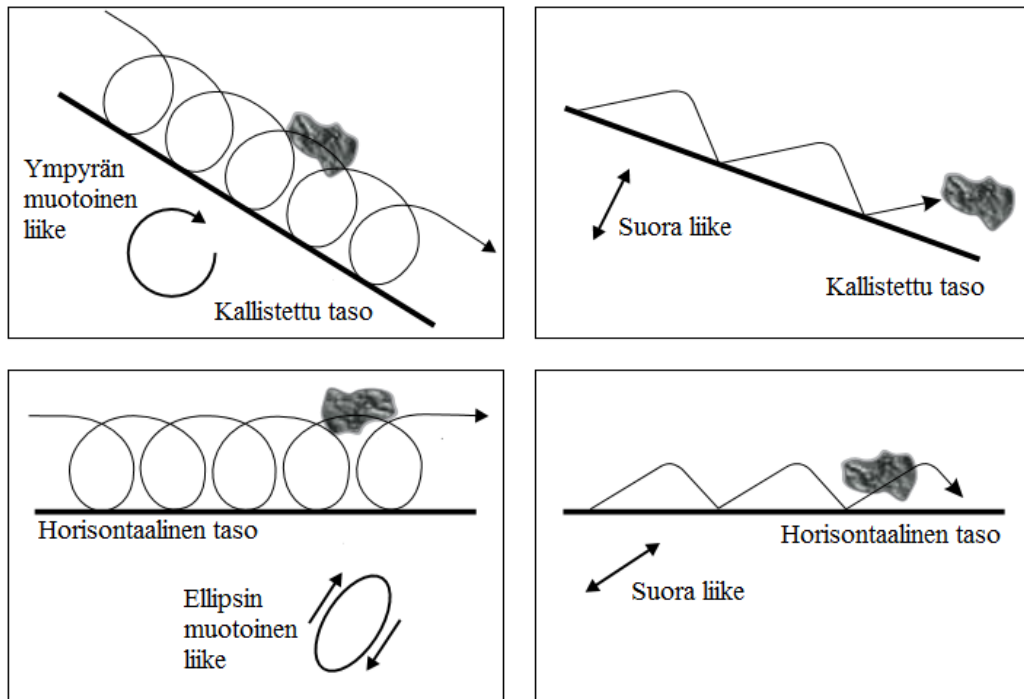
Seulan pinta-ala, materiaali ja rakojen muoto vaikuttavat seulontatehokkuuteen. Seuloja on saatavilla niin kumisia, polyuretaanista tehtyjä kuin tavallisia teräksisiäkin. Teräsverkko-seulat ovat monikäyttöisimpiä, halvimpia ja niiden saatavuus on erittäin hyvä. Niissä on myös se etu, että aukkojen pinta-ala on suuri kokonaispinta-alaan verrattuna. Tällöin aukkoja pienemmät rakeet menevät todennäköisemmin läpi eivätkä jää aukkojen väliin. Kumilla voidaan päällystää teräksisiä seuloja, jos halutaan melutasoa alemmas tai parempi kesto korroosiota vastaan. Ainoa haitta kumissa on, että se on kallis. Polyuretaaniverkkoja taas käytetään erityisesti hienojakoisen aineksen seulontaan. Polyuretaanilla on samankaltaisia ominaisuuksia kuin kumilla, mutta se on mekaanisesti lujempaa. Sen ikä voi olla teräksiseen seulaan nähden jopa 20–40-kertainen. (Lukkarinen 1985, 135–136.)

Yleisin seulojen aukkojen muoto on neliömäinen, mutta myös pallomaisia ja suorakulmaisia löytyy. Neliöaukkoisen seulan tulisi olla 10 %:a haluttua raekokoa isompi ja pyöreäaukkoisen seulan noin 25 %:a. Kaikkein edullisin muoto rakeen läpimenon kannalta on välppäseulojen suorakaiteen muotoiset aukot. Rakeen läpimenon todennäköisyys kasvaa, jos aukon pituus kasvaa rakeen liikkeen suuntaan. (Lukkarinen 1985, 136.)

### 3.5.3 Seulakone

Seulakone vaikuttaa seulontatehokkuuteen pääosin liikkeensä, kallistuskulmansa ja täri-  
nän eri komponenttiensa kautta. Jotkut seulat on suunniteltu toiminaan ilman ulkoista liikettä, mutta lähes aina seulaan kohdistetaan jonkinlaista mekaanista liikettä. Liikkeen tarkoitus on parantaa ylitteen ja alitteen erottumista ja saada kiviaines liikkumaan seulalla. (Sullivan 2012, 7.)

Erilaiset liikkeen suunnat ja pinnan kallistuskulmat saavat kiven liikkumaan eri tavoilla (kuva 7). Jos kallistettua seulaa liikutetaan ympyräradalla, kiviaines alkaa pomppia tasolla ylös samalla edeten alas pyörien. Jos kallistetulle tasolle kohdistetaan heittomainen liike suoraan viistoon ylös, kiviaines alkaa pomppia edeten samalla alas. Samanlaiset kiviaineksen liikkeet suoralla pinnalla saadaan elliptisellä ja hieman vähemmän viistoon ylös suuntautuvalla heittoliikkeellä. (Metso Oyj 2015, 4:2.)



KUVA 7. Erilaisia liikkeen suuntia kallistetulla ja horisontaalisella tasolla (Metso Oyj 2015, 4:2, muokattu)

Yleisin tapa saada seula liikkumaan on kohdistaa sen joustaviin tukirakenteisiin tärinää esimerkiksi tärykoneen pyörittämän vastapainon avulla. Tärinän suunta voi tarpeiden mukaan olla horisontaalisessa suunnassa tai vertikaalisessa suunnassa tai molemmissa. Horisontaalisessa liikkeessä on se etu, että kiviaines ei pompi niin paljoa seulalla kuin vertikaalisessa liikkeessä. Kivien suuri ponnahtelu lisää niiden leviämistä seulan reunoille ja läpimenon sijaan rakeilla on suurempi todennäköisyys jäädä vaeltelemaan tai jopa mennä reunojen yli. Hyvä puoli vertikaalisessa liikkeessä on se, että se vähentää aukkoihin jumiin jäävien kivien määrää. (Sullivan 2012, 8–9.)

Horisontaalisella tasolla yhden tärykoneen luoma liike ei saa kiviainesta etenemään kunolla, joten tasoa täytyy kallistaa noin 15–20 asteeseen, jotta kiviaines alkaisi liikkua eteenpäin. Vaihtoehtoisesti voitaisiin lisätä toinen tärykone tuomaan esimerkiksi vertikaalista liikettä systeemiin, mutta kallistaminen on yleensä halvempaa ja kustannustehokkaampaa. Tehokkuutta voidaan optimoida lisää myös esimerkiksi muuttamalla tärinän amplitudia ja taajuutta. (Sullivan 2012, 9.)

#### 4 TESTISEULA

Testiseula (kuva 8) tehtiin kivilaboratorioon Toni Kekäläisen (2010) opinnäytetyönä, jotta laboratoriossa pystyttäisiin mallintamaan todellisuutta vastaavaa seulontaa. Käytössä on perinteinen manuaalinen seula-analyysi, jossa seulat laitetaan päällekkäin tärykaappiin. Perinteisellä seula-analyysillä kuitenkin selvitetään näytteen rakeisuusjakauma, kun taas testiseulalla pystytään tutkimaan seulalaitteen seulojen erilaisia parametreja ja erilaisten materiaalien seulontaominaisuuksia. (Kekäläinen 2010, 19.)

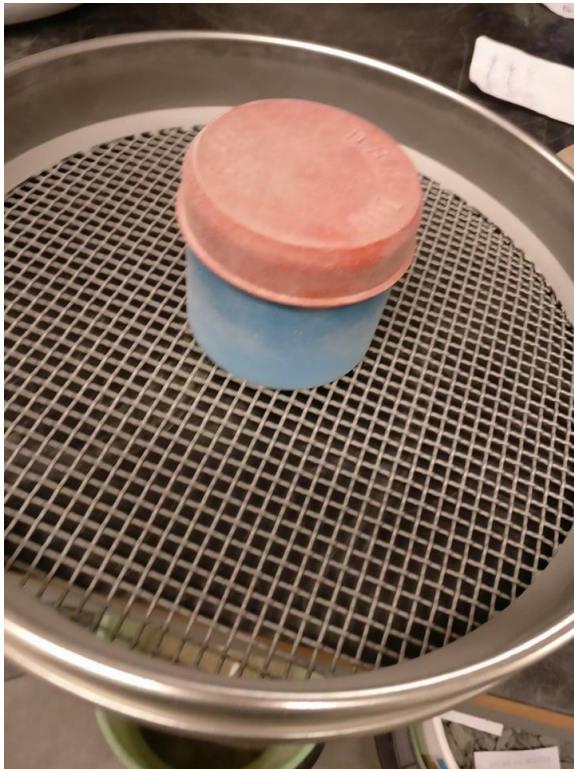


KUVA 8. Testiseula

Kiviaines liikkuu testiseulalla ympyrärataa, joten sillä voi mallintaa minkä pituista seulalaitteiston seulaa tahansa muuttamalla seulontaan käytettyä aikaa. Testiseulalla on mahdollista ottaa myös huomioon seulan leveys muuttamalla materiaalin maton paksuutta.

Näytteen massalla voidaan ottaa huomioon seulan syöttönopeus ja rakeisuusjakaumalla erilaisten murskainten asetuksia tai erilaisia maatyyppejä. Testiseulalla saatuja tuloksia hyödynnetään asiakastarpeissa, seulasuunnittelussa sekä tutkimuksessa. (Kekäläinen 2010, 19, 34.)

Testiseula koostuu rungosta, jousista, kehikosta, tärykoneista, seulan kannesta, suppilosta ja keskikupista (kuva 9). Rungon sisässä sijaitsee tietokoneeseen kytketty, gramman tarkkuudella mittaava Sartoriuksen Midrics 1 vaaka. Vaa'an päällä on astia, jonne alite kerätään, ja astian päällä suppilo auttamassa alitteen ohjautumista astiaan. Jouset on kiinnitetty rungon päälle, jotta niiden yläpuolinen rakenne olisi joustava. Joustavuus on kriittinen ominaisuus, sillä tärykoneet saavat aikaan värinäliikkeen, joka puolestaan saa materiaalin liikkumaan seulalla. (Kekäläinen 2010, 21–24.)



KUVA 9. Keskikuppi

Jousien päällä on kehikko, jossa on kiinni kaksi tärykonetta. Tärykoneita säädetään ja hallitaan taajuusmuuttajalla. Kehikkoon tulee kiinni myös tarvittavan kokoinen seula. (Kekäläinen 2010, 23–26.) Tässä opinnäytetyössä käytettiin Oy Scanteknik Ab:n valmistamia seuloja, jotka täyttävät standardin SFS-EN 933-2 vaatimukset (Oy Scanteknik Ab 2002). Kansi pitää testissä käytettävän seulan kiinni ja seulaan itseensä voidaan kiinnittää

keskikuppi, jonka tehtävänä on pitää materiaali seulan reunoilla ympyräradalla. (Kekäläinen 2010, 23–26.)

#### 4.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajalla (kuva 10) voidaan säätää tärykoneeseen menevän vaihtojännitteen ja -virran taajuutta ja sen seurauksena koneen pyörimisnopeutta. Taajuusmuuttajat voidaan jakaa kahteen ryhmään: välipiirittömiin ja välipiirillisiin. Välipiirillisillä taajuusmuuttajilla on paljon enemmän kaupallisia sovelluksia kuin välipiirittömillä. Välipiirillisissä taajuusmuuttajissa vaihtosähkö muunnetaan ensin tasasuuntaajalla tasavirraksi tai -jännitteeksi. Vaihtosuuntaajalla tasavirta tai -jännite muunnetaan halutun taajuiseksi ja suuruiseksi vaihtojännitteeksi. (Farin, Peltonen, Pykälä & Uski-Joutsenvuo 2009, 38.) Tässä opinnäytetyössä on käytetty Red Lionin taajuusmuuttajaa.



KUVA 10. Opinnäytetyössä käytetty taajuusmuuttaja

Välipiiri voi olla joko tasavirtavälipiiri tai tasajännitewälipiiri. Tasavirtavälipiirissä on tasasuuntaajan ja vaihtosuuntaajan lisäksi välipiirin kuristin. Kuristimen tehtävänä on pitää välipiirin virta tasaisena toimimalla energiavarastona. Jännitewälipiirissä on kuristimen sijaan kondensaattori, jonka tehtävänä on pitää tasajännitteen suuruus vakiona toimimalla hetkellisesti energiavarastona. (Farin, Peltonen, Pykälä & Uski-Joutsenvuo 2009, 38–39.)

## 4.2 Tärkykoneet

Testiseulassa on tärkykoneina kaksi Invictan BLZ 03 -0.5/4 epäkeskomootoria (kuva 11). Niiden avulla saadaan aikaiseksi samaan aikaan sekä pyörivä liike, että vertikaalisessa suunnassa suora liike. Näiden liikkeiden yhdistelmällä kiviaines saadaan liikkumaan ympyräradalla pitkin seulaa. Koneiden toiminta perustuu epäkeskomassaan, joka pyörii niiden sisällä. Pyörivä epäkeskomassa saa liikkeestään riippuen tietyn suuntaisen ja suuruisen voiman, joka saa aikaan tärinäliikkeen. Massaa tai asennuskulmaa muuttamalla voidaan vaikuttaa koneiden ominaisuuksiin ja niiden aiheuttamaan liikkeeseen. (Kekäläinen 2010, 34–35.)



KUVA 11. Testiseulan toinen Invictan tärkykone

## 5 TYÖN SUORITUS

Työn suoritus ja testeissä käytettävä materiaali olivat täysin samat kuin keskikupin kanssa tehdyissä testeissä. Keskikupilliset testit on tehty kivilaboratorion laboratorioinsinöörin toimesta jo ennen tämän opinnäytetyön aloitusta. Työssä tehtiin basaltista viisi eripainoista näytettä, jotka ajettiin kuuden seulan läpi. Työssä mitattiin alitteen määrää seulonnan aikana sekunnin välein noin 80 sekuntiin asti sekä ylitteen paino ennen seulontaa ja alitteen paino seulonnan jälkeen. Kivien liikerataa tarkasteltiin sekä silmämääräisesti, että videoiden avulla.

### 5.1 Näytteet

Testejä varten tehtiin viisi eripainoista näytettä (taulukko 1). Näytteet valmistettiin basaltista, josta oli seulottu fraktiot erilleen ämpäreihin ennen tämän opinnäytetyön aloitusta. Osasta fraktioista oli seulottu erilleen myös liuskamaiset rakeet. Näytteet koottiin punnitsemalla ViBRA Shinko Denshin HG-sarjan vaa'alla gramman tarkkuudella eri fraktioita (liitteet 1, 2, 3, 4 & 5) siten, että niiden rakeisuusjakauma vastasi mahdollisimman hyvin erään MMO:n asiakkaan kiviaineksen rakeisuusjakaumaa. Työssä käytetty basaltti oli tullut muihin seulatesteihin ennen tämän opinnäytetyön aloitusta ja MMO:n omaa tutkimusta oli päätetty jatkaa samalla materiaalilla.

TAULUKKO 1. Testiä varten valmistettujen näytteiden massat ja niitä vastaavat kapasiteetit, kun esimerkkiseulana käytetään Metson ES502:sta

Näyte #	Paino kg	Vastaava kapasiteetti t/h
1	12.5	583
2	10.0	466
3	8.0	373
4	6.3	294
5	5.0	233

Näytteiden koontivaiheen fraktioiden punnitukset eivät ole absoluuttisen tarkkoja, joten laskennallisesti saatu paino ei ole aina sama kuin punnittu paino varsinkaan isommissa raekokoluokissa. Isoja kiviä oli hankalampi punnita, koska niitä tuli isoimpaankin näytteeseen vain muutama. Kaikkien näytteiden litteysluku oli 15 %, kosteus 0 %, raekoko



0/40, irtotiheys  $1,5 \text{ t/m}^3$  ja kiintotiheys  $2,66 \text{ t/m}^3$ . Kiintotiheys ja irtotiheys oli määritetty ennen tämän opinnäytetyön aloitusta.

## 5.2 Testit

Jokainen näyte ajettiin kuuden erikokoisen seulan läpi (taulukko 2). Ensimmäiseksi testiseulaan laitettiin oikea seula, tietokone kytkettiin vaakaan ja testiseulan ympäristö siivottiin, jotta yli lentävät rakeet saataisiin talteen. Seuraavaksi vaaka taarattiin ja hyvin sekoitettu 12,5 kg:n näyte (kuva 12) kaadettiin seulalle. Sen pinta tasoitettiin varovaisesti rautalastalla. Kiviä ei kuitenkaan aseteltu enempää kuin oli tarpeen pinnan tasoittamisen kannalta, koska se ei vastaisi oikeaa tilannetta.



KUVA 12. 12,5 kg:n näyte seulalla ennen ajoa

Näytteestä osa putosi kaatamisen aikana verkon läpi vaa'an päällä olevaan astiaan. Astiaan pudonnut materiaali kerättiin vatiin, johon myös lattialle pudonneet rakeet ja seula-koneen rakenteisiin kertynyt hienojakoinen kiviaines laitettiin. Isommat rakeet harjattiin lattialta harjalla ja rikkalapiolla, ja hienojakoisempi kiviaines otettiin rakenteista talteen

sudilla. Seuraavaksi vadin sisältö kaadettiin takaisin seulalle ja näytteen pinta tasoitettiin taas rautalastalla. Jos kaatamisen seurauksena vielä putosi materiaalia verkon läpi astiaan ja määrä oli hyvin pieni, sitä ei enää kerätty. Näytemäärän pienentyessä kahdeksaan kiloon ja siitä alaspäin astian tyhjentäminen toisenkin kerran tuli usein tarpeelliseksi.

TAULUKKO 2. Testiseulassa käytetty seulasarja ja kullekin seulalle laitettavan syötteen koko

Seula #	Koko mm	Syötteen koko mm
1	25	0/40
2	20	0/25
3	12.5	0/20
4	10	0/12.5
5	6.3	0/10
6	2.5	0/6.3

Seulatestin aloittamiseksi tietokoneesta käynnistettiin SartoCollect v1.0 -ohjelma, joka mittasi vaa'an lukeman sekunnin välein Excelliin. Vaa'an lukeman mittaushjelma käynnistettiin keskimäärin kolme sekuntia ennen taajuusmuuttajaa. Tärykoneiden kierrosnopeus testissä oli 1250 rpm ja mittausaika noin 80 sekuntia. Mittausaika oli noin 80 sekuntia, jotta tuloksia voisi hyödyntää monen mittaisten seulojen mallinnuksessa. 20 sekuntia vastaa noin 6 metrin pituista seulaa (Viilo 2018).

