



Henna-Mari Katajamäki

**ASFALTTIROUHEEN MÄÄRÄN VAIKUTUS AB16-PÄÄLLYSTEEN
OMINAISUUKSIIN**

**ASFALTTIROUHEEN MÄÄRÄN VAIKUTUS AB16-PÄÄLLYSTEEN
OMINAISUUKSIIN**

Henna-Mari Katajamäki
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, yhdyskuntatekniikka

Tekijä: Katajamäki Henna-Mari

Opinnäytetyön nimi: Asfalttirouheen määrän vaikutus AB16-päällysteen ominaisuuksiin

Työn ohjaaja: TkL Rauno Turunen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: 04/2013 Sivumäärä: 48 + 12 liitettä

Asfalttipäällysteen tärkeimmät materiaalit ovat kiviaines ja bitumi. Uusiutumatomina luonnonvaroina ne asettavat tarvetta vanhan asfaltin uudelleenkäytölle niin taloudellisista kuin ympäristösyistä. Isoimmaksi kysymykseksi käyttöosuuden kasvattamisen kannalta nousee päällysteiden laatu. Asfalttirouheen käytön seurauksia päällysteen laatuun ei kuitenkaan juuri ole tutkittu. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää asfalttirouheen määrän vaikutusta asfalttivanne toiminnallisiin ominaisuuksiin. Työn aihe tuli Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön rakennustekniikan laboratoriolta.

Tutkimuksen massatyypiksi valittiin asfalttibetoni AB16, josta valmistettiin koekappaleita erilaisilla asfalttirouheen %-osuuksilla. Koekappaleet valmistettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratoriossa, jonka jälkeen niitä testattiin eri menetelmin laboratorio-olosuhteissa. Testattuja ominaisuuksia olivat halkaisuvetolujuudet, vedenkestävyysominaisuudet, jäätymsulamiskestävyysominaisuudet ja jäykkyysmoduulit eri lämpötiloissa.

Tutkimuksista saadut testitulokset osoittavat, että koekappaleet muuttuivat sitä jäykemmiksi, mitä enemmän niissä oli käytetty asfalttirouhetta. Heikoimmat tulokset halkaisuvetolujuuden suhteen saavuttivat koekappaleet, joille tehtiin vedenkestävyydesti ja joiden asfalttirouheen määrä oli pienin. Mitä suurempi asfalttirouheen prosentuaalinen osuus oli, sitä korkeamman halkaisuvetolujuuden kappale saavutti. Tulokset osoittivat, että valmistetut massat vastasivat Asfalttinormit 2011 asettamia vedenkestävyysvaatimuksia sekä olivat jäätymsulamiskestävyydeltään hyviä.

Asiasanat:

AB16-asfaltti, asfalttipäällyste, asfalttirouhe, halkaisuvetolujuus, jäykkyysmoduuli, jäätymsulamiskestävyys, päällystetutkimus, tyhjättila, vedenkestävyys

ALKULAUSE

Asfalttirouheen käytön vaikutus päällysteen ominaisuuksiin oli mielenkiintoinen ja monipuolinen aihe tutkimukselle. Se tarjosi niin fyysistä työtä laboratorioolosuhteissa kuin kirjallista työtä erilaisten aineistojen parissa. Valmista tutkimusaineistoa aiheesta ei löytynyt, joten tutkimukselle oli selkeästi tarvetta. Valvovana opettajana Oulun seudun ammattikorkeakoulun puolesta toimi TKL Rauno Turunen.

Haluan kiittää avusta työn valmistumista auttaneita henkilöitä, joista erityisesti Oulun seudun ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratorioinsinööri Esa Perälää, joka auttoi ja opasti työn toteutuksessa.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	7
2 ASFALTTIJÄTE	9
2.1 Asfalttirouhe.....	10
2.2 Asfaltin jyrshintä.....	10
2.3 Asfalttirouheen ominaisuudet.....	13
2.4 Varastointi.....	14
3 ASFALTIN UUSIOKÄYTTÖ.....	17
3.1 Kierrätyksen edut.....	18
3.2 Käyttökohteet.....	19
4 PÄÄLLYSTETUTKIMUKSET	21
4.1 Tutkimussuunnitelma	21
4.2 Käytetyt tutkimus- ja työmenetelmät	22
4.2.1 Koekappaleiden valmistus.....	22
4.2.2 Tyhjätilan ja muiden tilavuussuhteiden määrittely	26
4.2.3 Jäykkyys.....	28
4.2.4 Asfalttipäällysteen vedenkestävyys	30
4.2.5 Asfalttipäällysteen jäätymis-sulamiskestävyys	31
4.2.6 Asfalttipäällysteen halkaisuvetolujuuden määrittäminen	34
5 TULOKSET	36
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTELMÄT	43
LÄHTEET	46
LIITTEET	48

LYHENTEET JA KÄSITTEET

AB	asfalttibetoni, asfalttityyppi, jonka rakeisuuskäyrä on jatkuva ja sideaineen tunkeuma alle 250 1/10 mm
AB16	asfaltti, jonka maksimi raekoko on 16 mm
Asfalttinormi	PANK ry:n hyväksymä asiakirja, joka esittää vaatimuksia asfalteille ja niiden raaka-aineille sekä ohjeita näiden täyttämiseksi
Asfalttirouhe	murskattua tai jyrsimyä asfalttia, jota voidaan käyttää asfalttimassan raaka-aineena
PANK-menetelmä	PANK ry:n hyväksymä näytteenotto-, näytteenkäsittely tai näytteenkoestusmenetelmä
Remix	päällystysmenetelmä, jossa uusiomassaa valmistetaan suoraan tien päällä jyrsimällä kuumennettu vanha päällyste ja lisäämällä sen joukkoon uutta asfalttimassaa
Remix+	päällystysmenetelmä, jossa päällyste levitetään kahden kerroksena kaksoisperällä varustetulla kalustolla, jossa uusiomassa jää alle ja lisämassa päälle
SFS-EN -standardi	Suomen Standardoimisliiton (SFS) vahvistama ja Eurooppalaisen standardoimisjärjestön (CEN) julkaisema yleisesti saatavilla oleva standardi
SMA	kivimastiksiasi-asfaltti, asfalttityyppi
Tunkeuma	sideaineen kovuutta kuvaava kokeellinen suure, joka määritetään yleensä 25 °C:n lämpötilassa, yksikkö 1/10 mm
VFA	tyhjätilan täyttöaste
VMA	kiviaineksen tyhjätilan täyttöaste

1 JOHDANTO

Tiestön ylläpidon, korjauksien ja rakennustöiden sekä huoltotöiden yhteydessä syntyy jyrshintöjen ja purkamisien seurauksena asfalttijätettä. Asfalttijätettä eli asfalttimursketta tai -rouhetta voidaan uusiokäyttää uuden asfaltin raaka-aineena. Ne ovat lähes riskittömiä ja teknisesti hyvin käyttökelpoisia materiaaleja. Asfaltin uusiokäytöllä voidaan säästää uusiutumattomia luonnonvaroja kuten kiviaineksia ja bitumia. Kestävän kehityksen kannalta on tärkeää, että luonnonvaroja säästettäisiin ja ainakin osa kiviaineksesta saataisiin asfalttirouheesta. (Lehtimäki 2012, 24; Mroueh ym. 2007, 37; Uusioasfaltti. 2012. 6.)

Parhaimmillaan asfalttirouhe tai -murske saadaan uusiopintaumenetelmiä käyttäen hyötykäyttöön kokonaan. Asfalttirouheen ominaisuudet riippuvat suoraan siinä käytetystä kiviaineksesta, sideaineesta ja iästä. Mitä laadukkaampaa asfalttirouheen runkokiviaines on, sitä laadukkaampaa päällystettä siitä saadaan aikaan. (ASKO asfalttialan koulutusohjelma 2009,126; Turunen 2012, 25.)

Vanhan asfaltin uusiokäyttöä tulisi pyrkiä kasvattamaan niin ympäristö kuin taloudellisista syistä. Isoimmaksi kysymykseksi käyttöosuuden kasvattamisen kannalta kuitenkin muodostuu päällysteen laatu. Asfalttirouheen lisäämisen voidaan arvioida lyhentävän päällysteen kestoikää 10 - 20 % verrattuna täysin uuteen päällysteeseen. Lyhentyneen käyttöiän voidaan kuitenkin katsoa kattavan hyvin asfalttirouheen käytöllä säästetyt rakennuskustannukset. (Turunen 2013, 25.)

Tämän opinnäytetyön tavoitteeksi asetettiin selvittää asfalttirouheen määrän vaikutus AB16-päällysteen ominaisuuksiin. Testattavia ominaisuuksia ovat halkaisuvetolujuudet, vedenkestävyysominaisuudet, jäätymis-sulamiskestävyysominaisuudet ja jäykkyysmoduulit eri lämpötiloissa. Kaikki testit tehdään SFS-EN-standardien tai PANK-menetelmien mukaisesti Oulun seudun ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratoriossa.

Jokaista testiä varten valmistetaan kolme koekappaletta erilaisilla asfalttirouheen prosentuaalisilla osuuksilla. Tutkimuksessa käytetyt asfalttirouheen prosentuaaliset osuudet ovat 0 %, 10 %, 30 % ja 50 %. Tässä työssä käytetään RC-merkintää erottamaan käytettävät massat toisistaan. Tutkimuksessa käytettävät asfalttimassat ovat vertailulaatta AB16RC0, AB16RC10, AB16RC30 ja AB16RC50.

Koekappaleet jaettiin kolmeen ryhmään siten, että jokainen ryhmä sisälsi 12 koekappaletta kolme koekappaletta kustakin massalaadusta. Vertailukappaleille suoritettiin jäykkyysmoduulit +10 sekä +20 asteessa. Toiselle 12 koekappaleen sarjalle suoritettiin jäätymis-sulamiskestävyystesti sekä kolmannelle koekappaleiden sarjalle tehtiin vedenkestävyystesti. Lopuksi kaikille tehtiin halkaisuvetolujuustesti. Tuloksia alysoitiin Asfalttinormit 2011 asettamien vaatimuksien pohjalta. Työn tilaaja on Oulun seudun ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratorio ja työ toteutettiin syksyn 2012 ja kevään 2013 aikana.

2 ASFALTTIJÄTE

Asfalttijätettä syntyy rakennus- ja huoltotöiden sekä tiestön ylläpidon ja korjausten yhteydessä. Pelkästään jo Pohjoismaissa tuotetaan vuosittain noin 23 miljoonaa tonnia asfalttia ja vanhaa asfalttia kerätään talteen vuosittain 4 - 5 miljoonaa tonnia. (Uusioasfaltti. 2012, 6.)

Päällysteen jrsinnässä syntyvän asfalttijätteen muoto vaihtelee päällystetyypin ja -lajin lisäksi käytetystä jrsintämuodosta (Lämsä 2005, 10). Mikäli vanhaa asfalttia ei kierrätetä suoraan työkohteessa, poistettu asfaltti kerätään talteen ja kuljetetaan lähimmälle asfalttiasemalla tai muulle tarkoituksenmukaiselle käsittelypaikalle. (Uusioasfaltti. 2012, 5).

Asfalttibetonia valmistavat asfalttiasemat voidaan jakaa kahteen pääryhmään: annosasemiin ja jatkuvatoimisiin asfalttiasemiin. Suomessa käytössä olevat asemat ovat annosasemia, koska käytettävät massamäärät ovat suhteellisen pieniä. Käyttötarkoitus jakaa asfalttiasemat vielä kiinteisiin ja siirrettäviin asemiin. Perinteisessä asfalttiasemassa kiviaines syötetään suhteituksen mukaisissa määrissä rumpuun, jossa se kuivataan ja kuumennetaan vaadittavaan lämpötilaan. Kuiva ja kuuma kiviaines välivarastoidaan silloihin, joista se siirretään sekoittimeen, jossa siihen lisätään sideaine. Sekoittimesta valmis massa siirretään suoraan joko auton lavalle tai varastoidaan kuumasiilosäiliöihin. (ASKO asfalttialan koulutusohjelma 2009, 40–41.)

Asfalttibetoni eli AB-päällyste on teillä ja kaduilla eniten käytetty asfalttityyppi. Asfalttirouhetta sisältävää asfalttibetonia käytetään samalla tavalla kuin normaalia asfalttibetonia. Asfalttiasemilla valmistettua asfalttirouhetta sisältävää päällystettä käytetään pääsääntöisesti suurten taajamien päällystyskohteissa. Jopa 100 %:n kierrätysaste voidaan saavuttaa pelkästään lisäämällä sopivaa pehmeää bitumia tai elvytintä asfalttirouheeseen. (Höynälä – Mäkelä 2000, 39.)

2.1 Asfalttirouhe

Asfalttirouhe on murskattua tai jyrsettä vanhaa asfalttipäällystettä, jota voidaan uusiokäyttää uuden asfaltin raaka-aineena, sitomattomana tai puolisiidottuna rouheena tie- ja pohjarakentamisen materiaalina (Lehtimäki 2012, 2; Uusioasfaltti. 2012, 5–6). Asfalttirouheet ja -murskeet ovat lähes riskittömiä ympäristölle ja teknisesti hyvin käyttökelpoisia materiaaleja. Yleisesti asfalttirouheet ovat hyvin tasalaatuisia eivätkä sisällä siihen kuulumattomia materiaaleja, joten niitä on helppo uusiokäyttää sellaisenaan. (Lämsä 2005, 10.)

Asfalttinormeissa on asfalttirouheelle kuitenkin määritetty puhtausvaatimus. Asfalttirouheen tulee olla standardin SFS-EN 13108–8 mukaista, ja sen on täytettävä epäpuhtausluokan (SFS-EN 12697–42) F1 vaatimukset. Asfalttirouhe saa sisältää korkeintaan 1 % epäpuhtauksia, kuten betonia, tiiltä ja metallia, tai korkeintaan 0,1 % muita epäpuhtauksia, kuten puuta tai muovia. SMA-massoissa ei saa käyttää asfalttirouhetta. SMA-massan Asfalttinormeissa esitettyä ohjealuetta ja ohjeseulojen läpäisyprosentteja tarkasteltaessa voidaan todeta, että se olisikin hyvin haastavaa. (Asfalttinormit 2011. 2011, 39; Lehtimäki 2012, 24.)

Asfalttirouheet voidaan kierrättää suoraan tien päällä Remix-menetelmällä tai asemasekoitteen massan raaka-aineena. Jyrsettä asfalttirouheessa raekoko on valmiiksi niin pientä, että kierrättäminen ei edellytä murskaamista. Asfalttimursketta eli niin sanottuja kameja syntyy, kun päällysteiden purkaminen suoritetaan kaivinkoneella tai vastaavalla työvälineellä, jolloin purkujätteenä syntyy laattamaisia asfaltinkappaleita, joiden uusiokäyttö edellyttää murskaustoimenpiteitä. (Lämsä 2005, 10.) Asfalttiasemalla vanha asfaltti murskataan ja rouhe käytetään uuden asfalttimassan valmistukseen (Uusioasfaltti. 2012, 5).

2.2 Asfaltin jyrsettä

Asfaltin kylmäjyrsettällä tarkoitetaan alustan tasaustoimenpidettä, jolla päällysteestä poistetaan halutunpaksuinen kerros tai vanha päällystekerros muokataan

oikeaan muotoon ennen uutta päällystekerrosta. Jyrsinnän avulla tiestä voidaan poistaa uria ilman, että koko päällystekerrosta tarvitsee poistaa. Jyrsinnän tuotteenä saatava rouhe on 100 %:isesti uudelleen käytettävää. Jyrsittyä asfalttirouhetta voidaan käyttää asfalttiasemalla uuden asfalttimassan valmistuksessa. (ASKO asfalttialan koulutusohjelma 2009, 69; NCC 2013, linkit Infrapalvelut, -> Asfaltti, -> Asfaltointipalvelut, -> Asfaltin jyrsintä.)

Kylmäjyrsintämenetelmiä on useita. Kylmäjyrsintä voidaan tehdä koko päällystettävälle alueelle tai vain osalle päällystettä. Sitä voidaan pitää myös osittain kuluneen päällysteen hoitotoimenpiteenä, jonka avulla varsinaista uudelleen päällystämistä voidaan siirtää parilla vuodella. (ASKO asfalttialan koulutusohjelma 2009, 69.)

Tasaus- ja hienojyrsinnällä urautunut päällyste poistetaan jyrsimällä päällysteurien pohjaan asti. Hienojyrsinnän jälkeen tien pinta on niin tasainen, että sillä voidaan liikennöidä. Tasausjyrsinnän jälkeen jyrsintäjäljen ei tarvitse ylittää täyttämään hienojyrsinnälle asetettuja vaatimuksia, koska alusta päällystetään jyrsinnän jälkeen.

Laatikkojyrsinnässä päällysteen alusta tasataan jyrsimällä ajokaistalle laatikkohon uusi päällyste levitetään. Reunajyrsinnän tarkoitus on lisätä suoriksi kuluneiden tieosuuksien sivukaltevuutta. Jyrsiminen tapahtuu keskiuran ja tien reunaviivan väliseltä alueelta. Jyrsinnän jälkeen alusta päällystetään massapintauksen tapaan. (NCC 2013, linkit Infrapalvelut, -> Asfaltti, -> Asfaltointipalvelut, -> Asfaltin jyrsintä.)

Kuumajyrsimällä vanhasta päällysteestä saatu asfalttirouhe uudelleenkäytetään suoraan paikan päällä. Tehokkainta paikalla kierrättäminen on silloin, kun toimitaan suurilla ja yhtenäisillä tienpäällystystyömailla. (Uusioasfaltti. 2012, 9.)

Remix-menetelmässä eli REM-menetelmässä vanha vaurioitunut päällyste kuumennetaan tiellä kulkevilla kuumentimilla sekoituslämpötilaan, jyrsitään irti, sekoitetaan uuteen asfalttimassaan paikan päällä ja levitetään takaisin tielle. Jyrsittyyn massaan voidaan tarvittaessa lisätä elvytintä, joka on useimmiten

sideainetta. Uutta asfalttimassaa tarvitaan vain sen verran, kun tie on kulunut, yleensä noin 15–25 kg/m³. Remix-menetelmä soveltuu teille, joiden kantavuus on hyvä ja joilla on vähintään kaksi päällystekerrosta. Päällyste voidaan kunnostaa remix-menetelmällä ainakin kaksi kertaa peräkkäin. Remix-menetelmien käyttö soveltuu erityisesti maanteille niiden vaatiman kaluston määrän ja laadun vuoksi. (ASKO asfalttialan koulutusohjelma 2009,126–127; Turunen 2012, 24; NCC 2013, linkit Infrapalvelut, -> Asfaltti, -> Asfaltointipalvelut, -> Remix.)

