

Elias Naukkarinen

Asfalttimurskeen uusiokäyttö rakennekerroksissa

Asfalttimurskeen uusiokäyttö rakennekerroksissa

Elias Naukkarinen

Asfalttimurskeen uusiokäyttö rakennekerroksissa

Kevät 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Yhdyskuntatekniikka

Tekijä(t): Elias Naukkarinen
Opinnäytetyön nimi suomeksi: Asfalttimurskeen uusiokäyttö rakennekerroksissa
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Crushed Tarmac Reuse in Structural Layers
Työn ohjaaja(t): Vesa Kallio
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: 6/2020
Sivumäärä: 43 + 3 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää jäteasfaltin ja sitä murskattaessa syntyvän esiseulotun alitteen soveltuminen maanrakentamiseen. Työssä paneuduttiin jäteasfaltin käyttöön liittyviin maanrakentamisen ympäristömääräyksiin ja vaatimuksiin. Työn tarkoituksena oli löytää sellainen seos kiviainesta ja jäteasfalttia tai alitetta, jota käyttämällä maanrakennus olisi kustannustehokasta.

Työssä selvitettiin alitteen ja asfalttimurskeen tutkimisen ja uusiomateriaaliksi tuottamisen eri vaiheita. Lisäksi perehdyttiin siihen, millaiset laboratoriossa tehtävät laatukselut ja materiaalit soveltuivat maanrakentamiseen. Opinnäytetyön aikana kehitetylle materiaalille haettiin sellaisia käyttömuotoja, joissa täyttyvät samat laatuvaatimukset kuin luonnon kiviainesmateriaalille on annettu.

Opinnäytetyössä saatujen tutkimustulosten perusteella alite ja asfalttimurske soveltuvat maanrakennuskäyttöön, sillä ne täyttävät nyt käytettävän kiviainesmateriaalin ominaisuudet.

Saadut tutkimustulokset olivat lupaavia, mutta tulosten tarkistaminen vaatii vielä koerakentamista. Koerakentamisessa olisi kiinnitettävä huomiota erityisesti tuotteiden tasalaatuisuuteen varmistamiseen, koska sekoitettavan alitteen tai asfalttimurskeen lisääminen murskausprosessiin voi olla katkonaista riippuen tuotantomenetelmästä.

Asiasanat: asfalttimurske, uusiomateriaali, maa-aines, ympäristöarvot, kantavuus, hyötykäyttö

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Municipal Engineering

Author(s): Elias Naukkarinen
Title of thesis: Crushed Tarmac Reuse in Structural Layers
Supervisor(s): Vesa Kallio
Term and year when the thesis was submitted: 6/2020
Pages: 43 + 3 appendices

This work aimed to find out the suitability of crushed waste tarmac and the pre-screened subsoil resulting from its crushing for civil engineering. The work aimed to find a usable mixture of aggregate and crushed waste tarmac or subsoil to bring one new alternative to cost-effective construction.

The work explored the different stages of researching and producing recycled material. In addition, quality tests performed in the laboratory and the suitability of the material for civil engineering were investigated. The new material was applied in such a form that it is suitable for modern quality standards used with virgin aggregate material.

The work yielded a considerable amount of research results related to recycled material. The results showed that such a recycled material is useful for civil engineering. However, the product(s) need to be tested in a much larger production to achieve uniformity, but because of the results, this product is on a promising model.

Keywords: crushed tarmac, recycled material, soil, environmental values, carrying capacity, utilization

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 UUSIOMATERIAALIEN KÄYTTÖÄ TUKEVAT JA OHJAAVAT YMPÄRISTÖNÄKÖKULMAT SEKÄ LAINSÄÄDÄNTÖ	9
2.1 Kestävä kehitys ja materiaalien kestävä käyttö	9
2.2 Lainsäädäntö	10
2.3 Uusiomateriaalin käyttö tienrakentamisessa	11
3 UUSIOMATERIAALIEN KÄYTTÖÖN LIITTYVÄ OHJEISTUS, LAATUVAATIMUKSET JA RAPORTOINTI	12
3.1 Ympäristökelpoisuus ja laadunhallinta	12
3.1.1 Tutkiminen ja laadunhallinta	12
3.1.2 Uusiomateriaalin käyttösyitä	14
3.2 Liikenneviraston hyväksyntä uusiomateriaaleille	14
3.3 Koerakentaminen	14
4 JAKAVAN JA KANTAVAN MAA-AINESKERROKSEN MEKAANISET OMINAISUUDET JA LAATUVAATIMUKSET	16
4.1 Jakavan kerroksen ominaisuudet	16
4.2 Kantavan kerroksen ominaisuudet	17
4.2.1 Rakeisuus ja routivuus	17
4.2.2 Kantavuus ja kuluminen	18
4.3 Uusiomateriaalien käyttö maanrakentamisessa	19
5 ASFALTTIMURKSEEN JA JALOSTETUN ASFALTTIMURKSEEN ESIVALMISTUS	20
5.1 Alkuperäinen alite	20
5.2 Asfalttimurske	21
5.3 Suhteitus	22
5.3.1 Raja-arvot	23
5.3.2 Routivuus	24
6 UUSIOMATERIAALIN LABORATORIOTESTAUS	26

6.1 Proctor-koe	26
6.2 Uusiomateriaalin valmistaminen	27
6.3 Proctor-kokeesta saatujen tulosten käsittely	30
6.3.1 Proctor-kokeen testitaulukko	33
6.3.2 Asfalttimurske	34
7 PURISTUSLUJUUSKOE	36
7.1 Uusiomateriaalin kuormituskestävyys	36
7.2 Puristuslujuuskokeen teko	37
7.3 Puristustestin tulosten läpikäynti	38
8 POHDINTA	40
LÄHTEET	42
Liite 1 Rakeisuuskäyrän taulukko	
Liite 2 Proctor-kokeen tuloksia asfalttimurskeista	
Liite 3 Opinnäytetyön testausdatan linkit	

SANASTO

Asfalttimurske	on asfalttijätteestä murskaamalla jalostettu materiaali.
Alite	on esiseulonnasta saatu ei-haluttu tuote jalostusprosessissa.
Asfalttirouhe	on asfaltista jyrskyttä vanhaa asfaltinpintaa.
Esiseulonta	on materiaalin käsittely ennen sen jatkojalostusta. Tavoitteena on saada ei-haluttu materiaali pois jalostettavasta tuotteesta.
Hyötyjäte	on jätettä, jota voidaan käyttää uudelleen joko sellaisenaan tai raaka-aineena tuotantoprosessissa.
Kiviaines	on kalliosta eri menetelmin (pääsääntöisesti poraamalla ja räjäyttämällä) irrotettua kiviainesta.
Murskauslaitos	on tuotantolaitos, joka valmistaa siihen syötetystä materiaalista haluttua materiaalia murskaamalla.
Neitseellinen kiviaines	on jääkauden aikana syntynyt luonnollinen kiviainesmateriaali. Sitä löytyy pääsääntöisesti Etelä-Suomessa sijaitsevilta hiekkaisilta harjuilta tai pintamaan alla esiintyvänä moreeninä.
Tuotteistaminen	on prosessi, jonka avulla erilaiset aineet ja materiaalivirrat saatetaan jätelainsäädännön ulkopuolelle.
Uusiokäyttö	tarkoittaa käytöstä poistetun esineen tai hyötyjätteen käyttämistä uudelleen.
Uusiomateriaali	on hyötyjätteestä joko kierrättämällä tai tuotantoprosessin kautta saatu uusi käyttökelpoinen materiaali tai tuote.

1 JOHDANTO

Nykyään käytettyä asfalttia uusiokäytetään vain asfalttiasemilla lukuun ottamatta sekoitusjyrsintään käytettyä vanhaa päällystettä. Vanhaa asfalttia murskataan sopivan kokoiseksi tuotteeksi, joka sekoitetaan uudelleen uuteen asfalttiin. Nykyisillä määräyksillä uusiokäyttö on lisääntynyt. Uusioasfaltin tuottamisessa syntyy alitetta. Alite on poistettu asfalttimurskasta laadullisista syistä. Alite on kuitenkin materiaali, joka voidaan hyödyntää prosessoinnin jälkeen maanrakentamisessa. Tuotteistamisen jälkeen alitteen käyttö maanrakentamisessa helpottuu.

Esiseulontaprosessissa syntyvän alitteen määrä on noin neljäsosa murskattavasta määrästä. Oulun alueella YIT murskaa asfalttia keskimäärin 30 000 tonnia vuodessa ja siinä yhteydessä alitetta syntyy noin 7 000 tonnia. Tuotteistamisella alite saataisiin uusiokäyttöön työmaille.

Tämän työn tavoitteena on etsiä eri testimenetelmillä ja materiaaleilla käyttökelpoinen yhdistelmä kiviainesta ja alitetta. Näitä uusiomateriaaleja voidaan tuottaa murskausprosessin aikana sekoittamalla alitetta irti louhittuun louheeseen ennen sen syöttämistä laitokseen.

Vuodessa käytetään yli 100 miljoonaa tonnia kiviainesmateriaaleja, josta noin 25 % on maanrakennuksessa käytettäviä uusiomateriaalituotteita. Kestävän kehityksen edistämisen kannalta on erittäin tärkeää saada käytöstä poistettu jätemateriaali takaisin uusiokäyttöön. Uusiokäytöllä voidaan vähentää uudisrakentamisen sekä saneerauskohteiden ympäristörasitteita huomattavasti. Tavoitteena on löytää mahdollisimman ympäristöystävällisiä uusiomateriaaleja tieverkoston kunnostukseen sekä vähentää materiaalimenekkiä.