Testin päätyttyä taajuusmuuttaja ja mittaushjelma sammutettiin ja mittaushjelman tuottama Excel-dokumentti tallennettiin. Seuraavaksi ylite (kuva 13) ja alite punnittiin ViBRA Shinko Denshin HG-sarjan vaa'alla, joka antoi massan yhden desimaalin tarkkuudella grammoina. Alitteessa oli mukana myös lattialle pudonneet rakeet ja rakenteisiin kertynyt hienojakoinen kiviaines. Testi toistettiin jokaisella seulalla samalla tavalla siten, että aina edellisen seulan alite oli seuraavan seulan näyte. Seulat ajettiin suuremmasta verkkokoosta pienimpään.



KUVA 13. 12,5 kg:n näytteen ylite ajon jälkeen 25 mm:n seulalla

### 5.3 Manuaalinen seulonta

Testiseulalla tehtyjen testien jälkeen fraktiot yhdistettiin ja ne seulottiin standardia SFS-EN 933-1 mukailleen erilleen toisistaan. Seulasarja (taulukko 3) oli kuitenkin standardin suosittelemaa tiheämpi eli seuloja oli enemmän. Manuaalinen seulonta tehtiin, jotta fraktiot saataisiin erilleen seuraavan näytteen kokoamista varten.

Seulat asetettiin päällekkäin siten, että päällimmäisenä oli suurimman verkkokoon seula ja alimpana pohja. Seulasarja laitettiin Scanteknikin tärykaappiin MR-3 täryttimelle (kuva 5) noin kymmeneksi minuutiksi, jonka jälkeen jokaiselle seulalle jäänyt ylite punnittiin ja tietyistä fraktioista erotettiin litteät rakeet välppäseuloilla (taulukko 3). Erotetut fraktiot ja litteät rakeet laitettiin takaisin niille osoitettuihin ämpäreihin.

TAULUKKO 3. Manuaaliseen seulontaan käytetty seula- ja välppäsarja

Seula #	Koko mm	Välppän koko Mm
1	32	20
2	25	16
3	20	12.5
4	16	10
5	12.5	8
6	10	6.3
7	8	5
8	6.3	4
9	5	3.15
10	4	2.5
11	3.15	2
12	2.5	1.6
13	2	1.25
14	1.6	1
15	1.25	0.8
16	1	
17	0.5	
18	0.25	
19	0.125	
20	0.063	

## 6 TULOKSET

Jokaisesta näytteestä tehtiin kuudella eri seulalla analyysi, jossa mitattiin sekunnin välein alitteen määrää gramman tarkkuudella noin 80:n sekunnin ajan (liitteet 6, 7, 8, 9 & 10). Jokaisesta näytteestä täytettiin myös kaavake, johon punnittiin jokaisen seulan ylitteen ja alitteen massat sekä kirjattiin ylös testiseulan vaa'an antama tulos (liitteet 11, 12, 13, 14 & 15). Kaikki näytteet seulottiin testin jälkeen manuaalisesti (liitteet 16, 17, 18, 19 & 20). Tuloksissa T1-tunnuksella viitataan aikaisemmin tehtyihin keskikupillisiin testeihin ja T3-tunnuksella keskikupittomiin testeihin. T1- ja T3-tunnukset olivat käytössä kivilaboratoriossa erottamaan testit tietojärjestelmissä.

### 6.1 Tulosten käsittely

Mitatuista tuloksista laskettiin Exceliä apuna käyttäen läpäisyprosentit ja seulontatehokkuudet jokaiselle seulalle. Tehokkuutta laskettaessa otettiin huomioon kaksi erilaista seulan pituutta ja kaksi kiviaineksen etenemisnopeutta seulalla, koska näin oli tehty myös keskikupillisten testien laskuissa. Läpäisyprosentteja laskiessa piti ensin laskea prosentteina ylitteen määrä  $y$ -% (taulukko 4). Esimerkkinä 12,5 kg:n näytteen 25 mm:n seulalle jääneen kiviaineksen määrän laskeminen prosentteina:

$$\begin{aligned} y - \% &= \frac{m_1}{m_2} \cdot 100 \% \\ &= \frac{1225,7 \text{ g}}{12504,9 \text{ g}} \cdot 100 \% \\ &= 9,80175 \% \end{aligned}$$

Seulalle jäävän materiaalin määrä vaihtelee jonkin verran yhtä näytettä tarkasteltaessa, mutta näytteiden välillä prosentit eivät enää eroa paljon. Tätä haettiin, koska kaikilla näytteillä on mahdollisimman samanlainen rakeisuusjakauma eri massasta huolimatta.

TAULUKKO 4. Kiviaineksen määrä seulalla testin jälkeen

Seula	Ylitteen määrä				
	12,5 kg	10 kg	8 kg	6,3 kg	5 kg
mm	%	%	%	%	%
25	9.80176	9.40691	8.75216	8.53519	9.95062
20	7.10521	7.54892	8.21108	8.51297	6.98163
12.5	24.50160	22.08878	21.44803	21.44989	21.73861
10	6.32152	8.36092	8.86962	9.05584	9.24486
6.3	17.06691	16.69983	15.43873	14.05441	13.78331
2.5	16.59829	16.81283	18.12911	19.07362	19.05552
pohja	18.60471	19.08181	19.15128	19.31807	19.24546

Seulalle jääneen kiviaineksen määristä pystyttiin laskemaan läpäisyprosentit summaamalla pienemmälle seulalle jääneen ja sen läpäisseen kiviaineksen määrät toisiinsa (taulukko 5 & kaava 1). Pienimmän seulan läpäisyprosentti on sama kuin pohjalle jääneen kiviaineksen määrä. Esimerkkinä 12,5 kg:n näytteen 6,3 mm:n seulan läpäisyprosentin laskeminen:

$$\begin{aligned}
 l - \% &= y - \%_{\text{pienempi seula}} + l - \%_{\text{pienempi seula}} \\
 &= 18,60470 \% + 16,59829 \% \\
 &= 35,19829 \% \\
 &\approx 35,2 \%
 \end{aligned}$$

Läpäisyprosentti ilmoittaa, kuinka suuri osa koko näytteestä on mennyt kyseessä olevan seulan läpi. Prosentit laskevat mentäessä seulakoossa pienempään, sillä seuraavalle seulalle kaadettaessa edellisen seulan ylitettä ei enää laiteta mukaan. Tällöin läpäisevää materiaaliakin on vähemmän.

TAULUKKO 5. Lämpäisyprosentit kullekin seulalle

Seula	Seulan läpäissyt materiaali				
	12,5 kg	10 kg	8 kg	6,3 kg	5 kg
mm	%	%	%	%	%
25	90.2	90.6	91.2	91.5	90.1
20	83.1	83.0	83.0	83.0	83.1
12.5	58.6	61.0	61.6	61.5	61.3
10	52.3	52.6	52.7	52.4	52.1
6.3	35.2	35.9	37.3	38.4	38.3
2.5	18.6	19.1	19.2	19.3	19.3

Ennen kuin voidaan laskea seulontatehokkuus, täytyy laskea ihannetapauksessa läpi menneen, toisin sanoen laskennallisen, alitteen  $m_{alite}$  määrä kaikille seuloille (taulukko 6). Laskennallinen alitteen määrä tarkoittaa näytteen koostumuksen (liitteet 1, 2, 3, 4 & 5) perusteella laskettua tiettyä seulakokoa pienempien rakeiden määrää. Esimerkkinä 12,5 kg:n näytteen 2,5 mm:n seulan laskennallisen alitteen määrä:

$$\begin{aligned}
 m_{alite} &= m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n \\
 &= (350,0 + 288,0 + 250 + 225,0 + 488,0 + 338,0 + 213,0 \\
 &\quad + 163,0 + 275,0) \text{ g} \\
 &= 2590,0 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Alitteiden määrä vähenee mentäessä seulakoossa suuremmasta pienempään ja niiden määrä ei ole grammoissa ilmaistuna täysin sama näytteiden kesken. Prosentuaalisesti ne kuitenkin ovat lähellä toisiaan samasta syystä, kuin seulalle jäävän materiaalinkin määrä.

TAULUKKO 6. Laskennalliset alitteet

Seula	Alitteen määrä				
	12.5 kg	10 kg	8 kg	6,3 kg	5 kg
mm	G	g	g	g	g
25	11405.0	9120.0	7296.0	5745.0	4570.0
20	10317.0	8250.0	6600.0	5197.0	4135.0
12.5	7704.0	6160.0	4928.0	3881.0	3090.0
10	6641.0	5310.0	4248.0	3345.0	2655.0
6.3	4916.0	3930.0	3144.0	2476.0	1965.0
2.5	2590.0	2070.0	1656.0	1304.0	1035.0

Seulontatehokkuus  $E$  laskettiin (kaava 3) 20:n, 24:n, 30:n ja 36:n sekunnin kohdilta jakamalla mitattu alitteen määrä laskennallisen alitteen määrällä (taulukko 7). Esimerkkinä 12,5 kg:n näytteen seulontatehokkuuden laskeminen 20 sekunnin kohdalta 25 mm:n seulalle:

$$\begin{aligned} E &= \frac{m_1}{m_2} \cdot 100 \% \\ &= \frac{11,128 \text{ kg}}{11,405 \text{ kg}} \cdot 100 \% \\ &= 97,5712 \% \\ &\approx 97,6 \% \end{aligned}$$

20 sekuntia vastaa seulaa, joka on 6,1 metriä pitkä, ja jossa kiviaines liikkuu nopeudella 0,3 m/s. 24 sekuntia taas vastaa 7,3 metrin seulaa, jossa kiviaines liikkuu myös nopeudella 0,3 m/s. 30 sekuntia vastaa 6,1 metrin seulaa, jossa kiviaines liikkuu nopeudella 0,2 m/s ja 36 sekuntia 7,3 metrin mittaista seulaa, jossa kiviaines liikkuu myös nopeudella 0,2 m/s.



TAULUKKO 7. Keskikupittomien testien seulontatehokkuudet

12,5 kg:n näyte						
Seula	25 mm	20 mm	12.5 mm	10 mm	6.3 mm	2.5 mm
Seulontatehokkuus 20 s	97,6%	98,8%	71,5%	86,4%	75,2%	78,2%
Seulontatehokkuus 24 s	98,3%	99,6%	77,3%	91,4%	78,7%	81,4%
Seulontatehokkuus 30 s	98,7%	99,9%	82,6%	94,9%	82,2%	83,8%
Seulontatehokkuus 36 s	98,7%	100,3%	86,1%	96,1%	84,2%	85,5%
10 kg:n näyte						
Seula	25 mm	20 mm	12.5 mm	10 mm	6.3 mm	2.5 mm
Seulontatehokkuus 20 s	97,9%	98,6%	86,3%	92,5%	78,4%	82,0%
Seulontatehokkuus 24 s	98,2%	98,7%	89,4%	94,3%	81,3%	84,0%
Seulontatehokkuus 30 s	98,4%	99,2%	92,3%	95,7%	84,1%	85,9%
Seulontatehokkuus 36 s	98,7%	99,4%	94,1%	96,3%	85,6%	87,1%
8 kg:n näyte						
Seula	25 mm	20 mm	12.5 mm	10 mm	6.3 mm	2.5 mm
Seulontatehokkuus 20 s	98,8%	98,1%	93,0%	94,6%	82,9%	83,5%
Seulontatehokkuus 24 s	99,2%	98,3%	95,1%	95,7%	84,9%	85,0%
Seulontatehokkuus 30 s	99,2%	98,7%	96,9%	96,4%	86,9%	86,4%
Seulontatehokkuus 36 s	99,2%	98,9%	97,9%	97,2%	88,4%	87,4%
6,3 kg:n näyte						
Seula	25 mm	20 mm	12.5 mm	10 mm	6.3 mm	2.5 mm
Seulontatehokkuus 20 s	99,3%	99,2%	96,1%	95,1%	89,8%	85,2%
Seulontatehokkuus 24 s	99,3%	99,3%	97,0%	95,5%	91,2%	86,2%
Seulontatehokkuus 30 s	99,3%	99,7%	97,6%	96,1%	92,6%	87,1%
Seulontatehokkuus 36 s	99,3%	99,9%	98,0%	96,4%	93,7%	88,0%
5 kg:n näyte						
Seula	25 mm	20 mm	12.5 mm	10 mm	6.3 mm	2.5 mm
Seulontatehokkuus 20 s	97,4%	98,6%	96,2%	94,6%	92,5%	86,3%
Seulontatehokkuus 24 s	97,4%	98,8%	96,8%	95,1%	93,3%	87,1%
Seulontatehokkuus 30 s	97,4%	98,8%	97,4%	95,3%	94,0%	88,0%
Seulontatehokkuus 36 s	97,4%	98,8%	97,7%	95,5%	94,5%	88,6%

## 6.2 Keskikupillisten testien tulokset

Keskikupillisista testeistä oli laskettu myös läpäisyprosentit (taulukko 8) ja seulontatehokkuudet (taulukko 9) samalla tavalla kuin keskikupittomista testeistä laskettiin. Keskikupillisten testien läpäisyprosentit laskevat keskikupittomien testien tapaan siirryttäessä pienempään seulakokoon. Ne myös pysyvät lähes samoina, jos tarkastellaan samaa seula, mutta eri näytteitä.

TAULUKKO 8. Keskikupillisten testien läpäisyprosentit

Seula	Seulan läpäissyt materiaali				
	12,5 kg	10 kg	8 kg	6,3 kg	5 kg
mm	%	%	%	%	%
25	92.0	91.2	91.1	91.2	90.5
20	83.0	83.5	82.3	82.9	82.0
12.5	55.7	58.1	60.0	60.5	60.8
10	51.6	51.7	52.0	52.1	52.1
6.3	34.7	35.3	36.1	37.8	38.0
2.5	18.9	18.8	19.0	19.0	19.1

Keskikupillisten testien seulontatehokkuudet on laskettu samoina ajankohtina kuin keskikupittomienkin testien. Ne vastaavat myös samoja kiviaineksen liikenopeuksia ja seulan pituutta.

TAULUKKO 9. Keskipillisten testien seulontatehokkuudet

12,5 kg:n näyte (T1)						
Seula	25 mm	20 mm	12.5 mm	10 mm	6.3 mm	2.5 mm
Seulontatehokkuus 20 s	97,7%	98,7%	71,8%	84,8%	73,5%	73,3%
Seulontatehokkuus 24 s	98,7%	99,0%	76,1%	89,0%	76,8%	78,0%
Seulontatehokkuus 30 s	99,1%	99,4%	80,5%	92,8%	80,2%	82,0%
Seulontatehokkuus 36 s	99,6%	99,4%	83,4%	93,9%	82,3%	84,4%
10 kg:n näyte (T1)						
Seula	25 mm	20 mm	12.5 mm	10 mm	6.3 mm	2.5 mm
Seulontatehokkuus 20 s	98,5%	99,1%	78,8%	89,8%	77,3%	80,5%
Seulontatehokkuus 24 s	98,6%	99,4%	82,1%	92,1%	80,2%	82,5%
Seulontatehokkuus 30 s	99,1%	100,1%	85,8%	93,8%	83,1%	84,5%
Seulontatehokkuus 36 s	99,1%	100,3%	87,8%	94,6%	84,5%	85,7%
8 kg:n näyte (T1)						
Seula	25 mm	20 mm	12.5 mm	10 mm	6.3 mm	2.5 mm
Seulontatehokkuus 20 s	99,5%	98,6%	86,6%	93,4%	79,6%	83,4%
Seulontatehokkuus 24 s	99,5%	98,8%	89,4%	94,3%	82,1%	84,8%
Seulontatehokkuus 30 s	99,5%	99,0%	91,7%	95,2%	84,7%	86,2%
Seulontatehokkuus 36 s	99,8%	99,0%	93,2%	95,8%	86,2%	87,0%
6,3 kg:n näyte (T1)						
Seula	25 mm	20 mm	12.5 mm	10 mm	6.3 mm	2.5 mm
Seulontatehokkuus 20 s	98,7%	97,3%	94,0%	94,8%	87,2%	84,5%
Seulontatehokkuus 24 s	98,7%	97,8%	94,7%	95,2%	89,0%	85,6%
Seulontatehokkuus 30 s	98,7%	98,5%	95,4%	95,9%	90,8%	86,7%
Seulontatehokkuus 36 s	98,7%	98,7%	96,1%	96,3%	92,1%	87,5%
5 kg:n näyte (T1)						
Seula	25 mm	20 mm	12.5 mm	10 mm	6.3 mm	2.5 mm
Seulontatehokkuus 20 s	97,7%	96,4%	95,9%	94,4%	90,7%	86,2%
Seulontatehokkuus 24 s	97,7%	96,9%	96,2%	94,8%	91,8%	87,0%
Seulontatehokkuus 30 s	97,7%	97,8%	96,8%	95,0%	92,8%	87,8%
Seulontatehokkuus 36 s	97,7%	98,1%	97,0%	95,4%	93,5%	88,5%

### 6.3 Laskennalliset arvot

Seulojen laskennalliset läpäisyprosentit (taulukko 10) pystytään laskemaan, kun tiedetään näytteiden koostumus. Laskennalliset läpäisyprosentit ovat pitkälti samat jokaiselle näytteelle, sillä niiden rakeisuusjakauma on kaikilla mahdollisimman samanlainen eri massasta huolimatta. Laskennallisia seulontatehokkuuksia testeille ei pystytä laskemaan, sillä ne ovat aikasidonnaisia johtuen seulan pituuden huomioon ottamisesta. Seulontatehokkuus esimerkiksi kahden sekunnin kohdalla ei ole sama kuin kahdenkymmenen sekunnin kohdalla.