Paikallasekoitusmenetelmiä käyttäen uutta kierrätysmateriaalia sisältävää asfalttipintaa saadaan valmistettua tehokkaasti, nopeasti ja taloudellisesti suoraan käyttökohteessa. Se on nopea menetelmä, joka ei korota päällysteen pintaa. Ajokaistaa voidaan käsitellä koko leveydeltä tai vain osin. Menetelmä säästää uusiutumattomia luonnonvaroja huomattavasti tavanomaiseen massapintaukseen verrattuna. Tällä tavoin toimiessa myös logistiikkakustannuksissa säästetään huomattavasti. (Uusioasfaltti. 2012, 9; NCC 2013, linkit Infrapalvelut, -> Asfaltti, -> Asfaltointipalvelut, -> Remix.)

Turvallisuusasiat sekä remix-kaluston vaatima pitkä työskentelyalue rajoittavat menetelmän käyttöä taajamissa. Esilämmittimien käyttö mahdollistaa työskentelyn kylmemmillä ilmoilla ja jopa pienellä sateella. Remix-päällystettä koskevat samat laatuvaatimukset kuin perinteistä massapintausta. (ASKO asfalttialan koulutusohjelma 2009, 126–127.)

Remix+-pintauksessa eli REM+-pintauksessa päällyste levitetään kahtena kerroksena. Vanhan päällysteen työstö tapahtuu samoin kuin Remix-menetelmässä. Päällyste tehdään kaksoisperällä varustetulla kalustolla, jossa uusiomassa jää alle ja lisämassa tulee päälle. Lisämassana käytetään yleensä mahdollisimman hyvälaatuisesta kiviaineksesta valmistettua asfalttimassaa. (ASKO asfalttialan koulutusohjelma 2009, 126–127.)

Turusen mukaan asfalttirouheen käytössä paikalla- ja asemasekoitusmenetelmät edustavat tällä hetkellä vuotuisella tasolla yhtä suurta käyttömäärän osuutta, joka on noin 10–20 % valmistetuista määristä. Jos alemmissa rakenne-

kerroksissa sitomattomina ja stabilointimassoissa käytettävät asfaltit lasketaan mukaan, kokonaisuudessa kierrätysosuus voi Suomessa nousta yli 20 %:n. (Turunen 2012, 25.)

Parhaimmillaan vanha asfalttipäällyste saadaan uusiopintausmenetelmillä hyötykäyttöön kokonaan. Uusiopintauksen ansiosta päällyste kestää jopa useita vuosia ja näin voidaan välttyä isoilta, raskailta ja kalliilta korjauksilta. (ASKO asfalttialan koulutusohjelma 2009,126–127.)

Suomessa asfalttirouhetta syntyy asfalttiasemille varastoitavaksi ja uudelleen käytettäväksi vuosittain arviolta noin 250 000 - 300 000 tonnia. Tien päällä vanhaa asfalttia tiestön uudelleen päällystämiseksi käytetään vuosittain yhteensä noin 600 000 tonnia. (Höynälä – Mäkelä 2000 38.) Kun huomioon otetaan asfalttirouheen kaikki muutkin käyttökohteet, voidaan arvioida käyttömäärän nousun noin 1 000 000 tonniin vuodessa.

2.3 Asfalttirouheen ominaisuudet

Asfalttirouhetta voidaan materiaaleina verrata luonnonkiviainekseen. Etuna on vedenherkkyyden pieneneminen hienoaineksen ollessa sitoutuneena bitumiin. Bitumi onkin arvokkain uudelleenkäytettävä raaka-aine asfalttimassan valmistuksessa. (Mroueh – Nousiainen – Valkeisenmäki 2007, 14; Turunen 2012, 25.) Pääasiassa asfalttirouheet sisältävät kiviainesta yli 90 paino-% sekä bitumia noin 2 - 6 paino-%. Tyypillisesti asfalttirouheen irtotiheys on 1500 - 1600 kg/m³ (Höynälä – Mäkelä 2000, 39.)

Asfalttirouheen ominaisuudet riippuvat vanhan päällysteen kiviaineksesta, sideaineen laadusta ja määrästä sekä päällysteen iästä. Asfalttirouheen ominaisuudet on aina tutkittava ennen sen uudelleenkäyttöä, sillä sen ominaisuuksilla on erittäin suuri merkitys uusioasfaltin laatuun. Uusioasfaltissa käytettäville rouheille on asetettu laatuvaatimuksia, jotka perustuvat standardiin SFS-EN 12697–42. Asfalttirouheesta on aina tutkittava raekokojakauma ja sideainepitoisuus. Jos asfalttirouheen osuus uusioasfaltissa ylittää yli 10 %, on myös ilmoi-

tettava sideaineen tyyppi ja kovuus. (Asfalttinormit 2011.2011; Lehtimäki 2012, 23.)

Asfalttijäte on ympäristölle ja terveydelle riskitön materiaali. Asfaltti kuitenkin muuttuu jätelainsäädännön alaiseksi materiaaliksi, kun se poistetaan käytöstä ja siirretään esimerkiksi välivarastoon. (Mroueh ym. 2007, 37.) Asfalttirouhetta voidaan säilyttää ulkona varastokasoissa ilman, että materiaali aiheuttaa haittaa ympäristölle. Asfaltin sisältämää bitumia pidetään yleisesti kemiallisesti reagoimattomana aineena. Bitumi ei haihdu eikä hajoa tai muutu luonnossa. Bitumi ei liukene veteen, eikä siitä liukene ainesosia veteen. Ainoastaan hiilivetyjä sisältävät liuottimet, kuten lakkabensiini, bensiini ja öljyt, liuottavat bitumia. (Höynälä – Mäkelä 2000, 39.)

Yleensä asfaltissa ei esiinny haitta-aineita. Niitä voi kuitenkin olla, mikäli sen valmistukseen on käytetty muuta kuin luonnonkiviainesta ja bitumia tai jos asfaltti on ollut paikassa, johon on voinut imeytyä haitallisia aineita. Puhtaasta asfaltista ei liukene ympäristöön haitallisia aineita, siksi se soveltuu uusiokäyttöön myös pohjavesialueilla. (Mroueh ym. 2007, 37.)

2.4 Varastointi

Asfalttiteollisuudella ja useimmilla asfalttiasemilla on kaikki edellytykset varastoida ja käsitellä vanhaa asfalttia. Lähes kaikki vanha asfaltti on kierrätyskelpoista. Poikkeuksena ovat saastuneet asfalttipäällysteet sekä vanhat terva-asfaltit, jotka on kuljetettava jätteiden vastaanottoalueelle ja käsiteltävä niille tarkoitettuun menetelmän. (Uusioasfaltti. 2012, 15.)

Huolellinen varastoinnin suunnittelu ja eri asfalttilaatujen lajittelu on materiaalin tulevan käytön kannalta erittäin tärkeää. Eri asfalttilaadut eivät saa sekoittua. Oikeanlainen lajittelu varmistaa oikeanlaisten raaka-aineiden päätyksen oikeanlaisiin lopputuotteisiin. Perusedellytyksenä järkevälle kierrätykselle kuitenkin voidaan pitää lyhyitä varastointi- sekä kuljetusmatkoja. (Lämsä 2005, 5.)

Käytöstä poistettua asfalttia on sallittua varastoida kolmen vuoden ajan. Vanhan asfaltin uudelleenkäytön on tapahduttava määräajan sisällä. Myös vanhojen päällysteiden purkaminen kaatopaikalle, varastoiminen ja hyötykäyttö kuuluvat ympäristölainsäädännön piiriin. (Lämsä 2005, 16; Uusioasfaltti. 2012, 15.) Kuvassa 1 on lajiteltua asfalttijätettä Lemminkäinen Oy:n varastointialueella.



KUVA 1. Asfalttijätteen lajittelua Ruskossa Lemminkäinen Oy:n toimesta

Vanhan asfaltin varastoiminen edellyttää kirjanpitoa alueelle saapuneista sekä sieltä poistetuista massoista. Kirjanpito on ilmoitettava vuosittain ympäristökeskukseen. (846/2012. 2012.; Lämsä 2005, 25.)

Asfalttijätteen hyötykäyttöä koskeva yksityiskohtainen lainsäädäntö on saatavilla *Valtion säädöstietopankista*. Säännösten muodostavat:

- Ympäristönsuojelulaki 86/2000 ja -asetus 169/2000 sekä -asetus 846/2012
- Jätelaki 1072/1993 ja -asetus 1390/1993
- Jäteverolaki 495/1996
- Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 1049/1999. (846/2012. 2012.; Lämsä 2005, 18.)

Ympäristöministeriö jätti keväällä 2012 ehdotuksen valtioneuvoston asetukseksi asfalttiasemien ympäristösuojeluvaatimuksien muuttamiseksi. Muutos astui voimaan 1 päivänä tammikuuta 2013. Uuden asetuksen myötä asfalttiasemat toimivat lähtökohtaisesti rekisteröinti-ilmoituksella, jos toimintaan ei ympäristönsuojelulain 30 §:ssä mainitusta erityisestä syystä tarvita ympäristölupaa. (846/2012. 2012.) Tämä uusi asetus asettaa asfalttijätettä raaka-aineena käytävät asfalttiasemat samanarvoiseen asemaan uusista raaka-aineista asfalttia valmistavien asemien kanssa sekä rohkaisee urakoitsijoita asfalttirouheen käyttöön.

3 ASFALTIN UUSIOKÄYTTÖ

Asfaltin uusiokäytön tekniset ohjeet ja vaatimukset esitetään Asfalttinormeissa. Asfalttinormeissa esitetyt määräykset perustuvat eurooppalaisiin SFS-EN-standardeihin. Turusen mukaan nämä asiakirjat mahdollistaisivat uusiokäytön lisäämisen nykyisestään siten, että asfalttirouheen käyttö asfalttimassan valmistuksessa ei vaadi nykyään erillistä ilmoitusta. Myös asfalttirouheen käytön sallittuja enimmäismääriä on nostettu. (Turunen 2012, 24.)

Asfalttirouheen käyttöosuutta tulisi kasvattaa sekä taloudellisista että ympäristösyistä. Isoimmaksi kysymykseksi käyttöosuuden kasvattamisen kannalta nousee kuitenkin päällysteiden laatu. Päällystemassa menettää kestävyysominaisuuksia, kun samaa massaa kuumennetaan uudelleen ja uudelleen. Kestoiän voidaan arvioida lyhenevän 10 - 20 % verrattuna täysin uuteen asfalttipäällysteeseen. Säästyneiden rakennuskustannusten voidaan kuitenkin katsoa kattavan hyvin lyhentyneen käyttöiän, mikäli päällyste pysyy kunnossa suunnitellun kestoiän. (Turunen 2012, 25.)

Asfalttimassan tärkeimmät elementit ovat kiviaineksen rakeisuus ja massan sideainepitoisuus. Uusioasfalttia valmistaessa käytettävän asfalttirouheen on vastattava lopputulokselle asetettuja vaatimuksia. (Asfalttinormit 2011. 2011, 39.) Jos työkohteessa käytettävän asfalttimassan kiviainekselle on asetettu korkea vaatimus nastarengaskulutuskestävyydelle, myös uusiomassassa käytettävän asfalttirouheen sisältämän kiviaineksen on täytettävä sama vaatimus. Näin varmistetaan uusiomassan kiviaineksen tasalaatuisuus ja kestävyys. (Lehtimäki 2012, 24.) Myöskään asfalttirouheen kiviaineksen ylempi raekoko ei saa ylittää valmistettavan massan ylempää kiviaineksen raekokoa (Asfalttinormit 2011.2011, 39).

Laatuun vaikuttavat käytetyt raaka-aineet. Mitä parempi alkuperäinen päällyste on, sitä paremmin se kestää uudelleen käsittelystä aiheutuvia rasituksia (Turunen 2012, 25). Asfalttirouheen ominaisuudet riippuvat vanhan päällysteen asfalttityypistä, siinä käytetystä sideaineesta, sen määrästä sekä päällysteen

iästä. Asfalttirouheen ominaisuudet on tutkittava ennen sen käyttöä uusiopäällysteiden raaka-aineena, sillä asfalttirouheen ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus uusiopäällysteen laatuun. Uusiomassassa käytettävälle asfalttirouheelle on asetettu laatuvaatimuksia, jotka perustuvat standardiin SFS-EN 12697-42. Asfalttinormien mukaan asfalttirouheesta on aina tutkittava raekokojakauma ja sideainepitoisuus. Jos asfalttirouheen osuus uusiomassasta on yli 10 %, asfalttirouheesta tulee lisäksi ilmoittaa kiviaineksen maksimirakoko sekä sideaineen tyyppi ja kovuus. Sideaineen kovuus voidaan ilmoittaa tunkeuman, pehmenemispisteen tai viskositeetin avulla. (Asfalttinormit 2011. 2011, 39; Lehtimäki 2012, 23.)

3.1 Kierrätyksen edut

Asfaltin uusiokäytöllä voidaan säästää uusiutumattomia luonnonvaroja kuten kiviaineksia ja bitumia. Kestävän kehityksen kannalta on tärkeää, että soraharjuja ja kallioesiintymiä säästettäisiin ja ainakin osa kiviaineksesta saataisiin asfalttirouheesta. Kivivarojen ehtyessä kuljetusmatkat pitenevät ja kustannukset ja päästöt kasvavat. Järkevän uusiokäytön edellytys onkin, ettei asfalttirouhetta tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja, vaan kierrätys tapahtuisi mahdollisimman lähellä. (Lämsä 2005, 19; Wastimo 1995, 120.)

Uudelleen käytetty kiviaines säästää aina uusia kiviaineksia. Kestävimpiin päällysteisiin tarvitaan vedenkestävyydeltään ja mekaanisilta ominaisuuksiltaan korkealuokkaisia kiviaineksia, joiden saatavuus muuttuu koko ajan haasteellisemmaksi. (Turunen 2012, 24.) Lisäksi uusiokäyttöä lisäämällä vähennetään käyttökelpoisen materiaalin kerääntymistä kaatopaikoille (Lämsä 2005, 16).

Turusen mukaan arvokkain uudelleen käytettävä raaka-aine on bitumi (Turunen 2012, 25). Vanhojen päällysteiden sisältämistä bitumeista saadaan uusiokäytössä suoraa taloudellista hyötyä, kun uuden bitumin menekki pienenee (Lämsä 2005, 18).

Bitumi on maaöljystä tislattua tai luonnonasfaltista saatua lähes mustaa, huoneenlämmössä jähmeää tai puolijähmeää, tolueeniin liukenevaa, hiilivetyjä

sisältävää ainetta. Bitumit luokitellaan tunkeuman mukaan, jolloin lajimerkinnän ilmoittaa tunkema-alueen ala- ja yläraja tai ne luokitellaan viskositeetin mukaan, jolloin lajimerkinnän ilmaisee V-kirjain. (Asfalttinormit 2011, 29.) Maailman öljyvarannot ovat rajalliset ja siksi säästäminen on välttämätöntä. Uusioasfaltti onkin maaöljyn ja bitumin jatkuvalla kasvavalle käytölle järkevämpi vaihtoehto. (Wastimo 1995, 120.)

Koska uusioasfalttia koskee tiukat asfalttialan normit ja laatuvaatimukset voidaan kierrätysasfalttia sisältävää uusioasfalttia pitää aivan yhtä korkealuokkaisena, puhtaana ja kestäväenä kuin täysin uutta asfalttia (Uusioasfaltti. 2012, 11).

3.2 Käyttökohteet

Pääasiassa asfalttirouheen käyttökohte on uusi päällyste. Mitä laadukkaampaa käytettävä asfalttirouhe on, sitä vähemmän lisänä joudutaan käyttämään uutta materiaalia. (Lämsä 2005, 18.) Nykyään Asfalttinormit sallivat asfalttibetonimassoihin lisättävän asfalttirouhetta ilman, että se on merkittävä RC-massaksi. Asfalttirouheen lisäys tulee kuitenkin tehdä normien mukaisesti ja asfalttivanan tyyppitestausraportissa on käytävä ilmi rouhemäärä. Asfalttirouheen enimmäismäärät ovat 50 % kulutuskerroksissa ja muissa sidotuissa rakennekerroksissa 70 %. Suurempien asfalttirouhemäärien käyttö voidaan sallia tapauskohtaisesti tilaajaan määrittelemissä kohteissa. (Asfalttinormit 2011. 2011, 39; Höynälä – Mäkelä 2000, 39).

Asfalttirouhetta voidaan käyttää myös kiviaineksen sijasta esimerkiksi väliaikaisena pinnoitteena piha- ja parkkialueilla, varastointikentillä, reunatyönteinä ja työmaateillä. Asfalttirouhetta pystytään käyttämään sellaisenaan myös tierakenteiden kantavissa kerroksissa sekoittamalla sitä murskeen joukkoon. (Lämsä 2005, 19.)

Heikosti kantavia ja huonokuntoisia tietä voidaan kunnostaa myös stabiloimalla. Stabilointi voidaan tehdä joko paikalla- tai asemasekoitusmenetelmällä. Stabiloinnissa kiviaines sidotaan bitumisella sideaineella massaksi tien kantavassa

kerroksessa (Höynälä – Mäkelä 2000, 39). Stabiloinnilla saadaan lisättyä tien kantavuutta ja vähennetään erikseen lisättävän sideaineen tarvetta. Asfalttijätettä on myös käytetty kantavan kerroksen murskeen seassa murskaustyön yhteydessä. Se sopii hyvin myös päällystetyn tieverkon reunantäytöksi. (Lämsä 2005, 19.)

Vanhan asfaltin kierrätysaineprosentti voidaan nostaa jopa 100 %:iin, kun mukaan lisätään pehmeää bitumia tai elvytintä. Uusiokäyttöön sopivat myös vanha öljysora ja pehmeä asfalttibetoni, joita voidaan kierrättää uusiokäyttöön samalla menetelmällä kuin asfalttibetoniakin. (Höynälä – Mäkelä 2000, 39.)