2 UUSIOMATERIAALIEN KÄYTTÖÄ TUKEVAT JA OHJAAVAT YMPÄRISTÖNÄKÖKULMAT SEKÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

2.1 Kestävä kehitys ja materiaalien kestävä käyttö

Maanrakentamisessa käytettävän uusiomateriaalin on oltava vähintään vastaavaa tai parempaa kuin vanha materiaali. Teknisesti tämä tarkoittaa maanrakentamiseen soveltuvan jätteen jalostamista. Jalostamalla jätettä voidaan saada huonoksi luokiteltu luonnollinen materiaali hyödyllisemmäksi. Jäte voidaan käsitellä uusiomateriaaliksi, jolla voidaan korvata aikaisemmin käyttöön suunniteltu luonnollinen materiaali. Syitä tälle voivat olla paremmat ominaisuudet tai kustannustehokkaampi rakentaminen. (Jätteiden hyödyntämismahdollisuuksia maanrakentamisessa laajennetaan. 2019.)

Kiertotaloutta edistävä uusi MARA-asetus astui voimaan vuoden 2018 alussa. Asetus mahdollistaa joidenkin jätteiden hyödyntämisen kevennetyin prosessien ilman ympäristölupaa. Asetuksen tavoitteena on saada kilpailevia vaihtoehtoja luonnollisille kiviaineille. Jätteen tuottajan kannalta uusi MARA-asetus antaa paremman mahdollisuuden hyödyntää sivutuotteita myös taloudellisesti järkevällä tavalla. MARA-kelpoisia kierrätysmateriaaleja pyritään käyttämään uusissa tai korjattavissa kohteissa mahdollisuuksien mukaan. Liian myöhäinen tutkiminen tuotannossa tai tutkimatta jättäminen suunnitteluvaiheessa voi estää uusiomateriaalin käytön kohteessa ympäristösyistä. (Jätteiden hyödyntämismahdollisuuksia maanrakentamisessa laajennetaan. 2019.)

Teollisuuden ja purku-urakoinnin kannalta MARA-asetus on hyvä. Asetus sisältää tietoa jo testatuista rakennusmateriaaleista ja niiden soveltuvuudesta uusiokäyttöön. Rakennusmateriaaleja voidaan suoraan erotella erilleen muusta ylimääräisestä jätteestä. Erottelun jälkeen näistä materiaaleista on helppoa valmistaa haluttua uusiomateriaalia. Laadunvarmistusstandardien seuraaminen varmistaa vaivattoman uusiomateriaalin tuottamisen. Asetus sisältää selkeät toimenpiteet valmistusprosessiin. (MARA-asetus tehostaa jätteiden käyttöä maanrakentamisessa. 2019.)

2.2 Lainsäädäntö

MARA-asetuksella pyritään edistämään jätteiden uusiokäyttöä määrittelemällä niille edellytyksiä. Mikäli asetuksen ehdot täyttyvät, eivät maanrakentamisessa käytettävät materiaalit tarvitse erillistä ympäristölupaa. Tarkoituksena on standardoida tuotettu jäte tasalaatuiseksi käyttömateriaaliksi. (Jätteiden hyödyntämismahdollisuuksia maanrakentamisessa laajennetaan. 2019.)

Asfalttimurskeella ja -rouheella (jätenimike 17 03 02) tarkoitetaan jätteitä, jotka on valmistettu käytöstä poistetusta asfalttipäällysteestä murskaamalla tai rouhimalla. Asfalttimurskeen ja -rouheen raaka-aineena käytettävä asfalttijäte ei saa olla peräisin alueelta, jolla käsitellään tai varastoidaan vaarallisia aineita. Asfalttimurskeen ja -rouheen käyttö on sallittu väylä- ja kenttärakenteissa. (843/2017.)

Jätelaki määrittelee, pystytäänkö joitakin esineitä tai aineita hyödyntämään suoraan uusiokäyttöön. Jätelaissa määritellään sivutuote seuraavasti:

Aine ei ole jäte vaan sivutuote, jos se syntyy sellaisenaan tuotantoprosessissa, jonka ensisijaisena tarkoituksena ei ole tämän aineen tai esineen valmistaminen, ja:

- 1) *aineen tai esineen jatkokäytöstä on varmuus;*
- 2) *ainetta tai esinettä voidaan käyttää suoraan sellaisenaan tai sen jälkeen, kun sitä on muunnettu enintään tavanomaisen teollisen käytön mukaisesti.*
- 3) *aine tai esine syntyy tuotantoprosessin olennaisena osana;*
- 4) *aine tai esine täyttää sen suunnitellun käyttöön liittyvän tuotteen sekä ympäristön- ja terveydensuojelua koskevat vaatimukset eikä sen käyttö kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle (646/2011).*

Maanrakennuskohteissa käytettävän jätteen kerrospaksuus ei saa ylittää sille määriteltyä enimmäiskerrospaksuutta, väylärakentamisessa tämä paksuus on ≤ 1,5 m. Jätteistä liukenevat haitta-aineet eivät saa ylittää annettuja raja-arvoja. Eri aineille on annettu omat liukenemispitoisuutensa. Käytännössä käytettävä materiaali tulee testauttaa laboratoriossa liukenemispitoisuuden selvittämiseksi ennen käyttöä. (843/2017.)

Vesilaissa on määritelty erikseen jätteiden käytöstä pohjavesialueella ja vesistöjen välittömässä läheisyydessä. Mainittakoon kuitenkin, että etäisyyden pohjaveen on oltava vähintään yksi metri rakennekerroksesta, joka sisältää jätettä. (587/2011.)

Muissa laatuvaatimuksissa edellytetään, että hyödynnettävän jätteen on täytettävä maanrakentamiskohteen rakennusosien tekniset ja toiminnalliset vaatimukset, jotka on annettu säädöksissä, niitä täydentävissä määräyksissä ja ohjeissa sekä hankkeen rakennuttajan edellyttämässä kohdekohtaisissa suunnitelmissa (843/2017).

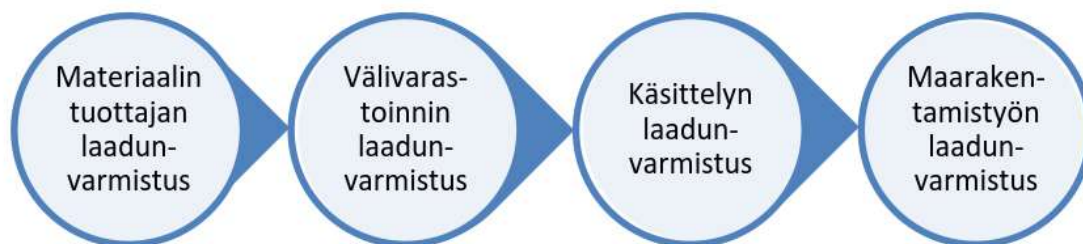
2.3 Uusiomateriaalin käyttö tienrakentamisessa

Vanhan poistetun asfaltin varsinainen uusiokäyttökohde on uudessa asfaltissa raaka-aineena. Ylimääräistä asfalttia voidaan käyttää rakennekerroksissa sitomattomana materiaalina. Hyödynnettävän asfalttimurskeen ja -rouheen enimmäismäärä maarakentamiskohteessa on 1 000 tonnia lupaa kohden. Tämän tarkoituksena on mahdollistaa poistetun asfaltin käyttö raaka-aineena uudelle asfaltille. Poikkeuksena on paikan päällä tapahtuva sekoitusjyrsintä, johon ei sovelleta MARA-asetusta tai ympäristölupaa. (Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. 2019.)

3 UUSIOMATERIAALIEN KÄYTTÖÖN LIITTYVÄ OHJEISTUS, LAATUVAATIMUKSET JA RAPORTOINTI

3.1 Ympäristökelpoisuus ja laadunhallinta

Uusiomateriaalien käytön on oltava lähtökohtaisesti lakien ja asetusten mukaista. Mikään uusiomateriaali ei saa aiheuttaa pohjaveden tai ympäristön pilaantumista (587/2011). Koko käyttöketjun aikaiset ympäristövaikutukset tulee huomioida muun muassa esikäsittelyssä, kuljetuksessa, välivarastoinnissa, käytössä ja käytön jälkeisessä toiminnassa (Tuhkarakentamisen käsikirja. 2012, 60). (Kuva 1.)



KUVA 1. Laadunvarmistusketju (Tuhkarakentamisen käsikirja. 2012, 60)

Ympäristökelpoisuus varmistetaan uusiomateriaalitoimittajan laatu järjestelmän mukaisilla laadunvarmistusmenettelyillä sekä noudattamalla seuraavia uusiomateriaalien käytössä tarvittavia käyttöturvallisuusohjeita ja suunnittelu- ja työohjeita:

1. Uusiomateriaaleja käytetään MARA-asetuksen ehtojen mukaisesti.
2. Uusiomateriaaleja käytetään ympäristöluvan ehtojen mukaisesti.

3.1.1 Tutkiminen ja laadunhallinta

Uusiomateriaalin toimittaja tutkii uusiomateriaalin ominaisuudet ja laatii niistä dokumentin uusiomateriaalien käyttäjille ja arvioijille. Dokumentti sisältää

1. uusiomateriaalin tekniset ominaisuudet ja ympäristöominaisuudet
2. käyttökohdekohtaiset suunnittelu- ja rakentamisohjeet
3. liikenneviraston lupa materiaalin käytölle tienrakentamisessa. (Materiaalit ja niiden jalostaminen. 2019.)

Tuottajalla/valmistajalla tulee olla laadunvarmistusjärjestelmä. CE-merkittyjen materiaalien tulee täyttää eurooppalaisten tuotestandardien vaatimukset. Uusiomateriaalit, jotka hyödyntävät MARA-asetusta, saavat CE-merkinnän tavallista helpommin. Tekninen laatu ja laatuvaihtelut tulee tietää, jotta turvallinen ja ympäristökelpoinen tuote voidaan valmistaa. Tuotteiden tulee täyttää ennalta määrätyt tekniset vaatimukset, jotka ovat esitetty INFRA RYL:ssä. Vaatimukset voivat vaihdella työkohtaisista yleispiirteisiin ohjearvoihin. (Tuotteistaminen. 2019.)