TAULUKKO 10. Laskennalliset läpäisyprosentit

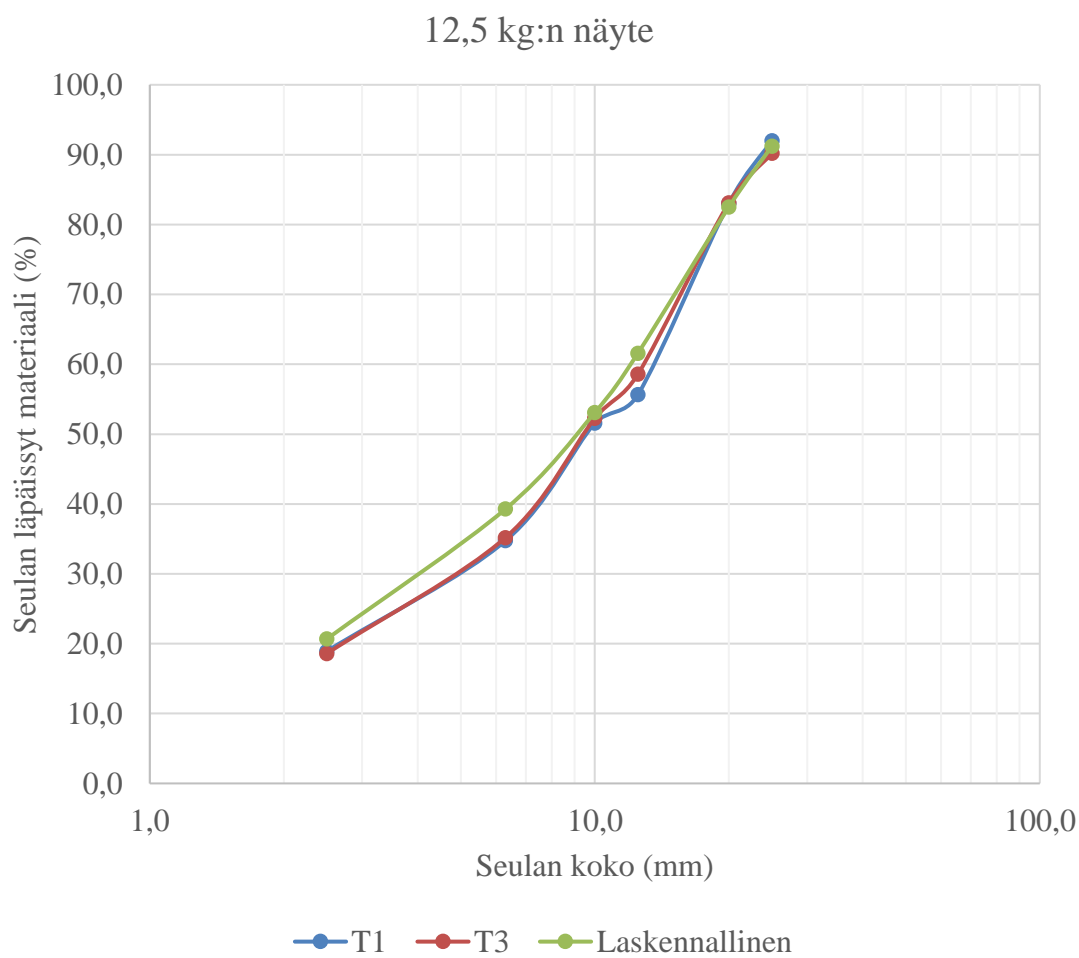
Seula	Laskennallinen seulan läpäissyt materiaali				
	12,5 kg	10 kg	8 kg	6,3 kg	5 kg
mm	%	%	%	%	%
25	91.2	91.2	91.2	91.2	91.2
20	82.5	82.5	82.5	82.5	82.5
12.5	61.6	61.6	61.6	61.6	61.6
10	53.1	53.1	53.1	53.1	52.9
6.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.1
2.5	20.7	20.7	20.7	20.7	20.5

## 6.4 Vertailu

Keskikupittomien testien läpäisyprosentit ovat pääosin parempia kuin keskikupillisten testien prosentit. Kyse on silti vain maksimissaan muutaman prosenttiyksikön eroista, joten merkittävästi parempia läpäisyprosentteja keskikupittomat testit eivät anna. Seulontatehokkuuksissakin liikutaan hyvin samoissa lukemissa. Jotkut tehokkuudet ovat keskikupillisissa testeissä parempia kuin keskikupittomissa testeissä. Ero ei kuitenkaan ole suuri, vaan seulontatehokkuuksien tapaan kyse on maksimissaan muutamien prosenttiyksiköiden heitoista. Liikeradoissa oli jonkin verran eroa odotettavissa, koska ilman keskikuppia materiaali pääsee seulan keskelle.

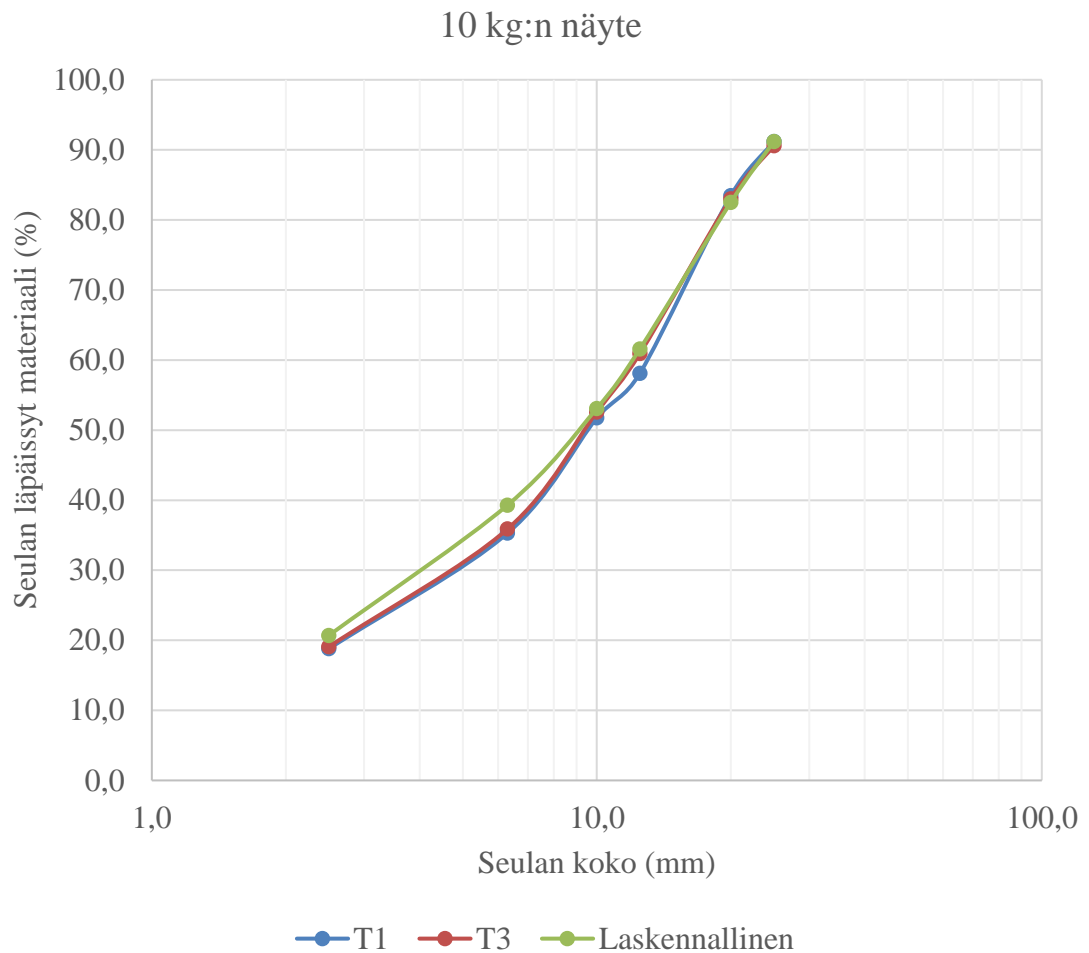
### 6.4.1 Läpäisyprosentit

Läpäisyprosentteista on piirretty näytekohtaisesti kummastakin testistä ja laskennallisista arvoista rakeisuuskäyrät samaan kuvaajaan vertailun helpottamiseksi. Vihreä käyrä kuvaa laskennallisia prosentteja, punainen käyrä keskikupitonta testiä (T3) ja sininen keskikupillista testiä (T1).



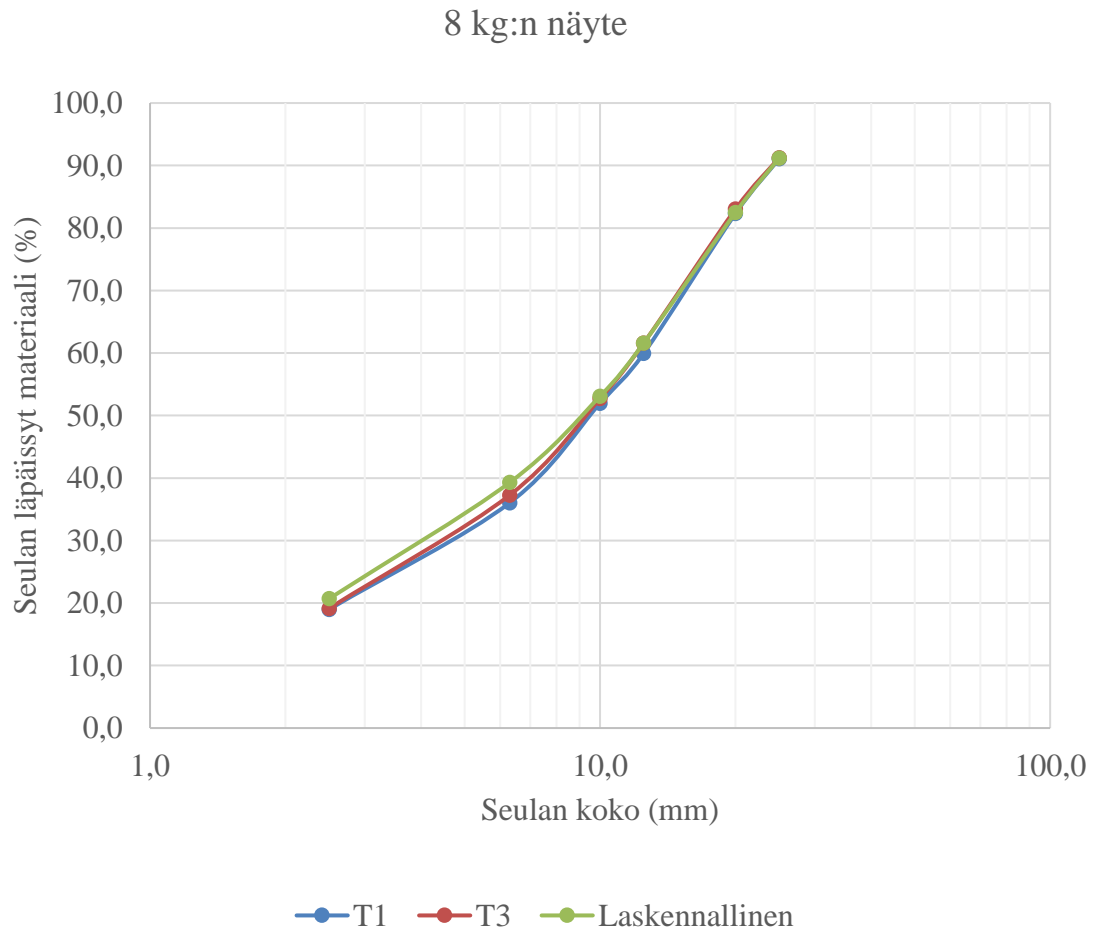
KUVIO 2. 12,5 kg:n näytteen läpäisyprosentit

12,5 kg:n näytteen testien läpäisyprosentit (kuvio 2) ovat lähellä toisiaan. 12,5 mm:n seuloilla keskikupittoman testin läpäisyprosentti on muihin seuloihin verrattuna selvästi parempi. Pienemmissä raekokoluokissa kumpikaan testi ei yllä laskennalliselle tasolle, mutta 10, 20 ja 25 mm:n seuloilla päästään todella lähelle.



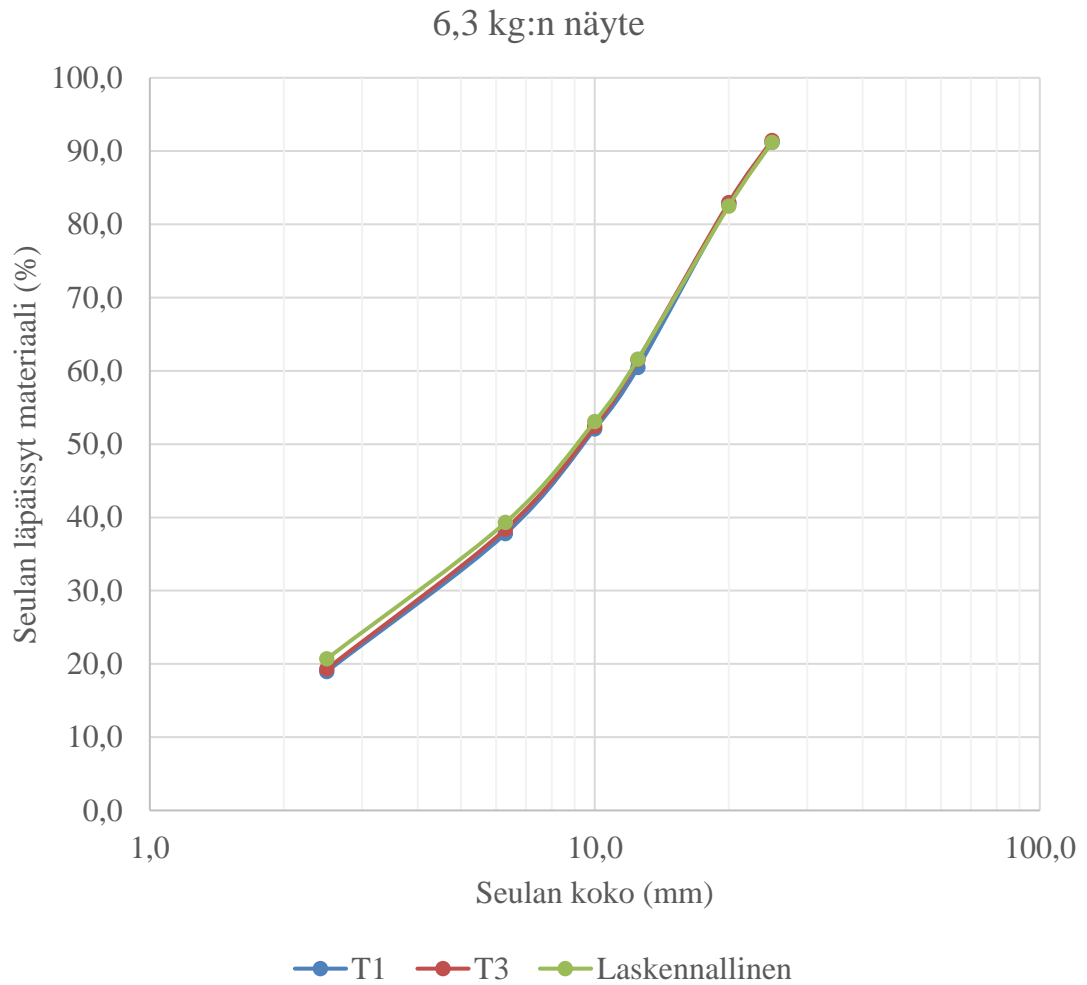
KUVIO 3. 10 kg:n näytteen läpäisyprosentit

10 kg:n näytteen läpäisyprosenttien (kuvio 3) välinen ero on kaventunut erityisesti 12,5 mm:n seulojen kohdalla verrattuna isompaan näytteeseen. Läpäisy pienemmillä seuloilla on lähempänä laskennallista tasoa ja rakeiden läpäisy 20 ja 25 mm:n seuloilla on pääosin samalla tasolla kuin isommassakin näytteessä. Testeissä päästään myös 12,5 mm:n seullalla keskikupittomassa testissä lähelle laskennallista tasoa.



KUVIO 4. 8 kg:n näytteen läpäisyprosentit

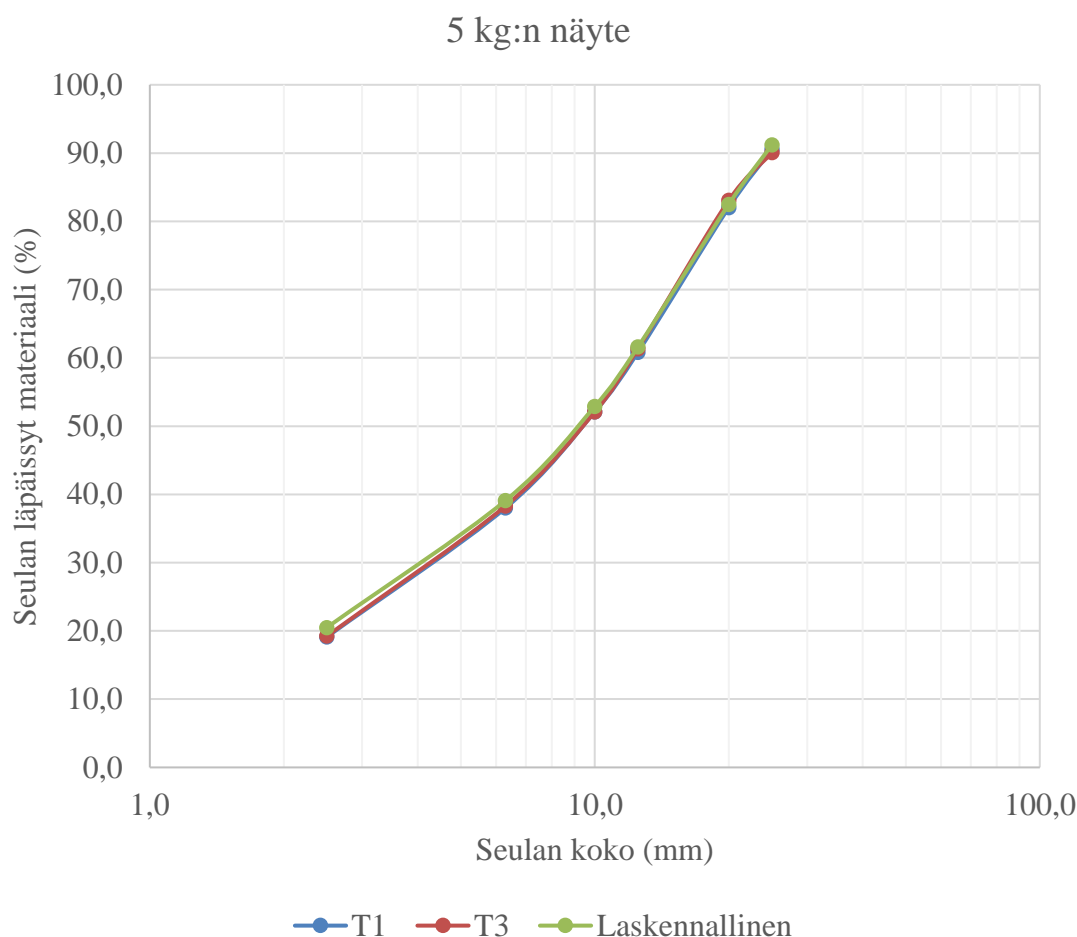
8 kg:n näytteen läpäisyprosenttien (kuvio 4) välinen ero on kaventunut entisestään verrattuna kahteen isompaan näytteeseen. Pienemmissä raekokoluokissa kumpikin testi on melkein laskennallisella tasolla, ja keskikupiton testi on siellä hieman parempi. Isommissa raekokoluokissa molemmat testit ovat laskennallisella tasolla lukuun ottamatta keskikupillisen testin 12,5 mm:n seulaa, jossa läpäisy on hieman muita isompia seuloja huonompi.



KUVIO 5. 6,3 kg:n näytteen läpäisyprosentit

6,3 kg:n näytteen läpäisyprosenttien (kuvio 5) välillä ei juurikaan ole enää suuria eroja nähtävissä. Pienemmissä raekokoluokissa kumpikin testi jää vielä hieman alle laskennallisen tason, mutta isommissa raekokoluokissa eroa ei enää testien ja laskennallisten arvojen välillä ole nähtävissä. Erot testien välillä ovat myös hyvin pieniä. Pienemmissä raekokoluokissa keskikupiton testi on hieman parempi kuin keskikupillinen testi.





