

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

LITTEYSLUVUN JA KANTAVAN MURSKEEN LOS ANGELES -ARVON KORRELAATIO

TEKIJÄ/T Juho Kekkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Juho Kekkonen	
Työn nimi Litteysluvun ja kantavan murskeen Los Angeles -arvon korrelaatio	
Päiväys 28.04.2022	Sivumäärä/Liitteet 23/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Destia Oy, Mitta Oy	
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää murskatun kantavan kiviaineksen litteyden ja Los Angeles -arvon välistä riippuvuutta. Työn tavoitteena oli selvittää, miten litteysluku vaikuttaa kiviaineksen lujuuteen vertailemalla useita näytteitä, joissa litteysluku oli vaihteleva.</p> <p>Opinnäytetyön toteutuksessa käytettiin standardisoituja tutkimusmenetelmiä ja laboratoriokokeet suoritettiin virallisessa kiviaineslaadunvalvontaa harjoittavassa laboratoriossa Mitta Oy:llä. Laboratoriokokeisiin kerättiin kiviainesnäytteitä neljältä eri kalliokiviaineksen ottoalueelta ja näytteistä tehtiin litteysseulontoja sekä Los Angeles -lujuusmittauskokeita. Testikiviaineksille suoritettiin seulontaprosessi litteysluvulle asetetun standardin SFS EN 933-3 mukaisesti, jonka jälkeen lajitelluista rakeista voitiin kasata yksittäisnäytteet halutulla litteysluvulla. Kerätyt kiviainekset olivat kaikki kantavan kerroksen 0/56 mm kalliomursketta. Kerätyistä kiviaineksista seulottiin kustakin kaksi litteydeltään erilaista näytettä. Varsinaiset lujuuskokeet suoritettiin Los Angeles -kokeet SFS-EN 1097-2 standardin mukaan.</p> <p>Kokeiden jälkeen tulosten arvioinnin perusteella voidaan todeta, että kokeet saatiin toteutettua onnistuneesti, koska tuloksissa ei ollut havaittavissa epätavallista lujuuden muutosta. Tuloksista kuitenkin todettiin, että litteysluvun vaikutus Los Angeles -lukuun oli melko vähäistä ja odotettua pienempää. Kokeista saadut tulokset ovat kuitenkin tapauskohtaisia ja suuntaa antavia, joten varmoja päätöksiä niiden pohjalta ei voida vielä tehdä. Tutkimuksia voitaisiin jatkaa ottamalla tarkasteluun laajemmin näytteitä aina yhdeltä kallioalueelta, tekemällä useampia vertailunäytteitä sekä mahdollisesti ottamalla tarkasteluun myös raidesepeli.</p>	
Avainsanat litteysluku, los angeles -arvo	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author(s) Juho Kekkonen	
Title of Thesis Correlation Between Flatness Index and Los Angeles -value	
Date 28 April 2022	Pages/Appendices 23/1
Client Organisation /Partners Destia Oy, Mitta Oy	
<p>This thesis was made to examine the correlation between flatness index and Los Angeles -value in load-bearing layer aggregates. The aim of the work was to discover how flatness index affects the strength properties of aggregate by comparing several samples of aggregate with variable flatness index.</p> <p>Standardized research methods were used in the implementation of the thesis. The laboratory tests were completed at official aggregate quality control practising laboratory facilities at Mitta Oy. The aggregate samples for the laboratory tests were collected from four different aggregate intake areas and the samples were prepared for flatness screening and Los Angeles -strength measuring tests. The test sample aggregates went through a screening process of the flatness index according to standard SFS EN 933-3. After that, the actual test samples with the desired flatness index were assembled from the sorted rock. All the collected aggregates were load-bearing layer 0/56 mm crushed rock. Two test samples with variable flatness index were screened out from every intake area. The official strength measuring tests were done according to standard SFS-EN 1097-2.</p> <p>After analysing the results, the tests can be considered successful because there were no unusual or unexpected changes in the strength results. Based on the tests it was found out that flatness index has quite a minor effect and less than expected on the Los Angeles -value. The results are, however, case-by-case and approximate, so reliable conclusions cannot be made based on these studies. The research could be continued by examining a larger number of samples by focusing on a specific type of rock or aggregate intake area, by comparing a larger amount of samples and possibly including railway ballast in the examination.</p>	
Keywords flatness index, los angeles -value,	

SISÄLTÖ

KUVALUETTELO	4
ESIPUHE.....	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta ja tavoitteet	7
1.2 Destia Oy	7
1.3 Mitta Oy	7
2 TYÖN TEORIA.....	8
2.1 Yleistä	8
2.1.1 Kiviainestuotanto Suomessa	8
2.1.2 Kiviainesten laadunvalvonta	9
2.2 Kiviaineksen murskautuvuus	10
2.2.1 Murskaustoiminta	10
2.3 Laboratoriokokeet	10
2.3.1 Litteys.....	10
2.3.2 Los Angeles.....	12
2.3.3 Petrografia	13
3 TYÖN SUORITUS.....	15
3.1 Näytteenotto ja -jako	15
3.2 Litteiden rakeiden lajittelu	16
3.3 Los Angeles	17
3.4 Näytteiden vertailu.....	19
4 TULOKSET	20
5 YHTEENVETO JA POHDINTA	22
5.1 Jatkotutkimukset.....	22
LÄHTEET	23
LIITTEET	24

KUVALUETTELO

KUVA 1. LOS ANGELES -TESTIRUMMUN TOIMINTAPERIAATE (LIIKENNEVIRASTO, 2015)	12
KUVA 2. ESISEULOTUT KIVIAINEKSET NÄYTTEENOTTOPAIKALLA (KEKKONEN, 2022)	15

KUVA 3. KIVIAINEKSET SEULOTTUNA KOKEEN VAATIMIIN RAEKOKOLUOKKIIN (KEKKONEN, 2022).....	16
KUVA 4. VALMIIN NÄYTTEEN 1A LOPULLINEN PUNNITUS ENNEN LOS ANGELES -KOETTA (KEKKONEN, 2022)	18
KUVA 5. TESTIKIVILAJIT KUVATTUNA (KEKKONEN, 2022)	19

TAULUKKOLUETTELO

TAULUKKO 1. LITTEYSLUVUN MÄÄRITYKSEEN KÄYTETTÄVÄT SEULAKOOT.	11
TAULUKKO 2. LITTEIDEN RAKEIDEN EROTTeluUN KÄYTETTY STANDARDIN MUKAISET SEULAKOOT.....	16
TAULUKKO 3. TESTINÄYTTEIDEN KIVILAJIT	19
TAULUKKO 4. TULOSTEN ESITYS.....	20
TAULUKKO 5. LASKETTU TESTINÄYTTEIDEN PAINO	24
TAULUKKO 6. TOTEUTUNUT TESTINÄYTTEIDEN PAINO	24

ESIPUHE

Haluan kiittää erityisesti Mitta Oy:n palvelupäällikkö Ari-Petteri Kuivalaista, joka on ollut korvaamaton apu tämän opinnäytetyön toteutuksessa niin työn ohjauksen kuin neuvojen suhteen.

