

Loza-Senay Getachew

Mäntyöljypohjaisen tartukkeen käyttö bitumissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

21.05.2014

Tekijä Otsikko	Loza-Senay Getachew Mäntyöljypohjaisen tartukkeen käyttö bitumissa
Sivumäärä Aika	77 sivua + 4 liitettä 21.05.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Prosessien suunnittelu ja käyttö
Ohjaajat	Lehtori Timo Laitinen Toimitusjohtaja Mika Varis, EVOgrip Oy Kehitysjohtaja Janne Eskola, Chumt Oü
<p>Asfaltti koostuu suuresta määrästä kiviainesta, sideaineena toimivasta bitumista sekä tarpeellisista lisäaineista. Lisäaineena toimivan tartukkeen tarkoituksena on edistää kiviaineksen ja bitumin välistä tarttuvuutta ja näin parantaa tiepäällysteen lujuutta sekä kestävyyttä. Suomessa sekä muissa Pohjoismaissa käytetään yleisesti amiinipohjaisia tartukkeita asfaltin bitumissa. Ympäristöystävällisempi vaihtoehto amiinipohjaisille tartukkeille olisivat mäntyöljypohjaiset tartukkeet, joita käytetään Kanadan ja Yhdysvaltojen asfalttiteollisuudessa. EVOgrip Oy on vuonna 2013 perustettu yritys, joka pyrkii tuomaan Pohjoismaiden markkinoille kyseisiä tartukkeita.</p> <p>Mäntyöljypohjaisten tartukkeiden toimivuutta selvittävä tutkimus tilattiin Lemminkäisen Keskuslaboratoriolta EVOgrip Oy:n toimeksiannosta. Tämän johdosta Lemminkäisen Keskuslaboratoriossa laadittiin tutkimuksen koesuunnitelma sekä toteutettiin tutkimuskokeet. Tutkimus suoritettiin pehmeillä asfalttilaaduilla PAB-V-päällysteillä sekä kuumapäällysteillä, AB16-päällysteillä. Eri tartukelaatuja ja -määriä sisältävät asfalttinäytteet mitattiin kansainvälisesti hyväksytyjen standardien mukaisilla menetelmillä tai niitä mukailten. Tämän insinööritöön tavoitteena oli tarkastella valmiiksi tehdyn koesuunnitelman tutkimustuloksia ja tehdä johtopäätöksiä mäntyöljypohjaisten tartukkeiden toimivuudesta. Työn teoriaosassa on puolestaan perehdytty asfaltin ja sen komponenttien ominaisuuksiin.</p> <p>Tulosten perusteella voitiin todeta, että amiinipohjaista tartuketta sisältävät asfalttinäytteet antoivat parempia tuloksia. Joissakin tapauksissa myös mäntyöljypohjaisilla tartukkeilla saatiin vaatimuksia täyttävät tulokset. Mäntyöljypohjaisten tartukkeiden toimivuuden kannalta ei voitu kuitenkaan tehdä varmoja johtopäätöksiä. Tulokset olivat koetoistojen puuttumisen vuoksi ristiriitaisia ja epäluotettavia. Epävarmuutta aiheuttavia tekijöitä oli mittauksissa paljon ja toistojen avulla ne saataisiin minimoitua sekä kohdistettua tasaisesti mittauskohteisiin. Jatkotutkimuksia tarvitaan lisää mäntyöljypohjaisten tartukkeiden taustalla vallitsevan teorian ymmärtämiseksi.</p>	
Avainsanat	Tartuke, bitumi, asfaltin vedenkestävyys, halkaisuvetolujuus