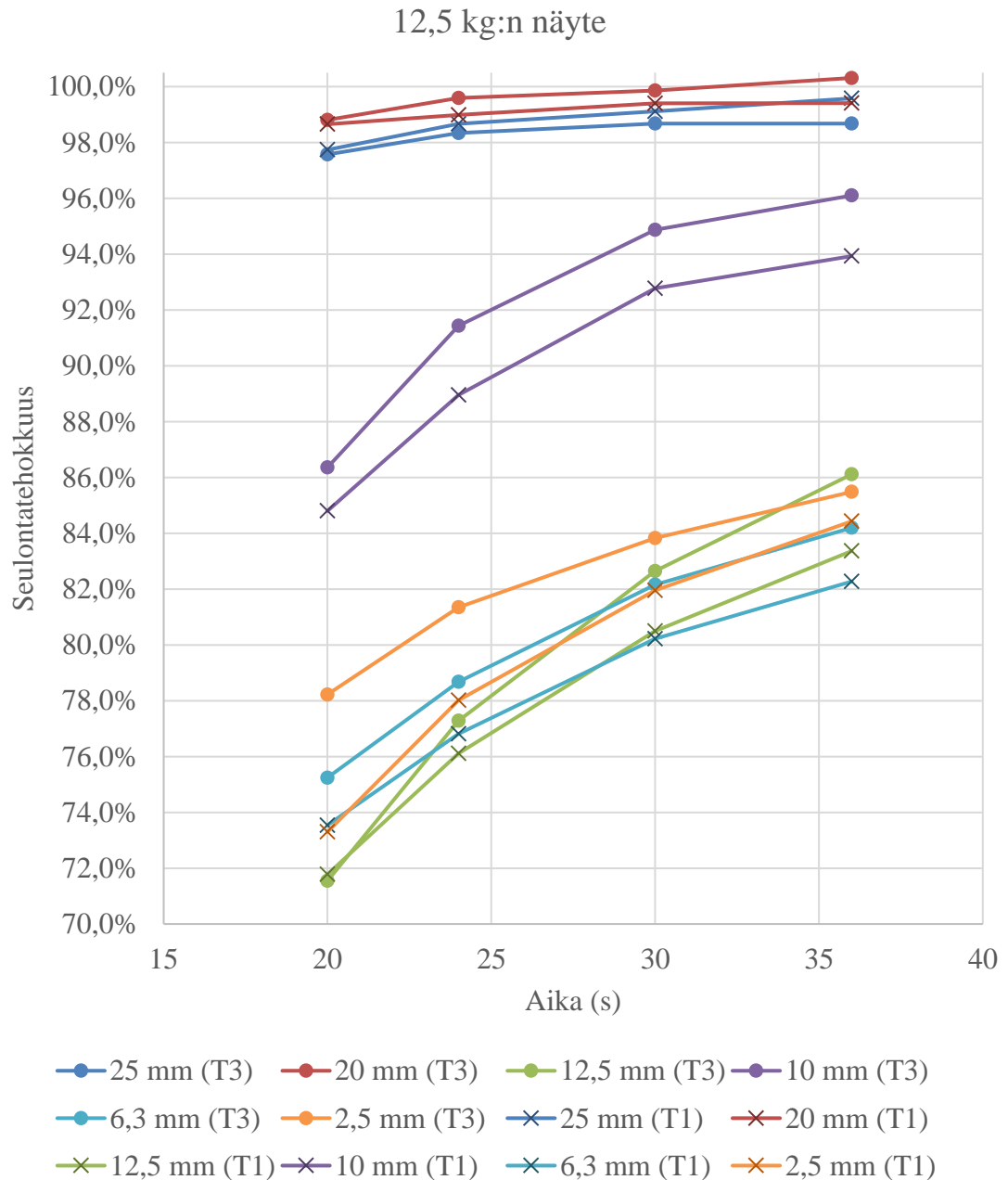
KUVIO 6. 5 kg:n näytteen läpäisyprosentit

5 kg:n näytteen läpäisyprosentit (kuvio 6) eroavat vielä vähemmän toisistaan kuin 6,3 kg:n näytteen prosentit. Molemmat testit ovat lähes kokonaan laskennallisella tasolla ja molempien testien seulat läpäisevät materiaalia yhtä hyvin.

Isoimman näytteen 12,5 mm:n seulojen kohdalla nähtävissä oleva selkeä ero testien välillä johtuu siitä, että niillä seuloilla on eniten materiaalia eroteltavana ja näytekoon ollessa iso seulan läpäisykyky laskee (Sullivan 2012, 12–13). Vastaavasti läpäisevyys nousee, kun näytemäärä pienenee. Tämä tasoittaa pienemmissä näytteissä testien välisiä eroja ja nostaa niiden läpäisyprosentteja lähemmäs laskennallista tasoa.

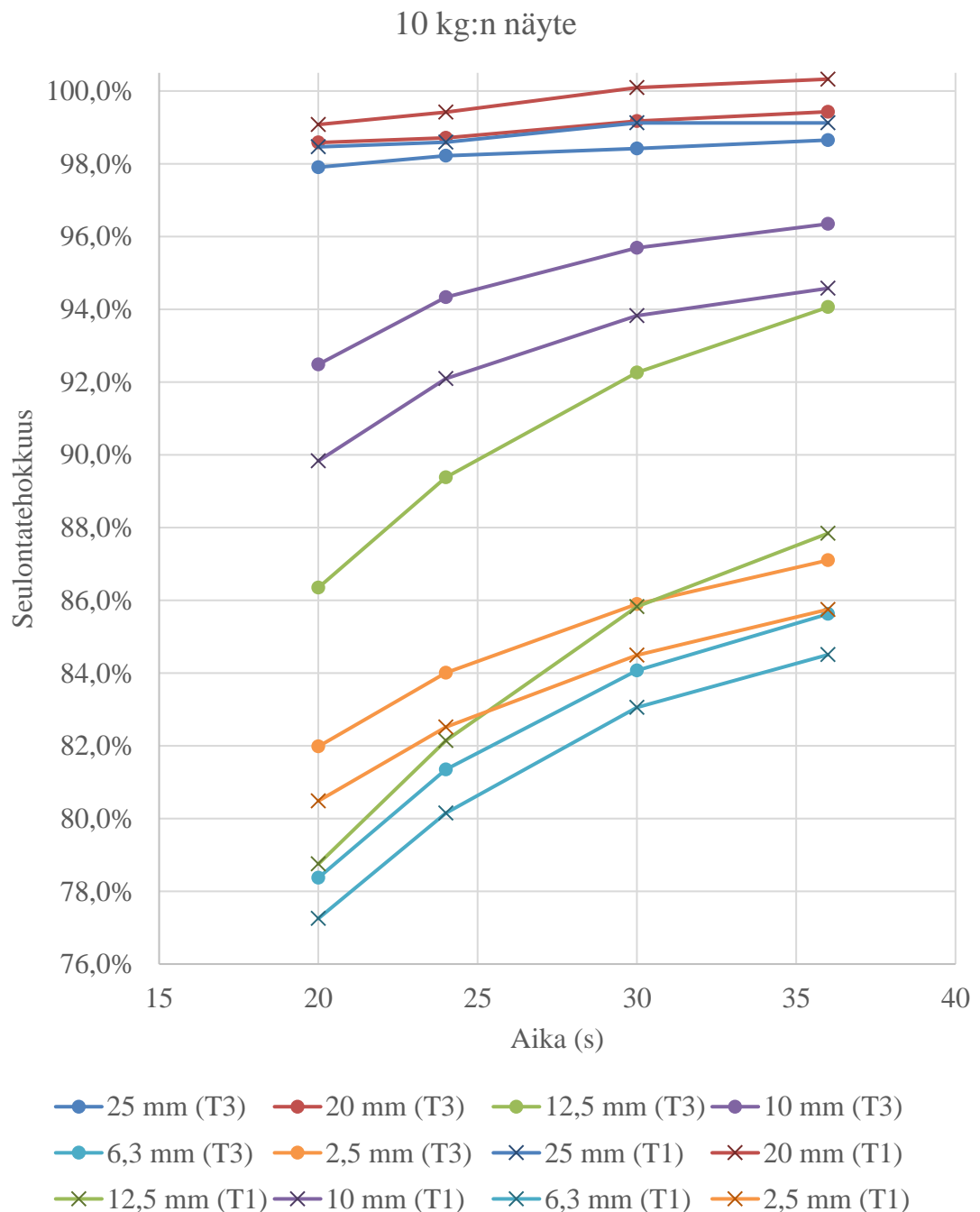
### 6.4.2 Seulontatehokkuudet

Seulontatehokkuudet on esitetty kutakin näytettä kohti samassa kuviossa erojen vääristymisen estämiseksi. Tärkeää on kuitenkin huomata eri seulontatehokkuusarvoista alkavat y-akselin arvot verratessa näytteitä toisiinsa. T1-testeillä on markkerina rasti ja T3-testeillä ympyrä ja samat seulakoot eri testien välillä on kuvattu samalla värillä.



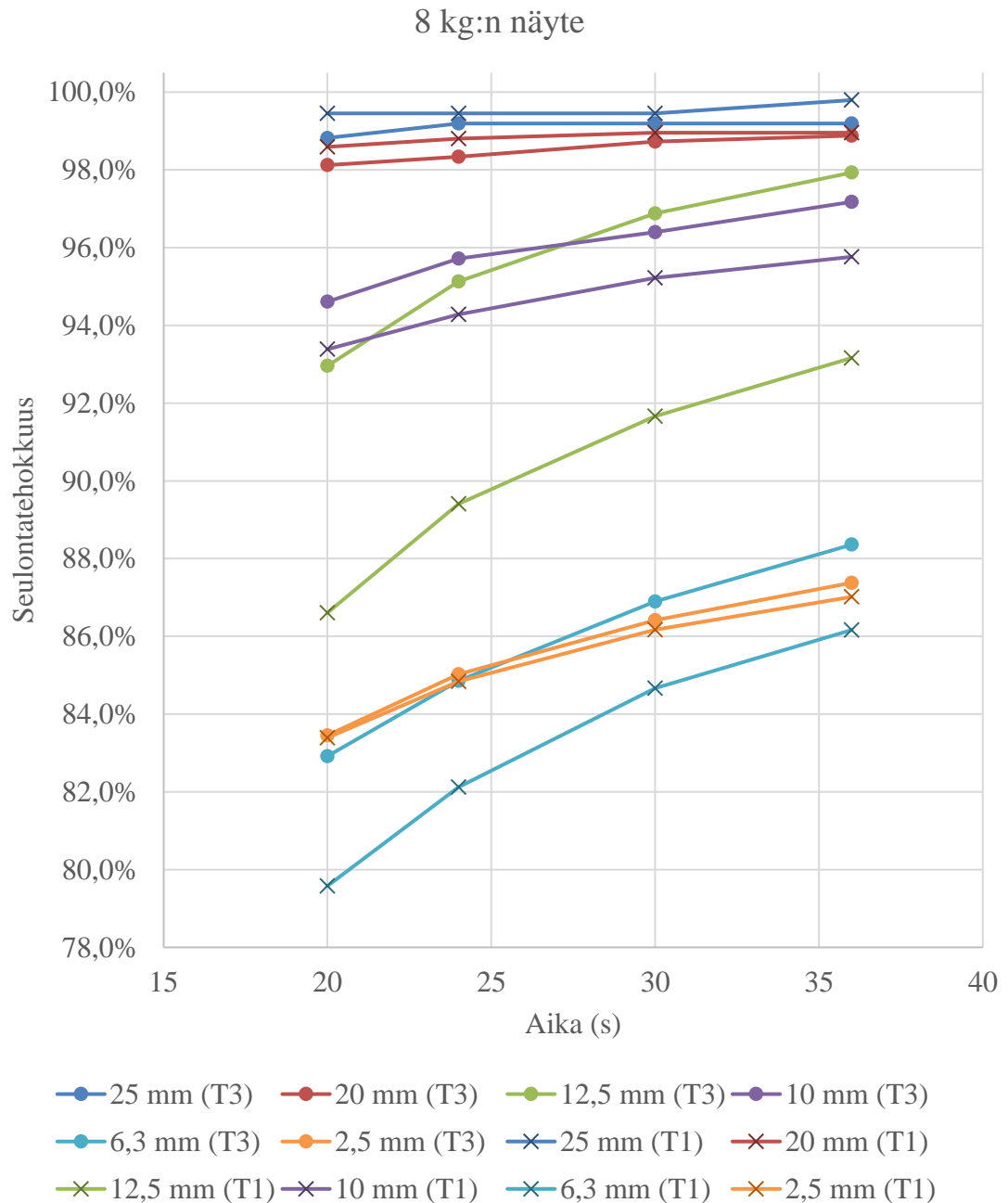
KUVIO 7. 12,5 kg:n näytteen molempien testien seulojen tehokkuudet

12,5 kg:n näytteiden molempien testien seulojen tehokkuuksia vertaamalla (kuvio 7) nähdään, että eroja on testien samojen seulojen välillä. Suurin ero on noin viisi prosenttiyksikköä 2,5 mm:n seulojen alussa. Jos vertaa seuloja keskenään, karkeasti voisi sanoa, että isoimmat seulat saavat parhaimmat tehokkuuden arvot ja pienemmät seulat huonoimmat. 20 mm:n seulat ovat molemmissa testeissä melkein koko ajan paremmat kuin 25 mm:n seulat. 12,5 mm:n seulojen tehokkuudet taas ovat huonoimpien joukossa ja samoista luvuista löytyvät myös 2,5 ja 6,3 mm:n seulojen tehokkuudet. 10 mm:n seulat ovat muihin seuloihin verrattuna keskivaiheilla.



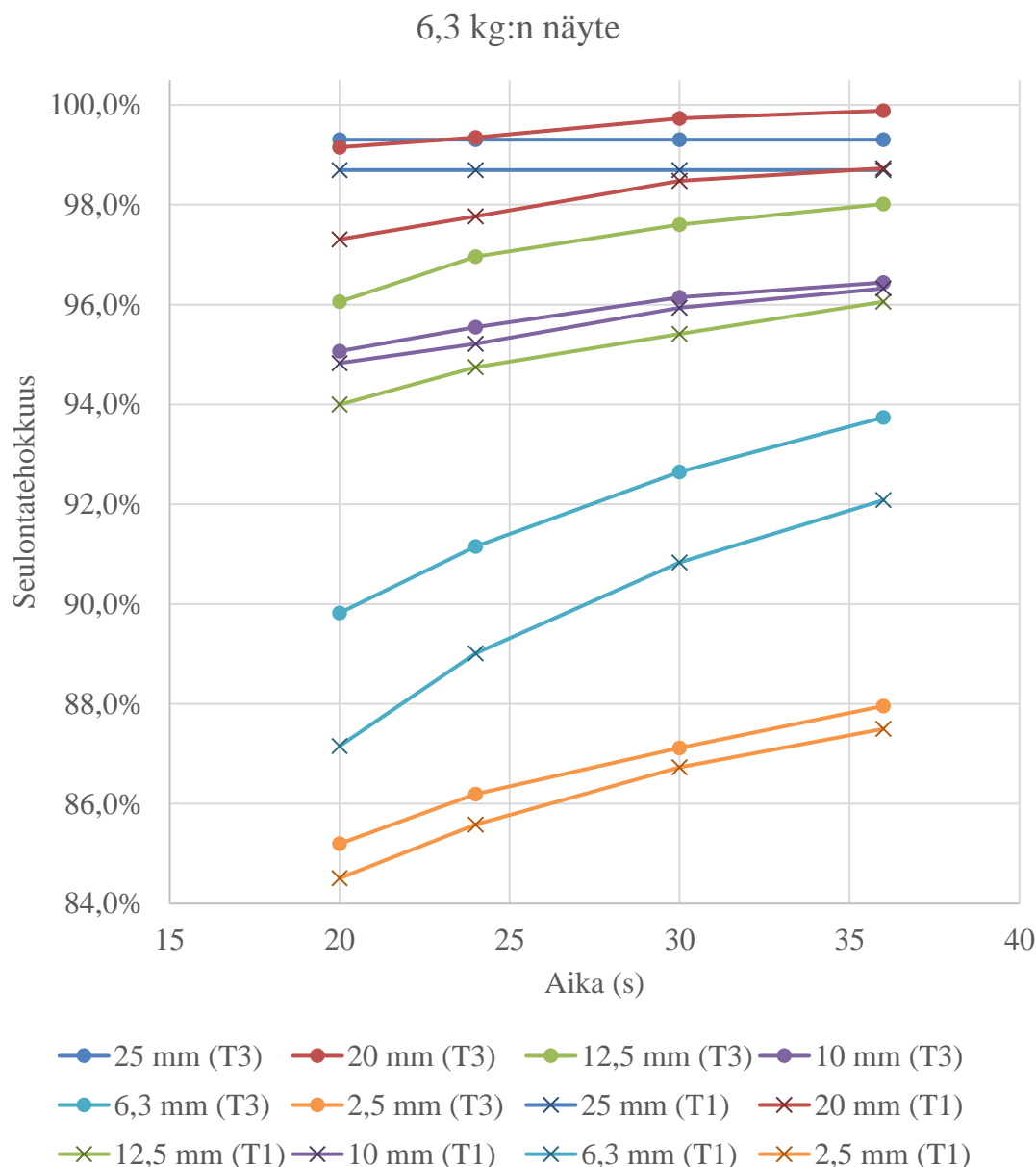
KUVIO 8. 10 kg:n näytteen molempien testien seulojen tehokkuudet

10 kg:n näytteen tehokkuuksia (kuvio 8) vertaamalla nähdään, että joidenkin seulojen välin ero on kasvanut. Huomattavin ero löytyy tarkastelemalla 12,5 mm:n seuloja, joissa keskikupittoman testin tehokkuudet ovat parantuneet paljon verrattuna isompaan näytteeseen. Seulojen järjestys on pitkälti sama, mutta tehokkuuksien arvot ovat parantuneet verrattuna isompaan näytteeseen. Isommissa seuloissa ero on pieni, mutta pienemmissä seuloissa se on selkeämpi.