Uusioasfaltin käyttö on lisääntynyt merkittävästi viime vuosina ja suurimmat päällystealan yritykset ottavat vastaan puhdasta asfalttijätettä alueilla, missä uusiomateriaalin menekki on hyvä. (Lämsä 2005, 18). Usein kaupungit ja kunnat velvoittavat urakoitsijan huolehtimaan syntyvän asfalttijätteen jälkikäsitelystä. Lämsä korostaa tilaajaosapuolen asemaa asfalttijätteen kierrätysketjussa. Tilaajaosapuolen tulisi ohjata ja kehottaa jo urakkakyselyissään purettavien päällysteiden kierrätykseen. Lisäksi urakoitsijalla tulisi olla mahdollisuus käyttää vanhaa päällystettä muussa käytössä, jos sille ei ole käyttöä kyseisessä urakassa. (Lämsä 2005, 19).

4 PÄÄLLYSTETUTKIMUKSET

Asfalttimassan laatuvaatimusten täyttymisen osoittamiseksi sen toiminnalliset ominaisuudet testataan laboratoriossa. Asfalttinormeista valitaan aina kohdekohtaisesti asfaltin raaka-aineiden, asfalttimassojen ja päällysteiden vaatimukset ja ominaisuudet. Vaatimuksia asettaessa on otettava huomioon, ettei päällekkäisiä vaatimuksia samalle ominaisuudelle esitetä. Se tarkoittaa käytännössä, että samaa ominaisuutta ei tutkita kahdella eri menetelmällä. Perusvaatimuksena asfaltin raaka-aineista kiviainesten, fillerien ja bitumien osalta käytetään CE-merkintää ja yksilöityjä luokka- tai ominaisuusvaatimuksia. (Asfalttinormit 2011. 2011, 11, 79.) 1.7.2013 astuu voimaan rakennustuoteasetus, jonka mukaan myös asfalttimassat on CE-merkittävä.

4.1 Tutkimussuunnitelma

Opinnäytetyön tutkimuskohteena oli asfalttirouheen määrän vaikutus valmistettavan asfalttimassan ominaisuuksiin. Tutkimuksen massatyypiksi valittiin asfalttibetoni AB16.

Asfalttibetonia käytetään yleisesti kulutuskerroksen materiaalina lukuun ottamatta kaikkein vilkkaimmin liikennöityjä teitä. Sitä voidaan käyttää myös sidekerroksen sekä kantavan kerroksen tai sen yläosan materiaalina. Asfalttibetoni on myös massapintauksissa, tasauksissa ja paikkauksissa käytettävä materiaali. Asfalttibetonin eurooppalainen tuotestandardi on SFS-EN 13108–1. (Asfalttinormit 2011. 2011, 48.)

Tutkimusta varten valittiin neljä testausmenetelmää. Valitut testausmenetelmät olivat Jäykkyys SFS-EN 12697–26, Asfalttipäällysteen vedenkestävyyden määrittäminen SFS-EN 12697–12, Asfalttimassan jäätymis-sulamiskestävyys PANK-4306 sekä Asfalttipäällysteen halkaisuvetolujuuden määrittäminen SFS-EN 12697–23. Kyseiset testausmenetelmät on selostettu tarkemmin luvuissa 4.2.3 - 4.2.5.

Asfalttinormit 2000 mukaan asfalttimassaa suhteittaessa asfalttirouheen osuus ilmoitetaan kirjainten RC yhteydessä prosentteina kokonaismäärästä (Asfalttinormit 2000.2000, 8). Nykykäytäntö sallii RC-merkinnän pois jättämisen tyyppimerkinnästä, mutta se on käytävä ilmi tyyppitestausraportissa. Tässä työssä käytetään RC-merkintää erottamaan tutkimuksessa käytettävät asfalttimassat toisistaan. Tutkimuksessa käytettävät asfalttimassat ovat vertailulaatta AB16RC0 sekä AB16RC10, AB16RC30 ja AB16RC50.

Jokaista testiä varten valmistettiin kolme koekappaleita kustakin massalajista ja niille tehtiin samat testit. Päälystelaatoista porattujen koekappaleiden testaamisen tarkoituksena oli selvittää, miten asfalttirouheen määrä vaikuttaa asfalttipäälysteen toiminnallisiin ominaisuuksiin.

Vertailukappaleille (3 kpl AB16RC0, 3 kpl AB16RC10, 3 kpl AB16RC30 ja 3 kpl AB16RC50) suoritettiin jäykkyysmoduulit +10 sekä +20 asteessa. Toiselle 12 koekappaleen sarjalle suoritettiin jäätymis-sulamiskestävyystesti ja kolmannelle koekappaleiden sarjalle vedenkestävyystesti. Lopuksi kaikille koekappaleille tehtiin halkaisuvetolujuustesti.

4.2 Käytetyt tutkimus- ja työmenetelmät

Käytetyt tutkimusmenetelmät perustuvat Euroopan unionin yhteisiin EN-standardeihin. Aikaisemmin Suomessa on käytetty kansallisia PANK-menetelmiä, mutta niiden käytöstä ollaan luopumassa vaiheittain aina, kun tilalle syntyy menetelmää korvaava EN-standardi.

4.2.1 Koekappaleiden valmistus

Asfalttinormeissa on määritelty asfalttimassan valmistusta varten Asfalttibetoni AB16 -massan ohjealue ja ohjeseulojen läpäisyprosentit (liite 1). Tämän avulla suunniteltiin työssä käytettävän massan koostumus. Käytettävän kiviaineksen raekokojakauma oli selvitetty ennakkoon menetelmää SFS-EN 12697–2 käyttäen.

Ennen varsinaisten koekappaleiden valmistamista tuli määrittää valmistettavan massan sideainepitoisuus, jolla saataisiin parhaat tilavuussuhteiden arvot. Optimaalisen sideainepitoisuuden määrittämiseksi valmistettiin neljä koekappaletta: kaksi kappaletta 5,1 %:n bitumipitoisuudella ja kaksi kappaletta 5,4 %:n bitumipitoisuudella. Kiviaineksen ja AB16-ohjekäyrän (liite 1) perusteella suunniteltiin massat (liite 2/1, liite 2/2) koekappaleita varten, ja niiden avulla määriteltiin optimisideainepitoisuus varsinaiselle tutkittavalle asfalttimassalle.

Täytejauheena käytettiin kalkkifilleriä ja bitumina B100/150. Massan suunnittelu- vaiheessa koekappaleille saatiin niin sanotut reseptit, joiden mukaan kiviaines- seosten ja sideaineen suhteet määräytyivät (liite 2/1 ja 2/2).

Koekappaleet valmistettiin SFS-EN 12697–35 -ohjeiden mukaan. Kiviaineksien tiheydet määritettiin standardia SFS-EN 1097–6 käyttäen. Ne määritettiin osissa seuraavasti: kalkkifilleri (KF), 0 - 4 #mm ja 5,6 - 16 #mm. Taulukkoon 1 on koottu kiviaineseosten kiintotiheydet.

TAULUKKO 1. Kiviaineseosten kiintotiheys

Kiviaines	Tiheys (SFS-EN 1097–6)
Kalkkifilleri, (KF)	2818 (kg/m ³)
0 - 4 #mm	2770 (kg/m ³)
5,6 - 16 #mm	2870 (kg/m ³)
Kiintotiheys	2824 (kg/m ³)

Koekappaleiden tyhjätilan ja muut tilavuussuhteet saatiin käyttämällä standardeja: Asfalttinäytteen kappaletiheyden määrittäminen SFS-12697–6, Asfalttinäytteen maksimitiheyden määrittäminen SFS-EN 12697–5 ja Asfalttinäytteen tyhjätilan määrittäminen SFS-EN 12697–8. Tyhjätilalla (V) ilmaistaan ilmahuokosen osuutta prosentteina päällysteen tilavuudesta. Täyttöaste (VFB) kertoo

sideaineen täyttämän osuuden prosentteina valmiin päällysteen tyhjätilasta. Kiviaineksen tyhjätila (VMA) ilmaisee kiviaineksen väleihin jäävän tilan osuuden prosentteina päällysteen tilavuudesta. (Asfalttinormit 2011.2011, 41.) Taulukossa 2 on esitetty tilavuussuhteiden ohjeelliset arvot asfalttimassan suunnittelussa. Yksityiskohtaiset tulokset koekappaleiden tyhjätilasta ja muista tilavuussuhteista on esitetty liitteessä 3.

TAULUKKO 2. Tilavuussuhteiden ohjeelliset arvot asfalttimassan suunnittelussa (Asfalttinormit 2011. 2011, 82)

Asfalttityyppi	Täyttöaste VFB til-%	Tyhjätila V til-%	Kiviaineksen tyhjätila VMA til-%
AB	75 - 93	1 - 4	13 - 17

Tulosten perusteella suunniteltiin varsinainen tutkimuksessa käytettävä asfalttimassa. Suhteituksessa saatiin asfalttirouhemäärältään neljä erilaista asfalttimassaa: vertailulaatta AB16RC0, AB16RC10, AB16RC30, AB16RC50 (liite 4/1, liite 4/2, liite 4/3 ja liite 4/4). Kiviaines punnittiin asfalttimassan valmistusta varten suhteituksen mukaisesti.

Päällysteen, joka sisältää asfalttirouhetta, tulee täyttää Asfalttinormeissa esitetyt normaalin vastaavan asfalttipäällysteen yleiset laatuvaatimukset. Uusiomaan lisätään sideainetta määrätyn sideainepitoisuuden saavuttamiseksi. Sideaineen määrällä ja laadulla on suoraan vaikutuksia asfalttimassan laatuun. (Asfalttinormit 2000.2000, 8.)

Bitumimääräksi saatiin massan suunnittelun perusteella 5,1 %. Koska asfalttimassaan lisättävä asfalttirouhe sisältää jo itsessään bitumia, oli sen määrä määriteltävä jokaiselle valmistettavalle massalle erikseen. Lisättävän bitumin

määrä ja laatu selvitettiin matemaattisesti Asfalttiinormit 2011 -ohjeiden mukaan. Sideainepitoisuus asfalttimassasta tutkittiin liukoisen sideainepitoisuuden menetelmällä SFS-EN 12697–1. Tutkimuksista saatiin selville, että rouheen sideainepitoisuus oli 3,9 massa-%. Asfalttirouheen ja tehtävän massan sideaineiden määrä määriteltiin Asfalttinormit 2011 mukaisesti (liite 5/1, liite 5/2 ja liite 5/3). Massakohtaiset tulokset tarvittavista lisäsideaineen määrästä ja laaduista on koottu taulukkoon 3. Yksityiskohtaiset laskelmat löytyvät liitteistä 6/1, 6/2 ja 6/3.

TAULUKKO 3. Lisäsideaineen määrä ja laatu

MassaAB16	AB16RC0	AB16RC10	AB16RC30	AB16RC50
Rouheen sideaineen määrä g	0	19	57	95
Lisäsideaineen määrä g	284,6	229,6	191,6	153,6
Lisäsideaineen tunkeuma	120	134	179	257

Kun kiviainekset oli punnittu massojen valmistusta varten sekä bitumin määrä ja laatu oli selvitetty, työn seuraava vaihe oli valmistaa laatat, joista porattiin kestävyystesteissä käytettävät koekappaleet. Koekappaleiden valmistusta varten valmistettiin 4 kappaletta laatikoita kooltaan 360 mm *360 mm * 60 mm, joihin AB16-massat valettiin. Laatikoiden koko määräytyi siten, että siihen tehtävästä asfalttilaatasta oli mahdollista porata 9 koekappaletta.

Lisäsideaineen kovuus saavutettiin sekoittamalla kahta bitumilaatua keskenään tietyissä suhteissa (liite 6/1, liite 6/2, liite 6/3). Käytettävät bitumilaadut olivat B100/150 ja V1500.

Massat valmistettiin isolla laboratoriosekoittimella ja tiivistettiin asfalttilaatoiksi tärytiivestimellä. Asfalttilaatat valmistettiin laatikoihin SFS-EN 12697–33 –standardin mukaan. Jokaisesta asfalttilaatasta porattiin yhdeksän koekappaletta. Kuvassa 2 poratut koekappaleet ovat irrottamista vaille valmiina.



KUVA 2. Laatta AB16RC30, josta on porattu 9 koekappaletta

Poratut koekappaleet irrotettiin laatasta, puhdistettiin ja numeroitiin. Numerointi tapahtui siten, että kappaleen numerointi perustui rouheen prosentuaaliseen määrään. Esimerkiksi AB16RC30-massasta valmistetut kappaleet numeroitiin 31 - 39 ja AB16RC50-massasta valmistetut koekappaleet 51 - 59.

4.2.2 Tyhjätilan ja muiden tilavuussuhteiden määrittely

Asfalttimassan maksimitiheys on massan ja tilavuuden suhde tunnetussa testilämpötilassa, kun huokosia ei oteta huomioon. Maksimitiheyttä ja kappaleitiheyttä tarvitaan tiivistetyn kappaleen tyhjätilan ja tiivistetyn massan tilavuusominaisuuksien laskemisessa. SFS-käsikirja sisältää standardin SFS-EN 12697–5, jolla maksimitiheys määritetään. (SFS-EN 12697–5. 2004.)

Asfalttimassan kappaleitiheys määritetään standardilla SFS-12697–6. Kappaleitiheys on näytteen massan ja tilavuuden suhde tunnetussa testilämpötilassa, kun huokokset otetaan huomioon. Asfalttipäällysteen tiivyyttä kuvataan tyhjätillä. Tyhjätilaa määriteltäessä tarvitaan asfalttinäytteen kappaleitiheys sekä asfalttimassan tiheys. Asfalttinormit 2011 määrittelee sallitun tyhjätilan ajoradoilla eri vaatimusluokissa. Tyhjätila määritellään SFS-EN 12697–8 –standardia käyttäen. (Asfalttinormit 2011.2011, 85–86; SFS-EN 12697–6.)

Koekappaleet mitattiin (4 x halkaisija ja 4 x korkeus) sekä punnittiin ilmassa ja vedessä, jotta kappaleitiheys, tyhjätila ja muut tilavuusominaisuudet saatiin määritettyä. Kuvassa 3 on esitetty AB16RC10-massasta valmistettujen koekappaleiden kappaleitiheydet. Kaikki tulokset kappaleitiheyksistä löytyvät liitteistä 7/1, 7/2, 7/3 ja 7/4.

Ins.työ Katajamäki		Näyte ABRC10							Kappaleitiheys				
Näyte	Paino ilmassa (g)	Paino vedessä	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø 4	ka	h1	h2	h3	h4	ka	(g/cm ³)
1	1245,4	740,2	100,4	100,38	100,46	100,42	100,415	64,81	64,99	65,01	64,65	64,865	2,465
2	1244,1	738,1	100,5	100,45	100,44	100,37	100,44	65,34	64,7	64,83	65,54	65,103	2,459
3	1235,4	735,9	100,47	100,39	100,4	100,45	100,428	64,23	63,62	63,59	64,06	63,875	2,473
4	1202,5	709,2	100,48	100,51	100,35	100,52	100,465	63,24	63,23	63,62	63,88	63,493	2,438
5	1196,3	704,4	100,36	100,4	100,35	100,44	100,388	65,54	65,39	52,16	65,2	62,073	2,432
6	1252,6	747,8	100,38	100,38	100,32	100,38	100,365	65,28	65,27	65,44	65,19	65,295	2,481
7	1285,4	771	100,44	100,41	100,52	100,5	100,468	65,75	66,22	66,29	66,47	66,183	2,499
8	1224,1	725,8	100,45	100,46	100,36	100,5	100,443	64,46	64,45	64,66	64,76	64,583	2,457
9	1202,9	712,3	100,38	100,45	100,37	100,48	100,42	63,67	63,36	63,52	63,74	63,573	2,452

Mitta: Mitutoyo
Vaaka : V2
28.1.2013

KUVA 3. AB16RC10-koekappaleiden kappaleitiheydet

Koekappaleet jaettiin kappaleitiheyden mukaan kolmeen eri koekappalesarjaan siten, että ne vastasivat tiheyksiltään mahdollisimman tasaisesti toisiaan ja niille tehtiin ennalta määritellyt tutkimussuunnitelman mukaiset testit. Kiviaineksen tiheyden, kappaleitiheyden, sideainepitoisuuden, kappaleiden painojen (ilmassa ja vedessä) avulla kappaleille laskettiin tyhjätila ja muut tilavuussuhteet. Kuvassa

sa 4 on esitetty AB16RC30-koekappaleiden tyhjätila ja muut tilavuussuhteet. Kaikki tulokset koekappaleiden tyhjätilasta ja muista tilavuussuhteista löytyvät liitteistä 8/1, 8/2, 8/3 ja 8/4.