Author Title	Loza-Senay Getachew Commissioning tall oil-based adhesive in bitumen
Number of Pages Date	77 pages + 4 appendices 21 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Process Design and Operation
Instructors	Timo Laitinen, Senior Lecturer Mika Varis, Chief Executive Officer, EVOgrip Oy Janne Eskola, Development Manager, Chumt Oü
<p>Asphalt is a mixture of a great amount aggregate particles, bitumen and necessary bitumen additives. The purpose of adhesives, which are used as additives, is to improve the stickiness between bitumen and aggregate particles. In Finland and other Northern countries amine-based adhesives are commonly used in bitumen. EVOgrip Oy, founded in 2013, is aiming to launch tall oil-based adhesives which are already in use in Canada and in the United States. Tall oil-based adhesives are more environmentally friendly comparing to amine-based adhesives.</p> <p>EVOgrip Oy commissioned this research from the Central Laboratory of Lemminkäinen in which the experiments of the study were designed. The functionality of tall oil-based adhesives was studied at the Central Laboratory of Lemminkäinen using two different types of asphalts. These were soft asphalt concrete and hot mix asphalt concrete. The quality and the concentration of adhesives were the two main variables in this study. The measurements were executed applying internationally certified methods. This thesis investigates the functionality of tall oil-based adhesives based on the research results. The theoretical part of this thesis focused on the qualities of asphalt and its components.</p> <p>Amine-based adhesives gave better results in this study. In some cases tall oil-based adhesives fulfilled the legal regulations. On the other hand the results of this study were conflicting and contrary to the theory. The lack of repetition diminished the reliability of the results. By repetition the results would be less exposed to the uncontrollable factors and random errors could be spread more evenly to the whole study. This research requires more experiments to understand the functionality of these kinds of adhesives.</p>	
Keywords	Adhesive, bitumen, asphalt concrete, waterproofness of asphalt

Sisällys

Lyhenteet ja määritelmät

1	Johdanto	1
---	----------	---

Teoriaosa

2	Asfaltti	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Asfaltin valmistus	3
2.3	Asfalttityypit	6
2.3.1	Asfalttibetoni (AB)	7
2.3.2	Kivimastikiasfaltti (SMA)	7
2.3.3	Pehmeä asfalttibetoni (PAB)	7
3	Tierakenteen perusmalli	8
3.1	Tien päällystekerros	9
3.2	Kantava kerros	10
3.3	Jakava kerros	10
3.4	Suodatinkerros	10
3.5	Kuormituksen siirtorakenteet	10
3.6	Pohjanvahvistusrakenteet	11
4	Bitumi	12
4.1	Bitumin rakenne	13
4.2	Bitumin ominaisuudet	14
4.2.1	Mekaaniset ominaisuudet	14
4.2.2	Fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet	16
4.3	Testausmenetelmät	16
4.3.1	Tunkeuma	16
4.3.2	Pehmenemispiste	17
4.3.3	Murtumispiste	18
4.3.4	Viskositeetti	18
4.3.5	Leimahduspiste	18
4.4	Bitumityypit	19
4.4.1	Tislatut bitumit	19
4.4.2	Puhalletut bitumit	19

4.4.3	Bitumiliuokset	20
4.4.4	Bitumiemulsiot	20
4.4.5	Polymeerimodifioitut bitumit	20
5	Kiviaines	21
5.1	Yleistä	21
5.2	Kiviaineksen mineraalikoostumus ja geometriset ominaisuudet	21
5.3	Kiviaineksen rakeisuus	23
5.3.1	Hienoaines	25
5.3.2	Täyttekivijauhe	25
5.3.3	Karkea kiviaines	26
5.4	Kiviaineksen mekaaniset ominaisuudet	26
6	Asfaltin vaurioituminen pitkäaikaiskäytön vaikutuksena	27
6.1	Kuluminen	28
6.2	Deformaatio	30
6.3	Väsyminen	31
6.4	Pakkaskatkot	32
6.5	Purkautuminen	33
7	Lisäaineet	35
7.1	Tartukkeet	35
7.2	Muut lisäaineet	36
Kokeellinen osa		
8	Tutkimuskohteet ja tutkimuksen tavoite	37
9	PAB-V-päällysteiden tutkimus	38
9.1	Työn tarkoitus	38
9.2	Käytetyt koemenetelmät	38
9.2.1	Ämpärikoe	38
9.2.2	MYR-koe	39
9.3	Massaresepti ja testatut tartukelaadut	40
9.4	Koematriisi	40
10	Tulokset ja tulosten tarkastelua PAB-päällysteiden tutkimukselle	42
10.1	Suoritettujen kokeiden tulokset ja niiden tarkastelua	42