Laadunjärjestelmä sisältää

1. *uusiomateriaalin perus- ja laadunvalvontatutkimukset*
2. *vastuuhenkilöt ja heidän pätevyytensä*
3. *ohjeet uusiomateriaalin vastaanotosta*
4. *laadunvarmistusjärjestelmän arviointi- tai auditointisuunnitelma*
5. *tarvittaessa erityiset puhtausvaatimukset*
6. *seuranta ja raportointi* (Uusiomateriaaliopas. 2014, 41).

Uusiomateriaalin soveltuvuutta testataan eri koemenetelmin. Tarvittavat kokeet ja materiaalit määräytyvät käyttökohteen perusteella. Yleisesti selvitettäviä tietoja ovat

1. *Rakeisuus*
2. *Kuivatilavuuspaino*
3. *Veden herkkyyys*
4. *Routivuus*
5. *Puristuslujuus*
6. *Säänkestävyys*
7. *Moduuli*
8. *Lämmöneristävyys*
9. *Vedenläpäisevyys*

10. *Työstettävyys* (Uusiomateriaaliopas. 2014, 31).

3.1.2 Uusiomateriaalin käyttösyitä

Uusiomateriaalien käytöllä maanrakentamisessa pyritään vähentämään luonnonmateriaalien käyttöä, jos se on teknisesti mahdollista, ympäristön kannalta hyväksyttävää sekä taloudellista. Ympäristökelpoisuusvaatimukset vaikuttavat uusiomateriaalin käyttömahdollisuuksiin sekä teknisesti ja taloudellisesti. (Uusiomateriaaliopas. 2014, 12.) Kohteen korjaaminen ja purkaminen on hyvä huomioida teknisissä seikoissa.

3.2 Liikenneviraston hyväksyntä uusiomateriaaleille

Liikenneviraston materiaalihyväksynnän mukaan tuotteella pitää olla nimi sekä mahdollisimman tasainen laatu, jota valvotaan hyväksytyin laadunvalvontajärjestelmän mukaisesti. Hyväksyntä voidaan antaa valmistajakohtaisena tai valmistajille yhteisenä. Uusiomateriaalia toimittavat tahot voivat hakea materiaalihyväksyntää. Materiaalitoimittajina voivat olla materiaalin valmistaja, valmistuttaja tai maahantuojat. Haettaessa materiaalihyväksyntää tulee tietää, onko materiaalin käyttö sallittua MARA-asetukselle annetulla luvalla tai ympäristöluvalla vai onko kyseessä joillain perusteilla tuotetestaus. Hakemukset ovat aina lajikekohtaisia. (Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. 2019.)

3.3 Koerakentaminen

Koerakentaminen on paras tapa testata alitteen ja asfalttimurskeen käyttöominaisuuksia. Laboratoriosta saatujen testitulosten perusteella valitaan sopiva koe- paikka luotettavan tuloksen saamiseksi. Koerakentamiskohteet kannattaa rakentaa siten, että ne vastaavat mahdollisimman hyvin suunniteltavia käyttökohteita. Koerakentamiskohteen koko ja kerrospaksuudet tulisi valita käytännön tarpeen pohjalta. Samankaltaisista pohjaolosuhteista on tulosten kannalta hyötyä. Koerakentamiseen sopivat erittäin hyvin kiertotiet, raaka-aineiden ottopaikkaan johtavat tiet (raskas liikenne) ja alempiluokkaiset tiet, joilla tavallista nopeampi vaurioituminen on hyväksyttävää. Näissä kohteissa alimitoittamalla rakennekerroksia saadaan hyödyllistä dataa uusiomateriaalien pitkäaikaisesta käyttökestävyydestä. (Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. 2019.)

Käyttöhistoriaa kerättäessä kohteiden testiajan tulisi olla kolme vuotta ja liikennekuorman noin 50 raskasta ajoneuvoa päivässä. Jos testikohteen kuormitus jää tätä vähäisemmäksi, tulee koeaikaa mahdollisesti pidentää. Tärkeimpänä mittauksena on rakennekerrosten kosteus. Kosteusantureita tulisi asentaa rakennusvaiheessa rakennekerrokseen vähintään uloimman pyöräuran kohdalle. Mittauksia tulisi suorittaa vähintään yhtä paljon kuin kantavuutta mitataan. Kosteusmittauksia voidaan tarkastaa ottamalla koenäytteitä testikohteesta. Näin voidaan varmistaa kantavuuden säilyminen rakennekerroksissa tai vaihtoehtoisesti todeta materiaali käyttökelvottomaksi liian kosteissa pohjaolosuhteissa. (Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. 2019.)

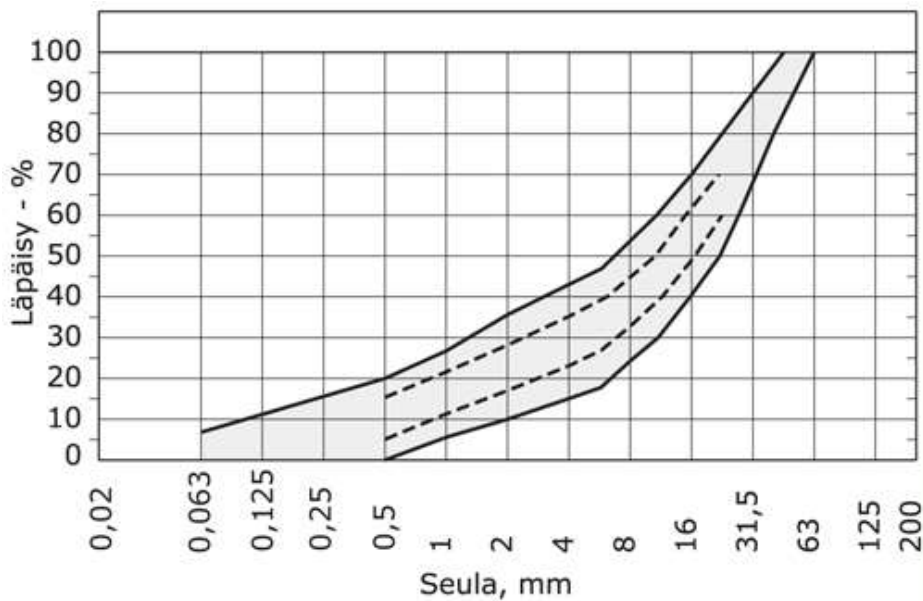
Tiivistys suoritetaan yleisten ohjeiden mukaan. Jakava kerros voidaan rakentaa yhtenä tai useampana kerroksena riippuen annetusta täyttökerroksen paksuudesta. Se on kuitenkin tehtävä siten, ettei täyttökerros ylitä sille määriteltyä maksimikerrospaksuutta. Jos annettu maksimikerrospaksuus ylittyy, tulee kerrokset tiivistää osakerroksissa. Maksikerrospaksuutta ei erikseen ole määritelty, mutta riippuen rakennuskohteesta kerrospaksuus voidaan määrittää esim. 400 mm:iin. Näin voidaan taata jakavalle kerrokselle vaadittu tiiveysaste. Talviaikana rakennettaessa tulee kerrokset tiivistää ennen materiaalin jäätymistä. Tiivistämisestä on erikseen koottu ohjeet, joista löytyy lisää tietoa Infra RYL:stä (vaatii käyttäjätunnukset).

4.2 Kantavan kerroksen ominaisuudet

Kantavan kerroksen tarkoitus on ottaa tien kuormitus vastaan ja jakaa sitä alemmille kerroksille tasalaatuisesti. Rakennusmateriaalina on kalliomurske, soramurske tai uusiomateriaali. Käytettyjen materiaalien tulee olla puhtaita, eivätkä ne saa sisältää eloperäisiä aineita. Käytettävien materiaalien tulee soveltua käyttöominaisuuksiltaan kohteeseen. Materiaalin testausmenetelmät on esitetty SFS-EN 13242 -standardissa. (RYL 21310. 2019.)

4.2.1 Rakeisuus ja routivuus

Kerroksen enimmäisraekoko määrittyy kuormitusolosuhteiden mukaan. Suuri raekoko hankaloittaa tasaamista, mutta lisää kantavuutta. Kalliomurskeen käytössä suositaan hieman roikkuvaa käyrää, mikä vaikuttaa vedenläpäisyyden hyvällä tavalla. Kantavassa kerroksessa hienoainespitoisuuden määrä ei saa ylittää 7 prosenttiyksikköä. Kyseinen määrä on seulan koolla 0,063 mm. (Kuva 3.)



KUVA 3. Kantavan kerroksen rakeisuuskäyrän ohjearvot (Infra RYL 21310. 2019)

Standardin SFS-EN 13242 minimitestausväli on 5 000 tonnia tai vähintään kerran viikossa (RYL 21310. 2019). Tämä tarkoittaa näytteiden ottamista valmistettavasta tuotteesta keskimäärin kerran päivässä. Jos murskauslaitos tuottaa monta eri lajiketta kerrallaan, voi mittausväli olla jopa kerran viikossa.

4.2.2 Kantavuus ja kuluminen

Kantavan kerroksen kiviaineksen tulee kestää jäädytys-sulamisrasituksia. Tämä tarkoittaa sitä, ettei kiviaines saa rapautua rakennekerroksissa. Tämä osoitetaan petrografisella tutkimuksella ja vedenimeytymistestillä. Kiviaines kestää jäätymsulamista, jos SFS-EN 932-3 -standardin mukainen petrografinen tutkimus ei anna viitteitä heikosta tai paljon vettä imevistä rakenteista. Standardin SFS-EN 1097-6 mukaisessa 0,063/D-lajitteelle tehdyssä kokeessa vedenimeytymisen on oltava alle 1 %. Jos nämä ehdot eivät täyty, rapautumattomuus on osoitettava standardin SFS-EN 1367-6 mukaisella jäädytys-sulamiskestävyystestillä, jolloin testituloksen on oltava ≤ 4 %. Petrografinen tutkimus tehdään aina tyyppitestauksessa ja sen jälkeen vähintään kerran kolmessa vuodessa. Vedenimeytyminen testataan vähintään kerran vuodessa. (RYL 21310. 2019.)