KUVIO 9. 8 kg:n näytteen molempien testien seulojen tehokkuudet

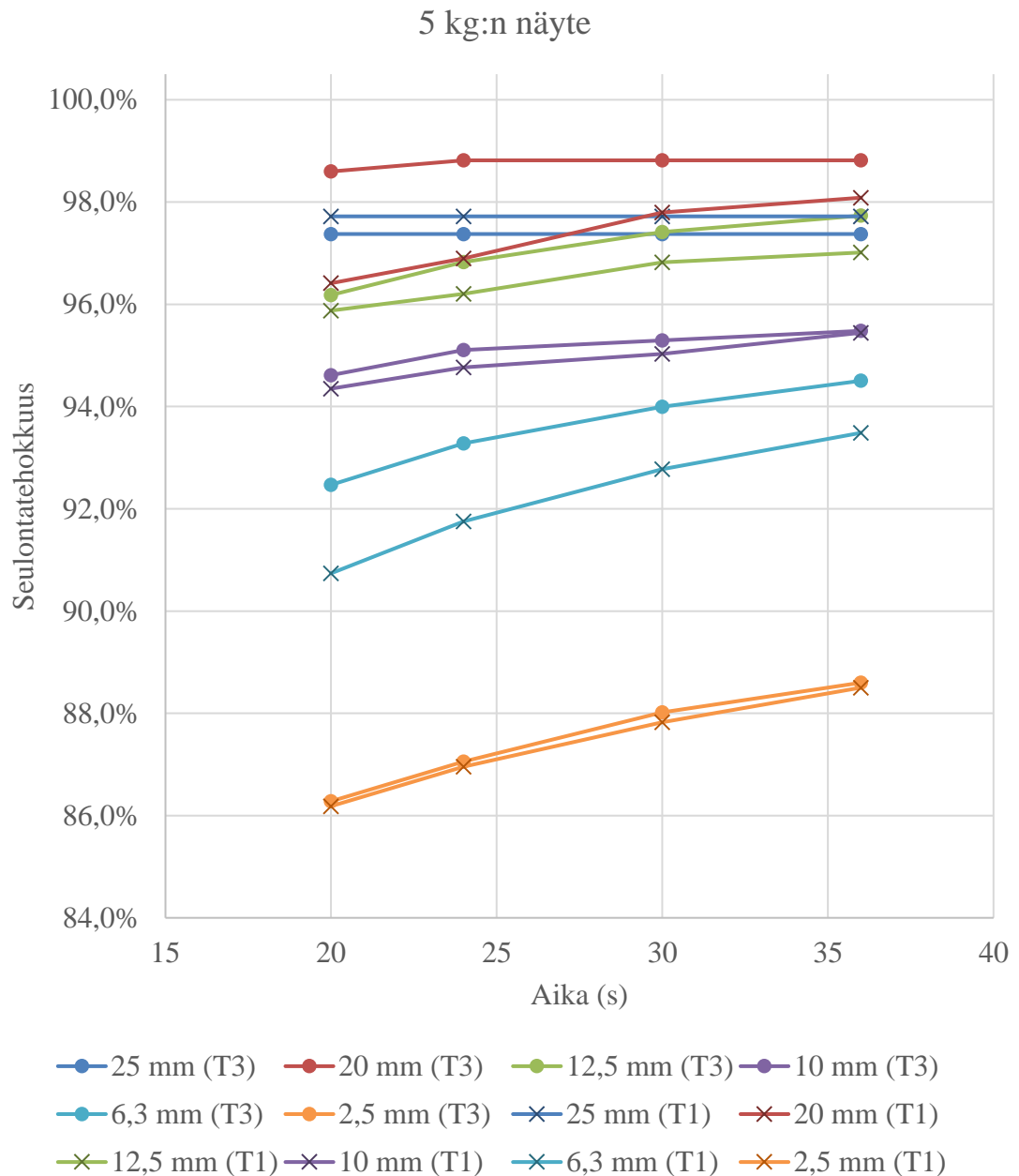
8 kg:n näytteen tehokkuuksia (kuvio 9) vertailtaessa suurin eri löytyy 10 kg:n näytteen lailla 12,5 mm:n seuloista. Molempien testien tehokkuudet varsinkin 12,5 mm:n ja sitä pienemmillä seuloilla ovat parantuneet isompiin näytteisiin verrattuna. Tässä näytteessä aikaisemmista poiketen 25 mm:n seulat saavat parhaimmat tehokkuuden arvot ja 12,5 mm:n seulojen tehokkuus on noussut selkeästi keskivaiheille muihin seuloihin verrattuna.



KUVIO 10. 6,3 kg:n näytteen molempien testien seulojen tehokkuudet

6,4 kg:n näytteen tehokkuuksia (kuvio 10) vertailtaessa huomataan, että pienempiin seuloihin on tullut selkeämpi ero. 6,3 mm:n seulojen tehokkuudet ovat nousseet selkeästi paremmiksi 2,5 mm:n seuloihin verrattuna ja myös 12,5 mm:n seulat ovat parantuneet

verrattuna aikaisempiin näytteisiin. 12,5 ja 10 mm:n seulojen välinen ero on myös pienentynyt. Isoimmissa seuloissa ei näy enää niin selkeästi, kummat seuloista ovat parempia. Tehokkuudet menevät niissä paremmuusjärjestykseen testikohtaisesti eikä seulakohtaisesti kuten aikaisemmin. Eli keskikupittoman testin molempien isoimpien seulojen tehokkuudet ovat keskikupillisen tehokkuuksia parempia.



KUVIO 11. 5 kg:n näytteen molempien testien seulojen tehokkuudet

5 kg:n näytteen tehokkuuksia (kuvio 11) tarkastelemalla huomataan, että 2,5 mm:n seulat jäävät selkeästi muita tehokkuuksia huonommiksi. 12,5 mm:n seulojen tehokkuudet ovat lähempänä isoimpia seuloja kuin aikaisemmissä näytteissä. Niiden tehokkuus on noussut,

mutta isompien seulojen tehokkuus on myös laskenut hieman. 6,3 mm:n seulat ovat nousseet lähemmäs 10 mm:n seulojen tasoa.

Kummankin testin tehokkuudet (taulukot 7 & 9) 2,5 ja 6,3 mm:n seuloissa parantuvat näytekoon pienentyessä. 10 mm:n seuloissa tehokkuus parantuu myös näytekoon pienentyessä, mutta ei niin paljon kuin pienimmissä seuloissa. 20 ja 25 mm:n seulojen tehokkuudet pysyvät samoissa lukemissa, mutta laskee vähän pienimmässä näytteessä. 12,5 mm:n seuloilla näkyvät radikaaleimmat erot tehokkuuksien kasvussa ja testien välisissä tehoissa näytekoon pienentyessä. Isoimmassa näytteessä molempien testien tehokkuudet ovat huonoimmasta päästä, mutta jo 10 kg:n näytteessä keskikupin poistamisella oli suuri vaikutus kyseisen seulan tehokkuuteen. 8 kg:n näytteessäkin ero näkyy selkeästi, mutta se alkaa taas kaventua näytekoon pienentyessä. Tämä viittaa siihen, että näytekoon ollessa noin 6,3 – 10 kg:aa keskikupin poistamisella on suuri parantava vaikutus tehokkuuksiin sellaisilla seuloilla, joilla on paljon materiaalia eroteltavana.

Näytekoon pienentyessä tehokkuudet pääosin paranevat jokaisella seulalla. Näytemäärän ollessa iso, myös seuloille tulee enemmän materiaalia eroteltavaksi eli materiaalin maton paksuus seulalla on suurempi. Maton paksuuden ollessa suuri, verkkokoon alittavien rakeiden läpäisy on epätodennäköisempää kuin maton paksuuden ollessa matalampi. Tällöin pienemmällä näytemäärällä seulontatehokkuus on parempi. (Sullivan 2012, 12.)

Samanlaisiin tuloksiin maton paksuuden ja seulontatehokkuuden yhteydestä pääsi myös yhdysvaltalainen Triple/S Dynamics Inc'n johtoryhmän puheenjohtaja James Sullivan (2012) samankaltaisella testillä. Testissä oli käytetty yleensä manuaalisessa seulonnassa käytettävää tärytintä, johon oli asetettu seula ja sen alle keräysastia. Aikaa oli mitattu sekuntikellolla, ja alitteen määrä oli punnittu 5, 10, 15 ja 60 sekunnin kohdalla sekä testin jälkeen. Testissä oli ajettu kolme eri kokoista näytettä, jolla simuloitiin tiettyjä maton paksuuksia. Pienimmällä näytteellä eli pienimmällä maton paksuudella seulontatehokkuus oli paras. (Sullivan 2012, 12.)

Seulojen tehokkuuksien keskinäiseen paremmuusjärjestykseen vaikuttaa muun muassa seulojen verkkokoko, materiaalin määrä eli maton paksuus ja seulalle jäävän materiaalin määrä. Isoimmissa seuloissa on alussa eniten materiaalia, mutta niissä on myös paljon pinta-alaa pienille rakeille mennä läpi. Näytteissä ei ole myöskään näille seuloille jääviä

rakeita niin paljon kuin pienemmillä seuloilla. 2,5 ja 6,3 mm:n seulojen tehokkuudet saavat matalampia arvoja muihin seuloihin verrattuna jokaisessa näytteessä. Niissä ei ole niin paljon pinta-alaa rakeille mennä läpi, koska ne tukkeutuvat isoja seuloja helpommin (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 1979, 73). Seulalle jäävän materiaalin määrä on toiseksi suurin näillä seuloilla, joten tehokkuuksien voi odottaa olevan huonompia muihin verrattuna. Maton paksuus on matalin pienimmillä seuloilla, joten verkkokoko ja seulalle jäävän materiaalin määrä näyttäisivät vaikuttavan enemmän tehokkuuteen.

10 mm:n seulan verkkokoko, seulalle jäävän materiaalin määrä ja maton paksuus ovat isoimpien ja pienimpien seulojen välissä. Tällöin sen tehokkuuskin liikkuu keskivaiheilla. Ainoa poikkeus seulojen tehokkuuksien järjestykseen tekee 12,5 mm:n seula, jolle jäävän materiaalin määrä on suurin. Verkkokoko ja maton paksuus ovat kolmanneksi suuria. Tämä viittaisi siihen, että seulalle jäävän materiaalin määrällä on huomattava vaikutus seulontatehokkuuteen.

Kaikkien seulojen tehokkuudet molemmissa testeissä kasvavat seulonnan edetessä. Näyttekoon pienentyessä tehokkuuden kasvu ei ole niin suurta. Isommilla seuloilla tehokkuuden kasvu on myös vähäisempää verrattuna pienempiin seuloihin. Tämä johtuu siitä, että isommilla seuloilla seulalle jäävän materiaalin määrä on pieni ja verkkoko suuri, joten materiaali menee nopeammin läpi. Tällöin suuret tehokkuudet saavutetaan aikaisemmin kuin pienemmillä seuloilla. Tehokkuuden hitaampi kasvu pienemmillä näytteillä johtuu samasta syystä. Pienemmissä näytteissä seuloilla on vähemmän materiaalia eroteltavana isompiin näytteisiin verrattuna ja läpimeno on tällöin nopeampaa. Ajan ja seulontatehokkuuden välillä on siis selkeä yhteys: mitä kauemmin näytettä seulotaan, sen parempi seulontatehokkuus saavutetaan.

### **6.4.3 Liikeradat**

Keskikupillisissa testeissä kiviaines kulkee täysin ympyräradalla tärinän ja keskikupin ansiosta. Materiaalin liike on hillitympää ja pääasiassa rakeet etenevät koko ajan jäämättä paikalleen kovin kauaksi aikaa ponnahtelemaan. Keskikupittomissa testeissä kiviaines kulkee ympyrärataa seulan reunoilla, mutta materiaalia pääsee myös seulan keskelle. Siihen jää joskus kauemmaksikin aikaa samat rakeet poukkoilemaan tai sitten jokunen rake oikaisee keskikohdan kautta toiselle puolelle ympyrärataa. Näyttemäärän ollessa seulalla



isompi, materiaali kulkee paremmin ympyrän muotoista rataa kuin vähemmällä näytemäärällä. Kaiken kaikkiaan materiaalin liikerata ilman keskikuppia on hieman kaottisempaa kuin keskikupin kanssa. Tämä ei kuitenkaan näytä vaikuttavan testeistä saataviin tuloksiin negatiivisesti.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tavoitteena oli kehittää testiseula-analyysiä käytännöllisemmäksi ja lyhentää siihen kuluva aikaa keskikupin poistamisen avulla. Tavoite saavutettiin, sillä testeissä osoitettiin keskikupittoman testitavan olevan yhtä käyttökelpoinen kuin keskikupillinenkin testitapa. Tarkoituksena oli tutkia, miten keskikupin, eli toisen kiviaineksen ympyräradalle saattaman komponentin, poistaminen vaikutti testistä saataviin tuloksiin ja niistä laskettuihin arvoihin. Keskikupittomista testeistä saatiin tulokset ja niistä saatiin laskettua arvot erilaisille liikeradan vaikutusta mittaaville parametreille. Näitä arvoja pystyttiin myös vertaamaan keskikupillisten testien tuloksiin ja niistä laskettuihin arvoihin.

Hypoteesina oli, että keskikupiton testi olisi parempi kuin keskikupillinen, koska näyte pääsee levittymään ohuemmaksi matoksi seulalle ja seulan pinta-ala kasvaa keskikupin poistamisen seurauksena. Testeissä ei kuitenkaan havaittu merkittävää eroa keskikupittomien ja keskikupillisten testien välille. Läpäisyprosentteja vertailtaessa keskikupilliset testit (T1) olivat parempia kuudessa testissä ja lopuissa 24:ssä testissä keskikupittomat (T3) olivat parempia (taulukko 11). Keskikupittomat testit siis antoivat 80 %:ssa tapauksista paremmat läpäisyprosentit kuin keskikupilliset testit.

TAULUKKO 11. Parempaan läpäisyprosenttiin yltävä testi

12,5 kg						
Seula (mm)	25	20	12,5	10	6,3	2,5
Parempi	T1	T3	T3	T3	T3	T1
10 kg						
Seula (mm)	25	20	12,5	10	6,3	2,5
Parempi	T1	T1	T3	T3	T3	T3
8 kg						
Seula (mm)	25	20	12,5	10	6,3	2,5
Parempi	T3	T3	T3	T3	T3	T3
6,3 kg						
Seula (mm)	25	20	12,5	10	6,3	2,5
Parempi	T3	T3	T3	T3	T3	T3
5 kg						
Seula (mm)	25	20	12,5	10	6,3	2,5
Parempi	T1	T3	T3	T1	T3	T3

Seulontatehokkuuksissa oli testien välillä hieman enemmän hajontaa. Joissakin näytteissä keskikupillisten testien (T1) tehokkuudet olivat parempia ja toisissa näytteissä keskikupittomien testien (T3) tehokkuudet olivat korkeammalla tasolla (taulukko 12). Erot eivät ole näissäkään tuloksissa suuria ja kumpikaan testi ei ole toista selvästi parempi tai huonompi edes seulakohtaisesti tarkasteltuna. Suurin ero seulojen välisissä tehokkuuksissa on noin 7 prosenttiyksikköä 10 kg:n näytteen 12,5 mm:n seulojen välillä. Muutamassa testissä saatiin yli 100 %:n tehokkuuksia, mikä ei ole käytännössä tietenkään mahdollista. Tämä johtuu siitä, että seulottaessa saattaa tärinän ja kivien poukkoilun seurauksena osa niistä murskautua pienemmäksi tai niiden kulmat pyöristyä, ja näin ne pääsevät menemään myös pienemmästä seulasta läpi.

TAULUKKO 12. Parempaan seulontatehokkuuteen yltävä testi

12,5 kg						
Seula (mm)	25	20	12,5	10	6,3	2,5
Parempi	T1	T3	T3	T3	T3	T3
10 kg						
Seula (mm)	25	20	12,5	10	6,3	2,5
Parempi	T1	T1	T3	T3	T3	T3
8 kg						
Seula (mm)	25	20	12,5	10	6,3	2,5
Parempi	T1	T1	T3	T3	T3	T3
6,3 kg						
Seula (mm)	25	20	12,5	10	6,3	2,5
Parempi	T3	T3	T3	T3	T3	T3
5 kg						
Seula (mm)	25	20	12,5	10	6,3	2,5
Parempi	T3	T3	T3	T3	T3	T3

Seulontatehokkuuksissa keskikupillisen testin tehokkuus oli viidessä testissä parempi, kun taas keskikupittomien testien tehokkuudet olivat parempia 25:ssä tapauksessa. Keskikupillisten testien paremmat tehokkuudet löytyvät kaikki kolmen isoimman näytteen suurimmista seuloista. Keskikupiton testi on siis parempi 83 %:ssa tapauksista. Niissä testeissä, joissa keskikupiton oli teholtaan keskikupillista huonompi, seulontatehokkuuksien arvot olivat silti yli 95 %:a eli todella hyviä (Lukkarinen 1985, 118).

Tulokset ovat luotettavia, koska keskikupillinen testi oli todettu toimivaksi jo ennen tämän opinnäytetyön aloitusta ja testitapa oli täysin sama keskikupin poistamista lukuun

ottamatta. Jos kuitenkin halutaan tutkia tarkemmin testien eroja, testistä tulisi tehdä enemmän toistoja.

Liikeradoissa oli jonkin verran odotettavissakin eroja, sillä keskikupin poistamisen seurauksena materiaalia pääsi myös seulan keskelle. Kiviaines jatkoi silti ulkoreunalla ympyräradan kulkemista ja keskellä olevat rakeet suurimmaksi osaksi poukkoilivat paikoillaan ennen reunoille matkaamista. Liikeradan muutos ei saatujen tuloksien ja niiden vertailun perusteella vaikuttanut testiin negatiivisesti.

Testien jälkeen tehtyjen manuaalisten seulontojen mittatappio, joka johtuu materiaalin hävikistä ja mahdollisista epätarkkuuksista punnituksissa, saa olla enintään 1 % (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 73). Kaikkien viiden näytteen mittatappio (liitteet 16, 17, 18, 19 & 20) oli alle tämän raja-arvon, joten fraktioiden erottelussa ei materiaalia hävinnyt juuri ollenkaan. Kaikkien näytteiden litteysluku oli koontivaiheessa 15 % ja se ei testien aikana muuttunut paljoa, sillä testien jälkeenkin jokaisen näytteen litteysluku oli melko lähellä koontivaiheen lukua. Suurin ero oli 10 kg:n näytteen litteyslukuissa, joista testin jälkeen litteysluku oli 14 %:a.

Haasteena testeissä oli se, että hienojakoisin kiviaines ei enää seulonnan aikana pysynyt näytteessä. Seula tärisi paljon, joten hienoaines leijaili herkästi ilmaan ja asettui lattialle tai seulan rakenteisiin. Osa meni myös seulan päällä työturvallisuussyistä pidettävään huuvaan. Näiden seikkojen aiheuttamaa virhettä minimoitiin keräämällä kaikki mahdollinen hienoaines lattialta ja seulan rakenteista. Silti punnitukseen tulee heittoa, koska kaikkea hienojakoista materiaalia ei saada millään kerättyä silmämääräisesti sudilla ja rikkalapiolla. Tästä johtuvat epätarkkuudet punnitustuloksissa eivät kuitenkaan haittaa, koska testin ei tarvitse antaa absoluuttisen tarkkoja tuloksia.

Aiheen tutkimista on tarkoitus jatkaa muun muassa niin, että seulakoneeseen laitetaan monta seulaa kerrallaan päällekkäin. Nykyisellä testitavalla ei voida ottaa tarkasti huomioon sitä, että moniakselisissa seuloissa kaikki seulan verkkokokoa pienemmät rakeet eivät mene heti seulaverkon alussa läpi vaan voivat matkata seulalla vähän aikaa ennen läpimenoa. Kiviaines ei siis putoa aina seuraavan seulan alkuun vaan se voi pudota esimerkiksi vasta keskivaiheille. (Viilo 2018.)