Asfalttinäytteen kappaletiheyden määrittäminen SFS-12697-6
Asfalttinäytteen maksimitiheyden määrittäminen SFS-EN 12697-
Asfalttinäytteen tyhjätilan määrittäminen SFS-EN 12697-8

Työ: Katajamäki H-M, ins työ, AB16RC30
Päiväys: 28.01.13

Näytteen numero	Sideainepitoisuus (%)	Kiviaineen tiheys (kg/m ³)	Päällysteen tiheys (kg/m ³)	Massan teoreettinen tiheys (kg/m ³)	Teoreettinen tyhjätila (TT) (%)	Kiviaineksen tyhjätila (KAT) (%)
1	5,1	2806,8	2417	2576	6,2	18,3
2	5,1	2806,8	2450	2576	4,9	17,2
3	5,1	2806,8	2479	2576	3,8	16,2
4	5,1	2806,8	2487	2576	3,5	15,9
5	5,1	2806,8	2442	2576	5,2	17,4
6	5,1	2806,8	2463	2576	4,4	16,7
7	5,1	2806,8	2493	2576	3,3	15,7
8	5,1	2806,8	2504	2576	2,8	15,3
9	5,1	2806,8	2487	2576	3,5	15,9
					4,2	16,5

HUOMAUTUKSIA:

Kiviaines	Tiheys	Osuus %	g	Kok. % osuus
Kalkkifilleri	2818	3,0	97,2	2,1
0-4 #	2770	45,0	1457,3	31,0
5,6-16 #	2870	52,0	1684	35,8
		100	3238,5	
Rouhe	2772	30	1462,5	31,1
		yht.	4701	100

Kiviaineen tiheys	2806,8
-------------------	--------

KUVA 4. AB16RC30-koekappaleiden tyhjätila ja muut tilavuussuhteet

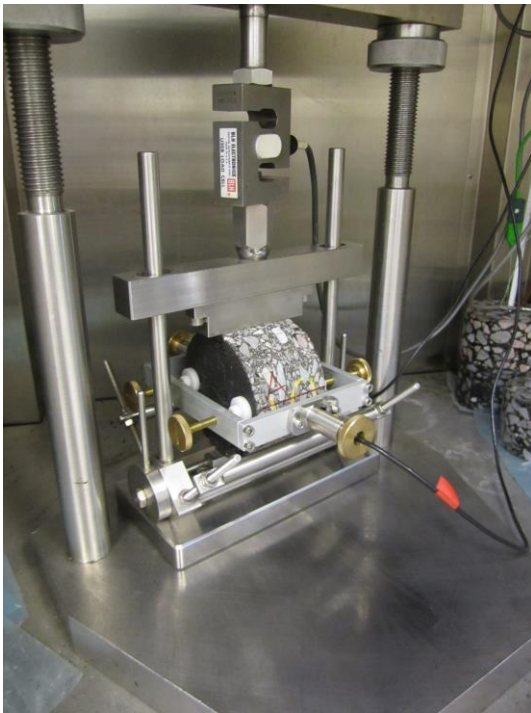
Massojen tilavuussuhteita ja tyhjätiloja verrattiin Asfalttinormien asettamiin vaatimukseen. Saatujen tulosten perusteella todettiin massojen vastaavan asetettuja vaatimuksia, joten kestävyystestit voitiin toteuttaa valmistetuilla koekappaleilla.

4.2.3 Jäykkyys

Koekappaleiden jäykkyysmoduulin määrittäminen suoritettiin testillä Jäykkyys SFS-EN 12697-26. Testin tarkoituksena oli mitata kappaleen muodonmuutoksia. Jäykkyysmoduulit kertovat päällysteen stabiliteetti- ja kantavuusominaisuuksista. Mitä suurempi rakennekerroksen jäykkyys on, sitä parempi väy-

län kantavuus on (Turunen 2012, 26.) Jäykkyyssmoduulia käytetään lähinnä mittaustavassa rakennekerrostesten paksuuden määrittämisessä (Alkio – Laaksonen – Laukkanen 2008, 58).

Ennen varsinaista testausta koekappaleet temperoitiin testilämpötilaan olosuhdekaapissa. Temperoidut koekappaleet asetettiin yksi kerrallaan kuormituskehikkoon, ja mitta-anturit säädettiin ohjaustietokonetta apuna käyttäen. Koekappaletta esikuormitettiin 100 kPa:n voimalla 7 kuormituspulssia ennen varsinaista 10 pulssin kestävästä kuormituksesta. Kuormituksen jälkeen koekappaletta kierrettiin vaak akselin ympäri 90 ° ja koemenettely toistettiin. Kuvassa 5 koekappale on asetettu kuormituskehikkoon.



KUVA 5. Koekappale asetettuna kuormituskehikkoon

Tulokset saatiin suoraan MPa:na. Jäykkyyssmoduulitestit suoritettiin lämpötiloissa +10 °C ja +20 °C. Jäykkyyssmoduuli +10 °C kertoo päällysteen jäykkyyden kesäajan keskiarvon. Talvella koko päällysterakenne on yleensä jäässä, jolloin rakenteen kantavuus on myös riittävä. (Turunen 2012, 26.) Mitä suurempi Mpa-arvo testissä saadaan, sitä jäykempi kappale on.

4.2.4 Asfalttipäällysteen vedenkestävyys

Asfalttimassan vedenkestävyys on erityisesti vähäliikenteisten teiden päällysteiltä vaadittava, kestoikää mitoittava ominaisuus. Vedenkestävyydessä on kyse bitumin ja kiviaineksen välisen tartunnan lujudesta ja pysyvyydestä. Lujuteen ja pysyvyyteen vaikuttavat kiviaineksen sekä sideaineen ominaisuudet. Kun kiviaineksen ja bitumin välinen tartunta heikkenee, päällyste alkaa rapautua ja rapautunut kohta purkautuu. (Alkio ym. 2008 31.)

Koekappaleiden vedenkestävyys toteutettiin testillä SFS-EN 12697-12. Ennen varsinaisen testin aloittamista koekappaleet asetettiin vesihauteeseen, jossa vedenpinta oli vähintään 20 mm kappaleiden yläpinnan yläpuolella. Seuraavaksi ne siirrettiin eksikkaattoriin, jossa koekappaleisiin kohdistettiin alipaine ($6,7 \pm 0,3$ Kpa) SFS-EN 12697-12 -standardissa määrätyn ajan. Alipaineistuksen jälkeen koekappaleet siirrettiin uuniin $+40$ °C:n lämpötilaan 68 tunnin ajaksi. Kuvassa 6 on esitetty laitteisto, jonka avulla koekappaleet alipaineistettiin.



KUVA 6. Laitteisto, jolla koekappaleet alipaineistettiin ennen vedenkestävyydestä sekä jäätymis-sulamiskestävyystestiä

Kappaleiden vedenkestävyys ilmoitettiin vedenkestävyyskoekappaleiden sekä vertailukappaleiden halkaisuvetolujuuksien keskiarvojen suhdeluvun (%) avulla. Vedenkestävyys lasketaan kaavalla 1 (SFS-EN 1297–12 2004, 10):

$$ITSR = 100 * ITSR_w / ITSR_d$$

KAAVA 1

ITSR = asfalttimassan vedenkestävyys [%]

ITSR_w = vedenkestävyyskappaleiden halkaisuvetolujuuksien keskiarvo

ITSR_d = saman ikäisten vertailunäytteiden halkaisuvetolujuuksien keskiarvo

4.2.5 Asfalttipäällysteen jäätymis-sulamiskestävyys

Ilmaston aiheuttamat päällystevauriot heikentävät liikenneturvallisuutta sekä aiheuttavat vuosittain korjauskustannuksia. Päällysteen jäätymis-sulamisoimaisuuksiin vaikuttavat olennaisesti kiviaineksen ominaisuudet, bitumin määrä ja laatu sekä päällysteen tyhjätila. Kun päällyste joutuu veden vaikutuksen alaiseksi, päällysteen bitumin ja kiviaineksen välinen tartunta heikkenee. Myös nastarengaskulutus korostuu päällysteen ollessa pitkään vedenvaikutuksen alaisena. Mitä enemmän päällysteessä on tyhjätilaa, sitä enemmän vesi pääsee vaikuttamaan päällysteen eri osiin. (Alkio ym. 2008 31.)

Toistuvat jäätymis-sulamisjaksot saavat aikaan vaurioitumista, kun päällysteen jäätymis-sulamiskestävyys on riittämätön. Kun sideaineen ja kiviaineksen välinen tartunta purkautuu, päällystekerros voi muuttua löyhäksi irtonaiseksi aineeksi eli reikiintyä tai paikoitellen jopa irrota alustastaan. Vauriot ilmenevät päällysteen massan irtoiluna. (Halonen – Laukkanen – Pyy 2012, 10.)

Asfalttimassan jäätymis-sulamiskestävyys määritetään kokeellisesti tutkimalla jäätymis-sulamissykliä vaikutusta koekappaleiden halkaisuvetolujuuteen (PANK-4306 2011, 7). Koekappaleille suoritettiin jäätymis-sulamiskestävyystesti PANK-4306-menetelmää käyttäen. Asfalttimassan jäätymis-sulamiskestävyydellä tarkoitetaan päällysteen kykyä kestää tyhjätilassa toistuvien jäätymis-

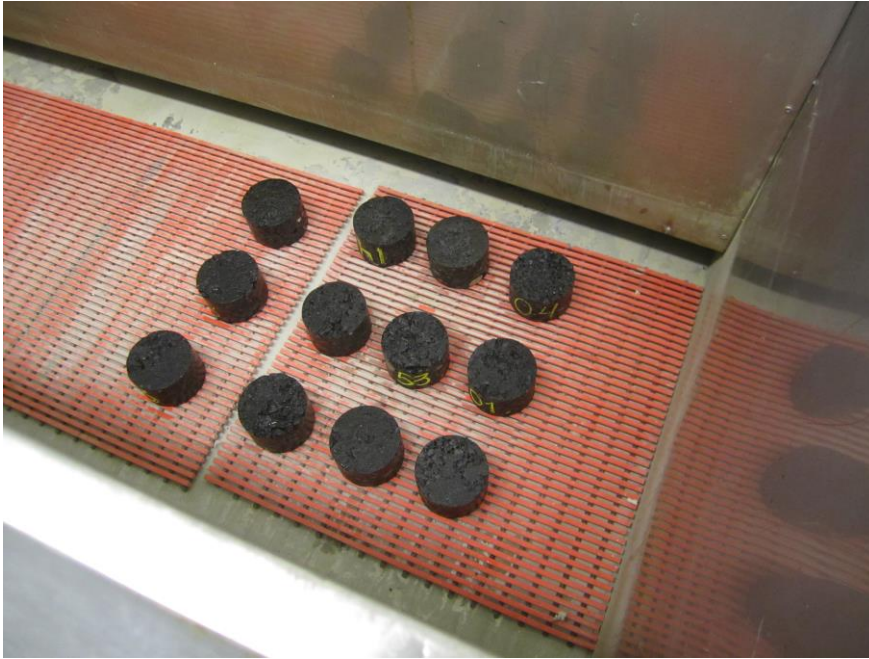
sulamisvaiheiden rasitusta. Testaus toteutettiin menetelmän A mukaan, jossa koekappaleiden jäätyminen tapahtui ilmassa ja sulaminen vedessä.

Ennen varsinaisen testin aloittamista koekappaleet asetettiin vesihautteeseen, jossa vedenpinnan oli vähintään oltava 20 mm kappaleiden yläpinnan yläpuolella. Tämän jälkeen koekappaleet siirrettiin eksikkaattoriin, jossa niihin kohdistettiin alipaine ($6,7 \pm 0,3$ KPa) PANK-4306-menetelmässä määrätyn ajan. Kuvassa 7 on esitetty jäätymis-sulamiskestävyys-testiä varten tarvittava testilaitteisto.



KUVA 7. Jäätymis-sulamiskestävyys-testilaitteisto

Jäätymis-sulamiskestävyystestissä käytettiin jäädytysarkkua, jonka pohjalle koekappaleet asetettiin. Koetta ohjattiin tietokoneen avulla. Jäätymis-sulamisyklien pituus oli 12 tuntia ja syklien määrä 10. Kuvassa 8 on esitetty koekappaleet jäätymis-sulamiskestävyys-testilaitteistossa.



KUVA 8. Jäädätysjakson aikana näytealtaassa ei ollut vettä

Testin jälkeen näytteille tehtiin halkaisuvetolujuuskokeet. Halkaisuvetolujuuskoe tehtiin sekä jäätymis-sulamiskoekappaleille että vertailukappaleille. Jäätymis-sulamiskestävyys lasketaan kaavalla 2 (PANK-4306. 2011, 7):

$$F = 100 \cdot \sigma_1 / \sigma_2$$

KAAVA 2

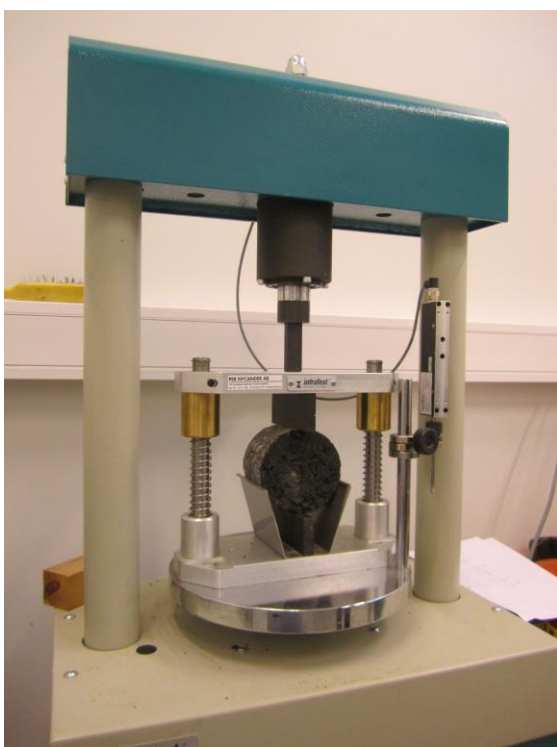
F = asfalttimassan jäätymis-sulamiskestävyys [%]

σ_1 = jäätymis-sulamiskappaleiden halkaisuvetolujuuksien keskiarvo

σ_2 = saman ikäisten vertailunäytteiden halkaisuvetolujuuksien keskiarvo

4.2.6 Asfalttipäällysteen halkaisuvetolujuuden määrittäminen

Kaikille koekappaleille suoritettiin halkaisuvetolujuuden määrittäminen standardin SFS-EN 12697–23 mukaisesti. Halkaisuvetolujuus on koekappaleelle puristuskokeessa määritelty maksimivetojännitys tietyssä lämpötilassa tietyllä puristusnopeudella. Se kertoo päällysteen sisäisen lujuuden. Mitä heikompi halkaisuvetolujuus on, sitä helpommin päällyste murtuu. (Turunen 2013, 26.) Kuvassa 9 koekappale on asetettu purustuslaitteeseen.



KUVA 9. Koekappale asetettiin purustuslaitteen kuormituspalkkien väliin

Kaikki kokeet tehtiin peräkkäin. Halkaisutilanteessa kaikkien kappalesarjojen kaikkien koekappaleiden tuli olla samassa lämpötilassa ja samassa vedellä kyllästysasteessa. Koekappaleet temperoitiin olosuhdekaapissa +10 °C:n lämpötilaan, jonka jälkeen ne asetettiin yksi kerrallaan purustuslaitteen kuormituspalkkien väliin. Koekappaletta kuormitettiin halkaisijan suunnassa vakiosiirtymänopeudella murtumiseen saakka. Kuvassa 10 koekappaletta on kuormitettu murtumiseen saakka.

Halkaisuvetolujuuskokeen tuloksista lasketaan kunkin näytteen halkaisuvetolujuus menetelmän SFS-EN 12697–23 mukaisella kaavalla 3. (SFS-EN 12697–23 2003, 344):

$$ITS = 2 * P / (\pi * D * h)$$

KAAVA 3

ITS = halkaisuvetolujuus (GPa), kolme merkitsevää numeroa

P = maksimikuormitus (kN), kolme merkitsevää numeroa

D = näytteen halkaisija (mm) yhden desimaalin tarkkuudella

h = näytteen korkeus (mm) yhden desimaalin tarkkuudella.

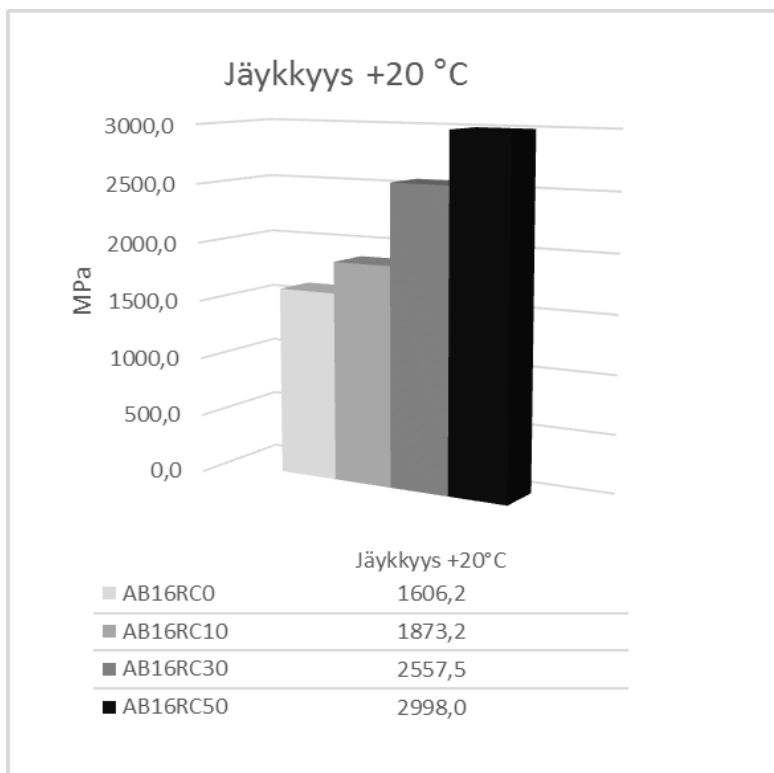


KUVA 10. Koekappaletta kuormitettiin murtumiseen saakka

Murtumisen jälkeen näytteet aukaistiin ja niistä tarkastettiin silmämääräisesti pintojen ulkonäköä. Pintojen ulkonäössä kiinnostivat erityisesti, olivatko kivet lohjenneet tai rikkoutuneet. Siitä voitiin päätellä bitumin ja kiviaineksen välistä tarttuvuutta.