Kantavaa kerrosta tiivistettäessä käytetään samoja periaatteita kuin jakavassa kerroksessa. Tiivistyvyyttä voidaan testata mm. levykuormituskokeella, jolla nähdään, tiivistyykö rakennekerros vaadittuun tiiveysasteeseen (Ylitervo 2020).

4.3 Uusiomateriaalien käyttö maanrakentamisessa

Käytettävien uusiomateriaalien tulee olla tuotettaessa tasalaatuisia. Uusiomateriaaleille ei ole olemassa varsinaisia raja-arvoja, mutta käytettävän materiaalin tulee olla teknisiltä ominaisuuksiltaan vastaavanlaista kuin kohteessa käytettävän tavallisen rakennusmateriaalin. Puutteellisen testaustavan takia eri uusiomateriaaleista voidaan käyttää arvioitavana perusteena koerakennuksessa olleita kohteita laboratoriotestien lisäksi. Näistä kohteista on mahdollista todeta soveltuvuus esim. kantavuuden ja kulutuksen kestävyydelle. (Katurakenteiden suunniteluohje. 2017.)

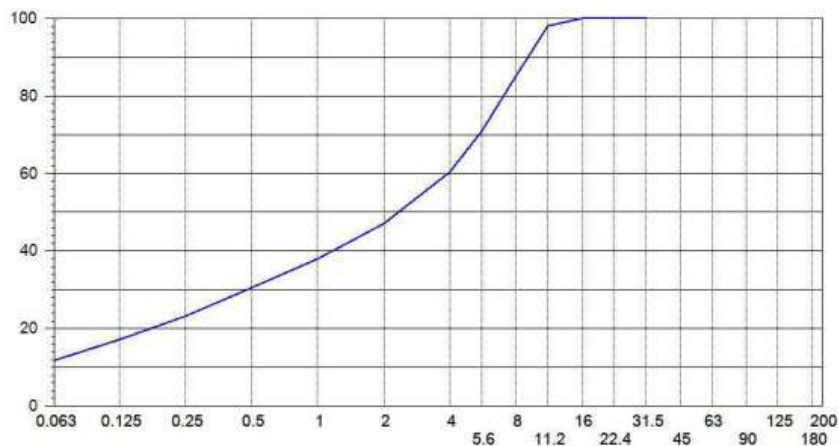
Iskunkestävyyttä mitataan Los Angeles -kokeella SFS-EN 1097-2. Tällä kokeella määritetään murskeiden lujuusominaisuuksia. Uusiomateriaaleille ei ole annettu omia arvoja testejä varten. Testin tulos on kuitenkin ilmoitettava hankekohtaisesti materiaalin käytössä. Jos testistä saatu tulos lähenee raja-arvoa LA₃₀, suositellaan testauksin tiheydeksi 1 testi / 15 000 t.

5 ASFALTTIMURKSEEN JA JALOSTETUN ASFALTTIMURKSEEN ESIVALMISTUS

Opinnäytetyössä testattiin asfalttimurskeen ja alitteen soveltuvuutta maanrakennuskäyttöön. Testejä tehtiin YIT:ltä saaduilla kiviainesmateriaaleilla sekä uusiokäyttöön tarkoitetulla alitteella ja asfalttimurskeella.

5.1 Alkuperäinen alite

Esiseulonnasta saatu alite ei sovellu sellaisenaan maanrakennukseen. Alitteen rakeisuuskäyrää tarkasteltaessa sen hienoainepitoisuus on 12 %. Tämä arvo ylittää kantavan kerroksen vastaavan raja-arvon, joka on 7 % (Tierakennuksen yleiset laatuvaatimukset ja selitykset. 1997). (Kuva 4.)

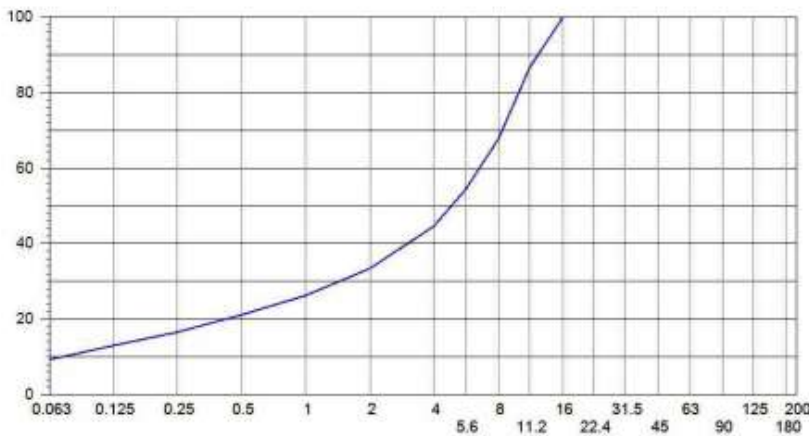


KUVA 4. Alitteen rakeisuuskäyrä

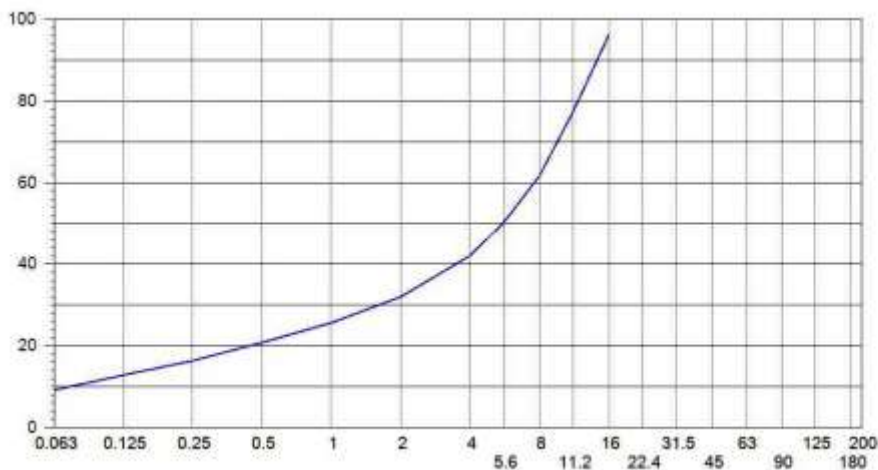
Alitetta täytyy jatkojalostaa sekoittamalla suurempirakeista sepeliä tai murskettä. Tällä tavalla saadaan alitteen käyrän alapää ”tippumaan” hyväksyttävälle tasolle. Myös materiaalin maksimirakekoko on liian pieni käytettäväksi sellaisenaan jakavassa tai kantavassa rakennekerroksessa. Sivulla 25 olevassa taulukossa 1 on esitetty käytettäviä materiaaleja kantavassa kerroksessa.

5.2 Asfalttimurske

Murskatusta asfaltista tuotetut 0-12 mm:n ja 0-16 mm:n kokoiset asfalttimurskeet soveltuvat rakentamiseen suoraan ilman jalostamista. Materiaalin käyttörajoitusten takia näitäkin tuotteita jalostetaan suuremman kohteen rakentamisen takia. (Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. 2019.) Asfalttimurskeita voidaan suoraan hyödyntää samoilla periaatteilla kuin alitettakin. (Kuvat 5 ja 6.)



KUVA 5. Asfalttimurske 0-12 mm

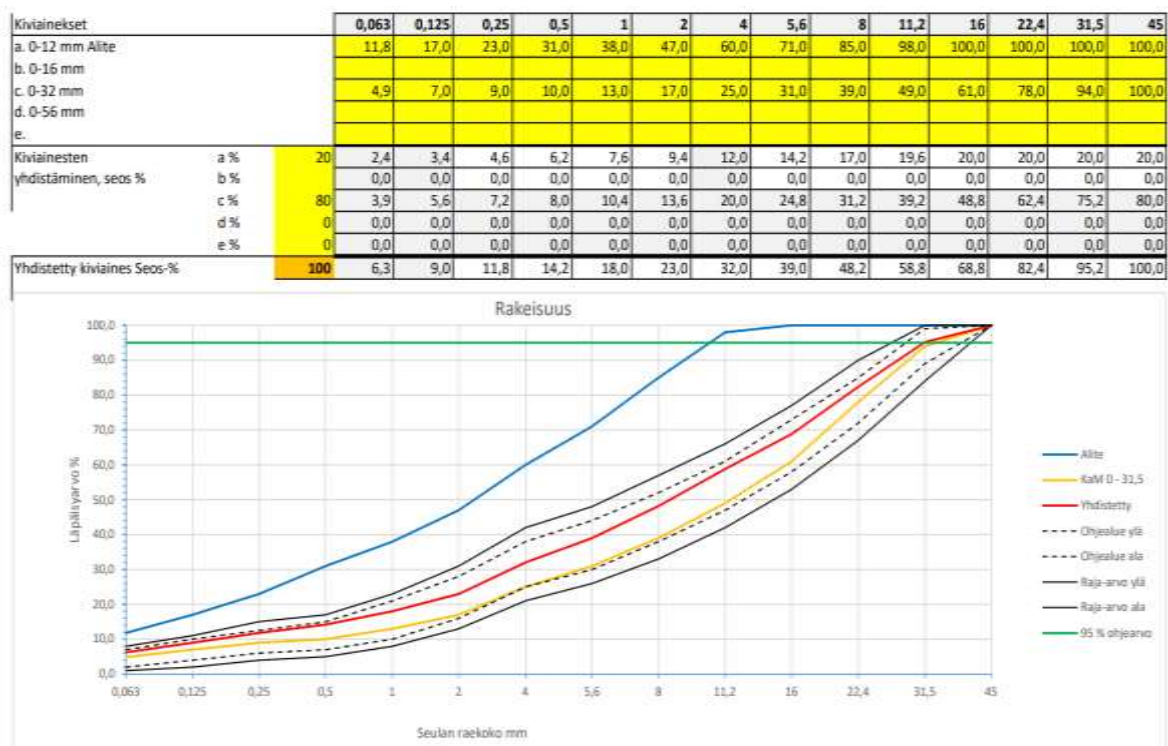


KUVA 6. Asfalttimurske 0-16 mm

Maarakentamisessa käytetään vain vähän asfalttimurskettä, koska suurin osa murskatusta asfaltista käytetään uuden asfaltin tekoon. Vanhaa asfalttia voidaan sekoittaa kantavaan ja/tai jakavaan kerrokseen sekoitusjyrsimällä. (Asfaltin uusiokäyttö. 2013). Tällä menetelmällä sekoitusjyrsintään lisätään myös karkeaa sepeliä (Perälä. 2020). Tässä opinnäytetyössä ei kuitenkaan käsitellä laajemmin sekoitusjyrsinnän menetelmiä tai stabilointia.