Jatkossa voisi myös tutkia tarkemmin keskikupin poistamisen vaikutusta seuloihin, joilla on suuri määrä ylitettä. Näytteitä verrattaessa keskenään keskikupittoman testin 12,5 mm:n seulan tehokkuus kasvaa muihin seuloihin verrattuna merkittävästi näytekoon ollessa 10 kg. Voisi olla mielenkiintoista tietää, että toistuuko sama ilmiö myös muilla seuloilla vai vaikuttaako esimerkiksi seulaverkon koko ilmiöön. Myös eri seulantehokkuuteen vaikuttavien tekijöiden keskinäisiä vaikutussuhteita voisi testata testiseulalla. Esimerkiksi tämän opinnäytetyön tulokset viittaisivat siihen, että seulalle jäävän materiaalin määrällä ja verkkokoolla on suurempi vaikutus seulantehokkuuteen kuin materiaalin maton paksuudella.

Liikeratoja voisi tarkastella tarkemmin maalaamalla yksi kivi esimerkiksi punaiseksi ja kuvaamalla sen liikettä hidastettua videota kuvaavalla kameralla. Näin saataisiin parempi käsitys siitä, miten yksittäiset rakeet liikkuvat seulalla. Hidastetusta videosta on helpompi havaita rakeiden liikkeitä kuin silmämääräisesti tai tavallisella nopeudella kuvatulta videolta ja punainen rae on helpompi erottaa muiden joukosta.

## LÄHTEET

- Aalto, K. 2015. Kiviainesta tarvitaan monenlaisessa rakentamisessa. Kalliosta murskeeksi. Koneviesti-lehti 16/2015. Luettu 02.01.2018. <http://www.koneviesti.fi/artikkelit/kalliosta-murskeeksi-1.132644>
- Farin, J., Peltonen, L., Pykälä, M. & Uski-Joutsenvuo, S. 2009. Taajuusmuuttajien rakenne, mitoitus ja säätö generaattorikäytöissä. Tutkimusraportti. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Luettu 08.01.2018. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/TAMU-loppuraportti.pdf>
- Hytönen, K. 1999. Suomen mineraalit. Erillisjulkaisu. Geologian Tutkimuskeskus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. Luettu 17.01.2018. [http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej\\_031.pdf](http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej_031.pdf)
- Jääskeläinen R. 2011. Geotekniikan perusteet. 3. painos. Tampere: Tammertekniikka.
- Kekäläinen, T. 2010. Testiseulan suunnittelu ja valmistus. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Korotey, R. N.d. Basalt. Department of Earth and Planetary Sciences. Washington University. Luettu 04.01.2018. <http://meteorites.wustl.edu/id/lavarocks.htm>
- Legg, F.E., Waddell, J. & Dobrowolski, J. 1998. Aggregates. Concrete Construction Handbook. 4th edition. USA: McGraw-Hill Inc.
- Lukkarinen, T. 1985. Mineraalitekniikka. OSA I: Mineraalien hienonnus. 2. painos. Helsinki: Insinööritieto Oy.
- Metso Oyj. 2015. Basics in Minerals Processing. 10th edition. Luettu 03.01.2018. [http://www.metso.com/globalassets/saleshub/documents---episerver/handbook-basics-in-minerals-processing\\_en.pdf](http://www.metso.com/globalassets/saleshub/documents---episerver/handbook-basics-in-minerals-processing_en.pdf)
- Oy Scanteknik Ab. 2002. Verkkoseulat. Luettu 02.01.2018. <http://www.scanteknik.fi/old/fin/seulat/verkkoseulaframe.htm>
- Quiroga, P. & Fowler, D. 2004. The Effects of Aggregates Characteristics of the Performance of Portland Cement Concrete. Research Report. International Center for Aggregates Research. Luettu 04.01.2018. [https://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/35333/104\\_1F\\_completed.pdf?sequence=2](https://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/35333/104_1F_completed.pdf?sequence=2)
- Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. 1979. Geotekniikka. 21. muuttumaton painos. Helsinki: Otatieto Oy
- SFS-EN 933-2. 1996. Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 2: Rakeisuuden määrittäminen. Seulasarjat, aukkojen nimelliskoko. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 02.01.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/9/11279.html.stx>

SFS-EN 933-3. 2012. Kiviainesten geometristen ominaisuuksien testaus. Osa 3: Rae-  
muodon määrittäminen. Litteysluku. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu  
04.01.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/9/199975.html.stx>

Sullivan, J. 2012. Screening Theory and Practice. USA: Triple/S Dynamics, Inc. Luettu  
22.12.2017. <http://www.sssdynamics.com/wp-content/themes/va/pdf/screeningtheory.pdf>

Suomen Geotekninen Yhdistys Ry. 1985. GLO-85 Geotekniset Laboratorio-ohjeet. 1.  
Luokituskokeet. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy.

Torppa, A. & Räisänen M. 2008. Kiviainesten raekoon, muodon ja geologisten ominai-  
suuksien vaikutus hiljaisten asfalttien kulumiseen. Geologian Tutkimuskeskus. Luettu  
04.01.2018.  
[https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi30e\\_a5b3YAhXqDpoKHauoCzAQFgg-mMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.nordicenvi-con.fi%2Fdata%2Fhue446gs%2F5.%2520Kiviainekset\\_ominaisuudet.doc&usg=AOv-Vaw0ZmLL6eerD5l69WBtVCulO](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi30e_a5b3YAhXqDpoKHauoCzAQFgg-mMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.nordicenvi-con.fi%2Fdata%2Fhue446gs%2F5.%2520Kiviainekset_ominaisuudet.doc&usg=AOv-Vaw0ZmLL6eerD5l69WBtVCulO)

Viilo, K. Metso Minerals Oy:n tutkimusjohtaja. 2018. Luento 01.02.2018.

**LIITTEET**

Liite 1. 12,5 kg:n näytteen koostumus

TAULUKKO 13. 12,5 kg:n näytteen fraktioiden laskennalliset ja punnitut massat

Seulan koko mm	Laskennallinen massa g	Pun- nittu g	Laskennal- linen 85 % g	Punnittu 85 % g	Laskennallinen lit- teät 15 % g	Punnittu lit- teät 15 % g
32	375.0	376.0				
25	725.0	724.4				
20	1088.0		924.4	924.3	163.1	163.0
16	1225.0		1041.3	1041.5	183.8	183.6
12.5	1388.0		1179.4	1179.5	208.1	208.1
10	1063.0		903.1	903.1	159.4	159.4
8	925.0		786.3	786.3	138.8	138.8
6.3	800.0		680.0	680.0	120.0	120.0
5	688.0		584.4	584.4	103.1	103.1
4	600.0		510.0	510.0	90.0	90.0
3.15	550.0		467.5	467.5	82.5	82.5
2.5	488.0		414.4	414.4	73.1	73.1
2	350.0		297.5	297.5	52.5	52.5
1.6	288.0		244.4	244.4	43.1	43.1
1.25	250.0		212.5	212.5	37.5	37.5
1	225.0	225.0				
0.5	488.0	488.0				
0.25	338.0	338.0				
0.125	213.0	213.0				
0.063	163.0	163.0				
pohja	275.0	275.0				



## Liite 2. 10 kg:n näytteen koostumus

TAULUKKO 14. 10 kg:n näytteen fraktioiden laskennalliset ja punnitut massat

Seulan koko mm	Laskennallinen massa g	Pun- nittu g	Laskennal- linen 85 % g	Punnittu 85 % g	Laskennallinen lit- teät 15 % g	Punnittu lit- teät 15 % g
32	300.0	300.4				
25	580.0	580.4				
20	870.0		739.5	739.4	130.5	130.6
16	980.0		833.0	833.1	147.0	147.2
12.5	1110.0		943.5	943.3	166.5	166.5
10	850.0		722.5	722.5	127.5	127.4
8	740.0		629.0	629.1	111.0	111.0
6.3	640.0		544.0	544.0	96.0	96.0
5	550.0		467.5	467.5	82.5	82.5
4	480.0		408.0	408.0	72.0	72.0
3.15	440.0		374.0	374.0	66.0	66.0
2.5	390.0		331.5	331.5	58.5	58.5
2	280.0		238.0	238.0	42.0	42.0
1.6	230.0		195.5	195.5	34.5	34.5
1.25	200.0		170.0	170.0	30.0	30.0
1	180.0	180.0				
0.5	390.0	390.0				
0.25	270.0	270.0				
0.125	170.0	170.0				
0.063	130.0	130.0				
pohja	220.0	220.0				

## Liite 3. 8 kg:n näytteen koostumus

TAULUKKO 15. 8 kg:n näytteen fraktioiden laskennalliset ja punnitut massat

Seulan koko mm	Laskennal- linen massa g	Pun- nittu g	Laskennal- linen 85 % g	Punnittu 85 % g	Laskennallinen litteät 15 % g	Punnittu lit- teät 15 % g
32	240.0	240.6				
25	464.0	464.3				
20	696.0		591.6	591.7	104.4	104.6
16	784.0		666.4	666.2	117.6	117.8
12.5	888.0		754.8	754.8	133.2	133.2
10	680.0		578.0	578.0	102.0	102.0
8	592.0		503.2	503.2	88.8	88.9
6.3	512.0		435.2	435.3	76.8	76.8
5	440.0		374.0	374.0	66.0	66.0
4	384.0		326.4	326.4	57.6	57.6
3.15	352.0		299.2	299.2	52.8	52.8
2.5	312.0		265.2	265.2	46.8	46.8
2	224.0		190.4	190.4	33.6	33.6
1.6	184.0		156.4	156.4	27.6	27.6
1.25	160.0		136.0	136.0	24.0	24.0
1	144.0	144.0				
0.5	312.0	312.0				
0.25	216.0	216.0				
0.125	136.0	136.0				
0.063	104.0	104.0				
pohja	176.0	176.0				

## Liite 4. 6,3 kg:n näytteen koostumus

TAULUKKO 16. 6,3 kg:n näytteen fraktioiden laskennalliset ja punnitut massat

Seulan koko mm	Laskennallinen massa g	Pun- nittu g	Laskennallinen 85 % g	Punnittu 85 % g	Laskennallinen lit- teät 15 % g	Punnittu litteät 15 % g
32	189.0	189.3				
25	365.0	365.0				
20	548.0		465.9	465.8	82.2	82.3
16	617.0		524.8	524.9	92.6	92.6
12.5	699.0		594.4	594.6	104.9	104.9
10	536.0		455.2	455.2	80.3	80.4
8	466.0		396.3	396.3	69.9	69.9
6.3	403.0		342.7	342.7	60.5	60.5
5	347.0		294.5	294.5	52.0	52.0
4	302.0		257.0	257.0	45.4	45.4
3.15	277.0		253.6	253.6	41.6	41.6
2.5	246.0		208.8	208.8	36.9	36.9
2	176.0		149.9	149.9	26.5	26.5
1.6	145.0		123.2	123.2	21.7	21.7
1.25	126.0		107.1	107.1	18.9	18.9
1	113.0	113.0				
0.5	246.0	246.0				
0.25	170.0	170.0				
0.125	107.0	107.0				
0.063	82.0	82.0				
pohja	139.0	139.0				

## Liite 5. 5 kg:n näytteen koostumus

TAULUKKO 17. 5 kg:n näytteen fraktioiden laskennalliset ja punnitut massat

Seulan koko mm	Laskennallinen massa g	Pun- nittu g	Laskennal- linen 85 % g	Punnittu 85 % g	Laskennallinen lit- teät 15 % g	Punnittu litteät 15 % g
32	150.0	150.1				
25	290.0	290.0				
20	435.0		369.8	369.8	65.3	65.6
16	490.0		416.5	416.8	73.5	73.6
12.5	555.0		471.8	471.7	83.3	83.3
10	435.0		361.3	361.4	63.8	63.8
8	370.0		314.5	314.4	55.5	55.5
6.3	320.0		272.0	272.3	48.0	48.0
5	275.0		233.8	233.8	41.3	41.3
4	240.0		204.0	204.0	36.0	36.0
3.15	220.0		187.0	187.0	33.0	33.0
2.5	195.0		165.8	165.8	29.3	29.3
2	140.0		119.0	119.0	21.0	21.0
1.6	115.0		97.8	97.8	17.3	17.3
1.25	100.0		85.0	85.0	15.0	15.0
1	90.0	90.0				
0.5	195.0	195.0				
0.25	135.0	135.0				
0.125	85.0	85.0				
0.063	65.0	65.0				
pohja	110.0	110.0				

## Liite 6. 12,5 kg:n näytteen alitteen määrä sekunnin välein

TAULUKKO 18. 12,5 kg:n alitteen määrä sekunnin välein

Aika s	25 mm seula kg	20 mm seula kg	12.5 mm seula kg	10 mm seula kg	6.3 mm seula kg	2.5 mm seula kg
0	0,000	0,000	0,005	0,002	0,000	0,000
1	0,000	0,000	0,005	0,003	0,000	0,000
2	0,653	0,419	0,370	0,004	0,211	0,121
3	2,322	1,733	1,104	0,828	0,558	0,303
4	3,407	2,443	1,519	1,323	0,869	0,470
5	4,498	3,226	1,917	1,805	1,161	0,639
6	5,428	4,114	2,294	2,358	1,400	0,810
7	6,498	4,970	2,640	2,933	1,710	0,966
8	7,294	5,724	2,939	3,396	1,964	1,107
9	8,131	6,427	3,298	3,786	2,223	1,238
10	9,094	7,031	3,586	4,140	2,477	1,369
11	9,881	7,523	3,817	4,418	2,711	1,470
12	10,565	7,986	4,081	4,664	2,919	1,584
13	10,763	8,393	4,314	4,879	3,110	1,674
14	10,823	8,923	4,532	5,075	3,222	1,742
15	10,906	9,504	4,709	5,232	3,341	1,814
16	10,976	9,869	4,891	5,339	3,420	1,875
17	11,052	9,935	5,045	5,464	3,499	1,919
18	11,134	10,107	5,219	5,542	3,578	1,965
19	11,128	10,191	5,359	5,646	3,632	1,999
20	11,128	10,194	5,512	5,735	3,699	2,026
21	11,129	10,224	5,634	5,834	3,744	2,049
22	11,152	10,253	5,771	5,931	3,795	2,072
23	11,223	10,264	5,867	6,017	3,831	2,091
24	11,216	10,275	5,954	6,072	3,868	2,107
25	11,216	10,275	6,035	6,135	3,900	2,122
26	11,238	10,275	6,127	6,168	3,941	2,134
27	11,238	10,275	6,184	6,211	3,967	2,142
28	11,254	10,285	6,268	6,252	3,995	2,154
29	11,254	10,301	6,316	6,275	4,018	2,164
30	11,254	10,302	6,367	6,300	4,039	2,171
31	11,254	10,310	6,421	6,326	4,059	2,181
32	11,254	10,310	6,480	6,341	4,076	2,187
33	11,254	10,322	6,533	6,351	4,095	2,195
34	11,254	10,337	6,561	6,364	4,113	2,203
35	11,254	10,337	6,610	6,376	4,126	2,207
36	11,254	10,349	6,634	6,382	4,139	2,214

(jatkuu)

2 (3)

37	11,254	10,349	6,672	6,391	4,153	2,219
38	11,254	10,349	6,700	6,393	4,159	2,226
39	11,254	10,349	6,741	6,404	4,174	2,230
40	11,254	10,349	6,753	6,412	4,186	2,233
41	11,254	10,349	6,776	6,416	4,192	2,239
42	11,254	10,349	6,804	6,423	4,205	2,242
43	11,254	10,349	6,831	6,424	4,213	2,247
44	11,254	10,349	6,849	6,425	4,226	2,250
45	11,254	10,362	6,870	6,432	4,236	2,252
46	11,254	10,362	6,899	6,435	4,248	2,255
47	11,254	10,362	6,917	6,438	4,254	2,257
48	11,254	10,362	6,927	6,439	4,261	2,260
49	11,254	10,362	6,946	6,441	4,266	2,262
50	11,281	10,362	6,956	6,452	4,273	2,265
51	11,273	10,362	6,977	6,453	4,277	2,268
52	11,273	10,362	6,985	6,454	4,280	2,270
53	11,273	10,362	7,004	6,457	4,288	2,273
54	11,273	10,362	7,014	6,460	4,294	2,275
55	11,273	10,362	7,048	6,461	4,300	2,277
56	11,273	10,375	7,058	6,468	4,305	2,280
57	11,273	10,374	7,073	6,469	4,308	2,282
58	11,273	10,374	7,085	6,474	4,314	2,284
59	11,273	10,374	7,097	6,474	4,317	2,286
60	11,273	10,374	7,115	6,478	4,324	2,287
61	11,273	10,374	7,117	6,483	4,327	2,289
62	11,273	10,383	7,129	6,486	4,333	2,291
63	11,273	10,383	7,142	6,488	4,336	2,293
64	11,273	10,395	7,153	6,488	4,339	2,295
65	11,273	10,395	7,158	6,489	4,344	2,297
66	11,310	10,395	7,177	6,492	4,346	2,298
67	11,302	10,395	7,180	6,495	4,348	2,300
68	11,302	10,395	7,189	6,498	4,350	2,302
69	11,302	10,395	7,202	6,498	4,355	2,304
70	11,302	10,395	7,214	6,508	4,356	2,305
71	11,302	10,395	7,220	6,508	4,360	2,307
72	11,302	10,395	7,223	6,510	4,363	2,308
73	11,302	10,395	7,234	6,510	4,365	2,310
74	11,302	10,395	7,237	6,512	4,369	2,311
75	11,302	10,395	7,249	6,518	4,372	2,313
76	11,302	10,395	7,249	6,518	4,373	2,314
77	11,302	10,395	7,260	6,518	4,378	2,316
78	11,302	10,395	7,276	6,518	4,380	2,317
79	11,302	10,395	7,283	6,523	4,384	2,318

(jatkuu)

3 (3)

80	11,302	10,395	7,292	6,525	4,386	2,319
81	11,302	10,395	7,299	6,526	4,391	2,320
82	11,302	10,395	7,301	6,526	4,392	
83	11,302	10,395	7,309		4,397	