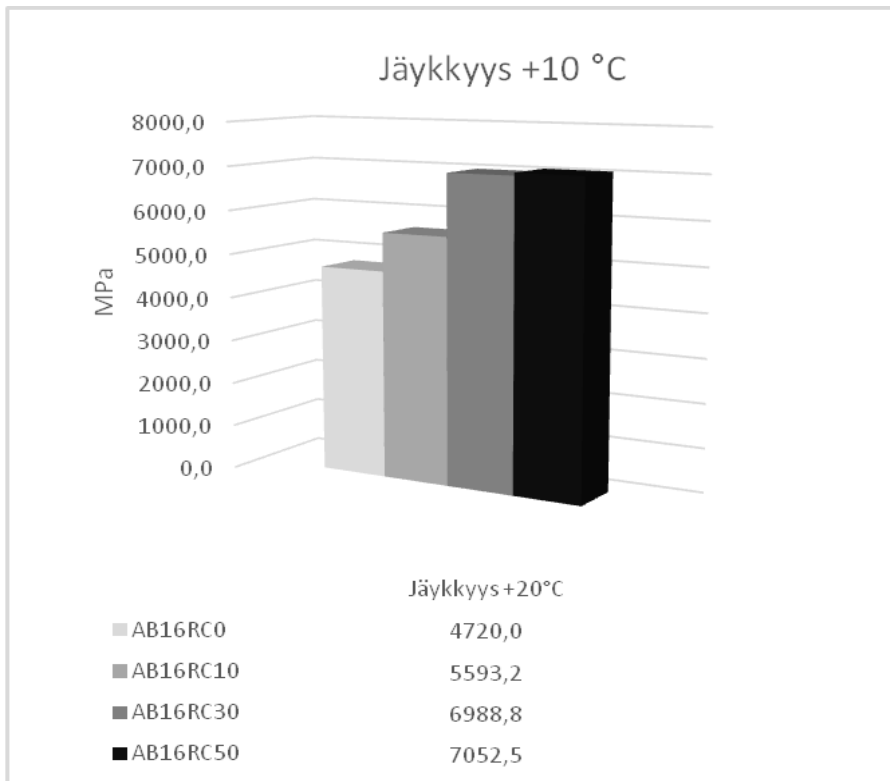
5 TULOKSET

Vertailukappaleiden jäykkyysmoduulin määrittäminen suoritettiin testillä jäykkyys SFS-EN 12697–26. Testi mittaa kappaleen muodonmuutoksia. Mitä suurempi lukema testistä saatiin, sitä jäykempi kappale oli. Kuvassa 11 on esitetty vertailukappaleiden jäykkyysmoduuliarvot pylväsdiagrammien muodossa. Kuvan jäykkyysmoduulit ovat aina kolmen koekappaleen jäykkyyden keskiarvo.



KUVA 11 Jäykkyys +20 °C

Testilämpötilassa +20 °C suurimman jäykkyysmoduulin arvon saavuttivat kappaleet, joiden asfalttirouheen määrän prosentuaalinen osuus oli suurin. Heikoimmat tulokset testissä saivat kappaleet, joiden asfalttirouheen prosentuaalinen osuus oli pienin. Kuvassa 12 on esitetty pylväsdiagrammin muodossa +10 °C:ssa tehtyjen jäykkyysmoduulien tulokset. Kuvan jäykkyysmoduulit ovat aina kolmen koekappaleen jäykkyyden keskiarvo.



KUVA 12. Jäykkyys +10 °C

Yksityiskohtaisemmat koetulokset löytyvät liitteistä 9/1 ja 9/2. Tuloksista voidaan todeta, että merkittävää eroa kappaleiden välillä ei muodostunut, vaikka asfalttirouheen määrä muuttui. Prosentuaalisesti erot koekappalesarjojen jäykkyyksien välillä testilämpötilassa +20 °C ja +10 °C oli noin 18 %. Asfalttirouhemäärien väillä testilämpötilassa +20 °C jäykkyys nousi keskimäärin 464 MPa ja testilämpötilassa +10 °C 777 MPa.

Testilämpötilaltaan alaisemmassa testissä koekappaleet olivat jäykempiä. Koekappaleet muuttuivat myös sitä jäykemmäksi, mitä enemmän niissä oli käytetty asfalttirouhetta.

Halkaisuvetolujuuksia tarkasteltaessa tulokset olivat myös hyvin tasavertaisia. Heikommat tulokset halkaisuvetolujuuden suhteen saivat vedenkestävyydestin koekappaleet, joiden asfalttirouheen määrä oli pienin. Mitä suurempi asfalttirouheen prosentuaalinen osuus oli, sitä korkeamman halkaisuvetolujuuden kappale saavutti. Korkeimmat halkaisuvetolujuudet saa-

vuttivat vertailukappaleet, joiden asfalttirouheen määrä oli suurin. Myös koekappaleiden, joissa asfalttirouhetta ei käytetty, tyhjätila (V %) jäi suurimmaksi. Tuloksista nähdään (liite 8/1, liite 8/2, liite 8/3 ja liite 8/4), että mitä vähemmän asfalttirouheen prosentuaalinen osuus oli, sen suuremmiksi jäivät tyhjätilat.

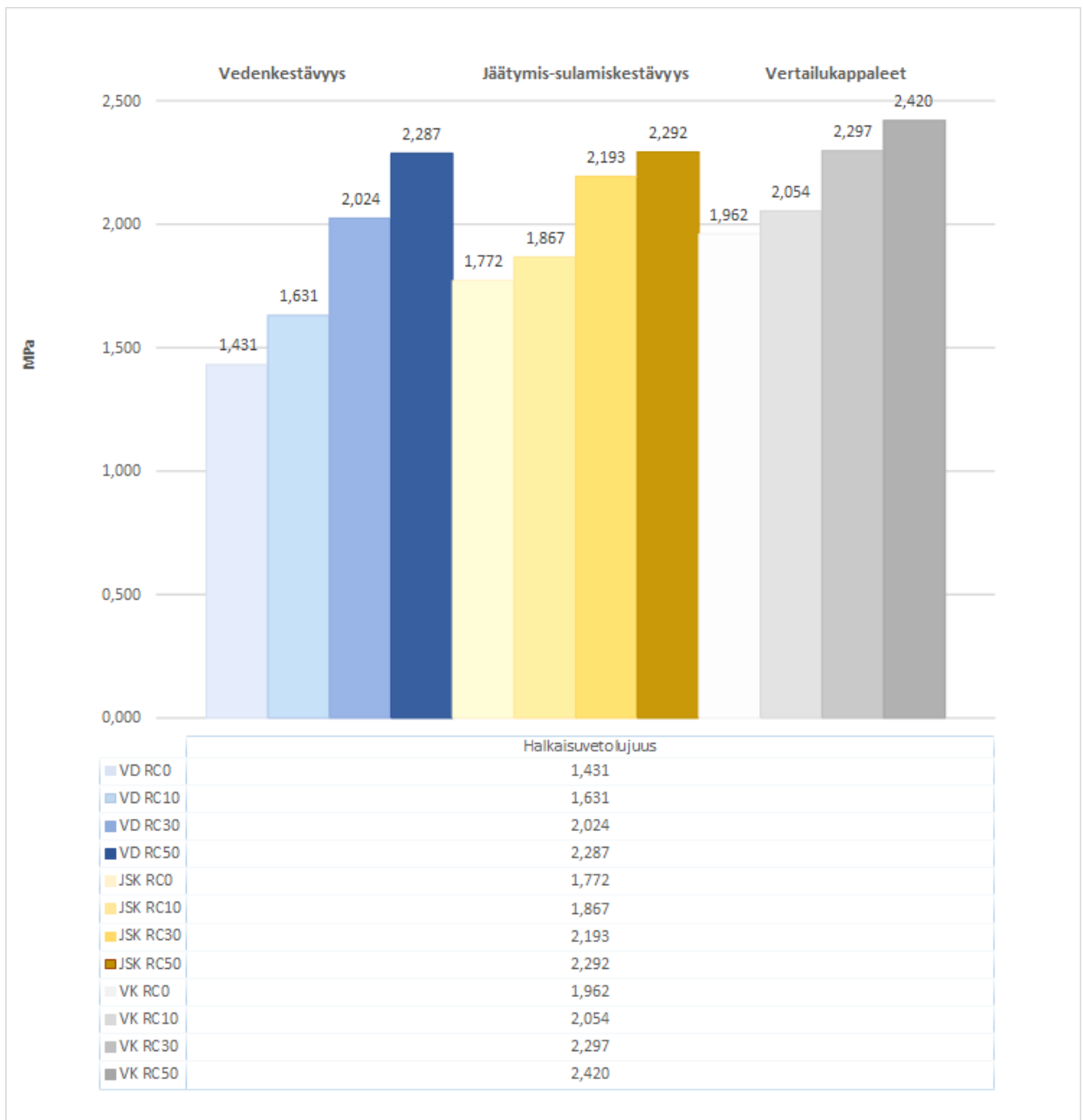
Murtumisen jälkeen näytteet murrettiin auki ja kiviaineksen ja bitumin tarttuvuutta tarkasteltiin silmämääräisesti. Valtaosassa kappaleita kiviaines oli murtunut, joten bitumin ja kiviaineksen välisestä tartunnasta ei ollut havaittavissa puutteita.

Kuvassa 13 on esitetty koekappaleiden saavuttamat halkaisuvetolujuudet pylväsdigrammin muodossa. Yksityiskohtaisemmat tulokset löytyvät liitteestä 10. Tulos on aina kolmen koekappaleen halkaisuvetolujuuksien keskiarvo. Kuvassa 13 on käytetty seuraavia lyhenteitä erottelemaan kappalesarjoja:

VDK= vedenkestävyys

JSK= jäätymis-sulamiskestävyys

VK= vertailukappale

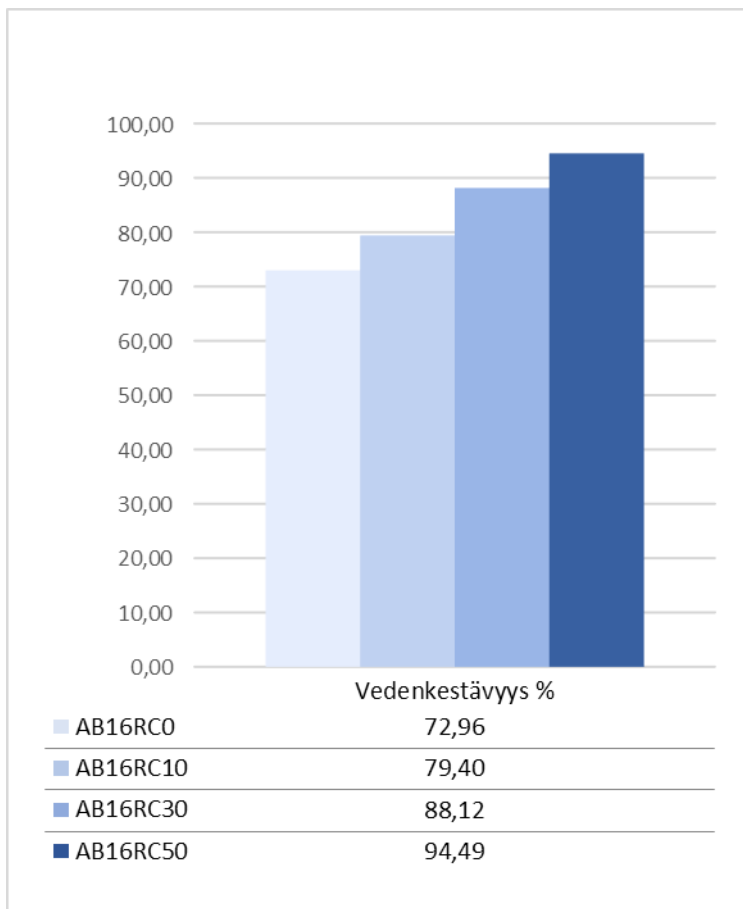


KUVA 13. Halkaisuvetolujuudet

Keskimäärin vedenkestävyysskappaleiden halkaisuvetolujuus parani 14 % asfalttirouhemäärää kasvattaessa. Jäätymis-sulamiskestävyys-koekappaleiden halkaisuvetolujuuden muutos oli keskimäärin 8 % asfalttirouheen määrän kasvaessa, ja vertailukappaleiden välinen halkaisuvetolujuuden prosentuaalinen nousu oli keskimäärin 6 %. Keskimäärin jäätymis-sulamiskestävyys-koekappaleiden halkaisuvetolujuus oli 9 % parempi kuin vedenkestävyysskappaleiden sekä 7 % hu-

noppi kuin vertailukappaleiden. Asfalttirouheen lisääminen oli selvästi tehnyt päällysteen kovemmaksi ja jäykemmäksi.

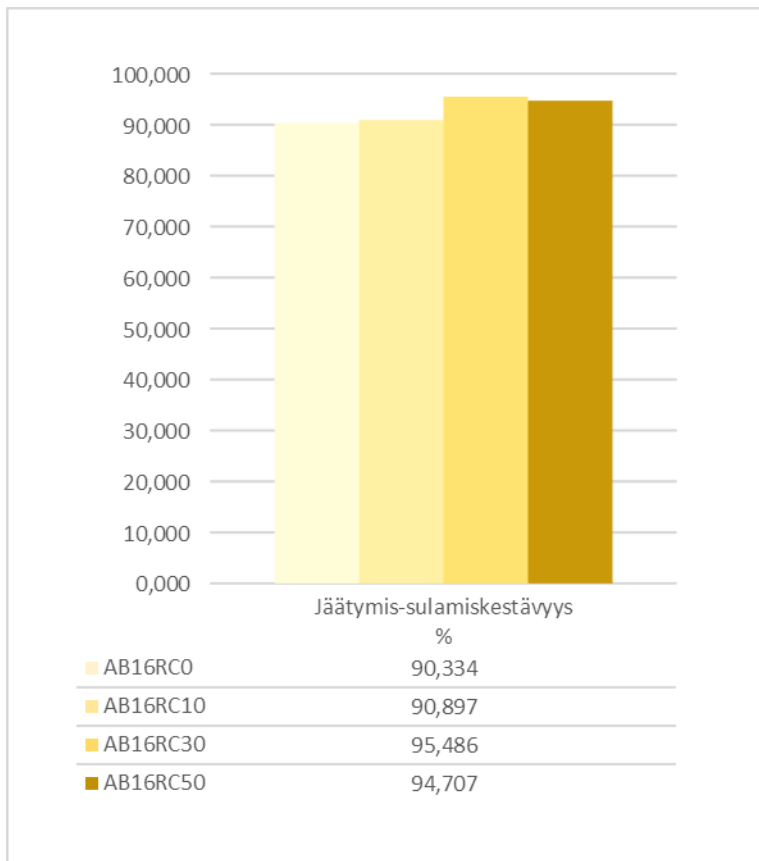
Asfalttinormit määrittävät asfalttimassoille vedenkestävyyksvaatimuksen eli ITSR-tarttuvuusluvun. Asfalttinormien mukainen ITSR-tarttuvuuslukuvaatimus AB-massalle on $\geq 70\%$ (Asfalttinormit 2011. 2011, 81). Kuvassa 14 on esitetty tulokset ITSR-tarttuvuusluvuista pylväsdigrammin muodossa. Tulokset ovat ai-
na kolmen koekappaleen keskiarvo.



KUVA 14. Vedenkestävyys-% eli ITSR-tarttuvuusluku

Tuloksista (liite 11) voidaan päätellä, että valmistettu massa vastaa vaatimuk-
siltaan Asfalttinormit 2011 asettamia vedenkestävyyksvaatimuksia. Kun samalla
periaatteella tutkitaan jäätymis-sulamiskestävyyttä, voidaan koekappaleiden
jäätymis-sulamiskestävyyden myös todeta olevan erittäin hyvä. Kuvassa 15 on
esitetty graafisesti koekappaleiden jäätymis-sulamiskestävyyks. Tulokset ovat ai-

na kolmen koekappaleen keskiarvo. Yksityiskohtaisemmat tulokset löytyvät liitteestä 12.



KUVA 15. Jäätymis-sulamiskestävyys

Kaikkia testituloksia tarkasteltaessa nähdään, että asfalttirouheen prosentuaalisella osuudella (10 - 50 %) ei huomattavasti ole vaikutusta AB16-asfalttimassan ominaisuuksiin. Testitulokset osoittavat, että AB16-massan ominaisuudet parainivat hieman, mitä enemmän asfalttirouhetta asfalttimassan valmistuksessa käytettiin.

Tämän opinnäytetyön puitteissa tehdyissä tutkimuksissa ei otettu huomioon asfalttimassan pitkäaikaiskestävyyttä. Pitkäaikaiskestävyydellä tarkoitetaan päällysteen kestävyyttä mekaanisia ja kemiallisia kuormituksia vastaan sen toimintaiän aikana. Hyvin monilla eri tekijöillä on vaikutusta päällysteen pitkäaikaiskestävyyteen. Päällysteen toimintakyky voi heikentyä käyttöiän aikana kuormi-

tuksen käytön, ikääntymisen tai erilaisten kemiallisten rasiusten seurauksena. Myös oikeilla työmenetelmillä on suuri merkitys pitkäaikaiskestävyyteen. Liian suuri huokostila altistaa vedenkestävyyden sekä jäätymissulamiskestävyyden puutteista johtuville ongelmille.

Tiehallinnon julkaisussa *Päällysteen laadun testaus- ja mittausmenetelmien tarkkuus* todetaan, ettei vedenkestävyyden osalta nykyisin käytetty menetelytapa ei ole riittävä osoittamaan massojen pitkäaikaista säärasituksen aikaista käyttäytymistä (Alkio ym. 2008. 71). Jatkotutkimuksessa tulisi keskittyä asfalttimassan pitkäaikaiskestävyyteen esimerkiksi suorittamalla kokeita Prall-menetelmää käyttäen (SFS-EN 12697–16). Menetelmällä mitataan asfalttimassan nastarengaskulutuskestävyyttä. Myös pakkasrapautumistesti (PANK-4305) sisältää sovellettavissa olevan mahdollisuuden pitkäaikaiskestävyyden tutkimiseen (Alkio ym. 2008. 71).

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTELMÄT

Työn tarkoituksena oli tutkia asfalttirouheen määrän vaikutuksia AB16-asfalttimassan ominaisuuksiin. Tutkimuksista saadut testitulokset osoittavat, että AB16-massan ominaisuudet paranivat hieman, mitä enemmän asfalttirouhetta asfalttimassan valmistuksessa käytettiin.

Suurimman jäykkyysmoduulin arvon saavuttivat kappaleet, joiden asfalttirouheen määrän prosentuaalinen osuus oli suurin. Heikkommat tulokset testissä saivat kappaleet, joiden asfalttirouheen prosentuaalinen osuus oli pienin. Suurimmillaan jäykkyysmoduuli oli 2998 Mpa ja pienimmillään 1606,2 Mpa testilämpötilan ollessa +20 °C. Jäykkyysmoduuliltaan kappaleet olivat selvästi jäykempiä testilämpötilan ollessa +10 °C. Myös nämä koekappaleet muuttuivat sitä jäykemmiksi, mitä enemmän niissä oli käytetty asfalttirouhetta. Suurimmillaan jäykkyysmoduuli oli 7052,5 Mpa ja pienimmillään 4720,0 Mpa.