10.2	Evogrip 1- tartukkeen tarkastelua	49
10.3	Diamiinipohjaisen tartukkeen tarkastelu	51
10.4	Yhteenveto PAB-päällysteen tuloksista	52
11	AB16-päällysteiden tutkimus	54
11.1	Työn tarkoitus	54
11.2	Käytetyt koemenetelmät	54
11.2.1	Vedenkestävyyskoe	55
11.2.2	Rullapullokoe	58
11.3	Massaresepti ja käytetyt tartukelaadut	60
11.4	Koematriisi	60
12	Tulokset ja tulosten tarkastelua AB16-päällysteiden tutkimukselle	62
12.1	Vedenkestävyyskokeen tulokset ja tulosten tarkastelu	62
12.2	Rullapullokokeen tulosten tarkastelua	69
12.3	Yhteenveto AB-päällysteiden tuloksista	71
13	Yhteenveto ja päätelmät	73
	Lähteet	77
	Liitteet	
	Liite1. Pehmeän asfalttibetonin, PAB-V-päällysteen rakeisuuskäyrä	
	Liite2. Asfalttibetonin, AB16-päällysteen rakeisuuskäyrä	
	Liite3. Vedenkestävyyskokeen tulokset	
	Liite4. Rullapullokokeen tulokset	

Lyhenteet ja määritelmät

AB	Asfalttibetoni
SMA	Kivimastiksiasifaltti
PBA	Pehmeä asfalttibetoni
AAB	Avoin asfalttibetoni
VA	Valuasfaltti
ABK	Kantavan kerroksen asfalttibetoni
ABT	Tiivis asfalttibetoni
BST	Bitumistabilointikerros
ABS	Sidekerroksen asfalttibetonia
Tunkeuma	Sideaineen kovuutta kuvaava testausmenetelmä.
Asfalttinormi	PANK Ry:n hyväksymä asiakirja, joka sisältää asfalttia sekä sen raaka-aineita koskevia vaatimuksia ja ohjeita näiden täyttämiseksi.
HVL	Halkaisuvetolujuus on puristuskokeessa määritetty maksimivetojännitys määritellyssä koelämpötilassa ja vakipuristusnopeudella.
ITSR-luku	Tarttuvuusluku on märän näytteen halkaisuvetolujuussuhde kuivan näytteen halkaisuvetolujuuteen kerrottuna luvulla 100. ITSR-lukua kutsutaan myös Q-luvuksi.
SFS-EN-standardi	Suomen standardoimisliiton (SFS) vahvistama ja Eurooppalaisen standardoimisjärjestön (CEN) julkaisema yleisesti saatavilla oleva standardi.

1 Johdanto

Asfalttiteollisuudessa käytetään lisäaineina tartukkeita asfalttimassassa kiviaineksen ja bitumin välisen tarttuvuuden edistämiseksi. Tartuketta käytetään riippuen asfalttityypistä sekä tiepäällysteen käyttökohteesta. Nykyään Pohjoismaiden asfalttiteollisuudessa käytetään pääsääntöisesti amiinipohjaisia tartukkeita. Yhdysvalloissa ja Kanadassa puolestaan käytetään myös mäntyöljypohjaisia tartukkeita. Mäntyöljypohjainen tartuke on ympäristölle suotuisampi vaihtoehto verrattuna nykyisin käytettäviin amiinipohjaisiin tartukkeisiin. EVOgrip Oy on vuonna 2013 Suomessa perustettu yritys, jonka tavoitteena on tuoda markkinoille mäntyöljypohjainen tartuke Suomen ja muiden Pohjoismaiden asfalttiteollisuuteen. [1.]

