

Tuukka Myllymäki

**Kvartsimaasälpäresiduaalin soveltuminen asfalttipäällysteen
täytejauheeksi**

Kvartsimaasälpäresiduaalin soveltuminen asfalttipäällysteen täytejauheeksi

Tuukka Myllymäki
Insinööri
Kevät 2017
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, yhdyskuntatekniikka

Tekijä: Tuukka Myllymäki

Opinnäytetyön nimi: Kvartsimaasälpäresiduaalin soveltuminen asfalttipäällysteen täytejauheeksi

Työn ohjaaja: Terttu Sipilä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017 Sivumäärä: 37 + 5 liitettä

Asfalttipäällyste koostuu kiviaineksista, sideaineesta sekä erilaisista lisäaineista. Kiviaineksiin kuuluu erikokoista kalliomursketta, joita käytetään rakeisuutensa perusteella sopivasti asfalttipäällysteessä. Kiviaineksista hienoin osa on hienoainesta, josta 40-60 prosenttia on täytejauhetta. Täytejauheina on aiemmin käytetty muun muassa kalkkia, lentotuhkaa sekä kiviä. Täytejauheen tehtävä on sitoa sideaine sekä pienentää päällysteen huokoisuutta.

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada selville, soveltuuko kvartsimaasälpähiekka täytejauheeksi asfalttipäällysteisiin. Työssä tutkittiin itse kvartsimaasälvän ominaisuuksia fillerinä ja laadittiin sille sopiva rakeisuuskäyrä. Täytejauheen toimivuutta tutkittiin myös asfalttipäällystekoealoilla, joille tehtiin omat tutkimuksensa.

Työt aloitettiin tekemällä tutuilla resepteillä vertailukoekappaleet, joihin uuden fillerin kanssa saatuja tuloksia verrattaisiin. Tämän jälkeen haettiin kvartsimaasälvän kanssa sopivat rakeisuuskäyrät sekä reseptit. Kun optimisideainepitoisuus oli selvillä, pystyttiin valmistamaan koepalat. Koepaloille tehtiin samat kokeet kuin vertailukoekappaleille ja kyseisiä tuloksia vertailtiin toisiinsa. Tämän kaiken ohella tehtiin filleritutkimuksia kvartsimaasälvän fillerille. Näissä tuloksissa pyrittiin pääsemään samaan kuin päällystealan neuvottelutoimikunnan laatimat normit kertovat.

Työssä saadut tulokset olivat erittäin positiiviset. Kun kiviaines saadaan sopivan hienoksi murskauksessa siten, ettei sitä tarvitse seuloa niin paljon, on hiekka sopivaa asfalttipäällysteiden täytejauheeksi. Työn tulokset osoittivat, ettei kvartsimaasälpähiekka häviä kalkkifillerin ominaisuuksille lainkaan.

Asiasanat: kvartsimaasälpä, fillerikiviaines, AB16, SMA16, asfalttipäällyste, päällystekokeet, filleritutkimukset, jäykkyysmoduuli, halkaisuvetolujuus, vedenkestävyys

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil engineering, Municipal engineering

Author: Tuukka Myllymäki

Title of thesis: Suitability of Residual Quartz Feldspar for Asphalt Pavement Filling

Supervisor: Terttu Sipilä

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017

Pages: 37 + 5 appendices

Asphalt pavement is composed of rock material, binder and filler. The smallest particles of rock materials are called filling powders. The function of the fillers is to bind the binder into the rock material.

The purpose of this thesis was to examine the suitability of quartz-feldspar for asphalt pavement filling. Fly ash, lime and stone dust has been used earlier as filling powder. In this project, there were two different examinations. Filling powder was examined and the results were compared to defined values. Asphalt pavement samples were made of quartz-feldspar, which were examined with multiple different tests.

The company who ordered this examination is called Keliber. Keliber is a young mining company whose main product is lithium carbonite. In this thesis quartz-feldspar was studied, which is secondary product of the company.

The results of this examination were positive. It proved, that the properties of quartz-feldspar were as good as lime filler.

Keywords: quartz-feldspar, asphalt pavement, fillers

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 PÄÄLLYSTEIDEN TÄYTEJAUHEET	8
2.1 Kalkkifilleri	8
2.2 Masuunikuona	8
2.3 Kivipöly	9
2.4 Lentotuhka	9
3 KVARTSIMAASÄLPÄRESIDUAALI	10
4 FILLERITUTKIMUKSET	12
4.1 Rakeisuuden määrittäminen	12
4.2 Kosteusprosentti sekä ominaispinta-ala ja veden adsorptio	14
4.3 Tyhjätilan ja kiintotiheyden määrittäminen	16
5 PÄÄLLYSTETUTKIMUKSET AB- JA SMA PÄÄLLYSTEILLE	20
5.1 Koekappaleiden valmistus	21
5.2 Tiheyksien ja tilavuuksien määrittäminen	22
5.3 Jäykkyysmoduulin määrittäminen	24
5.4 Halkaisuvetolujuuden määrittäminen	25
5.5 Marshall-koe	26
5.6 Vedenkestävyys	26
6 PÄÄLLYSTETUTKIMUSTULOKSET AB- JA SMA- PÄÄLLYSTEILLE	28
6.1 Jäykkyysmoduuli	28
6.2 Halkaisuvetolujuus	29
6.3 Marshall-koe	30
6.4 Vedenkestävyys	31
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	33
LÄHTEET	35
LIITTEET	37

SANASTO

AB	Asfalttibetoni, asfalttityyppi
AB 16	Asfalttibetoni, jonka maksimiraekoko on 16 mm:ä
Asfalttinormi	PANK ry:n hyväksymä asiakirja, joka esittää vaatimuksia asfalteista ja niiden raaka-aineista
Kvartsi ja maasälpä	Ovat hyvin yleisiä hohkasilikaattimineraaleja maankuoressa
PANK-menetelmä	PANK ry:n hyväksymä näytteenotto-, näytteenkäsittely- tai aineenkoetusmenetelmä
SMA	Kivimastiksiasifaltti, asfalttityyppi
SMA 16	Kivimastiksiasifaltti, jonka maksimiraekoko on 16 mm:ä
SFS-EN –standardi	Suomen standardoimisliiton (SFS) vahvistama ja eurooppalaisen standardoimisjärjestön (CEN) julkaisema yleisesti saatavilla oleva standardi
VFA	Tyhjätilan täyttöaste
VMA	Kiviaineksen tyhjätilan täyttöaste

1 JOHDANTO

Asfalttipäällyste koostuu kiviaineksesta ja bitumista. Kiviaineksena käytetään erikokoisia kalliomurskeita, sepeliä, hiekkaa ja täytejauheita. Täytejauhe eli filleri määrittää hienoutensa vuoksi asfalttimassan levittyvyyden ja tiiveyden. Täytejauheen tehtävänä on myös sitoa sideaine asfalttimassaan. (Asfalttinormit 2011.)

Työn tavoitteena oli tutkia Kvartsimaasälpä hiekan käyttömahdollisuutta täytejauheena asfalttipäällysteessä. Kvartsimaasälpää ei oltu aiemmin tutkittu täytejauheena, joten tuloksista ei etukäteen ollut tietoa lainkaan.

Kvartsimaasälvän toimivuutta fillerinä testattiin PANK-normeihin sekä standardeihin verraten. Tutkimuksissa tehtiin Lemminkäisen standartoiduilla suhteituk-silla vertailulaattoja. Kun vertailulaatat olivat standardien mukaiset, muodostettiin uudelle fillerille sopiva rakeisuuskäyrä näiden suhteitusten avulla. Vertailulaattoja sekä itse koekappaleita vertailtiin keskenään, minkä pohjalta saatiin tietoa kvartsimaasälvän toimivuudesta fillerinä. Kvartsimaasälpä hiekkaa tutkittiin itse täytejauheena filleritutkimuksilla sekä sen soveltuvuutta asfalttipäällysteenä.

Keliber Oy on aloittava kaivosyhtiö, joka aloittaa litiumkaivoksen tuotannon muutaman vuoden päästä. Spodumeenin rikastusprosessissaan syntyy kvartsimaasälpäresiduaalia. Kvartsimaasälpärikasteen saanti on noin 60-65 prosenttia ja se on potentiaalinen sivutuote, joka tuo merkittävää lisäarvoa. Kvartsimaasälpä sopii käytettäväksi erilaisina fillereinä, joka voidaan pestä, kuivata ja pakata asiakastarpeen mukaan. (Lopputuotteet.)

2 PÄÄLLYSTEIDEN TÄYTEJAUHEET

Asfalttimassan täytejauheena eli kiviainesfillerinä on käytetty muun muassa kalkkifilleriä ja lentotuhkaa. Myös kiviölyllä sekä masuunikuonalla on ominaisuuksia, joiden vuoksi niitä käytetään täytejauheena. Fillerikiviaines on kiviaines, josta suurin osa läpäisee 0,063 mm:n seulan, ja sitä voidaan lisätä rakennusmateriaaleihin tiettyjen ominaisuuksien saavuttamiseksi. (Asfalttinormit 2011. 2011, 12.).

2.1 Kalkkifilleri

Kalkkikivi on alun perin sedimentäärinen karbonaattikivi, joka koostuu pääosin kalsiittimineraalista eli kalsiumkarbonaatista (CaCO_3). Puhdas kalkkikivi sisältää 95-100 %:a kalsiumkarbonaattia. Kalkkikivi on puhdas luonnontuote, jota voidaan murskattuna tai jauhattuna käyttää sellaisenaan. Jalostettuna kalsiumoksidiksi (poltettu kalkki) tai kalsiumhydroksidiksi (sammutettu kalkki) kalkin reaktiivisuus lisääntyy ja se sitoo paremmin epäpuhtauksia itseensä. (Kalkkifilleri.)

Kalkkifillerit soveltuvat käytettäväksi teiden, lentokenttien ja muiden liikenneöityjen alueiden asfalttimassoissa. Erityisen vaativiin olosuhteisiin, kuten esimerkiksi lentokenttien päällysteisiin, suositellaan asfalttimassan täyteaineeksi sammutettua kalkkia, sillä se parantaa edelleen tarttuvuutta ja vedenkestävyyttä. (Tuotetietoa.)

2.2 Masuunikuona

Masuunikuonajauhe on piilevästi hydraulinen sideaine, jota valmistetaan jauhamalla granuloitua masuunikuonaa. Granuloitu masuunikuona saadaan, kun raakaraudan valmistuksen yhteydessä syntyvä emäksinen sulate jäähdytetään nopeasti vesisuihkujen avulla ja kuonasta tulee lasimaista. Masuunikuonan hydrauliset ominaisuudet heräävät sementin ja veden reaktiossa syntyvän kalsiumhydroksidin vaikutuksesta ja kuona kehittää lujuutta lähes yhtä paljon kuin sementtiklinkkeri. (Finnsementti.)