Kuopiossa 28.04.2022

Juho Kekkonen

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Destia Oy:n maa- ja kalliopalveluiden kiviainesyksikkö ja työ toteutettiin yhteistyössä Mitta Oy:n kiviaineslaboratorion henkilöstön kanssa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kantavien kalliokiviainesmurskeiden litteiden kivirakeiden vaikutusta Los Angeles-lujuustestin tulokseen sekä tutkia kiviaineksen murskautuvuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Tavoitteena oli saada selville miten litteiden kivirakeiden osuus vaikuttaa tuotteen lopulliseen lujuuteen, vertailemalla neljän eri kalliokiviainesalueen kiviainesnäytteitä keskenään.

Tutkimustyö suoritettiin Mitta Oy:n kiviaineslaboratoriossa käyttäen standardisoituja tutkimuslaitteita ja laadunvalvontakalustoa lopputulosten luotettavuuden ja testien oikeellisuuden varmistamiseksi.

Työn tulokset antavat paremman käsityksen kiviaineksen murskautuvuus ominaisuuksista sekä litteysluvun vaikutuksesta lopulliseen lujuuteen niin tilaajalle kuin myös työn tekijälle.

1.2 Destia Oy

Destian historian voidaan katsoa alkaneeksi jo yli 200 vuotta sitten, kun 1799–1809 Suomessa Kustaa IV Adolfin perustama Kuninkaallinen Suomen Koskenperkausjohtokunta aloitti toimintansa. Vuonna 1925 perustettiin Tie- ja vesirakennushallitus TVH, joka jatkoi tieverkon rakentamista ja kehittämistä. Vuonna 1998 TVH:ta seurasi TVL ja Tielaitos. Vuonna 2005 Tielaitoksen tuotanto siirtyi kilpailemaan tiealan urakoista nimellä Tielikelaitos, josta se otti käyttöönsä nimen Destia Vuonna 2007. Vuoden 2008 alussa Destiasta tuli kokonaan valtion omistama osakeyhtiö, jonka jälkeen se siirtyi yksityisomistukseen vuonna 2014, kun Ahlström Capital osti Destia Oy:n Suomen valtiolta. Vuoden 2021 joulukuussa Destia siirtyi osaksi ranskalaista Colas-konsernia, kun Colas sai päätökseen kaupan, jolla se osti Destian Ahlström Capitalilta. (Destia.fi.)

Destia Oy on suomalainen yksityisomisteinen infra- ja rakennusalan palveluyhtiö, jonka ydinliiketoiminta koostuu suunnittelusta, rakentamisesta ja kunnossapidosta. Yhtiön organisaatio koostuu kuudesta valtakunnallisesta liiketoimintaryhmästä, joihin kuuluu: Väyläpalvelut, kunnossapitopalvelut, ratapalvelut, maa- ja kalliopalvelut, energiapalvelut sekä kaupunkikehitys ja asiantuntijapalvelut. Destia Oy on Suomen suurin infra-alan palvelu yhtiö, ja sen liikevaihto oli 563,8 milj. € vuonna 2020. Vuonna 2020 Destialla oli yli 1000 projektia sen kaikilla toimialoilla ja se työllisti n. 1600 työntekijää Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. (Destia.fi.)

1.3 Mitta Oy

Mitta Oy on vuonna 1989 suomessa perustettu mittaus- ja kenttätutkimusalan konsulttiyhtiö. Suomessa Mitta on alan markkinajohtaja, ja sen toimialoja ovat mittaus, maaperätutkimus, ympäristö- sekä laboratoriopalvelut. Yhtiöllä on toimipisteitä Suomessa ja Ruotsissa, jossa se työllistää yli 500 työntekijää yli 30 toimipaikalla (2019). Konsernin liikevaihto oli 40,8 milj. € vuonna 2019, josta n. neljäsosa on Ruotsissa harjoitettavan toiminnan tulosta. (Mitta.fi.)

2 TYÖN TEORIA

2.1 Yleistä

2.1.1 Kiviainestuoanto Suomessa

Kiviainestuoanto käsittää luonnonkalliosta räjäytetyn louheen jatkojalostuksen, josta murskataan murskausasemalla kiviaineksia erilaisiin rakentamisen tarpeisiin. Suomi on asukasmäärään suhteutettuna yksi suurimpia kiviaineksen käyttäjiä EU:n alueella. Suomessa käytetään vuosittain noin 100 miljoonaa tonnia kiviaineksia, joista 70 miljoonaa tonnia on jatkojalostettu eli murskattu, seulottu ja luokiteltu. Suurin osa kiviaineksista käytetään teiden, katujen ja rautateiden rakentamiseen. Suuren kiviaineksen käyttöasteeseen vaikuttaa maan pohjoinen sijainti, maapohjan routiminen, paksumat savikot sekä nastarenkaiden aiheuttama kuluminen päällystekerroksiin mikä lisää liikenneväylien sekä -alueiden uudelleen päällystys ja kunnossapito tarvetta. (Työ- ja elinkeino ministeriö, 2015.)

Kiviainestuoallisuuden alalla toimii yli 1800 henkilöä ja 400 yritystä, joista kymmenen suurinta toimijaa kattaa 75 % tuotannosta. Pienet yritykset ovat paikallisesti tärkeitä suurten välimatkojen vuoksi, sillä noin puolet kiviaineksen hinnasta muodostuu kuljetuskustannuksista. (Työ- ja elinkeino ministeriö, 2015.)

Kiviainekselle on määritelty erilaisia laatuvaatimuksia, joita säädellään EU-tason tuotestandeissa ja kansallisissa määräyksissä. Joillekin käyttökohteille on asetettu tarkat laatuvaatimukset ja Suomessa on todettu olevan pulaa hyvälaatuisesta kiviaineksesta paikoittain. 1980-luvun lopulla aloitetun kallioalueiden kartoitustyön jälkeen alueita on todettu olevan yli 14 500, joista vain 1 % on tutkittu soveltuvan laadukkaimpien asfaltti- ja raidesepelikiviaineksen tuottamiseen. Noin 80 % tutkituilta alueilta saatava kiviaines soveltuu laadultaan vähemmän vaativiin infrarakentamisenkohteisiin. (Työ- ja elinkeino ministeriö, 2015.)

Kiviaineksia varastoidaan yleensä tuotantoalueilla, jotka ovat pinta-alaltaan ja ottomääriltään melko pieniä. Vain suurempien asutuskeskusten tarpeita varten on jatkuvatoimisia, kiinteitä tuotantolaitoksia. (Työ- ja elinkeino ministeriö, 2015.)