Halkaisuvetolujuuksien osalta tulokset olivat hyvin tasavertaisia. Heikkommat halkaisuvetolujuuden arvot saivat kappaleet, joille oli tehty vedenkestävyydesti, ja korkeimmat halkaisuvetolujuuden arvot saavuttivat vertailukappaleet. Suurimmillaan halkaisuvetolujuus oli 2,420 Mpa vertailukappaleilla, joissa oli käytetty 50 % asfalttirouhetta. Pienimmillään halkaisuvetolujuus oli 1,431 Mpa vedenkestävyydestissä olleilla kappaleilla, joissa ei ollut käytetty asfalttirouhetta lainkaan. Keskimäärin halkaisuvetolujuus parani noin 9 % koekappalesarjojen välillä asfalttirouheen määrän kasvaessa. Keskimäärin jäätymsulamis-koekappaleiden halkaisuvetolujuus oli 9 % parempi kuin vedenkestävyyскоekappaleiden sekä 7 % huonompi kuin vertailukappaleiden.

Vedenkestävyyden osalta pienimmän vedenkestävyyden 72,69 % saavuttivat kappaleet, joiden valmistuksessa ei ole käytetty asfalttirouhetta lainkaan. Suurimmillaan vedenkestävyys oli 94,49 % kappaleilla, joiden valmistuksessa oli käytetty 50 % asfalttirouhetta. Valmistettu massa vastasi Asfalttinormien asettamia vedenkestävyysvaatimusta, joka on AB-massalle ≥ 70 %.

Jäätymis-sulamiskestävyydeltään korkeimmat tulokset 94,7 % saavuttivat koekappaleet, joiden asfalttirouheen osuus oli 50 %, ja pienimmän arvon 90,3 % koekappaleet, joiden valmistuksessa ei ollut käytetty asfalttirouhetta lainkaan.

Yhteenvedona tuloksista voidaan päätellä, että asfalttirouheen prosentuaalisella osuudella (10 - 50 %) ei kuitenkaan merkittävästi ole vaikutusta AB16-asfalttimassan tässä opinnäytetyössä tukittuihin ominaisuuksiin.

Säänkestävyysongelmat ovat nykyään hyvin yleisiä. Ilmastoperäiset päällystevauriot kuten purkautuminen ja reikiintyminen heikentävät liikenneturvallisuutta ja lisäävät korjaustoimenpiteitä. Asfalttirouheen määrän vaikutus pitkäaikaiskestävyyteen onkin mielestäni tutkimuskohde, johon tulevaisuudessa tulisi panostaa. Asfalttirouheen käyttö AB16-asfalttimassa ei tämän tutkimuksen mukaan heikennä päällystemassan ominaisuuksia vaan päinvastoin parantaa niitä. Asfalttirouhetta käytettäessä ei saavuteta yhtä pitkää käyttöikää kuin täysin uutta päällystettä käytettäessä. Kulutuksen alaisen AB-päällysteen arvioitu keskimääräinen uusintaväli on arviolta 15 vuotta ja katupäällysteenä sen on arvioitu kestävän jopa > 40 vuotta (Forsten – Kuusiniemi – Manni-Rantanen – Sarkkila 2006. 62). Uudellenlämmityksen yhteydessä päällyste menettää kestävyysominaisuuksia ja kestoiän voidaan arvioida lyhenevän 10 - 20 % täysin uuteen asfalttipäällysteeseen verrattuna. Säästyneet rakennuskustannukset kattavat kuitenkin päällysteen lyhentyneen käyttöiän. (Turunen 2012, 25.)

Kestävän kehityksen kannalta onkin järkevää pyrkiä mahdollisimman korkeaan asfalttirouheen käyttöasteeseen ja sitä kautta säästää uusiutumattomia luonnonvaroja ja ympäristöä. Luonnonvarojen ehtyessä materiaalia on hankittava kauempaa, kuljetusmatkat pitenevät ja sitä kautta kustannukset ja päästöt kasvavat.

Ajan myötä päällyste kuitenkin vanhenee ja menettää kestävyysominaisuuksia. Käytännössä se tarkoittaa bitumin ominaisuuksien muuttumista iän ja kuomituksen myötä, mikä ilmenee muun muassa päällysteen halkaisuvetolujuuden heikkenemisenä. Bitumi kovenee aina kuumentuessa. Jokainen lämmityskerta ko-

vettaa bitumia keskimäärin yhden bitumiluokan verran (Forsten ym. 2006. 62). Tämän seurauksena asfalttirouhetta käytettäessä rouheen sisältämä bitumi voi olla aina hieman kovempaa, mitä aikaisemmin kokeellisesti saadut tulokset ovat osoittaneet. Se saattaa osittain selittää tässä opinnäytetyössä jäykkyysmoduulin kasvamisen rouheen määrän kasvaessa.

Suuri jäykkyys saattaa heikentää kyseessä oleva päällysteen pakkasenkestävyyttä ja tätä kautta aiheuttaa päällysteen pakkashalkeilua. (Asfalttinormit 2011.2011, 90). Erityisesti leudot talvet, jolloin jäätymis-sulamissykliä määrä on suuri sekä pitkät kosteat syys- ja kevätjaksot aiheuttavat haasteita päällysteiden kestävyydelle. Asfalttirouheen käytölle ei tämän tutkimuksen perusteella ole estettä, joten sille tulisi kehittää selkeät ohjeet, miten materiaalia voitaisiin käyttää mahdollisimman rutiininomaisesti osana normaalia urakointimenettelyä.

LÄHTEET

Asfalttinormit 2000. 2000. Vantaa: Päällystealan neuvottelukunta PANK ry.

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

Alkio, Risto – Laaksonen, Rainer – Laukkanen, Kyösti. 2008. Päällysteen laadun testaus- ja mittausmenetelmien tarkkuus. Helsinki: Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 46/2008. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/4000644-v-paallysteen_laadun_testaus.pdf. Hakupäivä 6.3.2013.

ASKO asfalttialan koulutusohjelma 2009. Asfaltointi. Asfalttialan oppimateriaali. Saatavissa: http://www.infrary.fi/files/2520_ASKOpieni.pdf. Hakupäivä 24.1.2013.

Forsten, Lars – Kuusiniemi, Risto – Manni-Rantanen, Leena – Sarkkila, Jouni. 2006. Asfalttiset ympäristönsuojaurakenteet. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=61298>. Hakupäivä 6.3.2013.

Halonen, Pekka – Laukkanen, Kyösti – Pyy, Erkko. 2012. Asfalttimassan kestävyys jäätymissulamista sekä veden ja kuormienyhteisvaikutusta vastaan ASFADUR –projekti. Loppuraportti. Liikennevirasto. pdf. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-20_asfalttimassan_kestavyys_web.pdf. Hakupäivä 1.3.2013.

Höynälä, Harri – Mäkelä, Harri. 2000. Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakenteissa. Materiaalit ja käyttökohteet. Helsinki: TEKES teknologiakatsaus 91/2000.

Lehtimäki, Helena. 2012. Asfalttirouheen elvyttäminen keveillä öljytuotteilla. Helsinki: Aalto-yliopisto, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka. Diplomityö.

Lämsä, Veli-Pekka. 2005. Asfaltin uusiokäyttö tierakentamisessa. Helsinki: Tiehallinto, Oulun tiepiiri. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 27/2005.

Mroueh, Ulla-Maija – Mäkelä, Esa – Nousiainen, Antero – Valkeisenmäki, Aarno.2007. Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa. Tiehallinto. Helsinki. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100041-v-07-sivutuoteohje.pdf>. Hakupäivä 10.11.2012.

NCC. 2013. Saatavissa: <https://www.ncc.fi/>. Hakupäivä 24.1.2013.

PANK-4306. 2011. Asfalttimassan jäätymis-sulamiskestävyys. Päällystealan neuvottelukunta PANK ry.

SFS-EN 12697–12. 2004. Asfalttipäällysteen vedenkestävyyden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 12697–23. 2004. Asfalttipäällysteen halkaisuvetolujuuden määrittäminen Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 12697–26. 2004. Jäykkyys. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-käsikirja 165-1. 2004. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

Turunen, Rauno. 2012. Asfaltin uusiokäytön laatuksymyksiä. Tie & Liikenne 5/2012. S. 24–27.

Uusioasfaltti. 2012. Esite. PTL Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumi, Infra ry.

846/2012. 2012. Valtioneuvoston asetus asfalttiasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista. Finlex, lainsäädäntö. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120846>. Hakupäivä 24.1.2013.

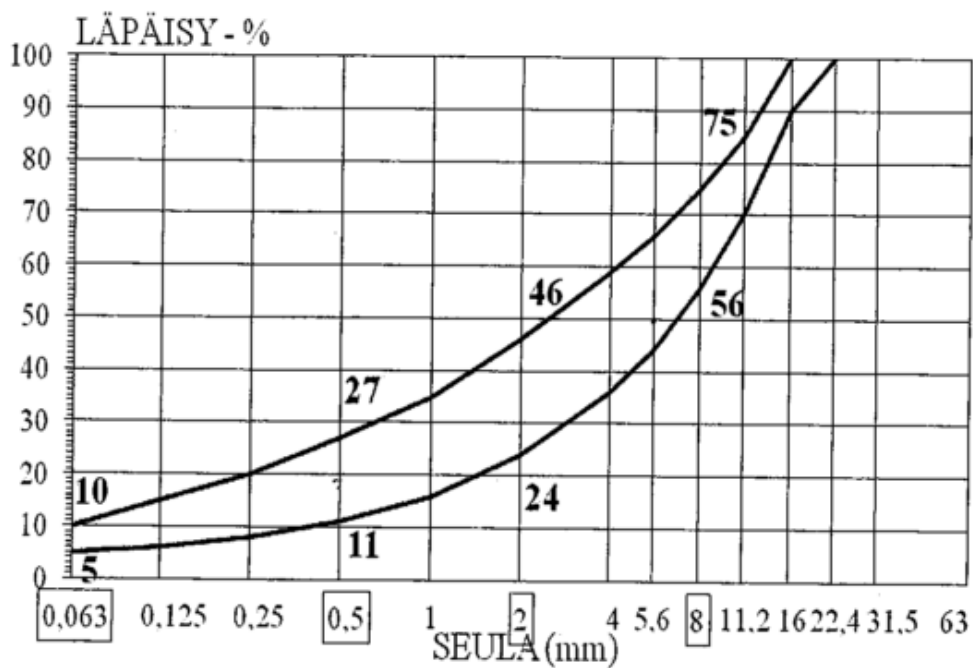
LIITTEET

- Liite 1 Asfalttibetoni AB16-massan ohjealue ja ohjeseulojen läpäisyprosentit (Asfalttinormit 2011.2011,52).
- Liite 2 AB16-massan koostumus 1
- Liite 3 Tyhjättila ja muut tilavuussuhteet
- Liite 4 AB16-massan koostumus 2
- Liite 5 Asfalttirouheen sideaineen ja lisäsideaineen osuudet
- Liite 6 Lisäsideaineen määrä ja kovuus
- Liite 7 Kappaletiheddet
- Liite 8 Tyhjättila ja muut tilavuussuhteet
- Liite 9 Jäykkyys
- Liite 10 Halkaisuvetoluus
- Liite 11 Vedenkestävyys
- Liite 12 Jäätymis-sulamiskestävyys

Asfalttibetoni AB 16

EN-standardien mukainen nimi esimerkiksi AC 16 surf 70/100

Sideaine	Sideainepitoisuus (massa-%)	Vakiopaksuisen päällystelaatan massamäärä (kg/m ²)
Tiebitumi 35/50...160/220 KB65 tai KB75	5,0...6,0	100...125



Kuva 4. Asfalttibetonin AB 16 massan rakeisuuden ohjealue ja läpäisyprosentit ohjeseuloilla.

OAMK / Rakentamistekniikan laboratorio									
AB massan resepti									
Työn nro:	Katajamäki H-M, ins. työ								
Asfaltti:	AB16								
Näyte yht:	1200,0	g							
Bitumia	5,1	%	B100/150						
Bitumia	61,2	g							
Filleriä	3,0	%	Filleri:	KF Saxo					
Filleriä	34,2	g							
	Kiviaines + filleri		Kiviaines			Filleri			
Seula	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	56,9	5,0	95,0	56,9	56,9	0,0	0,0	100,0	
11,2	205,0	18,0	77,0	205,0	261,9	0,0	0,0	100,0	
8	136,7	12,0	65,0	136,7	398,6	0,0	0,0	100,0	
5,6	113,9	10,0	55,0	113,9	512,5	0,0	0,0	100,0	
4	113,9	10,0	45,0	113,9	626,3	0,0	0,0	100,0	
2	159,4	14,0	31,0	159,4	785,8	0,0	0,0	100,0	
1	91,1	8,0	23,0	91,1	876,9	0,0	0,0	100,0	
0,5	56,9	5,0	18,0	56,9	933,8	0,0	0,0	100,0	
0,25	56,9	5,0	13,0	55,2	989,0	1,7	5,0	95,0	
0,125	34,2	3,0	10,0	32,5	1021,5	1,7	5,0	90,0	
0,063	28,5	2,5	7,5	24,4	1045,9	4,1	12,0	78,0	
Pohja	85,4	7,5		58,8	1104,6	26,6	78,0	-	
Yhteensä	1138,8			1104,6		34,2			

OAMK / Rakentamistekniikan laboratorio								
AB massan resepti								
Asfaltti:	Katajamäki HM, ins. työ							
Näyte yht.	1200,0	g						
Bitumia	5,4	%		B100/150				
Bitumia	64,8	g						
Filleriä	3,0	%		KF Saxo				
Filleriä	34,1	g						
	Kivaines + filleri			Kivaines		Filleri		
Seula	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi	yhteen lask.	Seulalle jäi		Läpäisi
#mm	g	%	%	g	kivaines	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	56,8	5,0	95,0	56,8	56,8	0,0	0,0	100,0
11,2	204,3	18,0	77,0	204,3	261,1	0,0	0,0	100,0
8	136,2	12,0	65,0	136,2	397,3	0,0	0,0	100,0
5,6	113,5	10,0	55,0	113,5	510,8	0,0	0,0	100,0
4	113,5	10,0	45,0	113,5	624,4	0,0	0,0	100,0
2	158,9	14,0	31,0	158,9	783,3	0,0	0,0	100,0
1	90,8	8,0	23,0	90,8	874,1	0,0	0,0	100,0
0,5	56,8	5,0	18,0	56,8	930,9	0,0	0,0	100,0
0,25	56,8	5,0	13,0	55,1	985,9	1,7	5,0	95,0
0,125	34,1	3,0	10,0	32,4	1018,3	1,7	5,0	90,0
0,063	28,4	2,5	7,5	24,3	1042,6	4,1	12,0	78,0
Pohja	85,1	7,5		58,6	1101,1	28,6	78,0	-
Yhteensä	1135,2			1101,1		34,1		

Asfalttinäytteen kappaletiheyden määrittäminen SFS-12697-6									
Asfalttinäytteen maksimitiheyden määrittäminen SFS-EN 12697-5									
Asfalttinäytteen tyhjätilan määrittäminen SFS-EN 12697-8									
	Työ:	Katajamäki H-M, ins työ							
	Päiväys:	05.10.12							
Näytteen numero	Sideainepitoisuus	Kiviaineen tiheys	Päällysteen tiheys	Massan teoreettinen tiheys	Teoreettinen tyhjätila V	Kiviaineksen tyhjätila VMA	Bitumilla tyhjätila VFB	Massa ilmassa	Massa vedessä
	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(%)	(%)	(%)	(g)	(g)
1	5,1	2824	2502	2590	3,4	15,9	78,6	1193,6	716,6
2	5,1	2824	2507	2590	3,2	15,7	79,6	1198	720,2
					3,3	15,8	79,1		
3	5,4	2824	2507	2578	2,8	16,0	82,8	1193,7	717,5
4	5,4	2824	2505	2578	2,8	16,1	82,5	1194,3	717,6
					2,8	16,1	82,7		

OAMK / Rakentamistekniikan laboratorio

AB massan resepti

Työn nro:	Katajamäki		
Asfaltti:	AB16		
Näyte yht:	4875,0	g	vertailulaatta 1/4 näyte
Bitumia	5,1	%	B100/150
Bitumia	248,6	g	
Filleriä	3,0	%	Filleri: KF Saxo
Filleriä	138,8	g	

Seula #mm	Kiviaines + filleri			Kiviaines		Filleri		
	Seulalle jäi g	%	Läpäisi %	Seulalle jäi g	yhteen lask. kiviaines	Seulalle jäi g	%	Läpäisi %
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	231,3	5,0	95,0	231,3	231,3	0,0	0,0	100,0
11,2	832,7	18,0	77,0	832,7	1064,1	0,0	0,0	100,0
8	555,2	12,0	65,0	555,2	1619,2	0,0	0,0	100,0
5,6	462,6	10,0	55,0	462,6	2081,9	0,0	0,0	100,0
4	462,6	10,0	45,0	462,6	2544,5	0,0	0,0	100,0
2	647,7	14,0	31,0	647,7	3192,2	0,0	0,0	100,0
1	370,1	8,0	23,0	370,1	3562,3	0,0	0,0	100,0
0,5	231,3	5,0	18,0	231,3	3793,6	0,0	0,0	100,0
0,25	231,3	5,0	13,0	224,4	4018,0	6,9	5,0	95,0
0,125	138,8	3,0	10,0	131,9	4149,9	6,9	5,0	90,0
0,063	115,7	2,5	7,5	99,0	4248,9	16,7	12,0	78,0
Pohja	347,0	7,5		238,7	4487,6	108,3	78,0	-
Yhteensä	4626,4			4487,6		138,8		