2.3 Kivipöly

Kivipölyksi lasketaan murskattu kiviaines, joka läpäisee 0,063 mm:n seulan. Kiviaines on yleensä kalliomurskeesta murskattua kiveä.

Täyteaineelle on esitetty raekokojakaumaksi 0- 20 mm:ä. 0,063 mm:ä on murskauslaitoksen laadunvalvonnan tyypillinen pohjaseula. Täyteaineen rakeisuuskäyrälle ei ole esitetty raja-arvoja. Kivipölyksi lasketaan siis kiviaines, joka päätyy murskauslaitoksen pohjaseulalle. Läpäisyprosentiksi tälle kivelle lasketaan ohjearvoksi n.10 %:a. (Tolppanen 1998, 18.)

2.4 Lentotuhka

Lentotuhkaa muodostuu kivihiilen poltossa kivihiilivoimaloissa. Noin 70-80 %:a syntyvästä lentotuhkasta pystytään käyttämään hyödyksi. Lentotuhkaa käytetään teollisuuden tuotteina, sekä rakentamisessa esim. täytejauheena asfalttipäällysteissä. Yli 90 %:a Naantalin voimalaitoksen polttamasta kivihiilestä käytetään betoni- laasti- ja tasoiteteollisuudessa sekä asfalttipäällysteiden täytejauheena. (Lentotuhka. 2000, 7.)

Lentotuhka on ominaisuudeltaan sopivan rakeinen pysyäkseen kuiva-annostuksessa riittävän irtonaisena. Lentotuhkarakeen mikrorakenne on pyöreä kivihiilen polton seurauksena. Raemuoto määrittää täytejauheen ominaispinta-alan, jonka on täytettävä asfalttinormien vaatimukset, jotta bitumi sitoutuisi tarpeeksi hyvin asfalttimassaan. Täytejauheen huokosten määrä eli tyhjätila on tärkeä bitumin sitoutumisen kannalta. Lentotuhkan ominaispinta-ala sekä tyhjätila ovat hieman kalkkifilleriä suuremmat, mikä tarkoittaa, että bitumi sitoutuu lentotuhkaan paremmin. Lentotuhkaa pidetäänkin hyvin asfalttia stabiloivana fillerinä. (Lentotuhka. 2000, 8)

3 KVARTSIMAASÄLPÄRESIDUAALI

Kvartsimaasälpä on Keliber Oy:n rikastusprosessin sivutuote. Se ei ole siis tuotannon päätuote, mutta olisi taloudellisesti erittäin kannattavaa löytää sille sopiva käyttötarkoitus. Ennen rikastusta malmi murskataan ja siitä erotetaan sivukiviaines käyttäen optista sorttausta ja magneettista erotusta. Tämän jälkeen murske jauhetaan. (YVA-ohjelma). Mineraalipitoisuuksiltaan kvartsi ja maasälpä ovat molemmat prosenttiosuuksiltaan vahvasti esillä. Kuten kuvasta 1 huomataan, mineraaliosuuksiltaan kvartsia oli 36,72 %:a ja plagioklaasia eli maasälpää 39,33 %:a.

Mineral	WT%	Grain Count
Quartz	36.72	9085
Plagioclase	39.33	10241
Microcline	15.90	4259
Spodumene	1.22	1155
Muscovite	6.38	2499
Biotite	0.11	118
Clay	0.10	134
Garnet	0.00	0
Tourmaline	0.02	37
Titanite	0.01	34
Forsterite	0.00	1
Amphiboles	0.08	44
Epidote	0.01	6
Kyanite	0.02	13
Apatite	0.04	98
Sicklerite	0.00	1
Apa_sick_mix	0.00	1
Calcite	0.01	3
Sphalerite	0.00	2
Pyrite	0.00	1
Arsenopyrite	0.00	0
Columbite_tantalite	0.00	4
Iron	0.00	0
Unknown	0.04	186
Total	100.00	26882

KUVA 1. Keliberin rikastusprosessin mineraalipitoisuudet.

Kvartsi (SiO₂) on maankuoren yksi yleisimmistä mineraaleista. Sitä esiintyy luonnossa amorfisena, mikrokiteisenä ja karkeakiteisenä. Mohsin asteikolla sen kovuus on 7, mikä johtuu sen sidoksista. Ominaispainoltaan kvartsi on melko

kevyttä väljän rakenteensa vuoksi, vain $2,65 \text{ g/cm}^3$. Suomessa kvartssia louhitetaan vuosittain noin 160 000 tonnia. (Tikkakoski 2016, 10, 11.)

Maasälvät ovat hohkasiliikaatti kiveä. Kemialliselta kaavaltaan maasälpiä kutsutaan $XAl(Si,Al)Si_2O_3$. Maasälvät ovat merkittävin kivilajien muodostaja, mikä johtuu maankuoren koostumuksesta. On arvioitu, että puolet maapallonkuoresta koostuu maasälvistä. Eri maasälpien osuudet tuosta puolikkaasta ovat: kvartssia 12 %:a, pyrokseeneja 11 %:a, amfioleja 5 %:a, kiilteitä 5 %:a, savimineraaleja 5 %:a, oliviinia 3 %:a ja muita maasälpiä-mineraaleja lisäksi vajaat 10 %.

Maasälvät jaetaan kahteen eri seossarjaan päätejäsentensä perusteella, kalimaasälpiin (alkalimaasälpi) ja plagioklaaseihin. (Tikkakoski 2016, 8, 9.)

4 FILLERITUTKIMUKSET

Filleritutkimukset olivat tutkimuksen yksi tärkeimmistä osuuksista. Tutkimuksessa täytyi saada varmuus, että Keliberin toimittama filleri itsessään on sopivaa asfalttipäällysteen täytejauheeksi. Filleritutkimuksilla saatiin tieto lähinnä kvartsimaaasälpähiekan tilavuusarvoista. Näitä tilavuusarvoja verrattiin päällystealan neuvottelukunnan säätämiin raja-arvoihin.

Filleritutkimuksissa selvitettiin kiviaineksen rakeisuus, josta saimme tietää paljonko filleriä täytyy seuloa. Seuraavaksi tutkimme fillerin kosteusprosentin, ominaispinta-alan sekä veden adsorptioarvon. Tämän jälkeen meidän tuli tutkia vielä fillerikiviaineksen tyhjätila sekä kiintotiheys.

4.1 Rakeisuuden määrittäminen

Fillerikiviaineksen rakeisuus tutkittiin pesuseulonnalla sekä sen jälkeen vielä ilmaseulonnalla standardin SFS-EN 933-1 mukaisesti. Rakeisuuden määrittäminen tässä tapauksessa oli erittäin tärkeä työvaihe, jotta saatiin tietää, minkä kokoiseksi fillerikiviaines tällä hetkellä murskataan. Rakeisuuden määrittämisen jälkeen pystyimme toteamaan minkä kokoiseksi se pitää murskata, jotta se olisi sopivaa filleriksi.

Testissä materiaali jaettiin seulasarjan avulla useisiin kooltaan yhä pieneneviin raekokoluokkiin. Seula-aukkojen koot ja seulojen lukumäärä valittiin näytteen ominaisuuksien ja vaadittavan tarkkuuden mukaisesti. Menetelmä sisältää näytteen pesun ja sen jälkeisen kuivaseulonnan. Kullekin seulalle jääneiden rakeiden massaa verrattiin koko näytteen alkuperäiseen massaan. Kunkin seulan läpäissyt yhteenlaskettu prosenttiosuus ilmoitetaan numeerisesti. (SFS-EN 933-1.)

Koe aloitettiin punnitsemalla kuivanäyte sekä astia, josta saatiin laskettua pelkän näytteen paino. Tämän jälkeen näyteastian sisältö kaadettiin päällimmäiselle seulalle. Pesua jatkettiin niin kauan, kunnes testiseulan läpäissyt vesi oli kirkasta. Seulalle jäänyt jäännös kuivattiin (110 ± 5) °C:n lämpötilassa vakio-massaan. Näytteen jäähtyttyä näyte ja astia punnittiin. Tämän jälkeen saatiin

laskettua pestyn näytteen massa sekä sen avulla pesutappio. Sitten oli vuorossa kuivaseulonta, joka tehtiin seulasarjalla, johon kuului 2.0 mm:n, 1.0 mm:n, 0.5 mm:n, 0.25 mm:n, 0.125 mm:n, 0.063 mm:n seulat sekä pohja-astia. Tämän jälkeen seuloille jääneet näytteet punnittiin erikseen, josta saatiin rakeisuuskäyrä läpäisyprosenttien avulla. Seuloille jääneiden näytteiden massa summattuna pesutappiolla oli sama kuin lähtöpunnitusarvo (± 1 g).

TAULUKKO 1. Fillerikiviaineksen rakeisuus.

Seulakoko (mm)	Läpäisyprosentti (%)	Rakeisuusvaatimukset (%) (PANK)
1.0mm	100	100
0.5mm	99,95	-
0.25mm	99,05	-
0.125mm	75,05	85-100
0.063mm	42,05	70-100
Pohja	-	-

Kuten taulukosta 1 huomataan, fillerikiviaines ei ollut rakeisuudeltaan sopivaa saapuessaan, joten se täytyi seuloa sopivammaksi. Ennen seulomista laskettiin matemaattisesti sopiva rakeisuuskäyrä, josta saatiin tieto paljonko tietyltä seulalta pitää ottaa näytettä mukaan itse täytejauheeksi. Jotta läpäisyprosentit vastaisivat rakeisuusvaatimuksia, näytettä pystyttiin ottamaan 0.125 mm:n seulalta noin 5 %:a, 0.063 mm:n seulalta noin 20 %:a ja pohja-astiaan jäänyt näyte otettiin kokonaisuudessaan. Näistä kiviainesmääristä koostui lopullinen filleri, jota käytettiin asfalttipäällyste koepaloissa.

4.2 Kosteusprosentti sekä ominaispinta-ala ja veden adsorptio

Fillerikiviaines tuli tutkittavaksi ämpäritavarana vain suodatinkuivana, mutta sen tarkkaa kosteusprosenttia ei voitu tietää tarkalleen. Kosteusprosentti selvitettiin yksinkertaisesti punnitsemalla. Näytettä otettiin sopiva määrä astiaan, joka punnittiin. Tämän jälkeen punnittu näyte kuivattiin uunissa korkeassa lämpötilassa niin kauan, että voitiin olla varmoja näytteen kuivuudesta. Sitten laskettiin kuivatun näytteen ja alkuperäisen näytteen erotus, jonka avulla saatiin laskettua kosteusprosentti.

Ominaispinta-ala (A_s) tutkittiin PANK-2401 menetelmää käyttäen. Kuivattuun näytteeseen adsorboitiin nestemäisen typen lämpötilassa typpikaasua, jonka osapaine on yhden havaintopisteen mittauksessa noin 30%:a. Adsorboituneen typen määrän avulla laskettiin näytteen pinta-ala olettamalla, että näytteen pinnalla on yhden molekyylin vahvuinen typpikerros.