Vuonna 2018 maa-aineslain mukaisia ottamislupia oli soralle ja hiekalle noin 3300 (54 %), kalliokiviainekselle 2000 (44 %) ja muille maa-aineksille 400 (2 %). Maa-aineslupa myönnetään määräajaksi, yleensä 10 vuodeksi kerrallaan. Erityisyyistä lupa voidaan myöntää enintään 15 vuodeksi, ja kalliokiven louhinnassa enintään 20 vuodeksi (Ympäristöministeriö, 2020). Luvallisista ottoalueista vain alle puolet on aktiivisia vuosittain (O. Aalto, 2015).

Kiviainestuoannon harjoittamista säädellään lukuisilla eri lailla ja asetuksilla. Maa-ainesten ottoa koskevia lupakäytäntöjä yksinkertaistettiin vuonna 2016, kun voimaan astuneen lain myötä päätettiin maa-aineslupahakemuksen ja ympäristölupahakemuksen yhteiskäsittelystä. Ympäristönsuojelulaki ja MURAU-asetus, ohjaa murskaus- ja louhinta toimintaa, muun muassa asettamalla ehdot murskauslaitoksen toiminnan sijoittumiselle. Kiviainestuoantoon vaikuttaa myös vesilaki, jätelaki sekä ilmanlaatuasetus ja melutason ohjeavrot. (O. Aalto, 2015.) Myös räjäytystöille on oma lainsäädäntönsä.

2.1.2 Kiviainesten laadunvalvonta

Kiviaines laadunvalvonnalla seurataan ja valvotaan murskausaseman tuotannon laatua ja näin ollen varmistetaan kiviaineksen sopivuus sitä vastaavalle käyttötarkoitukselle. Useimmille testattaville kiviaineksille on määritetty näytteenottoväli, joka on määritetty standardissa sekä on sidonnainen tuotannon määriin, minkä seurauksena saadaan koko tuotantoa edustavat tulokset. Kaikki laadunvalvontaan liittyvät tulokset ja asiakirjat tulee dokumentoida ja niistä tulee pystyä todistamaan kiviaineksen laatu tuotannon aloitushetkestä alkaen (J. Kolehmainen, 2013). Laadunvalvontaa ohjaa EU:n määrittämät standardit ja laadunvalvonnan suorittaa PANK ry:n hyväksymä, yleensä ulkopuolinen kiviaineslaboratorio. Laboratoriotestauksessa kiviaineksille tehdään kaikki sen käytön kannalta oleelliset testit, joilla voidaan osoittaa kiviaineksen kelpoisuus sen käyttötarkoituksen mukaisesti. (Eurofins.fi.) Kiviainesten testausta ohjaavat standardit jaetaan viiteen pääluokkaan:

- EN 932 kiviainesten yleiset ominaisuudet
- EN 933 geometriset ominaisuudet
- EN 1097 mekaaniset ja fysikaaliset ominaisuudet
- EN 1367 lämpö- ja rapautuvuus ominaisuudet
- EN 1744 kemialliset ominaisuudet.

Tässä opinnäyte työssä kiviaineksia testattiin standardin SFS-EN 1097-2 (Los Angeles -luku) ja SFS-EN 933-3 (litteysluku) mukaisesti.

Virallinen laadunvalvonta on myös perusedellytys kiviaineksen CE-merkinnälle. Kiviaineksen CE-merkintä tuli pakolliseksi vuonna 2013 EU:n antaman rakennustuoteasetuksen nro 305 myötä. CE-merkki takaa sen että, siinä ilmoitetut ominaisuudet täyttyvät. Kiviaineksen laatukriteerien ollessa erityisen korkeat, CE-merkintä vaatii myös kolmannen osapuolen valvonnan. (Destia.fi.)

Kiviaineksen lujuusominaisuuksia mitataan yleensä iskunkestävyyttä mittaavilla testeillä. Los Angeles -testin lisäksi kiven lujuutta mitattiin haurausarvotestillä aina 1990-luvun lopulle, kunnes menetelmä poistui eurooppalaisten standardien käyttöönoton myötä. Alun perin Los Angeles -koetta käytettiin haurauskokeen rinnalla kulutuskestävyyden mittaukseen. Los Angeles -testiä on käytetty laadunvalvonnallisissa tehtävissä käyttökelpoisuuden määrittämiseksi jo 1930-luvulla ja se on Suomessakin pisimpään käytetty, vaikka sitä pidettiin kulutuskestävyyttä mittaavana kokeena vielä 1960-luvulla. Kantavan kerroksen murskeille on asetettu tänä päivänä maksimi lujuusarvot InfraRYL:ssä ja ne ovat Los Angeles -arvolle 30 ja litteysluvulle 50. Myös LA-luokat 35 ja 40 ovat mahdollisia tilaajan erillisellä hyväksynnällä. (Liikennevirasto, 2015.)

Kiviaineksen liuskeisuusvaatimus esitettiin ensimmäistä kertaa vuonna 1993 litteyslukuna. Litteysluvun on oltava sallitun rajan alla, jotta se kestää valmiissa rakenteessa oikein. Kiviaineksen on oltava tietyn muotoista ja litteille rakeille on asetettu tietyt vaatimukset. Litteyslukua valvotaan kantavan kerroksen sekä asfalttikiviainesten tuotantoeristä. Litteiden rakeiden minimointi esimerkiksi päällystekiviaineksissa on erityisen tärkeää liian nopean kulumisen ehkäisemiseksi. Litteillä rakeilla on mahdollista murskaantua ja hienontua rakenteen tiivistämisen ja esim. yliajon seurauksena ja tämä voi vaikuttaa rakenteen kokonaiskestävyyteen sekä muodon muutoksiin. (Liikennevirasto, 2015.)

2.2 Kiviaineksen murskautuvuus

2.2.1 Murskaustoiminta

Murskaustoiminnalla tarkoitetaan luonnonkalliosta irti ammutun louheen murskaamista eri kokoisiksi materiaaleiksi, niiden käyttötarkoituksen mukaan. Kiviainesten murskaus suoritetaan yleensä kolmessa eri vaiheessa, joita ovat esi-, väli- ja hienomurskaus (R. Lehtonen, 2015). Jokaisen prosessin vaiheen tarkoitus on pienentää louheesta saatavan murskeen raekokoa halutun kokoiseksi. Vaikutukset kivirakeiden muotoon alkavat jo louhinta vaiheessa, jolloin räjähddeaine määrällä vaikutetaan ammun seurauksena saatavan louheen kokoon sekä aina louheen mikrohalkeiluun asti. Murskausvaiheilla, urakoitsijan kalustolla ja murskattavan kiviaineksen kivilajilla on vaikutusta lopullisen tuotteen muotoon.