---

## Liite 7. 10 kg:n näytteen alitteen määrä mitattuna sekunnin välein

TAULUKKO 19. 10 kg:n alitteen määrä sekunnin välein

Aika s	25 mm seula kg	20 mm seula kg	12.5 mm seula kg	10 mm seula kg	6.3 mm seula kg	2.5 mm seula kg
0	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,767	0,554	0,001	0,313	0,135	0,078
3	2,386	2,340	1,038	0,994	0,560	0,248
4	3,901	3,697	1,611	1,568	0,858	0,426
5	5,233	4,888	2,178	2,057	1,150	0,632
6	6,463	5,979	2,635	2,516	1,435	0,807
7	7,808	6,895	3,062	2,962	1,705	0,980
8	8,413	7,549	3,406	3,341	1,945	1,134
9	8,692	7,722	3,733	3,589	2,152	1,243
10	8,735	7,907	3,986	3,871	2,316	1,355
11	8,840	7,960	4,199	4,074	2,462	1,427
12	8,841	8,007	4,413	4,241	2,585	1,489
13	8,879	8,037	4,570	4,372	2,682	1,527
14	8,913	8,055	4,710	4,463	2,768	1,568
15	8,909	8,058	4,846	4,576	2,833	1,600
16	8,925	8,079	4,966	4,665	2,890	1,627
17	8,929	8,110	5,079	4,744	2,949	1,654
18	8,929	8,113	5,165	4,820	2,994	1,672
19	8,929	8,114	5,241	4,871	3,032	1,683
20	8,929	8,133	5,319	4,911	3,080	1,697
21	8,929	8,133	5,379	4,955	3,111	1,709
22	8,967	8,133	5,435	4,975	3,140	1,717
23	8,958	8,133	5,462	4,993	3,174	1,728
24	8,958	8,144	5,506	5,009	3,197	1,739
25	8,958	8,143	5,540	5,024	3,220	1,744
26	8,977	8,143	5,578	5,039	3,242	1,753
27	8,976	8,155	5,622	5,053	3,261	1,758
28	8,976	8,183	5,649	5,066	3,278	1,766
29	8,976	8,182	5,661	5,075	3,291	1,770
30	8,976	8,182	5,683	5,081	3,304	1,778
31	8,976	8,195	5,704	5,089	3,318	1,782
32	8,976	8,192	5,722	5,092	3,328	1,788
33	8,976	8,192	5,750	5,102	3,337	1,792
34	8,976	8,192	5,776	5,106	3,345	1,798
35	8,976	8,192	5,783	5,114	3,354	1,801
36	8,997	8,203	5,794	5,116	3,365	1,803

(jatkuu)



37	8,997	8,203	5,813	5,118	3,371	1,809
38	8,997	8,203	5,826	5,124	3,380	1,811
39	8,996	8,203	5,827	5,126	3,384	1,813
40	8,996	8,203	5,842	5,133	3,393	1,816
41	9,006	8,209	5,853	5,137	3,398	1,819
42	9,006	8,209	5,867	5,152	3,400	1,822
43	9,006	8,209	5,883	5,152	3,408	1,824
44	9,006	8,226	5,894	5,155	3,416	1,827
45	9,006	8,226	5,905	5,157	3,419	1,829
46	9,006	8,226	5,907	5,158	3,426	1,831
47	9,006	8,226	5,911	5,167	3,431	1,833
48	9,006	8,226	5,923	5,167	3,438	1,835
49	9,006	8,226	5,933	5,167	3,443	1,838
50	9,006	8,226	5,943	5,169	3,445	1,840
51	9,006	8,226	5,942	5,176	3,450	1,841
52	9,006	8,226	5,943	5,177	3,454	1,843
53	9,006	8,226	5,943	5,177	3,460	1,845
54	9,006	8,226	5,946	5,184	3,464	1,846
55	9,006	8,226	5,956	5,183	3,466	1,848
56	9,006	8,226	5,960	5,185	3,472	1,849
57	9,006	8,226	5,961	5,187	3,474	1,851
58	9,007	8,226	5,966	5,188	3,476	1,853
59	9,030	8,226	5,969	5,189	3,483	1,854
60	9,030	8,227	5,971	5,192	3,485	1,855
61	9,030	8,241	5,977	5,192	3,487	1,857
62	9,030	8,249	5,991	5,193	3,493	1,858
63	9,030	8,249	5,992	5,194	3,495	1,859
64	9,030	8,249	5,992	5,198	3,496	1,861
65	9,030	8,249	6,001	5,199	3,503	1,862
66	9,031	8,249	6,000	5,202	3,506	1,863
67	9,031	8,249	6,001	5,205	3,509	1,864
68	9,031	8,249	6,005	5,207	3,511	1,864
69	9,031	8,249	6,008	5,208	3,516	1,865
70	9,031	8,249	6,015	5,209	3,518	1,867
71	9,031	8,249	6,015	5,210	3,520	1,868
72	9,050	8,249	6,016	5,212	3,521	1,868
73	9,050	8,249	6,027	5,213	3,524	1,869
74	9,050	8,249	6,027	5,213	3,526	1,870
75	9,050	8,249	6,029	5,213	3,531	1,871
76	9,050	8,262	6,037	5,214	3,532	1,871
77	9,050	8,262	6,044	5,215	3,536	1,872
78	9,050	8,262	6,044	5,215	3,538	1,873
79	9,050	8,262	6,044	5,216	3,539	1,874

(jatkuu)

3 (3)

80	9,050	8,262	6,060	5,217	3,543	1,875
81	9,050	8,262	6,061	5,217	3,546	1,875
82	9,050	8,262	6,065	5,219	3,547	1,876
83		8,277	6,067	5,220	3,548	1,878
84					3,549	

---

## Liite 8. 8 kg:n näytteen alitteen määrä mitattuna sekunnin välein

TAULUKKO 20. 8 kg:n alitteen määrä sekunnin välein

Aika s	25 mm seula kg	20 mm seula kg	12.5 mm seula kg	10 mm seula kg	6.3 mm seula kg	2.5 mm seula kg
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,136	0,002	0,270	0,000	0,232	0,104
3	2,820	1,868	1,129	0,619	0,663	0,339
4	4,346	3,542	1,855	1,127	1,025	0,533
5	5,947	4,735	2,379	1,736	1,388	0,704
6	6,890	5,815	2,816	2,251	1,669	0,807
7	7,030	6,053	3,066	2,615	1,839	0,895
8	7,099	6,182	3,358	2,948	2,000	0,943
9	7,092	6,236	3,581	3,186	2,113	0,979
10	7,137	6,279	3,797	3,387	2,214	1,007
11	7,136	6,311	3,944	3,571	2,286	1,030
12	7,155	6,325	4,094	3,712	2,354	1,047
13	7,155	6,342	4,183	3,801	2,398	1,061
14	7,155	6,366	4,300	3,877	2,445	1,074
15	7,156	6,424	4,370	3,922	2,485	1,081
16	7,210	6,437	4,413	3,944	2,517	1,088
17	7,210	6,477	4,447	3,964	2,541	1,093
18	7,210	6,466	4,498	3,983	2,562	1,101
19	7,210	6,466	4,549	4,003	2,586	1,105
20	7,210	6,476	4,581	4,019	2,607	1,111
21	7,210	6,474	4,631	4,039	2,624	1,114
22	7,237	6,475	4,656	4,051	2,638	1,116
23	7,237	6,490	4,665	4,060	2,651	1,121
24	7,237	6,490	4,688	4,066	2,668	1,124
25	7,237	6,502	4,712	4,069	2,680	1,125
26	7,237	6,502	4,728	4,080	2,688	1,128
27	7,237	6,502	4,733	4,084	2,699	1,130
28	7,237	6,502	4,747	4,089	2,714	1,132
29	7,237	6,517	4,759	4,089	2,724	1,134
30	7,237	6,516	4,774	4,095	2,732	1,136
31	7,237	6,516	4,790	4,097	2,740	1,139
32	7,237	6,516	4,802	4,107	2,750	1,141
33	7,237	6,516	4,807	4,111	2,755	1,142
34	7,237	6,535	4,810	4,117	2,762	1,144
35	7,237	6,526	4,813	4,123	2,768	1,146
36	7,237	6,526	4,826	4,128	2,778	1,147

(jatkuu)

37	7,237	6,526	4,827	4,128	2,787	1,149
38	7,237	6,526	4,833	4,131	2,791	1,151
39	7,254	6,535	4,836	4,131	2,797	1,152
40	7,254	6,535	4,836	4,131	2,803	1,153
41	7,254	6,535	4,836	4,133	2,810	1,154
42	7,254	6,535	4,837	4,133	2,813	1,156
43	7,254	6,535	4,839	4,134	2,820	1,156
44	7,254	6,535	4,847	4,136	2,823	1,158
45	7,254	6,535	4,850	4,136	2,829	1,159
46	7,254	6,544	4,850	4,138	2,833	1,160
47	7,276	6,544	4,851	4,139	2,840	1,161
48	7,276	6,544	4,863	4,139	2,845	1,162
49	7,276	6,544	4,863	4,139	2,850	1,163
50	7,276	6,544	4,863	4,140	2,851	1,164
51	7,276	6,558	4,863	4,142	2,857	1,165
52	7,276	6,557	4,865	4,143	2,860	1,166
53	7,276	6,557	4,865	4,145	2,863	1,167
54	7,276	6,557	4,867	4,149	2,870	1,168
55	7,276	6,557	4,867	4,149	2,874	1,168
56	7,276	6,573	4,874	4,149	2,875	1,169
57	7,276	6,573	4,879	4,151	2,881	1,170
58	7,276	6,573	4,884	4,151	2,883	1,170
59	7,277	6,573	4,883	4,151	2,886	1,171
60	7,295	6,573	4,884	4,152	2,891	1,172
61	7,295	6,573	4,885	4,153	2,893	1,172
62	7,295	6,573	4,885	4,160	2,895	1,173
63	7,295	6,573	4,889	4,159	2,899	1,174
64	7,295	6,573	4,891	4,159	2,902	1,174
65	7,295	6,573	4,891	4,159	2,905	1,175
66	7,295	6,573	4,891	4,160	2,910	1,175
67	7,295	6,573	4,891	4,161	2,912	1,176
68	7,295	6,573	4,891	4,161	2,918	1,177
69	7,295	6,578	4,891	4,164	2,920	1,177
70	7,295	6,588	4,891	4,165	2,924	1,178
71	7,295	6,597	4,891	4,167	2,925	1,179
72	7,295	6,597	4,891	4,167	2,929	1,180
73	7,295	6,597	4,891	4,168	2,930	1,180
74	7,295	6,597	4,891	4,169	2,932	1,181
75	7,295	6,597	4,891	4,169	2,933	1,182
76	7,295	6,597	4,891	4,170	2,935	1,183
77	7,295	6,612	4,891	4,174	2,936	1,183
78	7,295	6,612	4,891	4,174	2,940	1,184
79	7,295	6,612	4,891	4,174	2,941	1,184

(jatkuu)

3 (3)

80	7,295	6,612	4,891	4,174	2,942	1,185
81	7,295	6,612	4,891	4,174	2,944	1,185
82		6,612	4,891	4,175	2,946	1,186
83		6,612	4,894	4,175	2,948	1,186
84		6,612				

---

Liite 9. 6,3 kg:n näytteen alitteen määrä mitattuna sekunnin välein

TAULUKKO 21. 6,3 kg:n alitteen määrä sekunnin välein

Aika s	25 mm seula kg	20 mm seula kg	12.5 mm seula kg	10 mm seula kg	6.3 mm seula kg	2.5 mm seula kg
0	0,002	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,002	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,001	0,144	0,540	0,539	0,194	0,065
3	2,580	2,148	1,269	1,328	0,671	0,300
4	4,719	3,948	1,935	1,870	1,038	0,496
5	5,400	4,734	2,439	2,260	1,342	0,687
6	5,466	4,874	2,767	2,655	1,564	0,835
7	5,552	4,991	3,055	2,862	1,687	0,978
8	5,577	5,012	3,236	2,979	1,811	1,085
9	5,608	5,028	3,401	3,023	1,888	1,162
10	5,637	5,030	3,464	3,058	1,965	1,208
11	5,636	5,056	3,545	3,086	2,017	1,243
12	5,680	5,075	3,586	3,111	2,069	1,278
13	5,670	5,075	3,641	3,118	2,101	1,298
14	5,695	5,104	3,659	3,130	2,129	1,318
15	5,695	5,111	3,693	3,142	2,151	1,333
16	5,695	5,115	3,705	3,154	2,171	1,343
17	5,695	5,151	3,703	3,158	2,192	1,355
18	5,695	5,149	3,708	3,161	2,201	1,367
19	5,707	5,153	3,716	3,170	2,216	1,373
20	5,705	5,153	3,728	3,180	2,224	1,382
21	5,705	5,153	3,731	3,184	2,235	1,391
22	5,705	5,153	3,741	3,195	2,245	1,396
23	5,705	5,167	3,746	3,193	2,249	1,403
24	5,705	5,163	3,763	3,196	2,257	1,408
25	5,705	5,175	3,764	3,198	2,262	1,414
26	5,705	5,184	3,768	3,205	2,270	1,418
27	5,705	5,183	3,771	3,211	2,274	1,420
28	5,705	5,183	3,772	3,211	2,280	1,426
29	5,705	5,183	3,780	3,215	2,284	1,429
30	5,705	5,183	3,788	3,216	2,294	1,431
31	5,705	5,191	3,795	3,217	2,298	1,434
32	5,705	5,191	3,805	3,219	2,306	1,439
33	5,705	5,191	3,804	3,220	2,306	1,440
34	5,705	5,191	3,804	3,221	2,309	1,442
35	5,705	5,191	3,804	3,222	2,317	1,445
36	5,705	5,191	3,804	3,226	2,321	1,447

(jatkuu)

37	5,705	5,191	3,808	3,226	2,325	1,449
38	5,705	5,191	3,808	3,227	2,327	1,451
39	5,705	5,191	3,808	3,231	2,329	1,454
40	5,705	5,191	3,815	3,231	2,330	1,455
41	5,721	5,191	3,818	3,231	2,333	1,458
42	5,721	5,191	3,818	3,232	2,338	1,460
43	5,721	5,191	3,818	3,233	2,339	1,462
44	5,721	5,191	3,818	3,235	2,341	1,463
45	5,721	5,191	3,828	3,236	2,343	1,465
46	5,721	5,191	3,827	3,241	2,347	1,466
47	5,721	5,191	3,828	3,241	2,348	1,468
48	5,721	5,191	3,830	3,242	2,350	1,469
49	5,721	5,191	3,830	3,243	2,352	1,471
50	5,721	5,191	3,830	3,244	2,354	1,472
51	5,721	5,191	3,830	3,245	2,358	1,474
52	5,721	5,191	3,830	3,247	2,360	1,475
53	5,721	5,191	3,830	3,249	2,362	1,477
54	5,721	5,191	3,834	3,250	2,364	1,479
55	5,721	5,213	3,833	3,252	2,365	1,480
56	5,721	5,203	3,833	3,253	2,366	1,482
57	5,721	5,203	3,833	3,253	2,367	1,483
58	5,721	5,203	3,833	3,254	2,368	1,484
59	5,721	5,203	3,833	3,256	2,369	1,485
60	5,735	5,203	3,833	3,257	2,370	1,487
61	5,734	5,203	3,833	3,259	2,372	1,487
62	5,734	5,203	3,835	3,259	2,374	1,488
63	5,734	5,203	3,836	3,260	2,375	1,489
64	5,734	5,203	3,836	3,260	2,377	1,490
65	5,734	5,203	3,840	3,262	2,378	1,491
66	5,734	5,203	3,840	3,262	2,379	1,492
67	5,734	5,203	3,840	3,262	2,380	1,493
68	5,734	5,203	3,840	3,264	2,380	1,493
69	5,734	5,203	3,840	3,264	2,381	1,494
70	5,734	5,203	3,841	3,264	2,383	1,495
71	5,734	5,203	3,842	3,265	2,384	1,496
72	5,734	5,203	3,842	3,266	2,384	1,497
73	5,734	5,203	3,842	3,266	2,385	1,498
74	5,734	5,203	3,842	3,266	2,386	1,498
75	5,734	5,203	3,844	3,269	2,387	1,499
76	5,734	5,203	3,844	3,269	2,387	1,499
77	5,734	5,203	3,844	3,269	2,387	1,500
78	5,734	5,203	3,844	3,269	2,387	1,501
79	5,734	5,203	3,845	3,272	2,388	1,502

(jatkuu)

3 (3)

80	5,734	5,203	3,847	3,272	2,389	1,502
81	5,734	5,203	3,847	3,272	2,390	1,503
82	5,734	5,203	3,847	3,272	2,390	1,503
83	5,734	5,203		3,272	2,391	1,503
84		5,203		3,272		

---



Liite 10. 5 kg:n näytteen alitteen määrä mitattuna sekunnin välein

TAULUKKO 22. 5 kg:n alitteen määrä sekunnin välein

Aika s	25 mm seula kg	20 mm seula kg	12.5 mm seula kg	10 mm seula kg	6.3 mm seula kg	2.5 mm seula kg
0	0,000	0,000	0,011	0,000	0,004	0,000
1	0,000	0,000	0,011	0,000	0,004	0,000
2	1,873	0,076	0,697	0,807	0,282	0,102
3	3,992	0,434	1,480	1,609	0,809	0,358
4	4,319	0,741	2,074	2,092	1,158	0,537
5	4,344	3,355	2,450	2,286	1,399	0,637
6	4,351	3,845	2,646	2,358	1,531	0,719
7	4,367	3,941	2,788	2,395	1,611	0,761
8	4,382	3,958	2,827	2,434	1,665	0,792
9	4,398	3,970	2,853	2,450	1,699	0,814
10	4,414	3,994	2,876	2,459	1,724	0,831
11	4,414	3,996	2,896	2,470	1,742	0,844
12	4,414	4,005	2,927	2,488	1,759	0,854
13	4,429	4,023	2,934	2,492	1,773	0,860
14	4,456	4,022	2,941	2,492	1,780	0,869
15	4,450	4,035	2,950	2,499	1,787	0,874
16	4,450	4,035	2,961	2,500	1,791	0,880
17	4,450	4,074	2,963	2,505	1,798	0,884
18	4,450	4,066	2,964	2,508	1,811	0,889
19	4,450	4,077	2,973	2,510	1,813	0,891
20	4,450	4,077	2,972	2,512	1,817	0,893
21	4,450	4,077	2,976	2,513	1,822	0,895
22	4,450	4,077	2,982	2,516	1,824	0,897
23	4,450	4,077	2,984	2,523	1,832	0,900
24	4,450	4,086	2,992	2,525	1,833	0,901
25	4,450	4,086	2,991	2,525	1,834	0,903
26	4,450	4,086	3,001	2,526	1,837	0,905
27	4,450	4,086	3,008	2,528	1,841	0,907
28	4,450	4,086	3,007	2,529	1,842	0,908
29	4,450	4,086	3,008	2,530	1,844	0,909
30	4,450	4,086	3,010	2,530	1,847	0,911
31	4,450	4,086	3,012	2,533	1,849	0,912
32	4,450	4,086	3,013	2,534	1,850	0,913
33	4,450	4,086	3,013	2,535	1,851	0,914
34	4,450	4,086	3,013	2,535	1,854	0,915
35	4,450	4,086	3,013	2,535	1,856	0,916
36	4,450	4,086	3,020	2,535	1,857	0,917

(jatkuu)