Koe aloitettiin seulomalla kuivatusta näytteestä $>0,063$ mm:n rakeet pois. Tämän jälkeen näyte kuivattiin vielä uunissa ($105\pm 5^\circ\text{C}$) yön yli. Sitten tyhjä näytepullo punnittiin. Sen jälkeen näytepulloon laitettiin sopiva määrä näytettä ja pullo punnittiin, jolloin saatiin näytteen massa. Näytteeseen adsorboitiin typpikaasua nestemäisen typen lämpötilassa. Mittauslaite antoi näytteen pinta-alan (m^2). Sen jälkeen laskettiin ominaispinta-ala käyttämällä kaavaa 1.

$$A_s = A / m$$

KAAVA 1.

A = Mitattu pinta-ala (m^2)

m = Näytteen massa (g)

Tulokseksi saimme $0,29$ (m^2/g), joka ei täytä ominaispinta-alalle määritettyä raja-arvoa, joka on $1-5$ (m^2/g). Tämä voi johtua siitä, että täytejauheen pitäisi olla hieman hienommaksi murskattua tai seulottua.

Veden adsorptioluku on tietyssä ajassa näytteeseen adsorboituneen veden määrä ilmaistuna painoprosenteina kuivasta massasta. Tutkimamme veden adsorptio oli PANK-2108 mukainen menetelmä. Menetelmällä määritetään filleriki-
viaineksen kyky adsorboida eli sitoa vesihöyryä 100 %:n suhteellisessa kosteu-
dessa. Tässä menetelmässä on periaattena saada märän ja kuivan näytteen
massan erotus, kun kiviaines on adsorboinut vettä raepinnalleen.



KUVA 2. Petrimaljat eksikaattorissa.

Aluksi näyte laitettiin kuivana avoimeen ja kuivaan petrimaljaan. Sen jälkeen maljat laitettiin kuvan 2 mukaisesti 7 vuorokauden ajaksi suljettuun eksikaattoriin, jossa on 100%:n suhteellinen kosteus. Koe tehtiin käyttämällä neljää eri koemalkaa. Petrimaljat punnittiin ennen näytteen laittoa, josta saatiin arvot m_1 . Tämän jälkeen maljat punnittiin näytteen kanssa, minkä jälkeen saatiin massan arvo m_2 . 7 vuorokauden jälkeen maljat punnittiin yksitellen eksikaattorista poistaen, josta saimme punnitustuloksen m_3 :n. Näillä kolmella punnitustuloksella kaavan 2 avulla saimme laskettua adsorptioluvun A_n .

$$A_n = (m_3 - m_2) / (m_2 - m_1) * 100 \% : a$$

KAAVA 2.

Missä,

A_n = adsorptioluku (%)

m_3 = massa kokeen lopussa (g)

m_2 = massa kokeen alussa (g)

m_1 = petrimäljan massa (g)

Tämän jälkeen saatiin laskettua veden adsorptio pinta-alayksikköä kohden ominaispinta-alaa sekä veden adsorptiolukua käyttämällä. Prosentteina saatu adsorptioluku piti kertoa 10000:lla, jotta saatiin muutettua arvo yksikköön (mg/kg). Ominaispinta-ala kerrottiin taas 1000:lla, jolloin saimme yksiköksi (m^2/kg). Näin saimme Veden adsorption pinta-alayksikköä kohden jakamalla adsorptioluvun ominaispinta-alalla (A_n / A_s).

Taulukosta 2 voi nähdä filleritutkimuksien tuloksia sekä PANK:n laatimia raja-arvoja kyseisille tutkimuksille.

TAULUKKO 2. Filleritutkimuksien tuloksia.

	Kosteusprosentti (%)	Ominaispinta- ala (m^2/g)	Veden ad- sorptioluku (%)	Veden adsorptio pinta-alayksikkö kohden (mg/m^2)
Mitatut tulokset	7	0,29	0,24	8,28
Raja-arvot	<1 %	1-5 m^2/g		≤ 10

4.3 Tyhjätilan ja kiintotiheyden määrittäminen

Fillerikiviaineksen kiintotiheys määritettiin pyknometrinen menetelmällä standardin SFS-EN 1097-7 mukaisesti. Testinäyte kuivattiin ensin uunissa kuivaksi, jonka jälkeen se kuivaseulottiin 0,125 mm:n seulalla.

Kiintotiheyden määrittämisessä käytettiin neljää kalibroittua pyknometriä ja niihin kuuluvia tulppia. Pyknometrit punnittiin tulppineen ensin kuivana, jonka jälkeen niihin lisättiin testinäytettä (10 ± 1) g ja ne punnittiin uudestaan. Tämän jälkeen

niihin lisättiin vettä niin, että testinäyte peittyi kokonaan veteen. Pyknometrit suljettiin tulpilla ja ne laitettiin kuvassa 3 olevaan vakuumieksikaattoriin, jossa paine imettiin alle 3,0 kPa:n paineeseen. Tämän jälkeen pyknometrien annettiin olla kyseisessä paineessa vähintään 30 minuuttia. Sen jälkeen eksikaattoriin palautettiin ilmanpaine, otettiin pyknometrit ja täytettiin ne vedellä.



KUVA 3. Mittalaset vakuumieksikaattorissa.

Pyknometrit laitettiin tämän jälkeen ilman tulpaa vesihauteeseen (25 ± 1) °C niin, että pyknometrin yläosa jäi vedenpinnan alapuolelle. Pyknometrit suljettiin 60 minuutin kuluttua tulpalla, kuivattiin pyknometrit ja poistettiin vesihauteesta. Tämän jälkeen testinäytteellä ja vedellä täytetyt pyknometrit punnittiin. Kaikki punnitustulokset saatuamme laskimme fillerikiviaineksen kiintotiheyden kaavan 3 mukaisella tavalla.

$$\rho_f = (m_1 - m_0) / (V - (m_2 - m_1) / \rho_l)$$

KAAVA 3.

m_0 on tyhjän pyknometrin ja tulpan massa (g)

m_1 on pyknometrin ja testinäytteen massa (g)

m_2 on pyknometrin ja testinäytteen massa + vesi (g)

V on pyknometrin tilavuus (ml)

ρ_l on nesteen tiheys 25 °C lämpötilassa (Mg/m³)

ρ_f on fillerikiviaineksen kiintotiheys 25 °C lämpötilassa (Mg/m³)

Fillerikiviaineksen tyhjätila määritettiin standardin SFS-EN 1097-4 mukaisesti. Määrittämiseen käytettiin kolme eri yksittäistestinäytettä, joiden keskiarvosta laskimme lopullisen tyhjätilan.

Ensimmäisenä tyhjiin sylinteriin laitettiin suodatinpaperi sekä mäntä. Tämän jälkeen määritettiin sylinterin nollakorkeus suodatinpaperin ja männän kanssa mittarin avulla. Sen jälkeen punnittiin pudotuskappale suodatinpaperin kanssa, mutta ilman mäntää 0,001 g:n tarkkuudella. Tästä saimme arvon m_0 . Tämän jälkeen pudotuskappaleen sylinteriin laitettiin fillerikiviainesta (10 ± 1) g. Suodatinpaperi pantiin fillerikiviaineksen päälle ja mäntä varovasti sylinteriin huolehtien, ettei fillerikiviainesta pääse ylös pitkin sylinterin reunoja. Sitten asetettiin pudotuskappale fillerikiviaineksen ja männän kanssa pohjalevyn päällä olevien ohjaintankojen päälle. Tämän jälkeen pudotuskappaletta alettiin nostamaan ylärajoittimeen, josta sen annettiin pudota vapaasti pohjalevyn päälle. Tämä toistettiin 100 kertaa noin 1 sekunnin välein. Sitten luettiin korkeusmittatulkista fillerikiviainekerroksen paksuus 0,01 mm:n tarkkuudella. Mittaustuloksen saatua otettiin pudotuskappale pois ohjaintankojen päältä ja poistettiin mäntä sylinteristä. Pudotuskappale punnittiin fillerikiviaineksen sekä suodatinpaperin kanssa 0,01 g:n tarkkuudella, josta saatiin tiivistetyn kiviaineksen massa m_1 . Saatiin määritettyä tiivistetyn kiviaineksen massa $m_2=(m_1-m_0)$, joka tarvittiin kaavassa 4 tyhjätilan laskemiseen.

$$v = (1 - (4 \cdot 10^3 \cdot m_2) / (\pi \cdot \alpha^2 \cdot \rho_f \cdot h)) \cdot 100$$

KAAVA 4.

v on tyhjätila (%)

m_2 on tiivistetyn fillerikiviaineksen massa (g)

α on pudotuskappaleen sylinterin sisähalkaisija (mm)

ρ_f on fillerikiviaineksen kiintotiheys (Mg/m³)

h on tiivistetyn fillerikiviaineksen paksuus (mm)

Taulukossa 3 olevat tulokset kertovat, että tyhjätilan ja kiintotiheyden puolesta fillerikiviaines on toimivaa. Kiintotiheys tulee aina ilmoittaa fillerikiviaineksesta standardin mukaisesti määriteltynä. Kuivatun ja tiivistetyn fillerin tyhjätilan tulee olla PANK-normien mukaan 28...45 %:n välillä, minkä meidän tutkimamme fillerikiviaines on.

TAULUKKO 3. Fillerikiviaineksen kiintotiheys ja tyhjätila

Kiintotiheys (Mg/m ³)	Tyhjätila (%)
2,975	37

5 PÄÄLLYSTETUTKIMUSET AB- JA SMA-PÄÄLLYSTEILLE

Työn tehtävänä oli selvittää, toimiiko Kvartsimaasälpä täytejauheena asfaltti-päällysteissä. Tutkimuksen massatyypeiksi valittiin kivimastiksiasfaltti SMA16 sekä asfalttibetoni AB16. Massat valittiin niiden yleisen käytön vuoksi.

Kivimastiksiasfaltti muodostuu karkeasta ja tasarakenteisesta murskatusta kiviaineksesta. Kestävyytensä ansiosta SMA:ta käytetään yleensä kulutuskerroksena vilkkaasti liikennöidyillä teillä. (NCC 2008-2016). SMA-massan kiviaineksesta kalliomursketta on vähintään 85%:a ja bitumia sitovana lisäaineena käytetään kuitua. Kivimastiksiasfalttia käsittelevä eurooppalainen tuotestandardi on SFS-EN 13108-5. (Asfalttinormit 2011, 67.)

Asfalttibetonia käytetään kulutuskerroksiin, sidekerroksiin ja kantaviin kerroksiin. AB16:a käytetään yleisimmin kulutuskerroksiin sekä sidekerroksiin lukuun ottamatta kaikkein suurimmalla kulutuksella olevia teitä. Asfalttibetonia käytetään myös massapintauksissa, paikkauksissa sekä tasauksissa. Asfalttibetonin eurooppalainen tuotestandardi on SFS-EN 13108-1 (Asfalttinormit 2011, 48.)