Kiviaineksen muotoarvo on oleellinen osa kiviaineksen käyttötarkoituksen ja lujuuden kannalta. Kivirakeet jaotellaan kolmeen pääluokkaan: vakioläpimittaisiin, litteisiin ja puikkoihin. Raemuoto vaikuttaa kiviaineksen tiiveyteen, kokoon puristuvuuteen ja lujuusominaisuuksiin (V. Kinnunen, 2019). Litteät kivirakeet murtuvat helpommin kuin vakioläpimittaiset tai puikkaiset, ja näin ollen paljon litteitä rakeita sisältävä murske voidaan katsoa heikompi laatuiseksi. Lopullinen tuote ei saa kumminkaan olla liian pyöreää muotoarvoltaan.

Jos tuotannon aikana havaitaan, että tuotantoerän kiviaines on liian litteää, voidaan koko tuotantoerän muodon parantamiseksi käyttää keskipakomurskainta. Keskipakomurskain asennetaan osaksi tuotantoprosessia yleensä tuotannon aikana, mutta sen käyttö on mahdollista myös tuotannon päätyttyä. Keskipakomurskainta käytetään kaivosteollisuuden hienomurskauksen lisäksi erityisesti juuri kiviainestuoituannossa raemuodon parantamiseksi. Keskipakomurskaimessa on pystyakseliin kiinnitetty roottori, joka sinkoaa sen kautta kulkevan kiviaineksen suurella nopeudella murskauskammion seinämiin, jolloin tuotantoerän litteät rakeet katkeavat ja terävät rakeet pyöristyvät kuutiomaiseksi lopputuotteeksi. (koneporssi.com.)

2.3 Laboratoriokokeet

2.3.1 Litteys

Litteysluvulla tarkoitetaan prosentuaalista osuutta litteän muotoisista kiviainesrakeista kiviainesnäytteessä. Litteysluku saadaan määritettyä menetelmällä, jossa kiviainesnäyte jaetaan seulasarjan avulla useisiin kooltaan pieneneviin raekokoluokkiin (taulukko 1). Seulasarjojen seulakoot ja niiden lukumäärä valitaan näytteen raekoon mukaisesti. Litteysluvun määrittämisellä saadaan käsitys näytteessä olevista litteiden kivirakeiden määrästä, millä on merkitystä esim. rakenteeseen tiivistäessä litteät rakeet mahdollisesti murenevat tai katkeavat, mikä saattaa vaikuttaa rakenteen toimivuuteen, kestävyys ja muodossa pysymiseen.

TAULUKKO 1. Litteysluvun määrittämiseen käytettävät seulakoot.

Raekokolajite d_1/D_1 mm	Välppäseulojen rako- koko mm
63/80	40
50/63	31,5
40/50	25
31,5/40	20
25/31,5	16
20/25	12,5
16/20	10
12,5/16	8
10/12,5	6,3
8/10	5
6,3/8	4
5/6,3	3,15
4/5	2,5

Ennen seulontaa tutkittava näyte pestään ja kuivataan uunissa. Kuivattu kiviainenäyte kaadetaan seulasarjaan ja seulasarja asetetaan seulontalaitteeseen n. 15 minuutiksi. Seulonnan jälkeen seulasarjaa aletaan purkaa suurimmasta pienimpään punniten ja kirjaten ylös seulalle jääneen kiviaineksen massa. Kukin raekokolaji seulotaan käsin välppäseuloilla taulukon 1 mukaisesti, jonka jälkeen punnitaan ja ylös kirjataan välppäseulan läpäissyt massa. Lopuksi lasketaan yhteen kaikille seuloille jäänyt kiviaines sekä välppäseulojen läpäissyt kiviaines. Raekokolajin paino jaetaan välppäseulan läpäisyllä.

Litteysluku, FI, lasketaan seuraavan yhtälön (1) mukaisesti ja tulos ilmoitetaan kokonaislukuna.

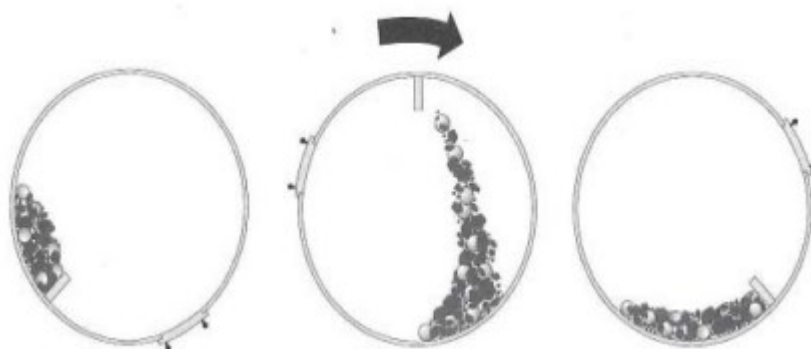
$$FI = \frac{m_1}{m_2} * 100, \quad \text{jossa} \quad (1)$$

m1 on välppäseulojen läpäissyt massa

m2 on koko näytteen massa

2.3.2 Los Angeles

Los Angeles -menetelmällä voidaan määrittää karkean kiviaineksen iskunkestävyys. Los Angeles -luvulla tarkoitetaan prosenttiosuutta testinäytteestä, joka kokeen jälkeisessä seulonnassa läpäisee 1,6 mm seulan. Testiä käytetään yleisimmin kantavien murskeiden sekä raidesepelin iskunkestävyyden määrittämisessä. Testin toimintaperiaate (kuva 1) perustuu rumpuun, jonka sisällä pyöritetään kiviainenäytettä teräskuulien kanssa.



Kuva 1. Los Angeles -testirummun toimintaperiaate (Liikennevirasto, 2015).

Testinäytteen esivalmistelussa tutkittava näyte seulotaan 10/11,2 mm ja 11,2/14 mm raekokoon. Molemmat fraktiot pestään ja kuivataan erikseen seulonnan jälkeen. Kokeeseen tarvittavan testinäytteen kokonaispaino on aina $5000 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$. Testinäytteen paino koostuu 1500–2000 g (30–40 %) 10/11,2 mm lajikkeen rakeista sekä 3000–3500 g (60–70 %) 11,2/14 mm lajikkeen rakeista.

Lopullinen testinäyte asetetaan testirumpuun 11 teräskuulan kanssa. Teräskuulat tulee punnita ennen rumpuun lisäystä ja niiden yhteispaino on oltava 4690–4860 g välillä. Tämän jälkeen luukku suljetaan ja rumpu käynnistetään pyörimään 500 kierrosta. Rummun pyörimisnopeuden tulee olla 31–33 kierrosta minuutissa. Toimintaperiaate perustuu rummun pyöriessä kuulat nousevat ensin ylös rummun sisällä olevan listan avulla, jonka jälkeen alas tippuessa ne iskeytyvät kiviainekseen murskaen näytemassaa. Pyörimisen loputtua luukku avataan ja rumpua pyöritetään molempiin suuntiin, jotta testattu näyte ja teräskuulat tippuvat rummun alla olevaan laatikkoon. Kuulat poimitaan erilliseen astiaan ja rumpu pyritään puhdistamaan huolellisesti. Laatikossa oleva murskaantunut testinäyte kaadetaan seulasarjaan, jossa alimman seulan reikäkoko on 1,6 mm. Seulan 1,6 mm yläpuolella jäävä materiaali pestään, kuivataan ja punnitaan. Lopullinen 1,6 mm seulan läpäissyt massa saadaan kokeeseen laitettun näytteen painon ja 1,6 mm seulan yläpuolelle jääneen massan erotuksena.