37	4,450	4,086	3,021	2,535	1,858	0,918
38	4,450	4,086	3,021	2,535	1,859	0,919
39	4,466	4,086	3,021	2,539	1,860	0,920
40	4,466	4,086	3,026	2,540	1,862	0,921
41	4,466	4,086	3,026	2,541	1,863	0,921
42	4,466	4,086	3,026	2,542	1,867	0,922
43	4,466	4,086	3,028	2,549	1,868	0,923
44	4,466	4,086	3,031	2,548	1,868	0,924
45	4,466	4,086	3,032	2,549	1,869	0,924
46	4,466	4,086	3,034	2,550	1,869	0,925
47	4,466	4,086	3,034	2,552	1,870	0,925
48	4,466	4,086	3,034	2,552	1,871	0,926
49	4,466	4,086	3,034	2,554	1,872	0,926
50	4,466	4,086	3,034	2,555	1,873	0,927
51	4,466	4,086	3,035	2,558	1,874	0,927
52	4,466	4,086	3,037	2,559	1,874	0,928
53	4,466	4,086	3,037	2,561	1,874	0,928
54	4,466	4,086	3,037	2,561	1,875	0,929
55	4,466	4,086	3,037	2,561	1,876	0,929
56	4,466	4,086	3,039	2,562	1,877	0,929
57	4,466	4,086	3,039	2,564	1,878	0,930
58	4,466	4,117	3,039	2,564	1,878	0,930
59	4,466	4,114	3,039	2,564	1,879	0,931
60	4,466	4,114	3,039	2,564	1,879	0,931
61	4,466	4,114	3,039	2,565	1,880	0,932
62	4,466	4,114	3,039	2,565	1,881	0,932
63	4,466	4,114	3,039	2,565	1,881	0,933
64	4,466	4,129	3,039	2,565	1,881	0,933
65	4,466	4,129	3,039	2,565	1,881	0,934
66	4,488	4,129	3,039	2,565	1,882	0,934
67	4,487	4,129	3,039	2,565	1,883	0,935
68	4,487	4,129	3,039	2,565	1,883	0,935
69	4,487	4,129	3,039	2,565	1,884	0,935
70	4,487	4,129	3,039	2,565	1,884	0,936
71	4,487	4,129	3,039	2,566	1,885	0,936
72	4,487	4,129	3,039	2,567	1,885	0,936
73	4,487	4,129	3,039	2,569	1,885	0,937
74	4,487	4,129	3,039	2,569	1,886	0,937
75	4,487	4,141	3,039	2,569	1,886	0,937
76	4,487	4,141	3,039	2,569	1,886	0,938
77	4,487	4,141	3,039	2,571	1,887	0,938
78	4,487	4,141	3,039	2,571	1,888	0,938
79	4,487	4,141	3,039	2,571	1,888	0,938

(jatkuu)

3 (3)

80	4,487	4,141	3,039	2,572	1,889	0,939
81	4,487	4,141	3,043	2,572	1,889	0,939
82	4,487	4,141	3,043	2,572	1,889	0,939
83	4,487	4,141	3,043			

---

Liite 11. 12,5 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat

TAULUKKO 23. 12,5 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat

Seulan koko mm	Näytteen massa g	Seulalle jäänyt g	Läpi mennyt (testivaaka) g	Läpi mennyt (erikseen punnittu) g
25.0	12504.9	1225.7	11302.0	11308.4
20.0	11308.4	888.5	10395.0	10413.0
12.5	10413.0	3063.9	7309.0	7344.4
10.0	7344.4	790.5	6526.0	6549.6
6.3	6549.6	2134.2	4397.0	4410.1
2.5	4410.1	2075.6	2320.0	2332.2

## Liite 12. 10 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat

TAULUKKO 24. 10 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat

Seulan koko mm	Näytteen massa g	Seulalle jäänyt g	Läpi mennyt (testivaaka) g	Läpi mennyt (erikseen punnittu) g
25.0	10000.1	940.7	9050.0	9053.9
20.0	9053.9	754.9	8277.0	8293.6
12.5	8293.6	2208.9	6067.0	6081.2
10.0	6081.2	836.1	5220.0	5242.0
6.3	5242.0	1670.0	3548.0	3568.0
2.5	3568.0	1681.3	1878.0	1884.2

## Liite 13. 8 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat

TAULUKKO 25. 8 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat

Seulan koko mm	Näytteen massa g	Seulalle jäänyt g	Läpi mennyt (testivaaka) g	Läpi mennyt (erikseen punnittu) g
25.0	8002.6	700.4	7295.0	7296.6
20.0	7296.6	657.1	6612.0	6634.5
12.5	6634.6	1716.4	4894.0	4915.2
10.0	4915.2	709.8	4175.0	4202.1
6.3	4202.1	1235.5	2948.0	2963.7
2.5	2963.7	1450.8	1503.0	1511.3

## Liite 14. 6,3 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat

TAULUKKO 26. 6,3 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat

Seulan koko mm	Näytteen massa g	Seulalle jäänyt g	Läpi mennyt (testivaaka) g	Läpi mennyt (erikseen punnittu) g
25.0	6299.8	537.7	5734.0	5754.7
20.0	5754.7	536.3	5203.0	5213.8
12.5	5213.8	1351.3	3847.0	3859.0
10.0	3859.0	570.5	3272.0	3284.5
6.3	3284.5	885.4	2391.0	2395.9
2.5	2395.9	1201.6	1186.0	1193.1

## Liite 15. 5 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat

TAULUKKO 27. 5 kg:n näytteen ylitteiden ja alitteiden massat

Seulan koko mm	Näytteen massa g	Seulalle jäänyt g	Läpi mennyt (testivaaka) g	Läpi mennyt (erikseen punnittu) g
25.0	5001.7	497.7	4487.0	4496.8
20.0	4496.8	349.2	4141.0	4144.2
12.5	4144.2	1087.3	3043.0	3054.0
10.0	3054.0	462.4	2572.0	2590.4
6.3	2590.4	689.4	1889.0	1899.1
2.5	1899.1	953.1	939.0	944.6



## Liite 16. 12,5 kg:n näytteen manuaalinen seulonta

TAULUKKO 28. 12,5 kg:n näytteen manuaalisen seulonnan tulokset

Seulan koko [mm]	Seulalle jä- änyt [g]	Seulalle jäänyt [%]	Läpäisypro- sentti [%]	Väljän koko [mm]	Litteitä [g]	FI [%]
			100.00%			
<b>100</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%			
<b>80</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%	<b>45</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>64</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%	<b>40</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>50</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%	<b>31.5</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>40</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%	<b>25</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>32</b>	<b>326</b>	2.62%	97.38%	<b>20</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>25</b>	<b>844</b>	6.78%	90.61%	<b>16</b>	<b>135</b>	0.00%
<b>20</b>	1070	8.59%	82.02%	<b>12.5</b>	159	14.86%
<b>16</b>	1296	10.41%	71.61%	<b>10</b>	160	12.35%
<b>12.5</b>	1377	11.06%	60.55%	<b>8</b>	217	15.76%
<b>10</b>	997	8.00%	52.55%	<b>6.3</b>	180	18.05%
<b>8</b>	908	7.29%	45.26%	<b>5</b>	146	16.08%
<b>6.3</b>	797	6.40%	38.86%	<b>4</b>	147	18.44%
<b>5</b>	714	5.73%	33.13%	<b>3.15</b>	168	23.53%
<b>4</b>	575	4.62%	28.51%	<b>2.5</b>	84	14.61%
<b>3.15</b>	555	4.46%	24.05%	<b>2</b>	88	15.86%
<b>2.5</b>	464	3.73%	20.33%	<b>1.6</b>	72	15.52%
<b>2</b>	321	2.58%	17.75%	<b>1.25</b>	48	14.95%
<b>1.6</b>	279	2.24%	15.51%	<b>1</b>	41	14.70%
<b>1.25</b>	255	2.05%	13.46%	<b>0.8</b>	46	18.04%
<b>1</b>	255	2.05%	11.42%	<b>Standardi</b>	<b>1396</b>	<b>15.68%</b>
<b>0.5</b>	481	3.86%	7.56%	<b>EN 933-3</b>		
<b>0.25</b>	335	2.69%	4.87%	<b>Kokonaismäärä</b>		<b>15.69%</b>
<b>0.125</b>	203	1.63%	3.24%			
<b>0.063</b>	216	1.73%	1.50%			
<b>0</b>	187	1.50%	.....			
<b>Kokonaismäärä</b>	<b>12455</b>	<b>100.00%</b>	.....			
<b>Näytteen kokonaismassa [g]</b>			<b>12445</b>			
<b>Hävikki</b>	<b>Ko- konaismäärä &lt;25mm</b>	<b>10 g</b>	<b>0.08%</b>			
		<b>-20 g</b>	<b>-0.18%</b>			
<b>Tuote-ekvivalentti [mm]</b>			11.18212971			
<b>Irtotiheys [t/m3]</b>			<b>0</b>			

## Liite 17. 10 kg:n näytteen manuaalinen seulonta

TAULUKKO 29. 10 kg:n näytteen manuaalisen seulonnan tulokset

Seulan koko [mm]	Seulalle jä- änyt [g]	Seulalle jäänyt [%]	Läpäisypro- senti [%]	Välpän koko [mm]	Litteitä [g]	FI [%]
100	0	0.00%	100.00%			
80	0	0.00%	100.00%	45	0	0.00%
64	0	0.00%	100.00%	40	0	0.00%
50	0	0.00%	100.00%	31.5	0	0.00%
40	0	0.00%	100.00%	25	0	0.00%
32	255	2.56%	97.44%	20	45	0.00%
25	628	6.30%	91.15%	16	0	0.00%
20	946	9.49%	81.66%	12.5	115	12.16%
16	854	8.56%	73.10%	10	129	15.11%
12.5	1149	11.52%	61.58%	8	179	15.58%
10	867	8.69%	52.88%	6.3	147	16.96%
8	748	7.50%	45.38%	5	109	14.57%
6.3	638	6.40%	38.99%	4	107	16.77%
5	521	5.22%	33.76%	3.15	84	16.12%
4	486	4.87%	28.89%	2.5	76	15.64%
3.15	428	4.29%	24.60%	2	63	14.72%
2.5	410	4.11%	20.49%	1.6	62	15.12%
2	271	2.72%	17.77%	1.25	37	13.65%
1.6	231	2.32%	15.45%	1	24	10.39%
1.25	211	2.12%	13.34%	0.8	25	11.85%
1	174	1.74%	11.59%	<b>Standardi</b>	<b>991</b>	<b>13.97%</b>
0.5	387	3.88%	7.71%	<b>EN 933-3</b>		
0.25	270	2.71%	5.00%	<b>Kokonaismäärä</b>		<b>13.91%</b>
0.125	163	1.63%	3.37%			
0.063	193	1.94%	1.43%			
0	143	1.43%	.....			
<b>Kokonaismäärä</b>	<b>9973</b>	<b>100.00%</b>	.....			
<b>Näytteen kokonaismassa [g]</b>			<b>9976</b>			
<b>Hävikki</b>	<b>Ko- konaismäärä &lt;25mm</b>	-3 g	-0.03%			
		-3 g	-0.03%			
<b>Tuote-ekvivalentti [mm]</b>			11.04720036			
<b>Irtotiheys [t/m3]</b>			0			

## Liite 18. 8 kg:n näytteen manuaalinen seulonta

TAULUKKO 30. 8 kg:n näytteen manuaalisen seulonnan tulokset

Seulan koko [mm]	Seulalle jä- änyt [g]	Seulalle jäänyt [%]	Läpäisypro- senti [%]	Väljän koko [mm]	Lit- teitä [g]	FI [%]
100	0	0.00%	100.00%			
80	0	0.00%	100.00%	45	0	0.00%
64	0	0.00%	100.00%	40	0	0.00%
50	0	0.00%	100.00%	31.5	0	0.00%
40	0	0.00%	100.00%	25	0	0.00%
32	240	3.01%	96.99%	20	0	0.00%
25	390	4.89%	92.10%	16	49	0.00%
20	824	10.34%	81.76%	12.5	101	12.26%
16	744	9.33%	72.43%	10	120	16.13%
12.5	911	11.43%	61.00%	8	150	16.47%
10	677	8.49%	52.50%	6.3	119	17.58%
8	570	7.15%	45.35%	5	99	17.37%
6.3	504	6.32%	39.03%	4	80	15.87%
5	436	5.47%	33.56%	3.15	74	16.97%
4	378	4.74%	28.82%	2.5	61	16.14%
3.15	348	4.37%	24.45%	2	50	14.37%
2.5	317	3.98%	20.47%	1.6	52	16.40%
2	212	2.66%	17.81%	1.25	32	15.09%
1.6	185	2.32%	15.49%	1	27	14.59%
1.25	161	2.02%	13.47%	0.8	28	17.39%
1	133	1.67%	11.81%	<b>Standardi</b>	<b>853</b>	<b>15.03%</b>
0.5	319	4.00%	7.80%	<b>EN 933-3</b>		
0.25	220	2.76%	5.04%	<b>Kokonaismäärä</b>		<b>15.11%</b>
0.125	133	1.67%	3.37%			
0.063	112	1.41%	1.97%			
0	157	1.97%	.....			
<b>Kokonaismäärä</b>	<b>7971</b>	<b>100.00%</b>	.....			
<b>Näytteen kokonaismassa [g]</b>			<b>7974</b>			
<b>Hävikki</b>	<b>Ko- konaismäärä &lt;25mm</b>	<b>-3 g</b>	<b>-0.04%</b>			
		<b>-5 g</b>	<b>-0.07%</b>			
<b>Tuote-ekvivalentti [mm]</b>			11.07292482			
<b>Irtotiheys [t/m3]</b>			<b>0</b>			

## Liite 19. 6,3 kg:n näytteen manuaalinen seulonta

TAULUKKO 31. 6,3 kg:n näytteen manuaalisen seulonnan tulokset

Seulan koko [mm]	Seulalle jä- änyt [g]	Seulalle jäänyt[%]	Läpäisypro- sentti [%]	Väljän koko [mm]	Litteitä [g]	FI [%]
			100.00%			
<b>100</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%			
<b>80</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%	<b>45</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>64</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%	<b>40</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>50</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%	<b>31.5</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>40</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%	<b>25</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>32</b>	<b>188</b>	3.00%	97.00%	<b>20</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>25</b>	<b>349</b>	5.57%	91.43%	<b>16</b>	<b>30</b>	0.00%
<b>20</b>	537	8.57%	82.86%	<b>12.5</b>	110	20.48%
<b>16</b>	660	10.53%	72.33%	<b>10</b>	89	13.48%
<b>12.5</b>	666	10.63%	61.70%	<b>8</b>	98	14.71%
<b>10</b>	530	8.46%	53.25%	<b>6.3</b>	76	14.34%
<b>8</b>	469	7.48%	45.76%	<b>5</b>	66	14.07%
<b>6.3</b>	398	6.35%	39.41%	<b>4</b>	61	15.33%
<b>5</b>	357	5.70%	33.72%	<b>3.15</b>	64	17.93%
<b>4</b>	306	4.88%	28.83%	<b>2.5</b>	48	15.69%
<b>3.15</b>	270	4.31%	24.53%	<b>2</b>	37	13.70%
<b>2.5</b>	246	3.93%	20.60%	<b>1.6</b>	36	14.63%
<b>2</b>	185	2.95%	17.65%	<b>1.25</b>	24	12.97%
<b>1.6</b>	159	2.54%	15.11%	<b>1</b>	18	11.32%
<b>1.25</b>	125	1.99%	13.12%	<b>0.8</b>	17	13.60%
<b>1</b>	91	1.45%	11.66%	<b>Standardi</b>	<b>642</b>	<b>14.39%</b>
<b>0.5</b>	252	4.02%	7.64%	<b>EN 933-3</b>		
<b>0.25</b>	171	2.73%	4.91%	<b>Kokonaismäärä</b>		<b>14.21%</b>
<b>0.125</b>	103	1.64%	3.27%			
<b>0.063</b>	76	1.21%	2.06%			
<b>0</b>	129	2.06%	.....			
<b>Kokonaismäärä</b>	<b>6267</b>	<b>100.00%</b>	.....			
<b>Näytteen kokonaismäärä [g]</b>			<b>6270</b>			
<b>Hävikki</b>	<b>Ko- konaismäärä &lt;25mm</b>	<b>-3 g</b>	<b>-0.05%</b>			
		<b>-1 g</b>	<b>-0.02%</b>			
<b>Tuote-ekvivalentti [mm]</b>			11.01614291			
<b>Irtotiheys [t/m3]</b>			<b>0</b>			

## Liite 20. 5 kg:n näytteen manuaalinen seulonta

TAULUKKO 32. 5 kg:n näytteen manuaalisen seulonnan tulokset

Seulan koko [mm]	Seulalle jä- änyt [g]	Seulalle jäänyt [%]	Läpäisypro- senti [%]	Väljän koko [mm]	Litteitä [g]	FI [%]
			100.00%			
<b>100</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%			
<b>80</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%	<b>45</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>64</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%	<b>40</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>50</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%	<b>31.5</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>40</b>	<b>0</b>	0.00%	100.00%	<b>25</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>32</b>	<b>199</b>	3.99%	96.01%	<b>20</b>	<b>0</b>	0.00%
<b>25</b>	<b>225</b>	4.52%	91.49%	<b>16</b>	<b>47</b>	0.00%
<b>20</b>	456	9.15%	82.34%	<b>12.5</b>	87	19.08%
<b>16</b>	460	9.23%	73.10%	<b>10</b>	62	13.48%
<b>12.5</b>	557	11.18%	61.92%	<b>8</b>	77	13.82%
<b>10</b>	440	8.83%	53.09%	<b>6.3</b>	56	12.73%
<b>8</b>	369	7.41%	45.68%	<b>5</b>	50	13.55%
<b>6.3</b>	322	6.46%	39.22%	<b>4</b>	49	15.22%
<b>5</b>	274	5.50%	33.72%	<b>3.15</b>	50	18.25%
<b>4</b>	249	5.00%	28.72%	<b>2.5</b>	42	16.87%
<b>3.15</b>	222	4.46%	24.27%	<b>2</b>	32	14.41%
<b>2.5</b>	185	3.71%	20.55%	<b>1.6</b>	29	15.68%
<b>2</b>	146	2.93%	17.62%	<b>1.25</b>	22	15.07%
<b>1.6</b>	118	2.37%	15.25%	<b>1</b>	18	15.25%
<b>1.25</b>	102	2.05%	13.21%	<b>0.8</b>	11	10.78%
<b>1</b>	88	1.77%	11.44%	<b>Standardi</b>	<b>520</b>	<b>14.64%</b>
<b>0.5</b>	195	3.91%	7.53%	<b>EN 933-3</b>		
<b>0.25</b>	132	2.65%	4.88%	<b>Kokonaismäärä</b>		<b>14.62%</b>
<b>0.125</b>	83	1.67%	3.21%			
<b>0.063</b>	66	1.32%	1.89%			
<b>0</b>	94	1.89%	.....			
<b>Kokonaismäärä</b>	<b>4982</b>	<b>100.00%</b>	.....			
<b>Näytteen kokonaismäärä [g]</b>			<b>4983</b>			
<b>Hävikki</b>	<b>Ko- konaismäärä &lt;25mm</b>	<b>-1 g</b>	<b>-0.02%</b>			
		<b>-1 g</b>	<b>-0.02%</b>			
<b>Tuote-ekvivalentti [mm]</b>			11.08717542			
<b>Irtotiheys [t/m3]</b>			<b>0</b>			