Tutkimukset aloitettiin tekemällä vertailukoekappaleet Lemminkäinen Oy käyttämillä suhteutuksilla. Näitä vertailukoekappaleita tehtiin yhteensä kahdeksan, 4 kappaletta AB16 ja 4 kappaletta SMA16 massoilla. Vertailukoekappaleiden koostumukset eli massojen reseptit löytyvät liitteestä 1/1 sekä 1/2. Vertailukoekappaleet testattiin kolmella eri koemenetelmällä, jotka kertovat ovatko koekappaleet PANK-normien rajoissa. Koemenetelminä käytettiin Jäykkyyden testausta (SFS-EN 12697-26), halkaisuvetolujuuden määrittäminen (SFS-EN 12697-23) sekä Marshall-koetta.

Vertailukoekappaleista neljälle (AB2, AB3, SMA6, SMA7) tehtiin jäykkyydsmoduulikoheet +10°C sekä +20°C lämpötilassa. Samoilla koepaloilla testattiin myös halkaisuvetolujuus +10°C lämpötilassa. Jäljelle jääneille neljälle (AB1, AB4, SMA5, SMA8) tehtiin Marshall-koe +60°C lämpötilassa.

Tutkimussuunnitelma

Tutkimukset tehtiin EN-Standardoidussa laboratoriossa Oulun Ammattikorkeakoulun tiloissa. Kaikki kokeet toteutettiin Asfalttinormien mukaisesti EN-Standardeihin perustuen.

Tutkimusten lähtökohtana oli valmistaa vertailukoekappaleet ohjearvoilla tehdyillä massoilla. Näillä Lemminkäisen käyttämällä resepteillä tehtiin vertailukoekappaleet, jotka testattiin samoilla testeillä, kuin tulevat koekappaleet. Itse koekappaleet tehtiin myös valmiisiin resepteihin verraten, kuitenkin niin, että huomioon otettiin uuden fillerin rakeisuuskäyrä. Kun uudet koepalat oli valmistettu, tehtiin niille samat kokeet kuin vertailukoekappaleille ja saatuja tuloksia vertailtiin keskenään. Uudella fillerillä tehdyille koepaloille pyrittiin saamaan yhtä hyvät tulokset kuin vertailukoekappaleille.

Uudella fillerillä tehdyille koekappaleille tehtiin myös tiheys- ja tilavuusarvojen kokeita ja laskentaa. Näitä arvoja ei verrattu vertailukoekappaleisiin vaan standardien ja normien laatimiin rajoihin.

5.1 Koekappaleiden valmistus

Koekappaleiden valmistus alkoi hakemalla sopiva seoskäyrä Hummastinvaaran kalliomurskeelle ja Keliberin fillerille. Kiviainesten prosenttiosuudet muodostuivat siten, että seoskäyrä saatiin mahdollisimman samanlaiseksi kuin ohjekäyrä. Kiviainesten prosenttiosuudet ja seoskäyrät tehtiin erikseen AB- sekä SMA-päällysteille. Lemminkäisen reseptipohjalle saatiin omat suhteutusreseptit molemmille päällystemassoille, kun seoskäyrät olivat valmiit.

Seuraavaksi koepaloille haettiin optimisideainepitoisuudet. Sekä AB-päällysteelle että SMA-päällysteelle tehtiin kahdeksan näytettä. Tämä tarkoittaa sitä, että jokaisessa reseptissä oli eri määrä bitumia, jolloin koekappaleista tuli jokaisesta erilaiset. AB-massoille sideainepitoisuudet olivat 4,6 %:a, 4,8 %:a, 5,0 %:a, 5,2 %:a ja 5,4 %:a. SMA-massoille sen sijaan sideainepitoisuudet olivat 6,0 %:a, 6,2 %:a, 6,4 %:a ja 6,6 %:a. Valmiiden koepalojen tiheydet, tyhjätilat ja täyttöasteet testattiin ja laskettiin standardien mukaisesti. Näitä arvoja verrattiin PANK-normien mukaisiin ohjeellisiin arvoihin. Jokainen koepala sai siis oman

tilavuusarvonsa, jonka perusteella saatiin tietää reseptin optimisideainepitoisuus.

Optimisideainepitoisuuksiksi tuli AB-massalle 4,8 %:a sekä SMA-massalle 6,4 %:a. Näiden massojen reseptit löytyvät liitteestä 2/1 ja 2/2. Kun saimme tietää optimisideainepitoisuuden, rupesimme valmistamaan itse optimikoepaloja 10 kappaletta kumpaakin päällystelajia. Koepalat numeroitiin siten, että AB-päällyste koepalat olivat 1-10 ja SMA koepalat 11-20.

5.2 Tiheyksien ja tilavuuksien määrittäminen

Koekappaleiden kappaleitiheys määritettiin SFS-12697-6 standardin mukaisesti. AB-koekappaleet punnittiin ensiksi ilmassa ja sen jälkeen vedessä. Näin ilma-vesipunnituksen avulla laskettiin asfalttipäällysteen irtotiheys. SMA-koekappaleille laskettiin sama irtotiheys siten, että ensiksi punnittiin koekappaleet ilmassa, sen jälkeen vedessä ja lopuksi vielä pintakuivana. Eli saatiin tietää, paljonko huokokset asfalttipäällysteessä oli imenyt vettä. (SFS-EN 12697-6. 2004.)

Asfalttinäytteen tyhjätila-arvo on asfalttinäytteen huokosten tilavuus ilmoitettuna prosentteina näytteen kokonaistilavuudesta. Sen määrittämistä varten tarvitaan tietää massan teoreettinen tiheys, bitumipitoisuus, bitumin tiheys sekä kiviaineksen tiheys. Tyhjäntilan täyttöaste on sideaineen täyttämä tilavuusosuus kiviaineksen tyhjätilasta prosentteina. Sitä laskettaessa tarvitaan tietää päällysteen tiheys, sideaineen tiheys sekä sideaineen prosenttiosuus massan painosta. (SFS-EN 12697-8. 2004.)

TAULUKKO 4. Tilavuussuhteiden ohjeelliset arvot. (Asfalttinormit 2011. 2011, 82)

Asfalttityyppi	Täyttöaste VFB til.-%	Tyhjätila V til.-%	Kiviaineksen tyhjätila VMA til.-%
AB	75-93	1-4	13-17
SMA	75-93	2-5	16-20

Taulukossa 4 nähdään ohjeelliset arvot asfalttipäällysteiden tilavuussuhteille. Asfalttinormien määrittelemistä arvoista voidaan huomata, että AB- ja SMA-massoilla on hieman eri raja-arvot.

Kuvassa 4 on esitelty kaikki tilavuusarvot, jotka tutkittiin. Päällysteen sekä kiviaineksen tiheydet vastaavat normien säätämiä rajoja. Taulukossa 4 olevia arvoja verrattiin kuvassa 4 saatuihin arvoihin. Kaikki koekappaleet olivat ohjeellisten arvojen rajoissa niin tyhjätilan, täyttöasteen sekä kiviaineksen tyhjätilan vertailussa. Koetulokset olivat siis erinomaiset.

TYÖ:AB-16									
Näytteen numero	Sideaine pitoisuus (%)	Päällysteen tiheys (kg/m ³)	Kiviaineksen tiheys (kg/m ³)	Massan teoreettinen tiheys (kg/m ³)	Teoreettinen tyhjätila (V)	Kiviaineksen tyhjätila (VMA)	Kiviaineksen tyhjätilan täyttöaste (VFB)	Kappale-tiheys (kg/m ³)	
1	4,8	2436	2679	2485	1,97 %	13,44 %	85,30 %	2436	
2	4,8	2447	2679	2485	1,53 %	13,10 %	87,90 %	2447	
3	4,8	2439	2679	2485	1,85 %	13,33 %	86,10 %	2439	
4	4,8	2432	2679	2485	2,13 %	13,58 %	84,30 %	2432	
5	4,8	2432	2679	2485	2,13 %	13,58 %	84,30 %	2432	
6	4,8	2434	2679	2485	2,05 %	13,51 %	84,80 %	2434	
7	4,8	2433	2679	2485	2,09 %	13,54 %	84,60 %	2433	
8	4,8	2441	2679	2485	1,77 %	13,26 %	86,60 %	2441	
9	4,8	2436	2679	2485	1,97 %	13,44 %	85,30 %	2436	
10	4,8	2418	2679	2485	2,69 %	14,07 %	80,90 %	2418	
Vertailukoekappaleet									
AB1	4,8	2434	2685	2490	2,25 %	13,70 %	83,60 %	2434	
AB2	4,8	2441	2685	2490	1,97 %	13,50 %	85,10 %	2441	
AB3	4,8	2438	2685	2490	2,09 %	13,60 %	84,40 %	2438	
AB4	4,8	2443	2685	2490	1,89 %	13,40 %	85,80 %	2443	
TYÖ:SMA-16									
Näytteen numero	Sideaine pitoisuus (%)	Päällysteen tiheys (kg/m ³)	Kiviaineksen tiheys (kg/m ³)	Massan teoreettinen tiheys (kg/m ³)	Teoreettinen tyhjätila (V)	Kiviaineksen tyhjätila (VMA)	Kiviaineksen tyhjätilan täyttöaste (VFB)	Kappale-tiheys (kg/m ³)	
11	6,4	2358	2712	2452	3,83 %	18,62 %	79,50 %	2358	
12	6,4	2362	2712	2452	3,67 %	18,48 %	80,20 %	2362	
13	6,4	2369	2712	2452	3,38 %	18,24 %	81,50 %	2369	
14	6,4	2342	2712	2452	4,48 %	19,17 %	76,70 %	2342	
15	6,4	2365	2712	2452	3,55 %	18,38 %	80,70 %	2365	
16	6,4	2342	2712	2452	4,48 %	19,17 %	76,70 %	2342	
17	6,4	2359	2712	2452	3,79 %	18,58 %	79,70 %	2359	
18	6,4	2352	2712	2452	4,04 %	18,80 %	78,50 %	2352	
19	6,4	2351	2712	2452	4,12 %	18,86 %	78,20 %	2351	
20	6,4	2366	2712	2452	3,51 %	18,34 %	80,90 %	2366	
Vertailukoekappaleet									
SMA5	6,2	2345	2694	2445	4,10 %	18,40 %	77,50 %	2345	
SMA6	6,2	2344	2694	2445	4,13 %	18,40 %	77,40 %	2344	
SMA7	6,2	2349	2694	2445	3,93 %	18,20 %	78,50 %	2349	
SMA8	6,2	2344	2694	2445	4,13 %	18,40 %	77,40 %	2344	

KUVA 4. Tutkittujen koekappaleiden tilavuusarvoja

5.3 Jäykkyysmoduulin määrittäminen

Jäykkyysmoduuli määritettiin SFS-EN 12697-26 standardilla. Jäykkyysmoduuli kertoo päällysteen kantavuudesta sekä stabiliteetista. Tässä standardoidussa testissä kappaleesta mitattiin muodonmuutoksia.