Mäntyöljypohjaisen tartukkeen toimivuutta selvittävä tutkimus tilattiin Lemminkäisen Keskuslaboratoriolta EVOgrip Oy:n toimeksiannosta. Tämän johdosta Lemminkäisen Keskuslaboratoriossa laadittiin tutkimuksen koesuunnitelma sekä toteutettiin tutkimuskokeet. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää erilaisten mäntyöljypohjaisten tartukkeiden optimimäärää eri asfalttimassoissa. Tutkimus on aloitettu jo vuonna 2012 ja jatkotutkimuksia tehdään edelleen. Tartukkeiden ominaisuuksia selvitettiin eri olosuhteissa, joissa päämuuttujina olivat tartukelaji ja sen pitoisuus. Tämän insinööriyön tavoitteena oli tarkastella valmiiksi tehdyn koesuunnitelman tutkimustuloksia ja tehdä johtopäätöksiä mäntyöljypohjaisten tartukkeiden toimivuudesta. Johtopäätösten avulla oli tavoitteena myös pohtia, mitä jatkotutkimuksissa kannattaisi ottaa huomioon.

Tämän työn kirjallisen tarkastelun tarkoituksena oli perehdyttää lukija asfalttitekniikan perusteisiin, mikä mahdollistaa itse tutkimuksen ymmärtämisen. Työn kirjallisessa tarkasteluosiossa käytiin läpi perustietoa asfaltista ja sen komponenteista eri päällystetyypeissä. Tutkimuksessa oli käytetty kahta erilaista päällystetyyppiä mäntyöljypohjaisten tartukkeiden toimivuuden selvittämiseksi. Kokeellisessa tarkasteluosiossa tutkimustuloksia tarkasteltiin ja niiden perusteella tehtiin johtopäätöksiä sekä tartukkeiden toimivuuden että jatkotutkimusten kannalta.

2 Asfaltti

2.1 Yleistä

Asfaltti koostuu suuresta määrästä eri kokoisista jakeista koostuvasta kiviaineksesta, öljystä jalostetusta bitumista sekä tarpeellisista lisäaineista. Kiviaineksena käytetään tyypillisesti sora-, kalliomursketta tai hiekkaa. Öljystä tislattu bitumi on asfalttipäällysteen koossa pitävä tumma, sitkeä ja joustava tavallisimmin käytetty sideaine. Asfalttimassapäällyste on eniten käytetty päällystetyyppi. Asfaltti sopii sekä valtateiden että pikku pihojen tiepäällysteeksi. Tavanomainen asfalttimassapäällyste sisältää tyypillisesti yli 90 % kiviainesta, minkä lisäksi asfalttimassa sisältää bitumia, tyhjätilaa eli ilmaa sekä asfalttilaadusta riippuen myös muita side- ja täyteaineita kuten lentotuhkaa ja kalkkitäytejauhetta. Uusi asfalttimassapäällyste on musta, mutta väri muuttuu päällysteen kuluessa kiviaineksen kaltaiseksi. Bitumi voidaan halutessa myös värjätä, kuten kuvasta 1 voidaan nähdä. [2; 3; 4.]



Kuva 1. Pyörätiepäällysteen bitumi voi olla punaiseksi värjättyä [5.]

Kiviaineksen laadulla, raekoolla ja raekokojen jakautumalla sekä bitumin määrällä ja laadulla vaikutetaan asfaltin pinta- ja kesto-ominaisuuksiin. Myös tyhjätilan määrällä ja