Los Angeles -luku, LA, lasketaan seuraavan yhtälön (2) mukaisesti ja tulos ilmoitetaan kokonaislukuina.

$$LA = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100, \quad \text{jossa} \quad (2)$$

m1 on näytteen alkuperäinen massa

m2 on pyörityksen jälkeen seulan 1,6 mm ylittävän näytteen massa

2.3.3 Petrografia

Petrografiolla tarkoitetaan kivilajeja kuvaavaa geologian haaraa. Petrografinen kivilajinmääritys käsittää kivilajin mineraalikoostumuksen, mikrorakenteen sekä syntyvän selvityksen. Kansainvälinen ja kaikkialla käytössä oleva kivilajiluokitus ja -nimitys on UNESCO:n alaisen IUGS:n (International Union of Geological Sciences) hyväksymä. Yksinkertaistetun petrografisen kuvauksen menettely ja terminologia määrittelee luokittelun yleiset petrografiset menetelmät ja sen avulla voidaan suorittaa kalliomurskeen, luonnon kiviainesten sekä hiekan ja soran petrografinen kivilajimääritys. (Betonin kiviainekset, 2018) Kiviaineksista voidaan tehdä petrografinen määritys myös tuotannon aikana havaitessa muutoksia raaka-aineessa tai vähintään joka kolmas vuosi.

Kallioperä koostuu kivilajeista, kivilajit koostuvat mineraaleista ja mineraalit ovat alkuaineiden kemiallisia yhdisteitä.

Kivilajit jaetaan kolmeen pääryhmään niiden syntyvän perusteella: magmakivet, sedimenttikivet ja metamorfiset kivet. Magmakivet kehittyvät kivilajista eli magmasta, sedimenttikivet veteen tai kuivalle maalle kerrostumalla ja kovettumalla, ja metamorfiset kivet ovat korkean lämpötilan ja/tai paineen alla uudelleen kiteytymällä.

Kiven iskunkestävyyteen ja kulumiskestävyyteen vaikuttaa ratkaisevasti kivilajien tekstuuri eli mineraalien yhteenkasvettumisrakenteet, raekoko, raekokojakauma, mineraalirakeiden suuntaus sekä mineraalien paljousuhde. Mineraalien kovuuserot ja mineraalirakeiden muoto ja niiden suuntaus selittävät lujuusominaisuuksia silloin, kun arvioidaan samalla mineraalien rajapintojen pituutta. Esimerkiksi helpon lohkeavuuden merkkejä ovat suorat ja yksinkertaiset rajapinnat ja mineraalirakeiden samansuuntaiset kaksostustasot. Raerajoilla sijaitsevat rapautumat ja muuttumissaumat voivat heikentää kiven lujuutta huomattavasti. Lahdekkeiset ja sahalaitaiset epäsäännölliset rajapinnat ovat sidokseltaan lujia. Pienempi rakeisempi kivilaji on karkea rakeista kulumiskestävämpää.

Standardin SFS-EN 932-3 mukaan tehtävän yksinkertaistetun kuvauksen määrityksen yleislähtökohdaksi on silmämääräinen tarkastelu. Menettelyä voidaan käyttää esimerkiksi tuotannon aikaisessa laadunvalvonnassa. Petrografisesta tarkastelusta ja analyysistä vastaa yleisesti geologi. Kallio- ja soranäytteiden petrografisessa kuvauksessa edellytetään seuraavia tietoja.

Kallionäytteestä määritetään kivilajit ja niiden:

- mineraalikoostumus ja mineraalien likimääräiset paljousuhdeet
- päämineraalien raekoko
- tekstuuri

- anisotropia eli suuntautuneisuus
- huokoisuus
- väri
- muuntumis- ja rapautumistila
- vulkaanisista kivistä rakkulaisuus.

Kivilajinimen lisäksi kiveä luonnehditaan tekstuuria kuvaavilla määritteillä; esimerkiksi keskirakeinen heikosti suuntautunut gabro tai karkearakeinen granodioriitti.

Sora- ja hiekanäytteistä esitettävät tiedot:

- Kivilaji(t) ja mineraalit sekä niiden likimääräiset paljousuhteet
- Rakeiden muoto, pinnan laatu sekä pyöristyneisyys
- Simpukan kuoren kappaleet

Jos jokin kivilajin tai mineraalin osuus kivessä on yli 50 %, nimetään kiviaines sen mukaisesti. Jos mikään kivilaji tai mineraali ei ole määräävä, niin kiviainesta kutsutaan heterogeeniseksi ja jälki-osassa siinä yleisimmin esiintyvät kivilajit/mineraalit. (Betonin kiviainekset 2018.)

Petrografia vaikuttaa tuloksiin merkittävästi jo pelkästään vaikuttamalla murskauksessa syntyvien rakeiden muotoon, tosin louhinta- ja murskausprosessilla on myös oma vaikutuksensa. Petrografia vaikuttaa erityisesti tulosten vaihteluväliin ja näin ollen se pitäisi tuntea, jotta tulosten hajontaa voisi edes selittää. Geometriset ominaisuudet vaikuttavat petrografiaa enemmän silloin, kun kivi on petrografisesti homogeeninen. (Betonin kiviainekset, 2018.)

3 TYÖN SUORITUS

3.1 Näytteenotto ja -jako

Näytteenotto suoritettiin kevättalvella 2022. Näytteet haettiin neljältä eri Destian kallioalueelta, missä valmiiksi murskatut kiviainekset olivat varastokasoissa. Yleisen näytteen edustavuuden ja lumen paljouden vuoksi näytteenotossa apuna käytettiin pyöräkuormajaa, millä varastokasat avattiin näytteenottoa varten. Kiviaineksia lapioitiin laajalta alueelta ympäri varastokasaa, jotta näytteenotto vastaisi mahdollisimman tarkasti koko tuotantoerää ja sen rakeisuutta. Jokaisesta varastokasasta otetut näytteet esiseulottiin jo paikan päällä, mikä vähensi varsinaisessa seulonnassa syntyvän hie-noaineksen määrää sekä laboratoriolle vietävän kiviaineksen kokonaismäärää. Esiseulonta suoritettiin käyttämällä 20 mm ja 8 mm verkkoseuloja (kuva 2). Kiviainesta seulottiin 4 sankoon yhteensä noin 60 kg, jonka jälkeen esiseulotut kiviainekset kuljetettiin Mitta Oy:n laboratorioon, missä suoritettiin kiviaineksen varsinainen Los Angeles -kokeeseen valmistava seulonta.