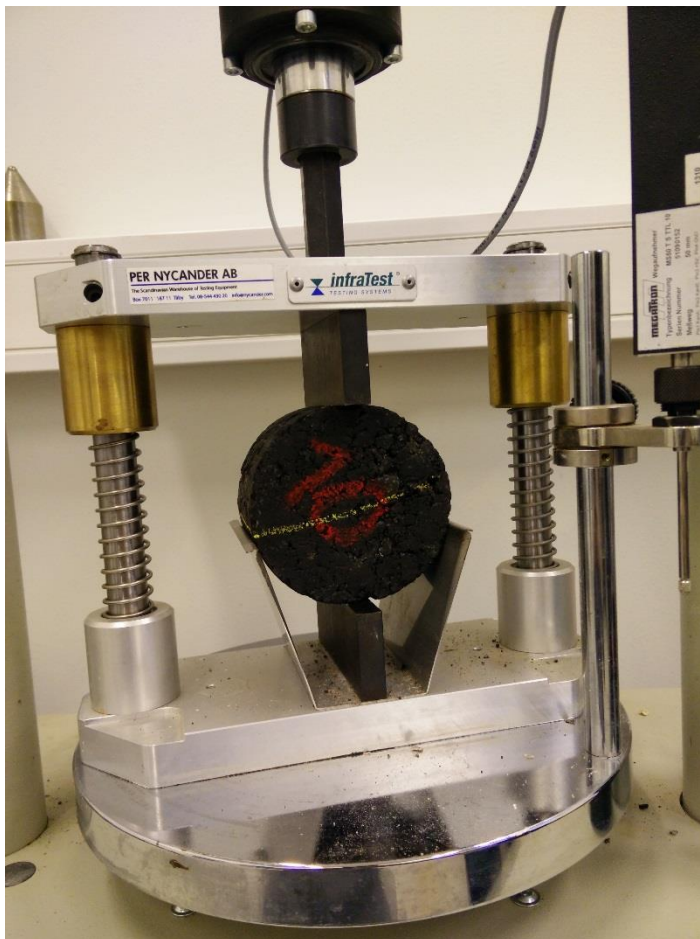
Kappaleet testattiin +10 °C ja +20 °C lämpötiloissa, johon ne saatiin lämpökaapissa temperoimalla. Koepalat laitettiin yksi kerrallaan kuvassa 5 olevaan kuormituskehikkoon, jossa niihin asennettiin mitta-anturit. Anturit säädettiin sopiviksi tietokoneen avulla. Kappaletta kuormitettiin ensiksi seitsemän kertaa testimuodossa, jolloin kone kalibroi pulssit sopiviksi 100kPa:n voimalla. Tämän jälkeen oli vuorossa varsinainen testi, jossa kone kuormitti koekappaletta kaksi kertaa 10 pulssin verran. Näiden kahden kerran välissä koekappaletta kierrettiin 90 °:a.



KUVA 5. Jäykkyysmoduulin kuormituskehikko

5.4 Halkaisuvetolujuuden määrittäminen

Halkaisuvetolujuus määriteltiin neljälle koekappaleelle standardin SFS-EN 12697-23 mukaisesti. Kaksi kappaletta AB-päällysteistä ja kaksi kappaletta SMA-päällysteistä koekappaletta puristettiin puristuslaitteessa kuvan 6 mukaisesti niin kauan, että saatiin tietää koekappaleiden murtolujuudet. Halkaisuvetolujuus on koekappaleelle puristuskokeessa määritelty maksimivetojännitys tietyssä lämmössä tietyllä puristusnopeudella. Se kertoo päällysteen sisäisen lujuuden. Mitä pienemmässä vetolujuudessa kappale murtui, sitä heikompi murtolujuus on. Kaikki koekappaleet temperoitiin +10 °C:n lämpötilaan, jossa ne testattiin.



KUVA 6. Koekappale puristuslaitteessa

Halkaisuvetolujuuskokeessa saadaan tulokseksi murtolujuus arvo, jonka avulla lasketaan kappalekohtainen halkaisuvetolujuus tilavuusarvoja hyödyntäen. Koe

on standardin SFS-EN 12697–23 mukainen menetelmä ja se lasketaan kaavan 5 mukaisesti. (SFS-EN 12697-23. 2004.)

$$\sigma = (2000 \cdot P_m) / (\pi \cdot D \cdot h)$$

KAAVA 5.

σ = Halkaisuvetolujuus (kPa)

P_m = Murtokuormitus (N)

D = Näytteen keskimääräinen halkaisija (mm)

h = Näytteen korkeus (mm)

5.5 Marshall-koe

Marshall-kokeen mukainen puristuslujuus (Stabilisuus, Marshall-lujuus) on puristuksen aikana mitattu maksimivoima korjattuna kappaleen paksuudesta tai tilavuudesta riippuvalla kertoimella. Marshall-kokeen mukainen kokoonpuristuma on koekappaleen läpimittojen erotus mitattuna puristuksen alkuhetkestä maksimivoiman saavuttamishetkeen. Koekappaleet temperoidaan vesihauteessa ($60 \pm 1^\circ\text{C}$) lämpötilassa noin 30 minuuttia. Koekappale otetaan vesihauteesta ja asetetaan välittömästi puristusleukojen väliin ja puristetaan vakionopeudella 50 mm/min. Seurataan puristusta vastustavaa voimaa, kunnes saavutetaan maksimiarvo ja lukema alkaa pienetä. Maksimiarvo kirjataan. Havaitaan kokoonpuristuman arvo sillä hetkellä, kun voimalla on maksimiarvo. Tämän jälkeen saatua maksimiarvoa lasketaan kaavan 6 ja standardin mukaisella kaavalla, josta saadaan Marshall-luku.

$P_m \cdot C$ = Marshall-luku

KAAVA 6.

$$C = 5,2 \cdot e^{-0,0258 \cdot h}$$

P_m = Murtokuorma (maksimiarvo)

5.6 Vedenkestävyys

Asfalttimassan vedenkestävyys on erityisesti vähäliikenteisten teiden päällysteiltä vaadittava, kestoikää mitoittava ominaisuus, koska vähäisen liikennemää-

rän vuoksi nämä päällysteet eivät yleensä vaurioidu ensisijaisesti nastarengaskulumisen tai päällysteen deformatiivisuuden vaikutuksesta. Asfalttipäällysteen vedenkestävyydessä on kyse kiviaineksen ja bitumin välisen tartunnan lujuudesta ja pysyvyydestä, joten siihen vaikuttavat sekä kiviaineksen että bitumin ominaisuudet. Jos vesi irrottaa kiviaineksen ja bitumin välisen tartunnan, päällyste rapautuu ja rapautunut kohta purkautuu. Vedenkestävyys vaikuttaa massan koossapysymisen lisäksi myös sen jäykkyyteen ja sitä kautta kaikkiin toimivuuksominaisuuksiin. (Alkio. 2008. 31.)

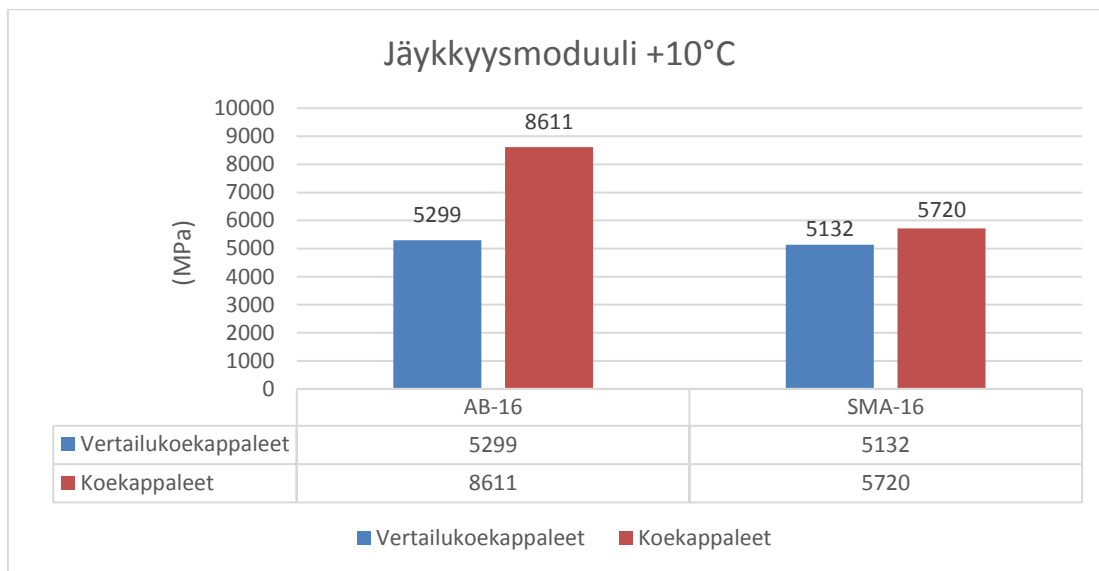
Joukko lieriömäisiä koekappaleita jaetaan kahteen yhtä suureen osajoukkoon ja ne käsitellään. Yksi osajoukko pidetään kuivana huoneenlämpötilassa ja toinen kyllästetään ja sitä säilytetään vedessä kohotetussa käsittelylämpötilassa 72 tuntia. Käsittelyn jälkeen molempien osajoukkojen halkaisuvetolujuus määritetään standardin EN 12697-23 mukaisesti määrittelyssä testauslämpötilassa. Vedellä käsiteltyjen näytteiden halkaisuvetolujuuden suhde kuivien näytteiden halkaisuvetolujuuteen määritetään ja ilmaistaan prosentteina. Vedenkestävyyden raja-arvona pidetään >70 %:a.

6 PÄÄLLYSTETUTKIMUSTULOKSET AB- JA SMA- PÄÄLLYSTEILLE

Päällystetutkimusten tulokset on ilmoitettu saatujen tuloksien keskiarvona. Saatut tulokset on ilmoitettu seuraavassa. Tarkemmat ja yksityiskohtaisemmat tulokset ovat liitteissä.