OAMK / Rakentamistekniikan laboratorio										
AB massan resepti										
Työn nro:	Katajamäki									
Asfaltti:	AB16									
Näyte yht.	4387,5	g	rouhetta 10% = 487,5 g		1/4 näyte					
Bitumia	5,1	%	B100/150							
Bitumia	223,8	g								
Filleriä	3,0	%	Filleri:	KF Saxo						
Filleriä	124,9	g								
	Kiviaines + filleri		Kiviaines			Filleri				
Seula	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	0,0	100,0	
31,5	0,0	0,0	100,0	0,0	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	0,0	100,0	
16	208,2	5,0	95,0	208,2	208,2	0,0	0,0	0,0	100,0	
11,2	749,5	18,0	77,0	749,5	957,7	0,0	0,0	0,0	100,0	
8	499,6	12,0	65,0	499,6	1457,3	0,0	0,0	0,0	100,0	
5,6	416,4	10,0	55,0	416,4	1873,7	0,0	0,0	0,0	100,0	
4	416,4	10,0	45,0	416,4	2290,1	0,0	0,0	0,0	100,0	
2	582,9	14,0	31,0	582,9	2873,0	0,0	0,0	0,0	100,0	
1	333,1	8,0	23,0	333,1	3206,1	0,0	0,0	0,0	100,0	
0,5	208,2	5,0	18,0	208,2	3414,3	0,0	0,0	0,0	100,0	
0,25	208,2	5,0	13,0	201,9	3616,2	6,2	5,0	95,0		
0,125	124,9	3,0	10,0	118,7	3734,9	6,2	5,0	90,0		
0,063	104,1	2,5	7,5	89,1	3824,0	15,0	12,0	78,0		
Pohja	312,3	7,5		214,8	4038,8	97,4	78,0	-		
Yhteensä	4163,7			4038,8		124,9				

OAMK / Rakentamistekniikan laboratorio									
AB massan resepti									
Työn nro:	Katajamäki								
Asfaltti:	AB16								
Näyte yht	3412,5	g	rouhetta 30% = 1462,5 g						1/4 näyte
Bitumia	5,1	%	B100/150						
Bitumia	174,0	g							
Filleriä	3,0	%	Filleri:	KF Saxo					
Filleriä	97,2	g							
	Kivaines + filleri		Kivaines			Filleri			
Seula	Seulalle jäi		Läpäisi	Seulalle jäi	yhteen lask.	Seulalle jäi		Läpäisi	
#mm	g	%	%	g	kivaines	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	161,9	5,0	95,0	161,9	161,9	0,0	0,0	100,0	
11,2	582,9	18,0	77,0	582,9	744,8	0,0	0,0	100,0	
8	388,6	12,0	65,0	388,6	1133,5	0,0	0,0	100,0	
5,6	323,8	10,0	55,0	323,8	1457,3	0,0	0,0	100,0	
4	323,8	10,0	45,0	323,8	1781,2	0,0	0,0	100,0	
2	453,4	14,0	31,0	453,4	2234,5	0,0	0,0	100,0	
1	259,1	8,0	23,0	259,1	2493,6	0,0	0,0	100,0	
0,5	161,9	5,0	18,0	161,9	2655,5	0,0	0,0	100,0	
0,25	161,9	5,0	13,0	157,1	2812,6	4,9	5,0	95,0	
0,125	97,2	3,0	10,0	92,3	2904,9	4,9	5,0	90,0	
0,063	81,0	2,5	7,5	69,3	2974,2	11,7	12,0	78,0	
Pohja	242,9	7,5		167,1	3141,3	75,8	78,0	-	
Yhteensä	3238,5			3141,3		97,2			

OAMK / Rakentamistekniikan laboratorio

AB massan resepti

Työn nro:	Katajamäki		
Asfaltti:	AB16		
Näyte yht.	2437,5	g	rouhetta 50% = 2437,5 g 1/4 näyte
Bitumia	5,1	%	B100/150
Bitumia	124,3	g	
Filleriä	3,0	%	Filleri: KF Saxo
Filleriä	69,4	g	

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	115,7	5,0	95,0	115,7	115,7	0,0	0,0	100,0
11,2	416,4	18,0	77,0	416,4	532,0	0,0	0,0	100,0
8	277,6	12,0	65,0	277,6	809,6	0,0	0,0	100,0
5,6	231,3	10,0	55,0	231,3	1040,9	0,0	0,0	100,0
4	231,3	10,0	45,0	231,3	1272,3	0,0	0,0	100,0
2	323,8	14,0	31,0	323,8	1596,1	0,0	0,0	100,0
1	185,1	8,0	23,0	185,1	1781,2	0,0	0,0	100,0
0,5	115,7	5,0	18,0	115,7	1896,8	0,0	0,0	100,0
0,25	115,7	5,0	13,0	112,2	2009,0	3,5	5,0	95,0
0,125	69,4	3,0	10,0	65,9	2074,9	3,5	5,0	90,0
0,063	57,8	2,5	7,5	49,5	2124,4	8,3	12,0	78,0
Pohja	173,5	7,5		119,4	2243,8	54,1	78,0	-
Yhteensä	2313,2			2243,8		69,4		

Massa AB16: 10 % rouhetta**Rouheen sideaineen määrä:**

Rouheen sideaineen määrä= (rouheen sideainepitoisuus (massa-%) * rouheen määrä g)/100

Rouheen sideainepitoisuus (massa-%) bit% := 3.5

Rouheen määrä g RC:= 487.1

Rouheen sideaineen määrä $RG_{bit} := \frac{bit\% \cdot RC}{100}$

$$RG_{bit} = 19.012$$

Lisäsideaineen määrä g = Massa bitumimäärä g - Rouheen sideaineen määrä g

Bitumimäärä g bit := 248.6

Rouheen sideaineen määrä $RG_{bit} = 19.012$

Lisäsideaine : bit - $RG_{bit} = 229.638$

Asfalttirouheen sideaineen (a) ja lisäsideaineen (b) osuudet valmistettavassa asfalttimassassa a+b=1

Rouheen sideaineen määrä g $RG_{bit} = 19.012$

Lisäsideaine g bit - $RG_{bit} = 229.638$

Sideaineen kokonaismäärä g $Sid_{kok} := bit - RG_{bit} + RG_{bit}$

$$Sid_{kok} = 248.65$$

Asfalttirouheen sideaineen (a) osuus valmistettavassa asfalttimassassa

$$a := \frac{RG_{bit}}{Sid_{kok}} = 0.076$$

Lisätyn sideaineen (b) osuus valmistettavassa asfalttimassassa (a+b=1)

$$b := \frac{bit - RG_{bit}}{Sid_{kok}} = 0.924$$

Massa AB16: 30 % rouhetta**Rouheen sideaineen määrä:**

Rouheen sideaineen määrä= (rouheen sideainepitoisuus (massa-%) * rouheen määrä g)/100

Rouheen sideainepitoisuus (massa-%) bit% := 3.5

Rouheen määrä g RC:= 1462.:

Rouheen sideaineen määrä $RC_{bit} := \frac{bit\% \cdot RC}{100}$

$$RC_{bit} = 57.038$$

Lisäsideaineen määrä g = Massa bitumimäärä g - Rouheen sideaineen määrä g

Bitumimäärä g bit := 248.6

Rouheen sideaineen määrä $RC_{bit} = 57.038$

Lisäsideaine : bit - $RC_{bit} = 191.613$

Asfalttirouheen sideaineen (a) ja lisätyn sideaineen (b) osuudet valmistettavassa asfalttimassassa a+b=1

Rouheen sideaineen määrä g $RC_{bit} = 57.038$

Lisäsideaine g bit - $RC_{bit} = 191.613$

Sideaineen kokonaismäärä g $Sid_{kok} := bit - RC_{bit} + RC_{bit}$

$$Sid_{kok} = 248.65$$

Asfalttirouheen sideaineen (a) osuus valmistettavassa asfalttimassassa

$$a := \frac{RC_{bit}}{Sid_{kok}} \qquad a = 0.229$$

Lisätyn sideaineen (b) osuus valmistettavassa asfalttimassassa (a+b=1)

$$b := \frac{bit - RC_{bit}}{Sid_{kok}} \qquad b = 0.771$$

Massa AB16: 50 % rouhetta**Rouheen sideaineen määrä:**

Rouheen sideaineen määrä= (rouheen sideainepitoisuus (massa-%) * rouheen määrä g)/100

Rouheen sideainepitoisuus (massa-%) bit% := 3.5

Rouheen määrä g RC := 2437.:

Rouheen sideaineen määrä $RC_{bit} := \frac{bit\% \cdot RC}{100}$

$$RC_{bit} = 95.063$$

Lisäsideaineen määrä g = Massa bitumimäärä g - Rouheen sideaineen määrä g

Bitumimäärä g bit := 248.6

Rouheen sideaineen määrä $RC_{bit} = 95.063$

Lisäsideaine : bit - $RC_{bit} = 153.588$

Asfalttirouheen sideaineen (a) ja lisäsideaineen (b) osuudet valmistettavassa asfalttimassassa a+b=1

Rouheen sideaineen määrä g $RC_{bit} = 95.063$

Lisäsideaine g bit - $RC_{bit} = 153.588$

Sideaineen kokonaismäärä g $Sid_{kok} := bit - RC_{bit} + RC_{bit}$

$$Sid_{kok} = 248.65$$

Asfalttirouheen sideaineen (a) osuus valmistettavassa asfalttimassassa

$$a := \frac{RC_{bit}}{Sid_{kok}} \qquad a = 0.382$$

Lisätyn sideaineen (b) osuus valmistettavassa asfalttimassassa (a+b=1)

$$b := \frac{bit - RC_{bit}}{Sid_{kok}} \qquad b = 0.618$$

Asfalttirouhetta 10 % sisältävän massan sideaineen tunkeuma lasketaan kaavalla (Asfalttinormit 2011, 40):

$a = 0.076$	Asfalttirouheen sideaineen (a) osuus valmistettavassa asfalttimassassa
$b = 0.924$	Lisätyn sideaineen (b) osuus valmistettavassa asfalttimassassa ($a+b=1$)
$pen_{mix} := 120$	Valmistettavan massan sideaineen laskennallinen tunkeuma
$pen_1 := 31.4$	Asfalttirouheesta talteenotetun sideaineen tunkeuma
pen_2	Lisätyn sideaineen tunkeuma

$$(a + b) \cdot \log(pen_{mix}) = a \cdot \log(pen_1) + b \cdot \log(pen_2)$$

$$\frac{[(a + b) \cdot \log(pen_{mix}) - a \cdot \log(pen_1)]}{b} = 2.127$$

$$\log(pen_2) = \frac{[(a + b) \cdot \log(pen_{mix}) - a \cdot \log(pen_1)]}{b}$$

$$pen_2 := 10^{\frac{[(a+b) \cdot \log(pen_{mix}) - a \cdot \log(pen_1)]}{b}}$$

$$pen_2 = 134.087$$

Bitumin määrä ja laatu (g)

Käytettävät bitumilaadut B100/150 ja V1500

1200.989792+ 15000.010208= 134.087

B100/150 -> 99 % -> 227,342 g

V1500 -> 1 % -> 2,296 g

Asfalttirouhetta 30 % sisältävän massan sideaineen tunkeuma lasketaan kaavalla (Asfalttinormit 2011, 40):

$a = 0.229$	Asfalttirouheen sideaineen (a) osuus valmistettavassa asfalttimassassa
$b = 0.771$	Lisätyn sideaineen (b) osuus valmistettavassa asfalttimassassa ($a+b=1$)
$pen_{mix} := 120$	Valmistettavan massan sideaineen laskennallinen tunkeuma
$pen_1 := 31.4$	Asfalttirouheesta talteenotetun sideaineen tunkeuma
pen_2	Lisätyn sideaineen tunkeuma

$$(a + b) \cdot \log(pen_{mix}) - a \cdot \log(pen_1) + b \cdot \log(pen_2)$$

$$\frac{[(a + b) \cdot \log(pen_{mix}) - a \cdot \log(pen_1)]}{b} = 2.253$$

$$\log(pen_2) = \frac{[(a + b) \cdot \log(pen_{mix}) - a \cdot \log(pen_1)]}{b}$$

$$pen_2 := 10^{\frac{[(a+b) \cdot \log(pen_{mix}) - a \cdot \log(pen_1)]}{b}}$$

$$pen_2 = 178.855$$

Bitumin määrä ja laatu (g)

Käytettävät bitumilaadut B100/150 ja V1500

$$1200.957351 + 15000.042649 = 178.856$$

$$B100/150 \rightarrow 95,7 \% \rightarrow 183,374 \text{ g}$$

$$V1500 \rightarrow 4,3 \% \rightarrow 8,239 \text{ g}$$

Asfalttirouhetta 50 % sisältävän massan sideaineen tunkeuma lasketaan kaavalla (Asfalttinormit 2011, 40):

$a = 0.382$	Asfalttirouheen sideaineen (a) osuus valmistettavassa asfalttimassassa
$b = 0.618$	Lisätyn sideaineen (b) osuus valmistettavassa asfalttimassassa ($a+b=1$)
$pen_{mix} := 120$	Valmistettavan massan sideaineen laskennallinen tunkeuma
$pen_1 := 31.4$	Asfalttirouheesta talteenotetun sideaineen tunkeuma
pen_2	Lisätyn sideaineen tunkeuma

$$(a + b) \cdot \log(pen_{mix}) = a \cdot \log(pen_1) + b \cdot \log(pen_2)$$

$$\frac{[(a + b) \cdot \log(pen_{mix}) - a \cdot \log(pen_1)]}{b} = 2.44$$

$$\log(pen_2) = \frac{[(a + b) \cdot \log(pen_{mix}) - a \cdot \log(pen_1)]}{b}$$

$$pen_2 := 10^{\frac{[(a+b) \cdot \log(pen_{mix}) - a \cdot \log(pen_1)]}{b}}$$

$$pen_2 = 275.147$$

Bitumin määrä ja laatu (g)

Käytettävät bitumilaadut B100/150 ja V1500

$$1200.887575 + 15000.112425 = 275.147$$

B100/150 -> 88,7575 % -> 138,321 g

V1500 -> 11,2425 % -> 17,2871 g

		Asfalttinäytteen kappaletiheyden määrittäminen SFS-12697-6								
		Asfalttinäytteen maksimitiheyden määrittäminen SFS-EN 12697-5								
		Asfalttinäytteen tyhjätilan määrittäminen SFS-EN 12697-8								
	Työ:	Katajamäki H-M, ins työ, AB16RC0								
	Päiväys:	28.01.13								
Näytteen numero	Sideainepitoisuus	Kiviaineen tiheys	Päällysteen tiheys	Massan teoreettinen tiheys	Teoreettinen tyhjätila	Kiviaineksen tyhjätila	Bitumilla tyhjätila	Massa ilmassa	Massa vedessä	
	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	V (%)	VMA (%)	VFB (%)	(g)	(g)	
1	5,1	2824	2467	2590	4,8	17,1	72,1	1229,6	731,1	
2	5,1	2824	2451	2590	5,4	17,6	69,5	1213,5	718,4	
3	5,1	2824	2489	2590	3,9	16,4	76,0	1267,8	758,4	
4	5,1	2824	2433	2590	6,1	18,3	66,6	1165,9	686,6	
5	5,1	2824	2427	2590	6,3	18,5	65,7	1174,2	690,3	
6	5,1	2824	2442	2590	5,7	17,9	68,1	1215,6	717,8	
7	5,1	2824	2434	2590	6,0	18,2	66,8	1170,2	689,4	
8	5,1	2824	2503	2590	3,4	15,9	78,8	1284	771	
9	5,1	2824	2512	2590	3,0	15,6	80,6	1297,9	781,2	
					5,0	17,3	71,6			

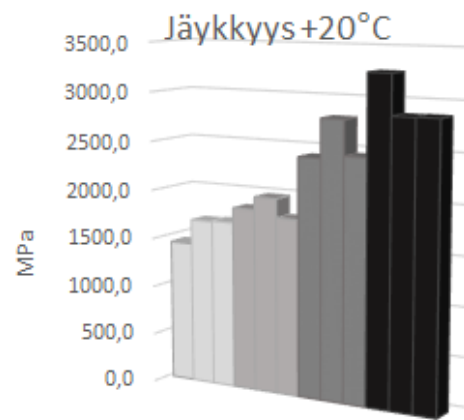
Asfalttinäytteen kappaletiheyden määrittäminen SFS-12697-6									
Asfalttinäytteen maksimitiheyden määrittäminen SFS-EN 12697-5									
Asfalttinäytteen tyhjätilan määrittäminen SFS-EN 12697-8									
Työ:		Katajamäki H-M, ins työ, AB16RC10							
Päiväys:		28.01.13							
Näytteen numero	Sideainepitoisuus (%)	Kiviaineen tiheys (kg/m ³)	Päällysteen tiheys (kg/m ³)	Massan teoreettinen tiheys (kg/m ³)	Teoreettinen tyhjätila V (%)	Kiviaineksen tyhjätila VMA (%)	Bitumilla tyhjätila VFB (%)	Massa ilmassa (g)	Massa vedessä (g)
1	5,1	2811,0	2465	2580	4,4	16,8	73,5	1245,4	740,2
2	5,1	2811,0	2459	2580	4,7	17,0	72,3	1244,1	738,1
3	5,1	2811,0	2473	2580	4,1	16,5	74,9	1235,4	735,9
4	5,1	2811,0	2438	2580	5,5	17,7	68,9	1202,5	709,2
5	5,1	2811,0	2432	2580	5,7	17,9	68,0	1196,3	704,4
6	5,1	2811,0	2481	2580	3,8	16,2	76,5	1252,6	747,8
7	5,1	2811,0	2499	2580	3,1	15,6	79,9	1285,4	771
8	5,1	2811,0	2400	2580	7,0	19,0	63,3	1244,1	725,8
9	5,1	2811,0	2452	2580	5,0	17,2	71,2	1202,9	712,3
					4,8	17,1	72,0		
HUOMAUTUKSIA:									
Kiviaines	Tiheys	Osuus %	g	Kok. % osuus					
Kalkkifilleri	2818	3,0	124,9	2,7					
0-4 #	2770	52,0	2165,1	46,5					
5,6-16 #	2870	45,0	1873,7	40,3					
		100,0	4163,7				Kiviaineen tiheys		
							2811,0		
Rouhe	2772	10	487,5	10,5					
		yht.	4651,2	100					