Kuva 2. Esiseulotut kiviainekset näytteenottopaikalla (Juho Kekkonen).

Laboratoriolla esiseulotut kiviainekset seulottiin seulontalaitteella (kuva 3), jossa käytettiin Los Angeles -kokeen kiviraejakautaman edellyttäviä seulasarjoja 14 mm, 11.2 mm ja 10 mm. Seulalle jääneet kiviainekset lajiteltiin uusiin sankoihin aina ennen seuraavan seulottavan kiviaineksen lisäämistä seulasarjalle. Näin esiseulotusta kiviaineksesta saatiin eroteltua tarpeettomat yli 14 mm ja alle 10 mm kivirakeet sekä Los Angeles -kokeeseen tarvittavat 11.2/14 mm rakeet ja 10/11.2 mm kivirakeet.



Kuva 3. Kiviainekset seulottuna kokeen vaatimiin raekokoluokkiin (Juho Kekkonen).

Seulonnan jälkeen fraktiot pestiin 2 mm pesuseulalla, jotta kiviaineksissa kiinni oleva hienoaines ei vaikeuta työn etenemistä tai vääristä lopputulosta. Tämän jälkeen kiviainekset kuivattiin pellillä uunissa 105 °C kuivapainoon noin 12 tuntia.

3.2 Litteiden rakeiden lajittelu

Testinäytteiden seulotuista, pestyistä ja kuivatuista kiviaineksista 11.2/14 mm kivrakeet seulottiin vielä standardin vaatimalla tavalla (taulukko 2) mikä tarkoittaa litteysseulalla 12.5 mm siten, että näytteen kasaamista varten eriteltynä on fraktiot 12.5/14 mm sekä 11.2/12.5 mm. Täten myös varmistettiin oikean kokoisten litteidenrakeiden suhde pyörityneisiin rakeisiin. 10/11.2 mm kiviaineksia ei tarvinnut tässä vaiheessa enää seuloa litteysseulalla, koska ne olivat jo standardin mukaiset.

TAULUKKO 2. Litteiden rakeiden erotteluun käytetyt standardin mukaiset seulakoot.

Raekokolajike (mm)	Välppäseulan koko (mm)
12,5/16	8
10/12,5	6,3

Litteät kivirakeet eroteltiin erillisiin astioihin em. fraktioista käyttämällä 8 mm ja 6.3 mm välppäseuloja. 12.5/14 mm kivirakeista litteät rakeet saatiin eroteltua välppäämällä fraktion kivet 8 mm välppäseulalla. Ensimmäisen 8 mm välppäyksen seurauksena saatiin eroteltua fraktion 12.5/14 mm pyöristyneet rakeet sekä 8 mm välppäseulan läpäisevät litteät rakeet, jonka jälkeen 8 mm välppäseulan läpäisevät litteät rakeet välpättiin uudestaan käyttäen 6.3 mm välppäseulaa, jolla saatiin eroteltua 6.3 mm välppäseulan läpäisevä litteä kiviaines ja 6.3 mm välppäseulalle jäävä litteä kiviaines, joka luetaan 8 mm läpäisyksi. Vastaava toistettiin vielä fraktion 11.2/12.5 mm kivirakeille käyttäen 6.3 mm välppäseulaa, saaden eroteltua 11.2/12.5 mm pyöristyneet sekä litteät kivirakeet.

Tämän tuloksena oli 12.5/14 mm pyöristyneet, 8 mm välppäseulan läpäisseet ja 6.3 mm välppäseulalle jääneet litteät kivirakeet, 11.2/12.5 mm pyöristyneet ja 6.3 mm välppäseulan läpäisseet litteät kivirakeet sekä 10/11.2 mm pyöristyneet ja 6.3 mm välppäseulan läpäisseet litteät kivirakeet, joista kasattiin näytteet Los Angeles -testiin. Tämä oli selvästi tutkimustyön hitain ja aikaa vaativin osa, johon kului noin viisi tuntia yhtä näyte paria kohden.

3.3 Los Angeles

Los Angeles -kokeet suoritettiin kasaamalla seulotuista fraktioista kaksi litteysluvultaan erilaista yksittäisnäytettä. Näytteisiin laskettiin halutun litteysluvun mukaan grammatarkat näytemassat alla osoitetuilla kaavoilla (3 & 4), laskemalla ensin halutun litteyden osuus näytteen kokonaismassasta. Esimerkkinä näyte 1A litteysluku 30.

$$Lm1 (11,2/14) (g) = 5000 * litteysluku \quad (3)$$

$$= 5000 * 0,30$$

$$= 1500$$

$$= 1500 * \%osuus (11,2/14)$$

$$= 1500 * 0,70$$

$$= 1050$$

$$= \frac{1050}{2}$$

$$= 525,0$$

$$Lm2 (10/11,2) (g) = 1500 * \%osuus (10/11,2)$$

$$= 1500 * 0,30$$

$$= 450,0, \quad \text{jossa}$$

Lm1 on 11,2/12,5 ja 12,5/14 mm fraktioiden litteät rakeet

Lm2 on 10/11,2 mm fraktion litteät rakeet

Pyöristyneiden rakeiden osuus näytteestä määritettiin kaavan 4 mukaisesti vähentämällä siitä lasket-
tujen litteiden osuus per raekokolajike.

$$m_1(12,5/14) \text{ g} = 5000 * 0,70 \quad (4)$$

$$= 3500$$

$$= 3500 - Lm_1$$

$$= 3500 - 1050$$

$$= 2450$$

$$= \frac{2450}{2}$$

$$= 1225,0, \quad \text{jossa}$$

m₁ on näytteen fraktioiden pyöristyneiden rakeiden osuus

Laskettu massa pätee myös fraktioon 11,2/12,5, koska Los Angeles -kokeen suurempi rakeisempi
fraktio koostuu 11,2/ 14 mm kivirakeista.



Kuva 4. Valmiin näytteen 1A lopullinen punnitus ennen Los Angeles -koetta (Juho Kekkonen).

3.4 Näytteiden vertailu

Koe suoritettiin vertailemalla kiviaineksia neljän eri kalliokiviainesalueen tuotannosta. Näytteet ovat alueittain erilaisia pääkivilajeiltaan ja kiviainesmineraaleiltaan, jotta tuloksia voidaan tarkastella monien eri kivilajiin nähden. Koetta varten jokaisen kallioalueen kiviaineksista kasattiin kaksi litteyslurvultaan eriävää yksittäistestinäytettä. Tuloksista oletetaan käyvän ilmi vaihtelevuuksia Los Angeles -luvussa eri litteyslukujen sekä vaihtelevien kivilajien kesken.