5.3 Suhteitus

Uusiomateriaalin suhteituksessa käytettiin hyväksi Excel-taulukkoa (liite 1). Kyseiseen taulukkoon syötettiin sekä neitseellisen kiviaineksen että uusiomateriaalin rakeisuuskäyrä. Tarvittaessa laskentataulukkoon olisi pystynyt syöttämään useammankin rakeisuuskäyrän, mutta tällä kertaa käytettiin vain näitä kahta. Useamman käyrän käyttäminen taulukossa sopii esim. stabiloidun rakennekerroksen tekemiseen ja tutkimiseen laboratorioissa. (Kuva 7.)



KUVA 7. Uusiomateriaalin yhdistetty rakeisuuskäyrä Alite/KaM0-31,5 mm

Excel-taulukossa voidaan helposti kokeilla eri seoskomponenttien prosenttimäärien vaikutusta yhdistettyyn rakeisuuskäyrään ja säätää prosenttiosuuksia siten, että saadaan halutunlainen yhdistetty rakeisuuskäyrä. Näin voitiin vaikuttaa yhdistetyn käyrän laatuun. Tavoitteena oli saada mahdollisimman hyvä yhdistetty rakeisuuskäyrä, jotta se vastaisi tuotannosta saatua rakeisuutta. Koska eri kiviainemateriaaleille on annettu tietyt raja-arvot laadun takaamiseksi (taulukko 1), ei yhdistetyllä käyrällä aina päästy haluttuun korkeaan jättemateriaalin käyttöön.

TAULUKKO 1. Eri kiviainesten raja-arvoja kantava kerros (Infra RYL 21310:T1a)

Seulakoko, mm	0/32	0/40	0/45	0/56	0/63
	G ₀	G ₀	G ₀	G ₀	G ₀
0,5	5...15	5...15	5...15	—	—
1	11...21	11...21	11...21	5...15	5...15
2	17...28	17...28	17...28	11...21	11...21
4	26...38	26...38	—	17...28	17...28
5,6	—	—	26...38	—	—
8	39...51	—	—	26...38	26...38
10	—	39...51	—	—	—
11,2	—	—	39...51	—	—
16	58...70	—	—	39...51	39...51
20	—	58...70	—	—	—
22,4	—	—	58...70	—	—
31,5	—	—	—	58...70	58...70

5.3.1 Raja-arvot

Laadullisesti laboratoriokokeissa ja suhteituksessa sovellettiin neutseellisen kiviaineksen raja-arvoja. Näihin lukeutuvat edellä mainitut eri kiviainesten raja-arvot taulukossa 1. Myös yrityksiltä saatiin tarkempia raja-arvoja heidän testeistään. Kyseinen taulukko kattaa kokoelman monesta näytteestä. Kun tuotetta valmistetaan CE-merkin tavoin, käytetään kahta raja-arvoa materiaalille. Tiukempia arvoja käytetään tuotantoerän kaikista testituloksista saadulla keskiarvolla, kun

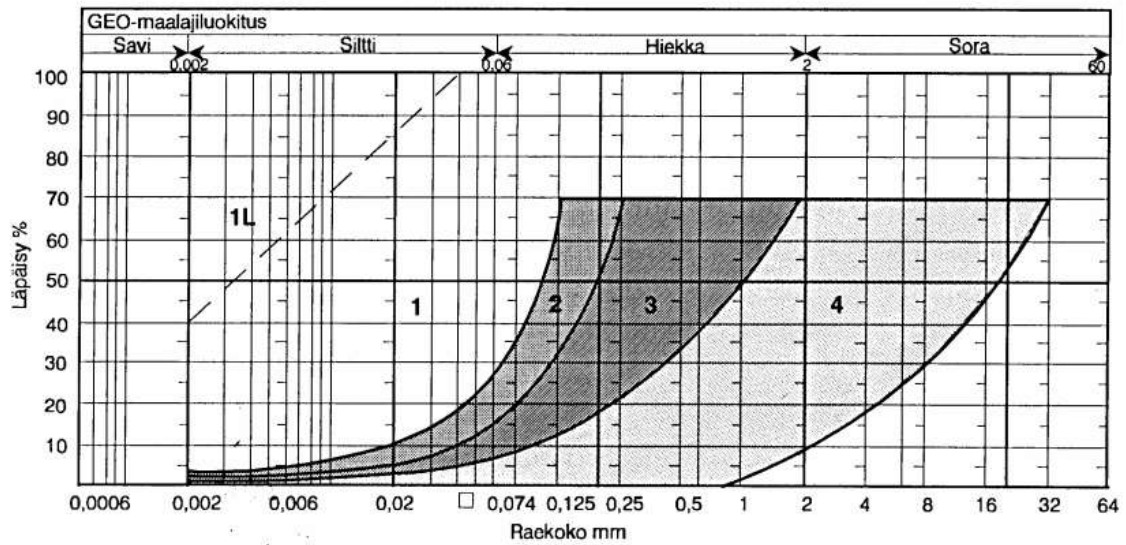
taas yksittäiselle koetulokselle on asetettu löysemmät ehdot tuotteen vaihtelevuuden takia. Näin sallitaan yksittäisen näytteen arvon ylittäminen tai alittaminen. Molemmat rajat ovat nähtävissä kuvassa 7.

Excel-taulukosta saatu yhdistetty rakeisuuskäyrä piirrettiin aina kyseisen raekoon omaavalle raja-arvoille tavoitellen parasta mahdollista käyrää tasalaatuisuuden takaamiseksi. Murskatessa kiviainesta testejä tehdään päivittäin laadun takaimiseksi. Jos tulokset näyttävät huonoilta, voidaan murskausprosessia hienosäätää monella tavalla. Tärkeimpinä menetelminä toimivat seulan verkkojen koko, murskaimen myllyn kireys (sisäterän ja ulkoterän välinen etäisyys) ja irtolouheen syöttämisen tasalaatuisuus murskauslaitokseen.

5.3.2 Routivuus

Uusiomateriaalista ei voitu todeta, routiiiko se vai ei, ilman pitkäaikaisempaa testaamista luonnon olosuhteissa. Lähtökohtana pidettiin kuitenkin seulan läpäisylle annettua yleistä raja-arvoa 0,063 mm. Yleinen käsite on rajata karkeasti maalajit routiviin ja routimattomiin maalajeihin. Jos läpäisyarvo ylittää 7 prosenttiyksikköä näytteen kokonaismäärästä 0,063 mm:n seulalla, pidetään sitä routivana maalajina (Tierakennuksen yleiset laatuvaatimukset ja selitykset). Tätä periaatetta sovellettiin suhteituksessa ja näin voitiin olla varmempia uusiomateriaalin routimattomuudesta maanrakennuksessa.

Routivuuden arviointiin voidaan käyttää myös rakeisuuskäyrään pohjautuvaa maalajitaulukkoa. Taulukkoon on määritelty eri maalajit ja niiden routivuudet. Olemassa olevia rakeisuuskäyriä voidaan siis suoraan verrata taulukkoon. Tämä mahdollistaa nopean määrityksen materiaalille. (Sillan geotekniset suunnitteluprusteet. 2007, 63.) (Kuva 8.)



KUVA 8. Maalajien routivuustaulukko (Sillan geotekniset suunnitteluperusteet. 2007, 63)

Maalajit määritellään routivuuden perusteella taulukolla (kuva 8). Routivia maalajeja ovat ne, joiden rakeisuuskäyrät sijaitsevat alueella 1 tai 1L. Alueilla 2,3 ja 4 sijaitsevat routimattomat maalajit, mikäli käyrän alapää pysyy vasemmanpuoleisen rajan alapuolella (alle 7 %).

6 UUSIOMATERIAALIN LABORATORIOTESTAUS

6.1 Proctor-koe

Proctor-kokeen ideana on saada materiaalin maksimikuivairtopaino tai maksimikuivairtoteiheys selvitettyä. Tämä tieto oli erittäin oleellinen uusiomateriaalin tutkimuksen kannalta. Proctor-koe suoritetaan näytteen raekoosta riippuen tietyn kokoisella muotilla. (Perälä 2017.) Opinnäytetyössä tehdyssä testauksessa käytettiin pientä sylinterimuottia (100 mm x 100 mm), joka soveltuu alle 16 mm:n kokoisille kiviaineksille.

Testissä muotti täytetään maa-aineksella tai muulla tiivistettävällä materiaalilla. Kerroksia tulee 5, joista jokaista tiivistetään pudotuspainosauvalla 25 kertaa kerrosta kohden. (Perälä. 2017.) Näillä annetuilla ohjeilla saatiin tiivistettyä pienemmät näytteet. Suuremmat näytteet jätettiin Proctor-kokeen ulkopuolelle työmäärän takia. Suurempi 150 mm x 150 mm muotti vaatii 75 pudotuskertaa per kerros (Perälä 2017). Suuremmat näytteet testattiin koneellisesti IC-laitteella, tätä kuvataan tarkemmin puristuslujuutta käsittelevässä luvussa 7.