6.1 Jäykkyysmoduuli

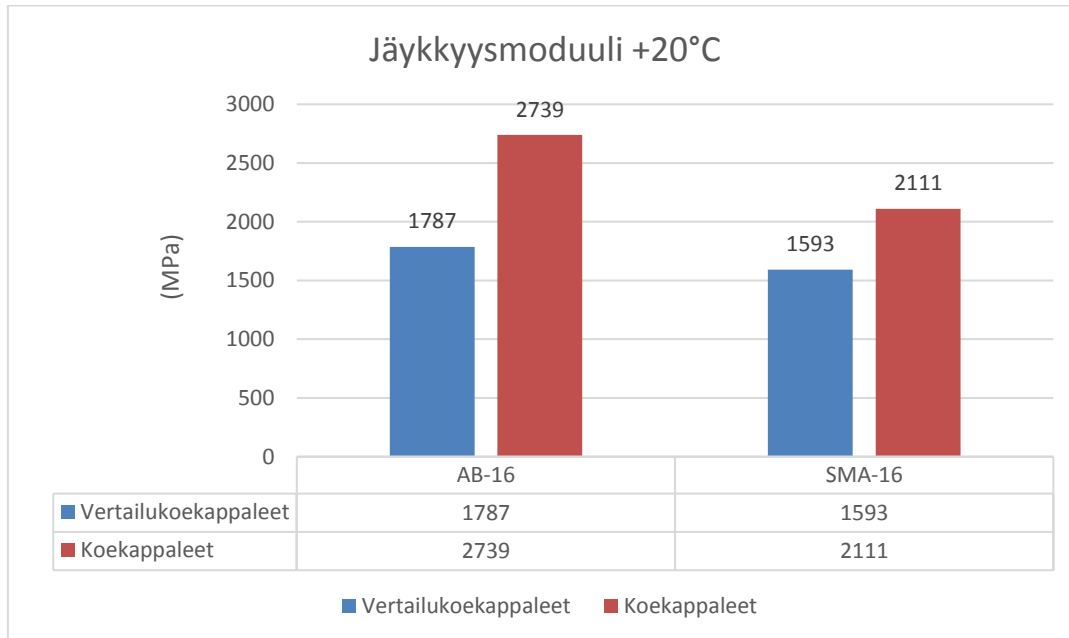
Jäykkyyskokeet tehtiin standardin SFS-EN 12697-26 mukaisella kokeella. Jäykkyysmoduulikokeet +10 °C:n lämpötilassa osoitti, että Keliberin fillerillä tehdyt koepalat antoivat paremmat jäykkyysominaisuudet kuin vertailukoekappaleet. Varsinkin asfalttibetonin tulokset olivat niin kovaa luokkaa, että koekappaleiden jäykkyys oli yli 3000Mpa parempia. Myös mastiksiasiastaltissa päästiin vertailukoekappaleiden ohi. Kuvassa 7 on osoitettu pylväsdiagrammin avulla kokeessa saadut tulokset. Diagrammissa näkyvät tulokset ovat kolmen koekappaleen jäykkyyden keskiarvo tulos.



KUVA 7. Jäykkyysmoduuliarvot +10 °C

+20 °C:n lämpötilassa tehdyt jäykkyysmoduulikokeet osoittivat samansuuntaisia tuloksia, kuin +10 °C:n lämpötilan tuloksetkin. Voidaan todeta, että AB-päällysten tulos oli huomattavasti parempi koekappaleilla kuin vertailukoekappaleilla.

Myös SMA-päälysteissä kvartsimaasälvällä tehdyt koekappaleet antoivat paremmat tulokset kuin vertailukoekappaleet. Kuvassa 8 on +20 °C:n lämpötilan jäykkyydet. Diagrammin tulokset ovat 3 koekappaleen keskiarvo tulos.

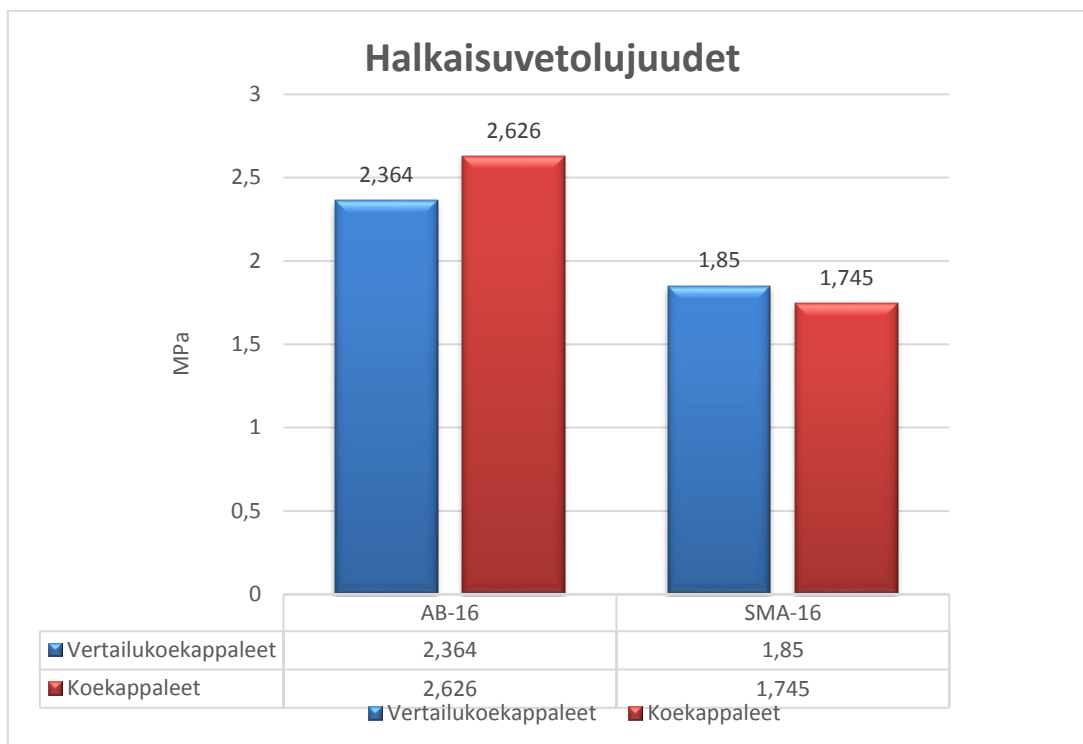


KUVA 8. Jäykkyyshmoduuliarvot +20 °C

Jäykkyyshmoduulikokeiden kaikki tulokset löytyvät liitteestä 3. Liitteessä on eritelty vertailukoekappaleet ja koekappaleet sekä eri lämpötilat.

6.2 Halkaisuvetolujuus

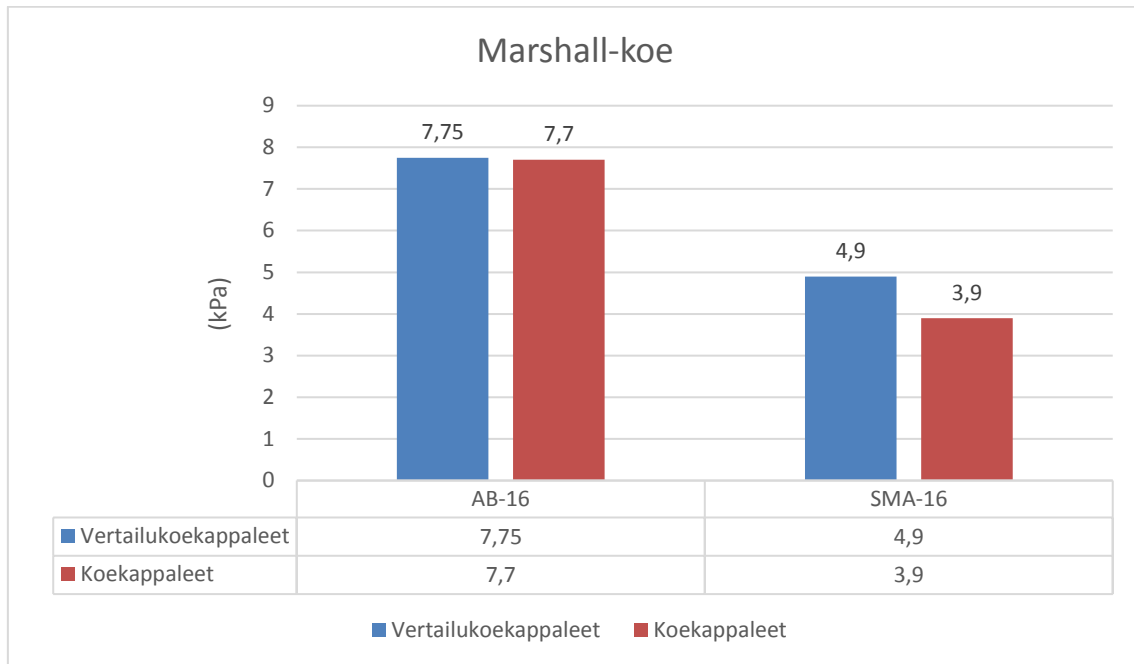
Halkaisuvetolujuuksia tarkasteltaessa tulokset olivat huomattavasti tasaisempia kuin jäykkyydessä. AB-päälysteissä koekappaleet antoivat hieman paremman lujuuden kuin vertailukoekappaleet. Kuitenkin keskiarvona laskettuna eroa tuli noin 300 kPa, mikä osoittaa sen, ettei kvartsimaasälpä ole lainkaan huonompaa täytejauhetta kuin kalkkifilleri. SMA-päälysteissä taas vertailukoekappaleiden lujuudet keskiarvona mitattuna olivat noin 100 kPa parempia. Kyseinen ero on kuitenkin niin pieni, ettei sillä ole konkreettista merkitystä. Kuvassa 9 on kuvattu pylväsdiagrammin avulla halkaisuvetolujuuden tulokset. Tarkemmat ja yksityiskohtaisemmat tulokset löytyvät liitteestä 4.



KUVA 9. Halkaisuvetolujuus arvot.

6.3 Marshall-koe

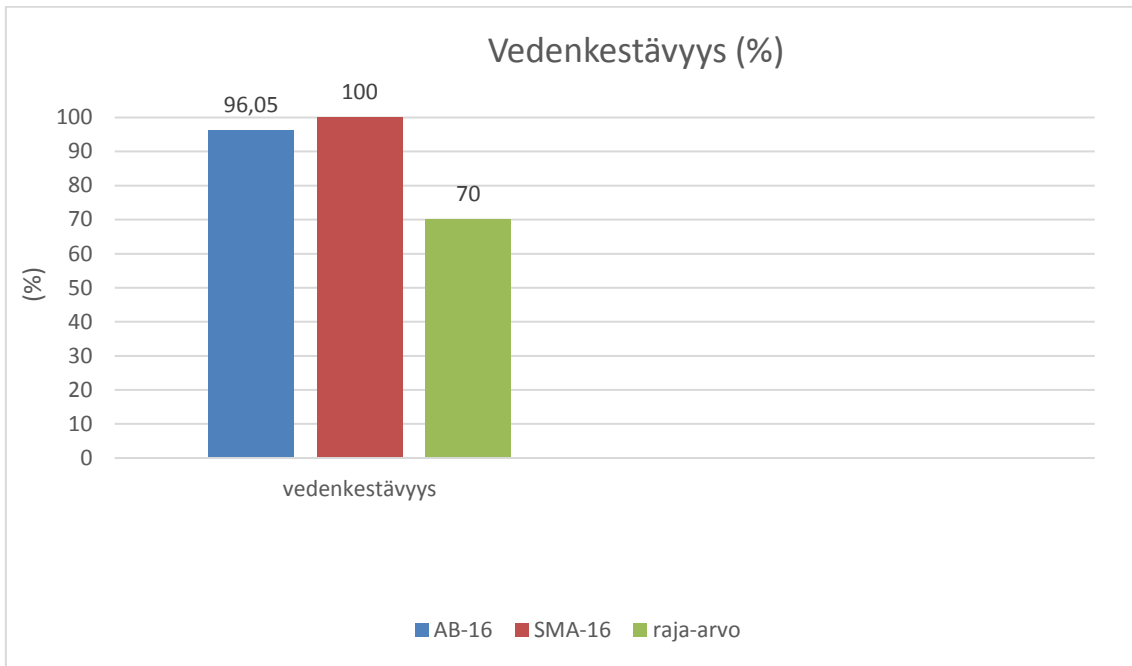
Marshall kokeesta saadut tulokset ovat hyvin samanlaiset kuin halkaisuvetolujuuskokeen tulokset. AB-päällysteessä Marshall-arvo on lähes sama vertailukoekappaleilla sekä koekappaleilla. SMA-päällysteissä koekappaleet antoivat hieman paremman arvon, mutta kuten halkaisuvetolujuudessa ero on niin pieni, ettei sillä ole juuri merkitystä. Voidaan siis todeta, että Marshall-koe antoi hyvän tuloksen kvartsimaasälvän ominaisuuksista. Kuvassa 10 esitetty Marshall-kokeen tulokset pylväsdiagrammin muodossa. Tarkemmat ja yksityiskohtaisemmat tulokset löytyvät liitteestä 5.