Vertailuun otetut kiviainekset olivat kaikki jo aikaisempia tuotantoeriä, joten alustava käsitys jokaisen kallioalueen kivenlaadusta oli jo tiedossa. Näytteiden litteysluvut järjestettiin suunnitelluin välein 0–50 litteysluvun välille pois lukien näyte 4B, josta tehtiin vertailunäyte näytteeseen 2B. Vertailunäytteestä saatiin selventävä kuva eri kivilajin merkityksestä sekä ero kivilajien murskautuvuudesta, kun vertailunäytteistä näytteen 4B kivilaji oli oletetusti/tutkitusti vahvempi.

Tutkimuksiin haluttiin saada neljää eri kivilajiketta (taulukko 3 & kuva 5), jotta murskautuvuutta voidaan vertailla. Testinäytteiden ottopaikkojen valintaan vaikutti myös saman urakoitsijan ja saman murskauskaluston käyttö. Näytteet 1–3 ovat saman urakoitsijan samalla kalustolla murskattua kiviainesta, joten näin ollen voidaan pois sulkea lukuiset muut tekijät mitkä voivat vaikuttaa kiven murskautuvuuteen, muotoon jne. Lisäksi vertailtiin jo olemassa olevia tutkimustuloksia, jotka edustavat koko tuotantoerää.

TAULUKKO 3. Testinäytteiden kivilajit.

Näytteet	Kivilaji
1A & 1B	Kiilleliuske
2A & 2B	Sarvivälke-plagioklaasigneissi
3A & 3B	Kvartsimontsodioriitti
4A & 4B	Mafinen vulkaniitti



Kuva 5. Testikivilajit kuvattuna. Näytteiden kivet ylhäältä alas vasemmalta oikealle; 4, 2, 3, 1 (Juho Kekkonen).

4 TULOKSET

Tuloksia vertaillessa voidaan todeta, että litteysluvulla on yleisesti melko minimaalinen vaikutus Los Angeles -arvoon. Suurimmat vaikutukset litteysluvun vaikutuksesta korostuu Los Angeles -luokkien raja-arvoilla, jolloin kiviaineksen muodolla voidaan vaikuttaa tuotteen lopulliseen lujuusluokkaan. Litteysluvun vaikutus Los Angeles -kokeessa on melko pientä ja näytteestä hienonevaan kiviainekseen syy löytyy enemmän petrografisesta kuin litteysluvun vaikutuksesta. Eniten huomiota kiinnitti näytteen 1A ja 1B sekä 3A ja 3B välille syntynyt ero, joka oli huomattavasti odotettua pienempää. Näytteen 2A ja 2B tulosten välille ei syntynyt minkäänlaista eroa litteysluvun vaihtelevuudesta huolimatta, mikä todettiin yllättäväksi tekijäksi. Eri kivilajikkeiden välillä syntyi selkeitä eroja mitkä viittaavat enemmän kivilaji kohtaiseen kiven murskautuvuuteen ja kivilajien kovuuteen. Tuloksien perusteella voidaan todeta, että kiviaineksen petrografinen kivilajisuuntautuneisuus vaikuttaa kiven murskautuvuuteen merkittävästi. Näytteistä 4A ja 4B saadut tulokset merkitään standardin SFS-EN 13242 mukaisesti luokkaan LA 20 huolimatta siitä, että testituloksista saadut arvot viittaavat selvästi alempaan eli parempaan luokkaan. Tulokset on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Tulosten esitys.

Näyte	Alkupaino (g)	Litteys- luku (FI)	Loppu- paino (g)	Los An- geles (LA)
1A	5000,0	30	3464,7	LA 35 (30,7)
1B	5000,2	5	3505,4	LA 30 (29,9)
2A	5000,2	20	3938,0	LA 25 (21,24)
2B	5000,2	10	3938,5	LA 25 (21,23)
3A	5000,1	50	3669,1	LA 30 (26,6)
3B	5000,1	0	3837,0	LA 25 (23,3)
4A	5000,5	25	4310,9	LA 20 (13,8)
4B	5000,3	10	4352,5	LA 20 (13,0)

Standardi SFS-EN 13242 käsittää maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomat-
tomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset. Sitomattomat ja kantavan kerroksen kiviainekset mitataan
lujuusluokittain alkaen luokasta ≤ 20 (LA₂₀) päättyen luokkaan ≤ 60 (LA₆₀).

Lopullisen lujuusluokan kannalta LA-luokkien raja-arvojen kohdalla merkittävimmäksi tekijäksi osoit-
tautuu kiviaineksen muoto. Lopullisen tuotteen lujuus määräytyy kokeista saataviin tuloksiin ja raja-
arvon ylityksellä luokka voidaan joutua kirjaamaan seuraavaan luokkaan, jolloin kiviaines ei välttä-
mättä sovellu sille tarkoitettuun käyttötarkoitukseen. Esimerkiksi lujuustestistä saatavan tuloksen
ollessa 30,5, kiviainekselle merkitään lujuusluokaksi LA 35. Arvon ollessa vain 0,01 yksikköä pie-
nempi 30,4, tuotteelle annetaan lujuusluokaksi LA 30. Korkealla litteysluvulla on vaikutusta lopputu-
lokseen, mutta suurin vaikutus todetaan luokkien raja-arvoilla.

Tulokset ovat luotettavia, vaikkakin suuntaa antavia. Vertailtua näytteiden ottoalueiden tuotan-
toeristä saatujen todellisten Los Angeles -tuloksien arvoja voidaan todeta, että tutkimuksissa tulok-
seen vaikuttaa parantavasti näytteiden itse kasaaminen ja kivirakeiden tasainen jako näytettä koh-
den litteysluvun mukaisesti. Todellisuudessa raekoot vaihtelevat tuotantoerässä, jolloin kasasta otet-
tava virallinen Los Angeles -koe voi antaa vieläkin paremman tai huonomman tuloksen riippuen ko-
keeseen sattuvista rakeiden koosta.

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla eri kallioalueiden kantavan murskeen näytteitä keskenään, yksittäisnäytteillä vaihtelevilla litteysluvuilla. Vastaavanlaista tutkimustyötä Los Angeles -lukuun vaikuttavasta litteysluvusta ei ollut aikaisemmin tehty. Kokeista saaduista tuloksista oli odotettavissa, että litteysluvulla olisi suurempi vaikutus lopulliseen lujuuteen. Työn toteutukseen otettiin näytteitä suhteellisen vähän aikataulullisista syistä. Vaikka tuloksista oli odotettavissa suurempaa vaihtelua lopullisissa Los Angeles -arvoissa, voidaan kokeet silti todeta onnistuneeksi. Kokeiden oikeellisuus voidaan todeta onnistuneeksi katsoen tuloksia, joista käy ilmi, että yhtään normaalista poikkeavaa tulosta ei saatu. Työn toteutus tarkistetulla, standardin mukaisella laboratoriokalustolla, aikaisemalla työkokemuksella sekä oikeellisuuden varmistamisella työn tulokset voidaan todeta luotettaviksi. Tosin näytteiden vähäisyyden vuoksi niistä ei saada kuin suuntaa antavaa tietoa kiven murskautuvuudesta ja litteysluvun vaikutuksesta. Voidaan todeta, että litteysluvun vaikutukset ovat suurimmillaan Los Angeles -luokkien raja-arvoilla, jolloin kiviainekselle annettavan Los Angeles -luokan luokkavaihdos on mahdollinen. Tulokset ovat tapauskohtaisia ja niiden varmentaminen vaatisi laajempia jatkotutkimuksia.