Kokeen tulokset kertovat näytteen tiivistettävyydestä. Kun näytteisiin lisättiin enemmän vettä ja testi tehtiin uudestaan, saatiin eri tulos. Tulokset paranevat tiettyyn kosteusprosenttiin asti, minkä jälkeen materiaali ei enää pystynyt pitämään siihen imeytettyä vesimäärää sisällään tiivistyksen aikana.

Kuivatilavuuspainon laskemiseksi kyseiset testattavat näytteet jouduttiin kuivamaan aina, kun vettä lisättiin. Näihin testeihin otettiin noin 300 gramman kokoinen näyte, joka punnittiin märkänä, laitettiin uuniin kuivumaan ja punnittiin kuivana. (Kuva 9.)



KUVA 9. Proctor-kokeen näytteet kuivumassa uunissa

6.2 Uusiomateriaalin valmistaminen

Uusiomateriaalin tuottamiseen käytettiin Excel-taulukosta saatuja yhdistetyn ra-
keisuuskäyrän materiaaliprosentteja. Molemmat materiaalit punnittiin oikeilla pro-
senttimäärillä ja yhdistettiin samaan astiaan hyvin sekoitettuna. (Kuva 10.)



KUVA 10. Kiviainesten punnitseminen ja yhdistäminen

Tämän jälkeen näyte punnittiin ja mitattiin tilavuus Proctor-muotin avulla. Muotti asetettiin lattialle, minkä jälkeen siihen lisättiin ensimmäinen kerros. Kerrosten välissä tehtiin edellä mainittu tiivistys 25 kertaa pudotuspainolla. (Kuva 11.)



KUVA 11. Näytteen tiivistäminen pudotuspainolla

Viimeinen täyttökerros täytettiin noin 2 cm kaksiosaisen muotin sauman yläpuolelle. Kun viimeinen tiivistys oli tehty, otettiin yläosa pois ja tasattiin pinta taiseksi. Parhaimman tuloksen saavuttamiseksi pinnan piti olla mahdollisimman tasainen ja tiivis. Koska näytteessä oli maksimissaan 16 mm:n kokoisia kiviä, oli tasaaminen ajoittain haastavaa. Suurempien reikien kohdalle tiivistettiin hienoainesta tulosten tasaisuuden saamiseksi. (Kuva 12.)

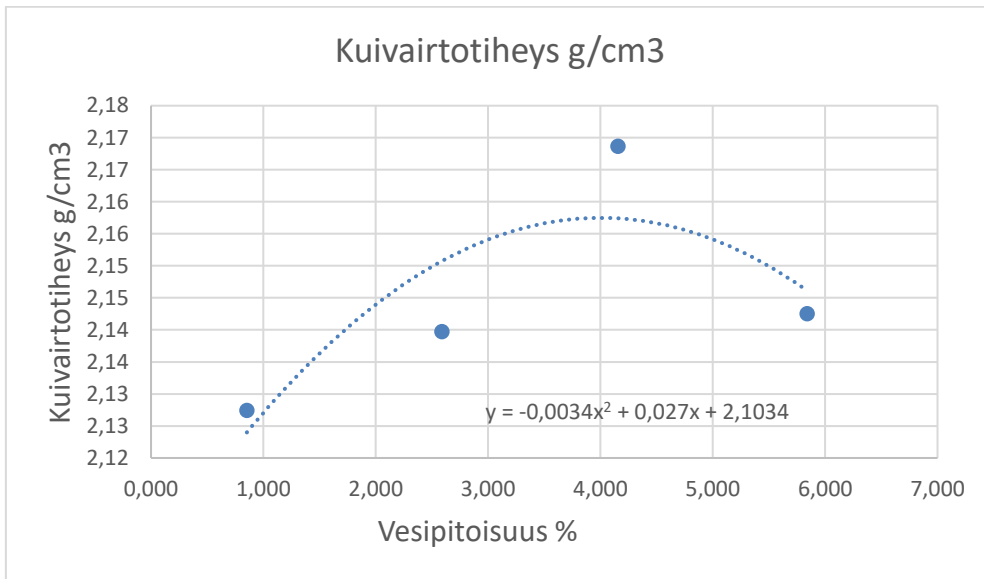


KUVA 12. Lopullisen painon punnitseminen

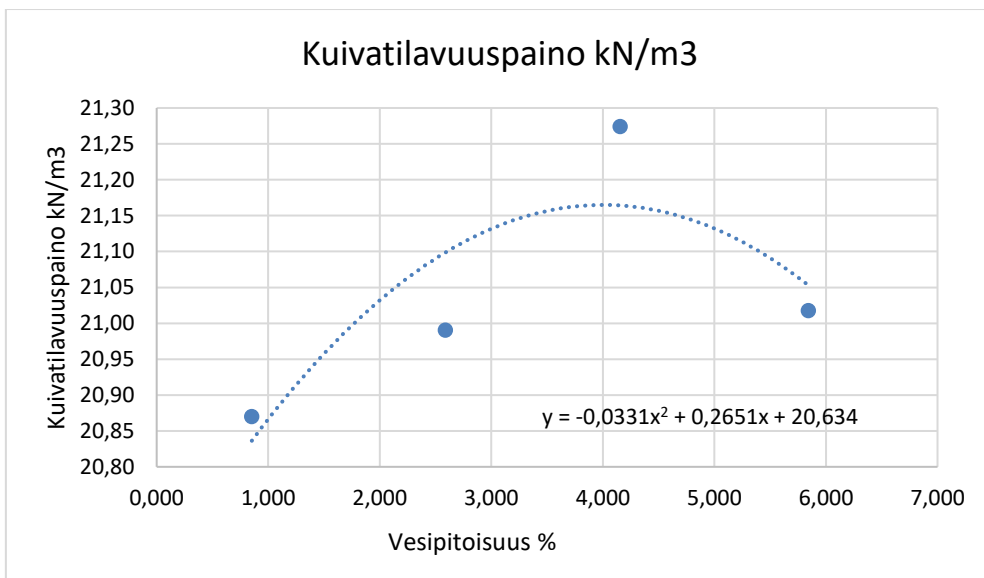
Näytteen punnitsemisen jälkeen testi oli suoritettu. Jos jokin testitulokset näytti epäluotettavalta, testattiin se uudestaan. Kullakin testattavalla materiaalilla tehtiin Proctor-sullonta viidellä eri vesipitoisuudella.

6.3 Proctor-kokeesta saatujen tulosten käsittely

Jokaisesta tehdystä kokeesta kerätty data lisättiin Excel-taulukkoon. Käyrän huippukohdalta voidaan lukea joko maksimikuivairtoisuus tai maksimikuivatilavuuspaino ja niitä vastaava optimivesipitoisuus. (Kuvat 13 ja 14.)



KUVA 13. Proctor-kokeen tulos, jossa kuivairtoteiheys on 2,16 ja optimivesipitoisuus on noin 4 % (käyrän huippukohta) Alite/0-31,5 KaM



KUVA 14. Proctor-kokeen tulos, jossa kuivatilavuuspaino on 21,16 ja optimivesipitoisuus on noin 4 % (käyrän huippukohta) Alite/0-31,5 KaM

Kuvissa 13 ja 14 olevat pisteet osoittavat saatuja testituloksia. Näillä pisteillä luotiin kuvassa näkyvä polynominen trendiviiva, josta saatiin materiaaleista riippuen

aina erilainen yhtälö. Piirretyllä käyrällä voidaan löytää helpommin käyrän Proctor-kokeen huippukohta, josta nähdään optimaalinen kosteusprosentti parhaaseen tiivistymisasteeseen, teoreettinen maksimikuivatilavuuspaino ja teoreettinen maksimikuivairtoiheys. Myös yhtälöllä voidaan laskea samat arvot, mikäli kuvaaja on vaikeasti luettavissa. Karkearakeisempien näytteiden maksimikuivairtoiheden, maksimikuivatilavuuspainon ja optimivesipitoisuuden saamiseksi joudutaan tekemään ns. kivisyyskorjaus (kaavat 1 – 3).

$$w_{opt} = w_{opt} \left(1 - \frac{k}{100}\right) \quad \text{KAAVA 1}$$

$$\rho_{kmax} = \frac{100 \cdot \rho_{kmax} \cdot 2,65}{100 \cdot 2,65 - k \cdot (2,65 - \rho_{kmax})} \quad \text{KAAVA 2}$$

$$Y_{kmax} = \rho_{kmax} \cdot g \quad \text{KAAVA 3}$$

Taulukosta 2 löytyvät kaavojen selitykset. Kaavassa 2 käytettävä 2,65 on kivennäismaan keskimääräinen kiintotiheys. Tässä työssä on käytetty asfalttimurskeella arvoa 2,7, kalliokivimurskeella arvoa 2,8 ja alitteella arvoa 2,7. Korkeat arvot johtuvat asfaltissa käytettävän 1. luokan kiviaineksesta. Lisäksi uusiomateriaalin laskuissa on käytetty prosentuaalista määrää kustakin komponentista, jotka ovat laskettu yhteen kiintotiheyden määrittämiseksi. Tämä on matemaattisesti väärin ja kiintotiheytenä tulisi käyttää aina heikoimman komponentin arvoa. Kivisyyskorjauksen suuruus riippuu poistettujen ylisuurten rakeiden osuudesta. Taulukossa 2 on esitetty kivisyyskorjauksen laskuista saatuja tuloksia.