Asfalttinäytteen kappaletiheyden määrittäminen SFS-12697-6									
Asfalttinäytteen maksimitiheyden määrittäminen SFS-EN 12697-5									
Asfalttinäytteen tyhjätilan määrittäminen SFS-EN 12697-8									
Työ:		Katajamäki H-M, ins työ, AB16RC30							
Päiväys:		28.01.13							
Näytteen numero	Sideaine-pitoisuus	Kiviaineen tiheys	Päällysteen tiheys	Massan teoreettinen tiheys	Teoreettinen tyhjätila V	Kiviaineksen tyhjätila VMA	Bitumilla tyhjätila VFB	Massa ilmassa	Massa vedessä
	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(%)	(%)	(%)	(g)	(g)
1	5,1	2806,6	2417	2576	6,2	18,3	66,2	1201,6	704,5
2	5,1	2806,6	2450	2576	4,9	17,2	71,3	1213,1	717,9
3	5,1	2806,6	2479	2576	3,8	16,2	76,6	1236,5	737,7
4	5,1	2806,6	2487	2576	3,5	15,9	78,3	1247,7	746,1
5	5,1	2806,6	2442	2576	5,2	17,4	70,0	1213,6	716,6
6	5,1	2806,6	2463	2576	4,4	16,7	73,6	1248,5	741,5
7	5,1	2806,6	2493	2576	3,3	15,7	79,3	1245,8	746
8	5,1	2806,6	2504	2576	2,8	15,3	81,7	1217,5	731,3
9	5,1	2806,6	2487	2576	3,5	15,9	78,2	1249,4	747,1
					4,2	16,5	75,0		
HUOMAUTUKSIA:									
Kiviaines	Tiheys	Osuus %	g	Kok. % osuus					
Kalkkifilleri	2818	3,0	97,2	2,1					
0-4 #	2770	45,0	1457,3	31,0					
5,6-16 #	2870	52,0	1684	35,8					
		100	3238,5			Kiviaineen tiheys			
						2806,6			
Rouhe	2772	30	1462,5	31,1					
		yht.	4701	100					

Asfalttinäytteen kappaletiheyden määrittäminen SFS-12697-6									
Asfalttinäytteen maksimitiheyden määrittäminen SFS-EN 12697-5									
Asfalttinäytteen tyhjätilan määrittäminen SFS-EN 12697-8									
Työ:		Katajamäki H-M, ins työ, AB16RC50							
Päiväys:		28.01.13							
Näytteen numero	Sideainepitoisuus (%)	Kiviaineen tiheys (kg/m ³)	Päällysteen tiheys (kg/m ³)	Massan teoreettinen tiheys (kg/m ³)	Teoreettinen tyhjätila V (%)	Kiviaineksen tyhjätila VMA (%)	Bitumilla tyhjätila VFB (%)	Massa ilmassa (g)	Massa vedessä (g)
1	5,1	2793,1	2452	2566	4,4	16,7	73,5	1204,9	713,5
2	5,1	2793,1	2473	2566	3,6	16,0	77,4	1284,8	765,3
3	5,1	2793,1	2436	2566	5,0	17,2	70,7	1207,4	711,8
4	5,1	2793,1	2462	2566	4,0	16,3	75,4	1253,1	744,2
5	5,1	2793,1	2453	2566	4,4	16,7	73,6	1227,1	726,8
6	5,1	2793,1	2476	2566	3,5	15,9	77,9	1252,4	746,5
7	5,1	2793,1	2419	2566	5,7	17,8	67,8	1177,6	690,7
8	5,1	2793,1	2447	2566	4,6	16,9	72,6	1197,4	708,1
9	5,1	2793,1	2424	2566	5,5	17,6	68,7	1186,5	697
					4,5	16,8	73,1		
HUOMAUTUKSIA:									
Kiviaines	Tiheys	Osuus %	g	Kok. % osuus					
Kalkkifilleri	2818	3,0	69,4	1,5					
0-4 #	2770	52,0	1202,9	25,3					
5,6-16 #	2870	45,0	1040,9	21,9					
		100	2313,2						
					Kiviaineen tiheys				
					2793,1				
Rouhe	2772	50	2437,5	51,3					
		yht.	4750,7	100					

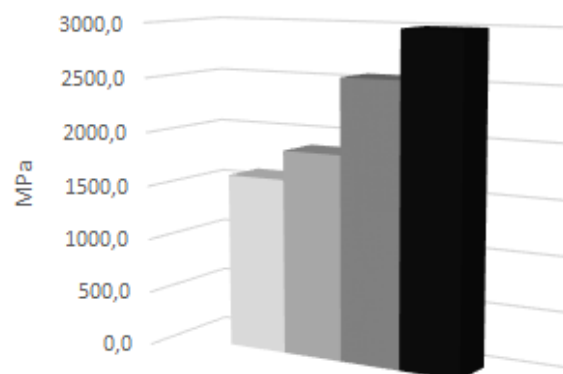
Jäykkyys +20°C

AB16RC0	A	B	
2	1500	1374	1437,0
5	1771	1601	1686,0
9	1703	1688	1695,5
		ka	1606,2
AB16RC10			
15	1854	1845	1849,5
17	2083	1879	1981,0
18	1826	1752	1789,0
		ka	1873,2
AB16RC30			
36	2480	2350	2415,0
37	2858	2753	2805,5
38	2575	2329	2452,0
		ka	2557,5
AB16RC50			
56	3081	3448	3264,5
57	2874	2852	2863,0
58	2970	2763	2866,5
		ka	2998,0



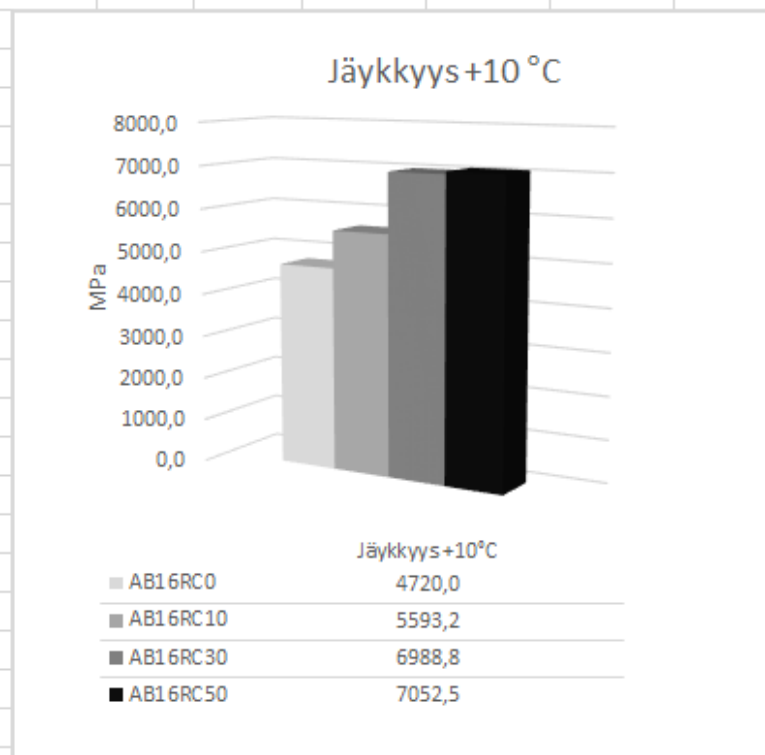
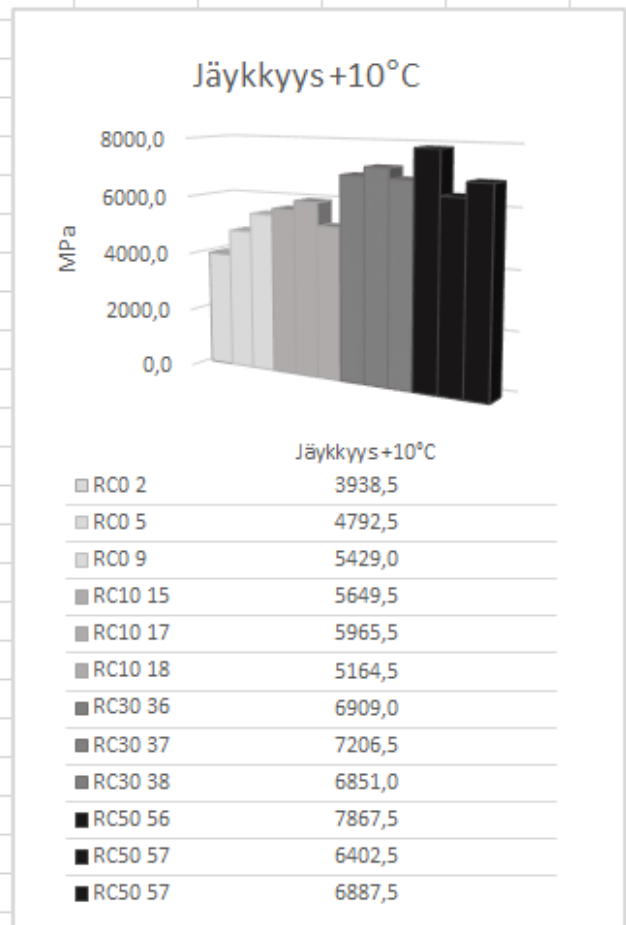
Jäykkyys+20°C	
RC0 2	1437,0
RC0 5	1686,0
RC0 9	1695,5
RC10 15	1849,5
RC10 17	1981,0
RC10 18	1789,0
RC30 36	2415,0
RC30 37	2805,5
RC30 38	2452,0
RC50 56	3264,5
RC50 57	2863,0
RC50 58	2866,5

Jäykkyys +20 °C

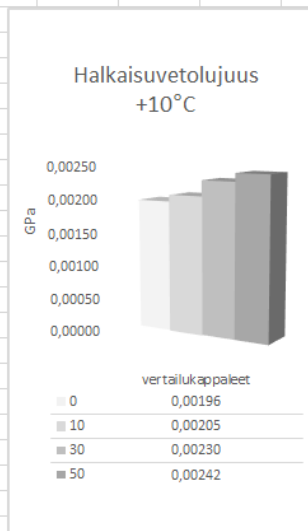
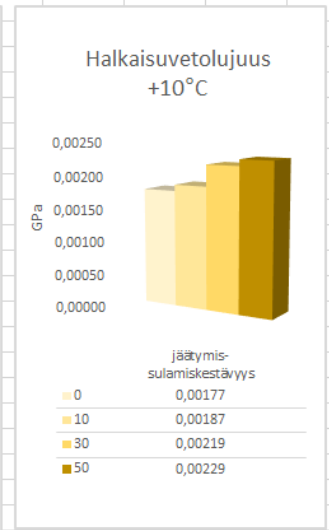
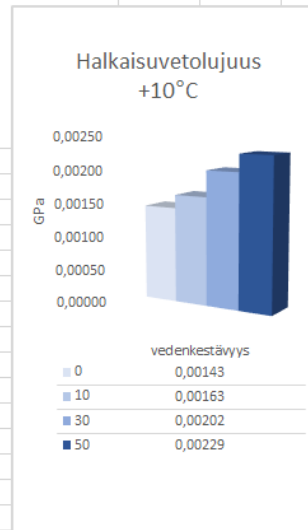


Jäykkyys+20°C	
AB16RC0	1606,2
AB16RC10	1873,2
AB16RC30	2557,5
AB16RC50	2998,0

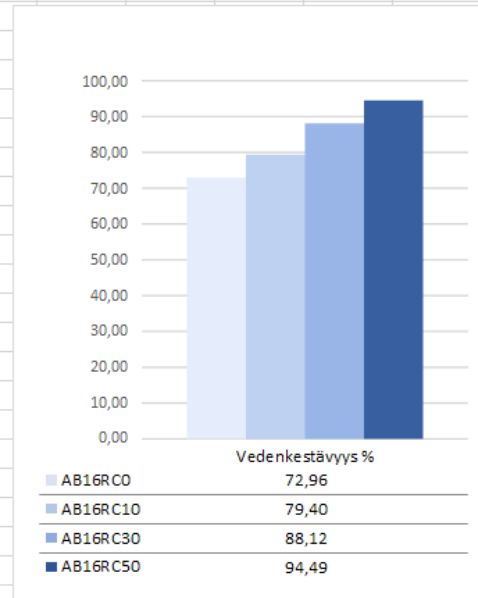
Jäykkyys +10°C			
AB16RC0	A	B	
2	4340	3537	3938,5
5	4586	4999	4792,5
9	5170	5688	5429,0
ka			4720,0
AB16RC10			
15	5714	5585	5649,5
17	6088	5843	5965,5
18	5298	5031	5164,5
ka			5593,2
AB16RC30			
36	7022	6796	6909,0
37	7603	6810	7206,5
38	6842	6860	6851,0
ka			6988,8
AB16RC50			
56	7595	8140	7867,5
57	6135	6670	6402,5
58	6782	6993	6887,5
ka			7052,5



Halkaisuvetolujuus						
VDK	vedenkestävyys					
JSK	jäätymis-sulamiskestävyys					
VK	vertailukappale					
	kappale nro	huippu-kuormitus [kN]	korkeus H [mm]	halkaisija D [mm]	halkaisuvetolujuus ITSR [GPa]	keski-arvo [GPa]
VDK	3	15,133	66,2	100,4	0,001449	
VDK	6	14,071	64,3	100,5	0,001386	
VDK	7	14,299	62,2	100,4	0,001458	0,00143
VDK	12	16,144	65,3	100,5	0,001566	
VDK	16	18,167	65,3	100,4	0,001764	
VDK	19	15,689	63,7	100,4	0,001562	0,00163
VDK	32	20,405	63,7	100,4	0,002031	
VDK	35	18,913	63,9	100,5	0,001875	
VDK	39	22,2	64,9	100,5	0,002167	0,00202
VDK	51	24,501	63,9	100,4	0,0024313	
VDK	52	24,944	67,8	100,5	0,0023305	
VDK	59	21,037	63,5	100,5	0,0020986	0,00229
JSK	1	18,774	63,4	100,4	0,001878	
JSK	4	15,55	66,2	100,5	0,001488	
JSK	8	20,38	66,2	100,5	0,001950	0,00177
JSK	11	20,102	65,9	100,4	0,001934	
JSK	13	20,064	64,2	100,5	0,001980	
JSK	14	17,093	64,2	100,5	0,001687	0,00187
JSK	31	20,266	64,7	100,4	0,001986	
JSK	33	23,566	64	100,5	0,002332	
JSK	34	22,959	64,3	100,5	0,002262	0,00219
JSK	53	20,683	64,7	100,3	0,002029	
JSK	54	25,121	65,3	100,5	0,0024369	
JSK	55	24,248	63,8	100,4	0,0024099	0,00229
VK	2	19,419	65,6	100,4	0,001877	
VK	5	18,344	62,5	100,5	0,001859	
VK	9	22,327	65,9	100,4	0,002148	0,00196
VK	15	20,064	65,5	100,4	0,001942	
VK	17	22,554	65,8	100,4	0,002173	
VK	18	21,151	65,5	100,5	0,002046	0,00205
VK	36	23,818	65	100,3	0,002326	
VK	37	25,222	65,5	100,3	0,002444	
VK	38	21,96	65,5	100,6	0,002122	0,00230
VK	56	26,764	65,7	100,5	0,0025805	
VK	57	21,821	63,8	100,4	0,0021687	
VK	58	25,171	63,5	100,5	0,002511	0,00242



Vedenkestävyys [%]						
Vedenkestävyysskappaleet						
kappale nro	huippukuormitus [kN]	korkeus H [mm]	halkaisija D [mm]	halkaisuvetolujuus ITSR [GPa]	keskiarvo [GPa]	Vedenkestävyys %
3	15,133	66,2	100,4	0,001449		
6	14,071	64,3	100,5	0,001386		
7	14,299	62,2	100,4	0,001458	0,00143	72,96
12	16,144	65,3	100,5	0,001566		
16	18,167	65,3	100,4	0,001764		
19	15,689	63,7	100,4	0,001562	0,00163	79,40
32	20,405	63,7	100,4	0,002031		
35	18,913	63,9	100,5	0,001875		
39	22,2	64,9	100,5	0,002167	0,00202	88,12
51	24,501	63,9	100,4	0,0024313		
52	24,944	67,8	100,5	0,0023305		
59	21,037	63,5	100,5	0,0020986	0,00229	94,49
Vertailukappaleet						
kappale nro	huippukuormitus [kN]	korkeus H [mm]	halkaisija D [mm]	halkaisuvetolujuus ITSR [GPa]	keskiarvo [GPa]	Vedenkestävyys %
2	19,419	65,6	100,4	0,001877		
5	18,344	62,5	100,5	0,001859		
9	22,327	65,9	100,4	0,002148	0,00196	
15	20,064	65,5	100,4	0,001942		
17	22,554	65,8	100,4	0,002173		
18	21,151	65,5	100,5	0,002046	0,00205	
36	23,818	65	100,3	0,002326		
37	25,222	65,5	100,3	0,002444		
38	21,96	65,5	100,6	0,002122	0,00230	
56	26,764	65,7	100,5	0,0025805		
57	21,821	63,8	100,4	0,0021687		
58	25,171	63,5	100,5	0,002511	0,00242	



Jäätymis-sulamiskestävyys						
kappale nro	huippu-kuormitus [kN]	korkeus H [mm]	halkaisija D [mm]	halkaisuvetolujuus ITSR [GPa]	keskiarvo [GPa]	Jäätymis-sulamiskest. %
1	18,774	63,4	100,4	0,001878		
4	15,55	66,2	100,5	0,001488		
8	20,38	66,2	100,5	0,001950	0,00177	90,334
11	20,102	65,9	100,4	0,001934		
13	20,064	64,2	100,5	0,001980		
14	17,093	64,2	100,5	0,001687	0,00187	90,897
31	20,266	64,7	100,4	0,001986		
33	23,566	64	100,5	0,002332		
34	22,959	64,3	100,5	0,002262	0,00219	95,486
53	20,683	64,7	100,3	0,002029		
54	25,121	65,3	100,5	0,002437		
55	24,248	63,8	100,4	0,00241	0,00229	94,707
Vertailukappaleet						
2	19,419	65,6	100,4	0,001877		
5	18,344	62,5	100,5	0,001859		
9	22,327	65,9	100,4	0,002148	0,00196	
15	20,064	65,5	100,4	0,001942		
17	22,554	65,8	100,4	0,002173		
18	21,151	65,5	100,5	0,002046	0,00205	
36	23,818	65	100,3	0,002326		
37	25,222	65,5	100,3	0,002444		
38	21,96	65,5	100,6	0,002122	0,00230	
56	26,764	65,7	100,5	0,00258		
57	21,821	63,8	100,4	0,002169		
58	25,171	63,5	100,5	0,002511	0,00242	