KUVA 10. Marshall-kokeen tulokset.

6.4 Vedenkestävyys

Asfalttinormit määrittävät asfalttimassoille vedenkestävyysvaatimuksen eli ITSR-tarttuvuusluvun. Asfalttinormien laatima raja-arvo on ≥ 70 %:a. Kuvassa 11 on esitetty pylvädiagrammin avulla tulokset, josta pystyy huomaamaan, että molemmat päällystemassat täyttävät Asfalttinormien vaatimusluokan. On huomattavaa, että SMA-päällyste sai paremmat arvot lujuuskokeessa vedelle alttiina kuin kuivana. AB-päällysteen tulokset ei ole juurikaan huonommat, sillä senkin ITSR-luku täytti normien määrittelemän rajan kevyesti. Kvartsimaasälpä ei siis ole altis täytejauhe vedenkestävyydelle. Päinvastoin, tulokset ovat erinomaisia.



KUVA 11. Vedenkestävyyskokeen tulokset.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli tutkia Keliber Oy:n malmituotannon sivukivenä tulevan kvartsimaasälpäresiduaalin soveltumista asfalttipäällysteiden täytejauheeksi. Kvartsimaasälpää verrattiin yleisimmin käytettyyn täytejauheseen kalkkifilleriin. Tutkimukset toteutettiin filleritutkimuksina sekä päällystetutkimuksina AB-16 ja SMA-16 asfalttimassoille. Tutkimuksista saadut tulokset osoittivat, että kvartsimaasälpä on hyvinkin sopivaa täytejauhetta asfalttipäällysteisiin ja joissakin testeissä kvartsimaasälpä sai paremmat arvot kuin kalkkifilleri.

Filleritutkimuksissa saatujen tulosten perusteella voidaan sanoa, että Keliberin toimittama filleri oli hieman liian suurirakeista. Hiekasta täytyi seuloa pois liian suuret kiteet ja lopulta massaresepteihin sopivaksi määräksi pystyttiin käyttämään vain 25-30 %:a seulotusta filleristä. Tästä pitää ottaa huomioon se seikka, onko halvempaa murskata kiviainesta hienommaksi vai seuloa liian suuret rakeet pois. Kvartsimaasälpä oli toimitettuna niin sanottua suodatinkuivaa hiekkaa, jonka kosteusprosentti oli 7 %:a. Normien laatima raja täytejauheissa on ≤ 1 %:a, joten fillerä käytettäessä se täytyy kuivata jollakin tavalla kuivemmaksi. Me teimme sen tutkimuksia ennen uunissa kuivaamalla.

Ominaispinta-alaksi tutkimuksissa saimme tulokseksi $0,29 \text{ m}^2/\text{g}$, mikä on liian pieni PANK:n antamiin raja-arvoihin, mitkä ovat $1-5 \text{ m}^2/\text{g}$ välillä. Tämä johtuu varmasti siitä, että ominaispinta-alaa tutkittaessa emme seuloneet kiviainesta lainkaan. Sen takia filleri jäi liian suurirakeiseksi.

Kvartsimaasälpä antoi jäykkyyskokeissa huomattavasti paremmat tulokset kuin kalkkifillerillä tehdyt vertailukoekappaleet. Jäykkyys antaa hyvin kuvaa siitä, kuinka täytejauhe pystyy sitomaan sideaineen itseensä ja näin tekemään päällysteestä stabiilia. Suuri jäykkyys saattaa heikentää kuitenkin päällysteen pakkasenkestävyyttä ja aiheuttaa päällysteen pakkaskatkoja. (Asfalttinormit 2011.2011, 90). Tätä ongelmaa on vaikea tutkia, joten kvartsimaasälvän soveltuminen pakkasenkestävyyteen selviää vasta valmistettuna tielle.

Halkaisuvetolujuuksissa sekä Marshall-kokeissa vertailukoekappaleiden ja koekappaleiden tulokset olivat hyvin tasavertaisia. Suurta eroa ei kummallakaan

päällystelaadulla tai eri lämpötiloissa ei tullut. Tästä voidaan päätellä, että kvartsimaasälpä on murtolujuuksiltaan yhtä hyvä täytejauhe kuin kalkkifilleri. Halkaisuvelolujuuksille ei määritellä erikseen missään normissa raja-arvoja, joten täytyy luottaa tuloksissa siihen, että saavutettiin lähes yhtä hyvät tulokset uudella fillerillä kuin kalkkifillerillä.

Vedenkestävyyskokeet todistivat sen, että kvartsimaasälvällä täytejauheena on hyvä vedenkestävyys. Näissä tutkimuksissa tulokset olivat molemmilla päällystelaaduilla erinomaiset. Vedenkestävyyden ITSR-arvo on ≥ 70 %:a. Tutkimuksissa selvisi, että SMA-päällysteellä vedenkestävyys arvo oli 100 %:a, eli koe-kappaleet kestivät murtokuormaa jopa paremmin vedelle altistuneena. AB-päällysteissä arvo oli noin 96 %:a, joten tässäkään päällystelaadussa ei ole vedenkestävyysongelmaa.

Lisätutkimuksissa kvartsimaasälpää voisi tulevaisuudessa kokeilla niin sanottua 50/50 massana. Päällystekokeet voisi tehdä semmoisella massalla, jossa on käytetty täytejauheena 50 %:a kalkkifilleriä ja 50 %:a kvartsimaasälpää. Ongelmaksi tässä muodostuu taloudelliset asiat. Onko taloudellisesti kannattavaa toimittaa kvartsimaasälpää asfalttilaitoksille, jos vain puolet täytejauheesta tulee kvartsimaasälvästä.

Taloudelliset asiat ovat tietysti muutenkin merkitykseltään iso asia, kun puhutaan tuotannollisesta tarveaineesta, jolla on hinta. Tutkimukset osoittivat, että kvartsimaasälpä on soveltuva kiviaines asfalttipäällysteen täytejauheeksi. Seuraava vaihe on selvittää, pystyykö kvartsimaasälpä kilpailemaan hintansa puolesta muiden täytejauheiden kanssa.

LÄHTEET

Alkio, Risto – Laaksonen, Rainer – Laukkanen, Kyösti. 2008. Päälysteen laadun testaus- ja mittausten menetelmien tarkkuus. Helsinki: Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 46/2008. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/4000644-vpaallysteen_laadun_testaus.pdf. Hakupäivä 13.03.2017.

Asfalttinormit 2011. 2011. Vantaa: Päälystealan neuvottelukunta PANK ry.

Kalkkifillerit. Nordkalk. Saatavissa: <http://www.nordkalk.fi/tuotteet/kalkkikivi-jauhe/nordkalk-kalkkifilleri/>. Hakupäivä 24.11.2016.

Lentotuhka. 2000. Tie- ja liikennetekniikka. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf1/3200611-lentotuhkafilleri_sma-paallysteessa.pdf. Hakupäivä 16.11.2016.

Lopputuotteet. 2017. Keliber Oy. Saatavissa: <http://keliber.fi/lopputuotteet>.

Perusasfaltit. 2008-2016. NCC. Saatavissa: <https://www.ncc.fi/tarjontamme/asfaltti-ja-kiviaines/asfaltin-palvelut-ja-tuotteet/perusasfaltit/>. Hakupäivä 16.11.2016.

Tuotetietoa. Nordkalk. Saatavissa: <http://www.nordkalk.fi/tuotteet/tuotetietoa/>. Hakupäivä 24.11.2016.

Tuotteet. Finnsementti. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/tuotteet/seosaineet-ja-silikajauheet/masuunikuonajauhe-kj400>. Hakupäivä 21.02.2016

SFS-EN 12697-6. 2004. Asfalttinäytteen kappaleitiheyden määrittäminen. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12697-8. 2004. Asfalttinäytteen tyhjätilan määrittäminen. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12697-12. 2009. Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 12: Asfalttinäytteen vedenkestävyyden määrittäminen. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12697-23. 2004. Asfalttinäytteen halkaisuvetolujuuden määrittäminen. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 933-1. 2006. Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 1. Rakeisuuden määrittäminen. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Tikkakoski, Henri 2016. KVARTSIN JA MAASÄLVÄN EROTUS VAAHDOTTA-MALLA. Opinnäytetyö. Kokkola: Centria-Ammattikorkeakoulu, Kemianteeniikan koulutusohjelma.

Tolppanen, Pasi 1998. Louhitun kiven käyttökohteet ja murskaus. Työraportti. Posiva Oy.

YVA-ohjelma. 2017. Kalaveden tuotantolaitoksen ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Keliber Oy.