TAULUKKO 2. Lisälaskennan taulukko, kun maksimiraekoko on yli 16 mm
Alite/0-31,5 KaM

Poistettujen yli 16 mm rakeiden massa				g		g
Ylisuurten rakeiden massa koko aineksen mas- sasta				k	31,2	%
Käyrästöstä saatu optimivesipitoisuus				w_{opt}	3,97	%
Korjattu optimivesipitoisuus				w'_{opt}	2,73	%
Käyrästöstä saatu maksimikuivairtotei- veys				ρ_{kmax}	2,16	g/cm ³
Korjattu kuivairtotei- veys				ρ'_{kmax}	2,31	g/cm ³

Optimivesipitoisuus				w_{opt}	4,00	%
Korjattu optimivesipitoisuus				w'_{opt}	2,76	%
Proctor-tiheys				ρ_{kmax}		g/cm ³
Korjattu Proctor-tiheys				ρ'_{kmax}		g/cm ³
Maksimikuivatilavuuspaino				γ_{dmax}	21,16	kN/m ³
Korjattu maksimikuivatilavuuspaino				γ'_{dmax}	22,71	kN/m ³

6.3.1 Proctor-kokeen testitaulukko

Taulukossa 3 on esitetty alitteen huippuarvoja eri kiviainesmateriaaleilla. Tes-
teissä käytettiin kalliomurskeita 0-31,5 mm ja 0-56 mm sekä kalliosepeleitä 6-16
mm ja 16-32 mm. Testeihin valittiin näitä materiaaleja, koska ne ovat yleisimmät
materiaalit kantavalla ja jakavalla rakennekerroksella.

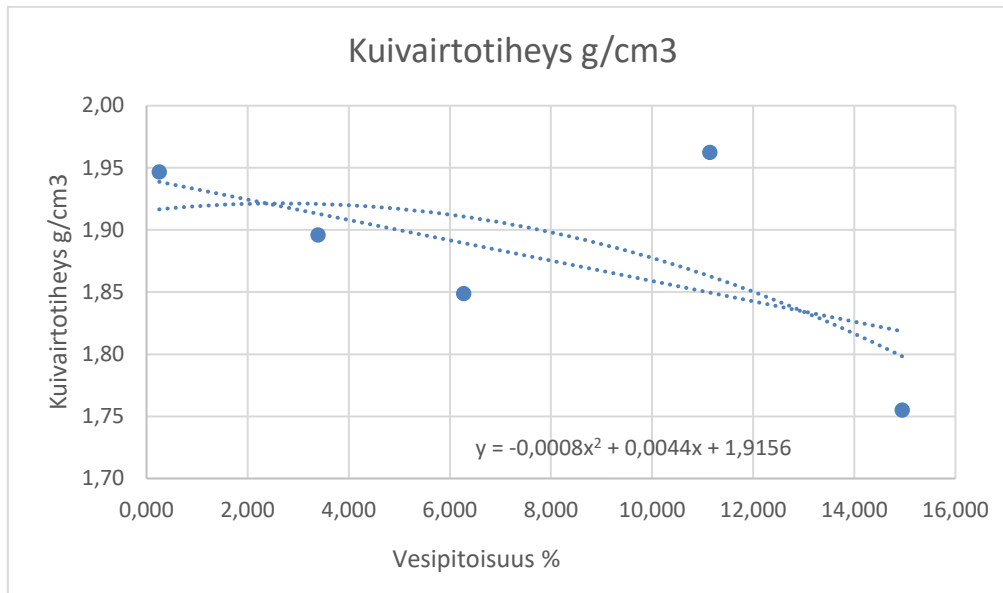
TAULUKKO 3. Alitteen huippuarvoja näytteistä saadulla yhtälöllä.

	Maksimi- kuivairto- tiheys g/cm ³	Maksimi- kuivatila- vuuspaino kN/m ³	Optimi- vesipitoi- suus %	Korjattu maksimi- kuivairtoti- heys g/cm ³	Korjattu mak- simikuivatila- vuuspaino kN/m ³	Korjattu optimive- sipitoi- suus %
Alite/6-16 KaS	2,16	21,16	3,97	-	-	-
Alite/16-32 KaS	2,16	21,16	4,00	2,40	23,52	2,14
Alite/0-31,5 KaM	2,16	21,16	3,97	2,31	22,71	2,76
Alite/0-56 KaM	2,16	21,16	3,97	2,44	23,95	1,95

Taulukon 3 sarakkeissa 2-4 on esitetty tutkimustulokset näytteille, joista on poistettu yli 16 mm:n rakeet. Taulukon sarakkeissa 5-7 on esitetty tutkimustulokset kivisyyskorjauksen jälkeen. Asfalttimurskeiden tulokset ovat nähtävissä liitteessä 1.

6.3.2 Asfalttimurske

On mahdollista, että asfalttimurskeella on kaksi huippukohtaa optimivesipitoisuudessa. Proctor-kokeet antoivat jostain syystä eriskummallisia tuloksia. Näytti siltä, että asfalttimurskeesta valmistetulla uusiomateriaalilla on kaksi huippukohtaa kuivairtotiheydessä. (Kuva 15.)



KUVA 15. AsM 0-16/6-16 Proctor-kokeen tulokset

Testiä varten sekoitettavat materiaalit voivat lajittua helposti ja tästä syystä osa testeistä voi sisältää enemmän bitumia kuin toiset. Kuvaan 15 on piirretty lineaarinen trendiviiva havainnollistamaan todennäköisesti realistisempaa maksimikuivairtoteiheyttä verrattuna polynomiseen trendiviivaan. Asfalttimurskeen testauksissa tehtiin enemmän testejä kuin alitteessa, osittain tämänkaltaisten käyttäytymisten takia (Liite 3). Asfalttimurskeen 0-12 kanssa ei koettu tämänkaltaisia tuloksia tai sitten testausta ei viety vesipitoisuuden osalta tarvittavan pitkälle.

7 PURISTUSLUJUUSKOE

7.1 Uusiomateriaalin kuormituskestävyys

Kuormituskokeessa käytettiin Proctor-kokeen Excel-taulukosta saatuja optimaalisia kosteusprosentteja. Koska kokeen lieriö ja näytteen paino ovat vakioita, oli helppo laskea tälle muotille uusiomateriaalin näytteen paino (yhdistetyt näytemäärät). Puristuslujuuskokeita varten valmistettiin 5 näytettä, joista kolmessa käytettiin optimivesipitoisuutta. Kahdessa muussa koekappaleessa vesipitoisuus vaihteli yli ja alle 1-2 prosenttiyksikön verran optimaalisesta.

Tässäkin kokeessa alle 16 mm:n kokoisten kivien koekappaleet tehtiin 100 mm halkaisijalla olevalla lieriöllä. Yli 16 mm:n ja alle 32 mm:n maksimiraekoon muotikoko oli 150 mm. Isommalla muotilla ei testattu asfalttimurskeita.

Testi aloitettiin laskemalla suhteituskäyrästä saaduilla prosenttimäärillä kunkin materiaalin paino. Materiaalit yhdistettiin ja yhdisteeseen lisättiin testissä käytettävä optimaalinen vesimäärä. Näyte sekoitettiin hyvin laadun takaamiseksi. Tämä oli erittäin tärkeää, koska testattavia näytteitä oli rakeisuuskäyriltään paljon erilaisia.

Testissä käytettiin näytelieriötä, johon kuuluivat pohjapala, pohjalevy, kansilevy, puualusta ja tiivistyskone. Lieriö ja levyt käsiteltiin kostealla kankaanpalalla näytteen irtoamisen helpottamiseksi. Pohjalle laitettiin pieni kerros hienompaa materiaalia, ettei karkearakeinen näytekappale rikkoutuisi muottia poistettaessa. Muuten lieriö täytettiin mahdollisimman tasalaatuisesti tulosten luotettavuuden takia. Kun lieriö oli täytetty, asetettiin se koneeseen, johon syötettiin näytteen paino ja tiivistyspaine. Kone pyöritti näytettä ympäri 100 kierrosta samalla painaen annettulla paineella. Tiivistyksen jälkeen lieriö poistettiin koneesta.

Lieriö asetettiin maassa olevalle tangolle ja sitä ruvettiin hitaasti painamaan kohti maata. Kun lieriö painui alemmas, saatiin näyte ns. ylös muotista. Irrotetun näytteen päälle asetettiin neliön muotoinen vanerinpalanen. Testin haastavin osuus oli näytteen kääntäminen ympäri pöydälle. Tämän vaiheen pystyi suorittamaan

monella tavalla. Parhaaksi todettiin nostaa näyte pohjalevyn kanssa vanerilevyille. Vanerin ja levyn paino sekä levyn korkeus vähennettiin kokonaispainosta ja korkeudesta, näin näytteen paino ja pituus saatiin helposti selville. (Kuva 16.)



KUVA 16. Tiivistyskokeesta poistettu muotti ja näyte

7.2 Puristuslujuuskokeen teko

Näyte vietiin seuraavaksi puristustestiin, joka itsessään on erittäin yksinkertainen. Näyte asetettiin hydraulisen sylinterin alle ja näytteen päälle laitettiin sen kokoinen levy. Tämän jälkeen aloitettiin puristus. Kone puristi näytettä niin pitkään, kunnes se tunnisti, ettei näyte ota enää painetta vastaan. (Kuva 17.)



KUVA 17. Puristustesti

Kokeesta saatu puristuslujuus asetettiin samaan taulukkoon, jota käytettiin Proctor-kokeissa. Näistä arvoista voitiin päätellä, miten materiaalit soveltuvat käytäntöön.

7.3 Puristustestin tulosten läpikäynti

Laboratoriossa vietetyn rajatun ajan takia alite oli ainut materiaali, jolle oli aikaa tehdä yli 16 mm:n kokoisten näytteiden puristustestejä. Asfalttimurskeista on esitetty vain 6-16 mm kalliusepelin tulokset. Taulukossa 4 on esitetty kunkin testatun materiaalin paras testitulos puristustestissä.

TAULUKKO 4. Uusiomateriaalin puristustestin tulokset

	Lisätty vesi g	Näytteen tilavuus cm ³	Näytteen tiheys g/cm ³	Näytteen kuormitus N	Näytteen puristuslujuus kN/m ²
Alite/16-32 KaS	180	2 668,39	2,25	7 444	421,48
Alite/6-16 KaS	53	762,62	2,45	7 811	995,03
Alite/0-31,5 KaM	225	2 597,70	2,42	9 263	524,44
AsM 0-12/6-16 KaS	22	724,14	2,33	6 054	771,21
AsM 0-16/6-16 KaS	37,7	717,07	2,34	6 292	801,53

Yli 16 mm kokoisten kivien IC-koneen muotin halkaisija oli 150 mm ja alle 16 mm muotin halkaisija oli 100 mm. Näitä tietoja hyödyntäen laskettiin näytteelle puristuslujuus. (Kaava 4.)