Työn toteutus todettiin onnistuneeksi niin aikataulun kuin tulosten osalta ja työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Opinnäytetyön pohjalta saadaan parempi käsitys siitä, miten litteysluvun vaihtelu vaikuttaa lopulliseen lujuuteen.

5.1 Jatkotutkimukset

Jatkotutkimuksia voisi toteuttaa vastaavanlaisella tutkimustyöllä, mutta lisäämällä näytemääriä ottamalla useita kiviaineksen näytteitä samalta kallioalueelta ja tehden useampia yksittäisnäytteitä aina 0 litteysluvulta esimerkiksi litteyslukuun 50 asti. Jatkotutkimuksissa tutkimustyötä voitaisiin laajentaa ottamalla tarkasteluun vielä rakeisuuteen syntyvien muutoksien tarkastelu ja vertailla tarkemmin esim. miten eri kivilajit murskautuvat kokeessa. Myös raidesepelin vertailu jatkotutkimuksiin olisi huomioitavaa. Johtopäätöksenä voidaan todeta että, työn jatkotutkimukset edellyttäisivät enemmän testejä luotettavuuden parantamiseksi.

LÄHTEET

Destia 2022. Historia. Verkkojulkaisu. <https://www.destia.fi/yritys.html>. Viitattu 8.3.2022.

Mitta julkaisuaika tuntematon. Yhtiö. Verkkojulkaisu. <https://mitta.fi/yhtio/>. Viitattu 8.3.2022

Suomen betoniyhdistys ry 2018. Betonin kiviainekset 2018 By 43. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Tem 2015. Verkkojulkaisu. <https://tem.fi/documents/1410877/2851374/Kiviaines-+ja+luonnonkiviteollisuuden+kehitysn%C3%A4kym%C3%A4t+2015.pdf/7134fc82-5f2d-4a0e-8621-141ea1fb5045/Kiviaines-+ja+luonnonkiviteollisuuden+kehitysn%C3%A4kym%C3%A4t+2015.pdf>. Viitattu 23.3.2022

Julkaisut.valtioneuvosto 2020. Verkkojulkaisu. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162506/YM_2020_24.pdf?sequence=4. Viitattu 23.3.2022.

Aalto, Olli 2015. Kiviainestuotannon suunnittelu ja ympäristövaikutusten hallinta. Opinnäytetyö. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/100877/Aalto_Olli.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 23.3.2022.

Eurofins 2018. Testaus ja tarkastus. Verkkojulkaisu. <https://www.eurofins.fi/expertservices/palvelut/testaus-ja-tarkastus/rakennusmateriaalien-testaus/kivi-ja-maa-ainekset/>. Viitattu 4.4.2022.

Vayla 2015. Verkkojulkaisu. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2015-68_tien_radan_web.pdf. Viitattu 6.4.2022.

Koneporssi 2020. Verkkojulkaisu. <https://koneporssi.com/tyokoneet-2/sandvikin-vsi-murskain-tarjoaa-tuottavaa-jalkimurskausta/>. Viitattu 7.4.2022.

Lehtonen, Rami-Eikka 2015. Uuden murskauslaitoksen esisuunnittelu Rudus Oy:n Inkoon Joddbölen kiviaineslouhokselle. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Turun Ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/96605/Lehtonen_Rami-Eikka.pdf?sequence=1. Viitattu 7.4.2022.

Liikennevirasto 2015. Los Angeles -testirummun toimintaperiaate. Valokuva. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2015-68_tien_radan_web.pdf. Viitattu 6.4.2022.

Kekkonen Juho 2022. Esiseulotut kiviainekset näytteenotto paikalla. Valokuva. 2022. Paikkakunta: Kuopio.

Kekkonen Juho 2022. Kiviainekset seulottuna kokeen vaatimiin raekokoluokkiin. Valokuva. 2022. Paikkakunta: Kuopio.

Kekkonen Juho 2022. Valmiin näytteen 1A lopullinen punnitus ennen Los Angeles -koetta. Valokuva. 2022. Paikkakunta: Kuopio.

Kekkonen Juho 2022. Testikivilajit kuvattuna. Valokuva. 2022. Paikkakunta: Kuopio.

LIITTEET

TAULUKKO 5. Laskettu testinäytteiden paino.

Näyte #	12,5/14 (g)	11,2/12,5 (g)	10/11,2 (g)	12,5/14/8 (g)	11,2/12,5/6,3 (g)	10/11,2/6,3 (g)	Yhteensä (g)
1A	1225,0	1225,0	1050,0	525,0	525,0	450,0	5000,0
1B	1662,5	1662,5	1425,0	87,5	87,5	75,0	5000,0
2A	1400,0	1400,0	1200,0	350,0	350,0	300,0	5000,0
2B	1575,0	1575,0	1350,0	175,0	175,0	150,0	5000,0
3A	875,0	875,0	875,0	875,0	750,0	750,0	5000,0
3B	1750,0	1750,0	1500,0	0	0	0	5000,0
4A	1312,5	1312,5	1125,0	437,5	437,5	375,0	5000,0
4B	1575,0	1575,0	1350,0	175,0	175,0	150,0	5000,0

TAULUKKO 6. Toteutunut testinäytteiden paino.

Näyte #	12,5/14 (g)	11,2/12,5 (g)	10/11,2 (g)	12,5/14/8 (g)	11,2/12,5/6,3 (g)	10/11,2/6,3 (g)	Yhteensä (g)
1A	1225,0	1225,0	1050,0	525,1	525,0	449,9	5000,0
1B	1662,5	1662,5	1424,9	87,6	87,6	75,1	5000,2
2A	1399,9	1400,1	1200,2	350,2	349,8	300,0	5000,2
2B	1575,0	1574,9	1350,3	174,9	174,9	150,2	5000,2
3A	875,1	875,1	874,9	874,9	750,0	750,1	5000,1
3B	1749,9	1750,2	1500,0	0	0	0	5000,1
4A	1312,6	1312,6	1125,2	437,5	437,4	375,1	5000,5
4B	1575,1	1574,8	1350,2	175,2	174,9	150,2	5000,3