LIITTEET

Liite 1/1, 1/2	AB- ja SMA-vertailumassan koostumus
Liite 2/1, 2/2	AB- ja SMA-massan koostumus
Liite 3	Jäykkyyssmoduuli
Liite 4	Halkaisuvetolujuus
Liite 5	Marshall-koee

OAMK / Rakentamistekniikan laboratorio

AB massan resepti

Työn nro:	ins.työ
Asfaltti:	AB16
Näyte yht.	1200,0 g
Bitumia	4,8 %
Bitumia	57,6 g
Filleriä	3,0 %
Filleriä	34,3 g

Marshall-kappaaleet

Hummastinvaara
B100/150

KF Saxo

Seula	Kiviaines + filleri			Kiviaines		Filleri		
	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi	yhteen lask	Seulalle jäi		Läpäisi
#mm	g	%	%	g	kiviaines	g	%	%
62	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
22,4	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
16	34,3	3,0	97,0	34,3	34,3	0,0	0,0	100,0
11,2	217,1	19,0	78,0	217,1	251,3	0,0	0,0	100,0
8	194,2	17,0	61,0	194,2	445,5	0,0	0,0	100,0
5,6	148,5	13,0	48,0	148,5	594,0	0,0	0,0	100,0
4	68,5	6,0	42,0	68,5	662,6	0,0	0,0	100,0
2	114,2	10,0	32,0	114,2	776,8	0,0	0,0	100,0
1	80,0	7,0	25,0	80,0	856,8	0,0	0,0	100,0
0,5	45,7	4,0	21,0	45,7	902,5	0,0	0,0	100,0
0,25	68,5	6,0	15,0	66,8	969,3	1,7	5,0	95,0
0,125	34,3	3,0	12,0	32,6	1001,9	1,7	5,0	90,0
0,063	41,1	3,6	8,4	39,4	1041,3	1,7	5,0	85,0
Pohja	96,0	8,4		66,8	1108,1	29,1	85,0	-
Yhteensä	1142,4			1108,1		34,3		

OAMK / Rakentamistekniikan laboratorio

SMA massan resepti

Työn nro:	Ins.työ
Asfaltti:	SMA16
Näyte yht.	1200,0 g
Bitumia	6,2 %
Bitumia	74,4 g
Kuitu	0,40 %
Kuitua	4,8 g
Filleriä	8,5 %
Filleriä	95,3 g

Marshall-kpl

Hummastinvaara

Nynas 100/150

Kuitu EKI 12

Kalkkifilleri

Seula #mm	Kiviaines + filleri			Kiviaines		Filleri		
	Seulalle jäi g	%	Läpäisi %	Seulalle jäi g	yhteen lask. kiviaines	Seulalle jäi g	%	Läpäisi %
63	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
25	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
20	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
16	90,0	8,0	92,0	90,0	90,0	0,0	0,0	100,0
11,2	484,0	43,0	49,0	484,0	574,1	0,0	0,0	100,0
8	180,1	16,0	33,0	180,1	754,2	0,0	0,0	100,0
5,6	90,0	8,0	25,0	90,0	844,2	0,0	0,0	100,0
4	22,5	2,0	23,0	22,5	866,7	0,0	0,0	100,0
2	33,8	3,0	20,0	33,8	900,5	0,0	0,0	100,0
1	22,5	2,0	18,0	22,5	923,0	0,0	0,0	100,0
0,5	22,5	2,0	16,0	22,5	945,5	0,0	0,0	100,0
0,25	22,5	2,0	14,0	17,7	963,3	4,8	5,0	95,0
0,125	22,5	2,0	12,0	17,7	981,0	4,8	5,0	90,0
0,063	21,4	1,9	10,1	16,6	997,6	4,8	5,0	85,0
Pohja	113,7	10,1	-	32,7	1030,3	81,0	85,0	-
Yhteensä	1125,6			1030,3		95,3		

OAMK / Rakentamistekniikan laboratorio

AB massan resepti

Työn nro:	ins.työ
Asfaltti:	AB16
Näyte yht.	1200,0 g
Bitumia	4,8 %
Bitumia	57,6 g
Filleriä	3,0 %
Filleriä	34,3 g

Marshall-kappaleet

Hummastinvaara
B100/150

Keliber

Seula	Kiviaines + filleri			Kiviaines		Filleri		
	Seulalle jäi	Läpäisi	Läpäisi	Seulalle jäi	yhteen lask.	Seulalle jäi	Läpäisi	Läpäisi
#mm	g	%	%	g	kiviaines	g	%	%
82	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
22,4	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
16	40,0	3,5	96,5	40,0	40,0	0,0	0,0	100,0
11,2	217,1	19,0	77,5	217,1	257,0	0,0	0,0	100,0
8	188,5	16,5	61,0	188,5	445,5	0,0	0,0	100,0
5,6	137,1	12,0	49,0	137,1	582,6	0,0	0,0	100,0
4	81,1	7,1	41,9	81,1	663,7	0,0	0,0	100,0
2	110,8	9,7	32,2	110,8	774,5	0,0	0,0	100,0
1	83,4	7,3	24,9	83,4	857,9	0,0	0,0	100,0
0,5	56,0	4,9	20,0	56,0	913,9	0,0	0,0	100,0
0,25	51,4	4,5	15,5	51,1	965,0	0,3	1,0	99,0
0,125	41,1	3,6	11,9	39,8	1004,8	1,3	3,9	95,1
0,063	43,4	3,8	8,1	37,1	1041,9	6,3	18,4	76,7
Pohja	92,5	8,1		66,2	1108,1	26,3	76,7	-
Yhteensä	1142,4			1108,1		34,3		

OAMK / Rakentamistekniikan laboratorio

SMA massan resepti

Työn nro:	Ins.työ
Asfaltti:	SMA16
Näyte yht.	1200,0 g
Bitumia	6,4 %
Bitumia	76,8 g
Kuitu	0,40 %
Kuitua	4,8 g
Filleriä	9,0 %
Filleriä	100,7 g

Marshall-kpl

Hummastinvaara

Nynas 100/150

Kuitu EKI 12

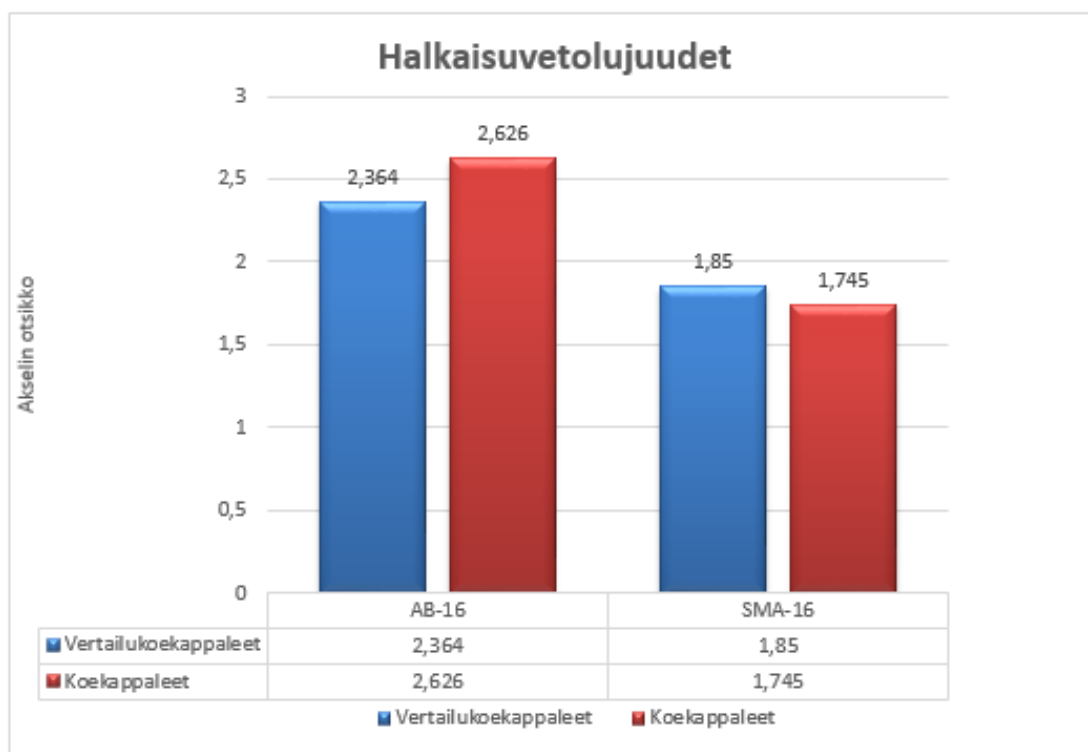
Keliber filleri

Seula	Kiviaines + filleri			Kiviaines		Filleri		
	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi	yhteen lask.	Seulalle jäi		Läpäisi
#mm	g	%	%	g	kiviaines	g	%	%
63	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
25	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
20	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
16	88,7	7,9	92,1	88,7	88,7	0,0	0,0	100,0
11,2	479,6	42,7	49,4	479,6	568,3	0,0	0,0	100,0
8	175,2	15,6	33,8	175,2	743,6	0,0	0,0	100,0
5,6	84,2	7,5	26,3	84,2	827,8	0,0	0,0	100,0
4	27,0	2,4	23,9	27,0	854,8	0,0	0,0	100,0
2	34,8	3,1	20,8	34,8	889,6	0,0	0,0	100,0
1	29,2	2,6	18,2	29,2	918,8	0,0	0,0	100,0
0,5	20,2	1,8	16,4	20,2	939,0	0,0	0,0	100,0
0,25	20,2	1,8	14,6	20,2	959,2	0,0	0,0	100,0
0,125	19,1	1,7	12,9	14,2	973,4	4,9	4,9	95,1
0,063	34,8	3,1	9,8	16,3	989,7	18,5	18,4	76,7
Pohja	110,1	9,8	-	32,9	1022,5	77,2	76,7	-
Yhteensä	1123,2			1022,5		100,7		

Näyte	Jäykkyyss moduuli +10°C (MPA) 1	Jäykkyyss moduuli +10°C (MPA) 2	Jäykkyyss moduuli +10°C (MPA) ka	
Vertailukoe kappaleet				
AB2	4677	4627	4652	ka
AB3	6600	5290	5945	5299
SMA6	5228	5513	5371	ka
SMA7	5005	4781	4893	5132
Koekappaleet				
AB9	7551	7197	7374	ka
AB10	10332	9369	9847	8611
SMA17	5645	5620	5633	ka
SMA18	6322	5290	5806	5720

Näyte	Jäykkyyss moduuli +20°C (MPA) 1	Jäykkyyss moduuli +20°C (MPA) 2	Jäykkyyss moduuli +20°C (MPA) ka	
Vertailukoe kappaleet				
AB2	1722	1903	1813	ka
AB3	1739	1780	1760	1787
SMA6	1537	1464	1501	ka
SMA7	1649	1720	1685	1593
Koekappaleet				
AB9	2367	2215	2291	ka
AB10	2978	3394	3186	2739
SMA17	2005	2070	2038	ka
SMA18	2416	1949	2183	2111

Näyte	Halkaisuveto lujuus +10°C (kPa)	Halkaisuvetolujuuksien keskiarvot (ka)
Vertailukoe kappaleet		
AB2	2,409	AB
AB3	2,318	2,364
SMA6	1,807	SMA
SMA7	1,893	1,85
Koekappaleet		
AB9	2,455	AB
AB10	2,797	2,626
SMA17	1,56	SMA
SMA18	1,929	1,745



Näyte	Marshall-arvo +60°C (kPa)	Marshall-arvojen keskiarvot (ka)
Vertailukoe kappaleet		
AB1	7,7	AB 7,75 kPa
AB4	7,8	
SMA5	4,9	SMA 4,9kPa
SMA8		
Koekappaleet		
AB7	7,79	AB 7,7 kPa
AB8	7,54	
SMA14	3,867	SMA 3,9 kPa
SMA15	3,982	