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

KAAVA 4

Näytteistä saadut puristuslujuudet ovat hyviä ja ne ovat vertailukelpoisia tavallisiin kiviainesmateriaaleihin.

8 POHDINTA

Työn tavoite oli tutkia asfalttimurskeen ja alitteen soveltuvuutta maanrakennuskäytössä käytettävän kiviaineksen kanssa yhdistettynä. Työ eteni keräämällä eri kiviaineksia, joita yhdisteltiin asfalttimurskeeseen ja aliteeseen. Yhdistettyjä materiaaleja (uusiomateriaalit) testattiin Proctor-kokeella, jonka jälkeen tehtiin puristuslujuustesti. Kaikkien testien tulokset kerättiin Excel-taulukkoon, josta tehtiin johtopäätöksiä kokeiden onnistumisista.

Asfalttimursketta tehdessä esiseulonnan aikana syntyvä alite ei ole tarkoituksella tuotettu tuote vaan prosessissa syntyvä sivutuote. Näin ollen alitetta voidaan soveltaa jätelain ohella kriteerien täytyttyä tavalliseksi maanrakentamisessa käytettäväksi tuotteeksi. Alitteen jatkojalostaminen vähentää rakennuskohteissa käytettävän neitseellisen kiviaineksen määrää. Tämä tukee kestävästä kehitystä ja energiatehokkuutta.

Tuote tarvitsee kuitenkin lisää jatkotutkimuksia ja laajempia näyte-eriä tasaisen laadun takaamiseksi. Lisäksi tutkittava tuote tulisi valmistaa suoraan murskauslaitoksella, sillä laboratoriossa sekoittamalla tuotteen laatu voi heikentyä ja vääristyä puutteellisen sekoitussuhteen takia. Näkisin parhaaksi tuottaa tutkittavaa tuotetta sekoittamalla irtolouhittuun kallioon alitetta ennen murskausprosessia.

Lisäksi jatkotutkimuksia tarvittaisiin tuotteiden liukoisuusarvoista. Minulla ei tähän ollut mahdollisuutta testin harvinaisuuden takia. Määräyksissä kuitenkin annetaan raja-arvot liukoisuuksille, joten niitäkin on tutkittava jatkossa.

Myös asfalttimurskeen liukoisuuspitoisuuksia on syytä tutkia, koska siinä on huomattavasti enemmän bitumia. Uusiomateriaali vaatii jatkotutkimusta luotettavan datan saamiseksi. Tätä pitäisi tuottaa samalla tuotantomenetelmällä kuin alitettakin. Lisäksi pitäisi tutkia bitumin vaikutuksia lujuteen ja veden imeytymiseen. Todennäköisesti bitumi kasvattaa lujutta ja pienentää veden imeytymistä.

Nykyään vanhoille päällysteille käytetään sekoitusjyrsintää. Prosessissa lisätään eri kiviaineksia mukaan kantavaan kerrokseen oikeanlaisen rakeisuuden saavut-

tamiseksi, myös masuunikuonaa on lisätty tuomaan kantavuutta. Asfalttimurske-
tutkimuksista saatuja tuloksia voitaisiin hyödyntää myös sekoitusjyrsinnässä.
Oletettavasti näiden kahden eri tuotteen vaikutukset näyttävät samanlaisilta ja
tulokset lähenevät toisiaan rakenteiden samanlaisuuden takia.

Lisäksi työskennellyni vuosia asfalttimurskeen parissa uskon tulosten pääse-
mään lähelle masuunikuonan tuloksia. Valitettavasti tämän tutkimuksen aikana
ei ollut mahdollisuutta saada tarvittavia tutkimustuloksia teorian todentamiseen.
Todennäköisesti tehokkaampi tapa tuottaa tämänkaltaista uusiomateriaalia on
käyttää sekoitusjyrsinnän menetelmää suoraan joko masuunikuonalla tai ilman
riippuen suunnittelumenetelmistä.

Asfalttimurskeelle hyvä käyttökohde voisi olla sorateiden päällyste, sillä bitumipi-
toinen materiaali sitoisi sorateiden päällystystä. Tämä pidentäisi huoltoväliä ja
estäisi irtosoran leviämistä ojien pohjalle. Näin parannettaisiin myös sorateiden
kuivatusta varsinkin keväällä.

LÄHTEET

Asfaltin uusiokäyttö. 2013. Lemminkäinen. Saatavissa: http://www.nvfnor-den.org/library/Files/Utskott-och-tema/Belagging/Seminarier/Ymp%C3%A4ris-toseminaari-2013/4492_ForstenVanhaAsfaltti_TuotevaijtelF2.pdf. Hakupäivä 12.2.2020

Jätteiden hyödyntämismahdollisuuksia maanrakentamisessa laajennetaan. 2019. Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lain-saadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Jattei-den_hyodyntaminen_maanrakentamisessa. Hakupäivä 15.9.2019.

Katurakenteiden suunnitteluohje. 2017. Oulun kaupunki. Saatavissa: https://www.ouka.fi/documents/64248/17062568/Oulun+kaupunki_Sunnitte-luohje.pdf/55f8f719-9623-488b-a623-83965ab42778. Hakupäivä 8.2.2020.

MARA-asetus tehostaa jätteiden käyttöä maanrakentamisessa. Ramboll. Saata-vissa: <https://fi.ramboll.com/media/artikkelit/ymparisto/mara-asetus-maarakenta-misessa>. Hakupäivä 15.9.2019.

Materiaalit ja niiden jalostaminen. 2019. Uuma3. Saatavissa: <http://www.uu-siomaarakentaminen.fi/materiaalit-ja-niiden-jalostaminen>. Hakupäivä 12.3.2020

Perälä, Esa. 5F00BK60. Basics of Geotechnics. Laboratorion tutkimukset ke-väällä 2017. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, rakentamistekniikan osasto.

Perälä, Esa. 2020 Laboratorioinsinööri. Oulun ammattikorkeakoulu. Nykypäivän tutkimukset tierakenteista. 16.1.2020

RYL 21210. 2019. Jakavat kerrokset. Rakennustieto Oy. Saatavissa: https://ryl.rakennustieto.fi/InfraRYL/21200?version=2019_1 (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 5.11.2019.

RYL 21310. 2019. Sitomattomat kantavat kerrokset. Rakennustieto Oy. Saata-vissa: https://ryl.rakennustieto.fi/InfraRYL/21300?version=2019_1 (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 5.11.2019.

Sillan geotekniset suunnitteluperusteet. Tiehallinto. 2007. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sillan_geosuunn.pdf. Hakupäivä 23.4.2020.

Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Tielaitos. 1993. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf2/yleiset_perusteet.pdf. Hakupäivä 4.2.2020.

Tuhkarakentamisen käsikirja. 2012. Ramboll. Saatavissa: https://energia.fi/files/1137/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf. Hakupäivä 13.4.2020.

Tuotteistaminen. 2019. Uuma3. Saatavissa: <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/tuotteistaminen>. Hakupäivä 12.3.2020

Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. 2019. Luonnos 18.3.2019. Väylävirasto Saatavissa: https://vayla.fi/documents/20485/175370/Uusiomateriaaliohje_lausuntoversio/141ba143-9f0f-4366-8c3f-47a197097435. Hakupäivä 11.11.2019.

Uusiomateriaaliopas. 2014. Luonnos 28.2.2014. Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lr_2014_uusiomateriaaliopas_luonnos_28.2.2014_web.pdf. Hakupäivä 22.10.2019.

Ylitervo, Sami. 2020. Mittausinsinööri, Mittamiehet Oy. Keskustelu laatutavoitteiden saavuttamisesta 24.3.2020.

587/2011. 2011. Vesilaki. Helsinki. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587>. Hakupäivä 23.4.2020.

646/2011. 2011. Jätelaki. Helsinki. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>. Hakupäivä 22.10.2019.

843/2017. 2017. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa. Helsinki. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>. Hakupäivä 15.9.2019.

Asfalttimurske 0-12

	Maksimi- kuivair- totiheys g/cm ³	Maksimi- kuivatila- vuuspaino kN/m ³	Optimivesipi- toisuus %	Korjattu mak- simikuivairto- tiheys g/cm ³	Korjattu maksimi- kuivatilavuuspaino kN/m ³	Korjattu optimi- vesipitoisuus %
AsM 0-12 /6-16 KaS	1,95	19,14	1,77	-	-	-
AsM 0-12 /16-32 KaS	2,15	21,09	4,35	2,28	22,36	2,94
AsM 0-12 /0-32 KaM	1,83	17,91	8,14	1,99	19,50	6,08
AsM 0-12 /0-56 KaM	2,16	21,16	3,88	2,41	23,64	2,00

Asfalttimurske 0-16

	Maksimi- kuivair- totiheys g/cm ³	Maksimi- kuivatila- vuuspaino kN/m ³	Optimivesipi- toisuus %	Korjattu mak- simikuivairto- tiheys g/cm ³	Korjattu maksimi- kuivatilavuuspaino kN/m ³	Korjattu optimi- vesipitoisuus %
AsM 0-16 /6-16 KaS	1,92	18,85	2,75	-	-	-
AsM 0-16 /16-32 KaS	2,15	21,09	5,03	2,30	22,57	3,39
AsM 0-16 /0-32 KaM	2,14	21,04	3,43	2,28	22,38	2,52

[Rakeisuuskäyrät ja laboratorion testitulokset alite](#)

[Rakeisuuskäyrät ja laboratorion testitulokset AsM 0-12](#)

[Rakeisuuskäyrät ja laboratorion testitulokset AsM 0-16](#)