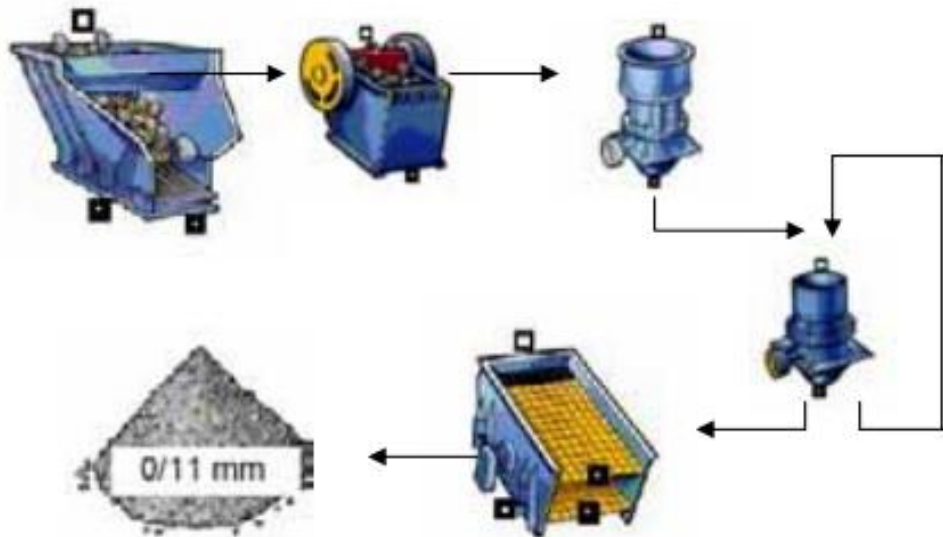
lisäaineilla voidaan vaikuttaa asfalttimassan ominaisuuksiin. Asfalttimassa, joka on huokoisempaa ja pienirakeisempaa soveltuu vähäliikenteiselle alueelle kuten kevyt väylille, jalkakäytävälle ja piholle. Liikennemäärän kasvaessa suurempi maksimirakekoko takaa kulutuskestävämmän ominaisuuden. Esimerkiksi kuvassa 2 oleva asfalttipäällyste sopii liikenneteiden tiepäällysteeksi. Asfaltin uusiokäyttö on merkittävä toiminto, jolla saadaan kierrätettyä tierakenteiden purkutyöstä sekä kaivantojen ja päällystystöiden jyrshintöjen yhteydessä syntyvää asfalttijätettä. [2; 3.]



Kuva 2. Asfaltti. [6.]

2.2 Asfaltin valmistus

Asfaltin valmistus kalliokiviaineksista alkaa louhinnalla. Räjähdyttämällä irroitetaan kalliosta louhe, joka sopii kooltaan murskausaseman syötteenä. Louheen kokoon voidaan vaikuttaa muuttamalla porauksen reikäväliä ja ominaispanostusta, joka puolestaan vaikuttaa räjähdysten voimakkuuteen. Kiviainestuotannossa tyypillinen kivilouheen maksimikoko on noin 500 - 700 mm. [7.]



Kuva 3. Kolmivaiheinen murskauslaitos, joka koostuu syöttimestä, leukamurskaimesta, väli- ja hienomurskaimesta sekä seulasta. Kuvasta puuttuu välimurskaimen (kolmas laite) jälkeinen väliseula. [7.]

Asfalttikiviainekset valmistetaan aina murskausprosessilla. Kuvassa 3 on esitetty kolmivaiheinen murskausprosessi, joka koostuu syöttimestä, leukamurskaimesta, väli- ja hienomurskaimesta sekä seulasta. Prosessivaiheet etenevät nuolien suuntien mukaisesti. Kuvan 3 ensimmäisen laitteen eli syöttimen tarkoituksena on erotella tietyn kokoiset kivet toisistaan. Yli 80 mm kokoiset kivikappaleet jatkavat leukamurskaimelle, joka on kuvan 3 toinen laite. Leukamurskaimessa liikkuva leuka murskaa kiviaineksen kiinteää leukaa vasten. Välimurskaimena käytetään tyypillisesti karamurskainta, jonka toimintaperiaate on samanlainen kuin leukamurskaimessa. Leukojen sijasta laitteessa toimivat karat, joiden liike on pyörivä. Väliseulonnan avulla liian suuret kivikappaleet siirretään hienomurskaimeseen, joka on myös karamurskain. Hienomurskausvaihetta edeltää välivarastointi siltä varalta, että prosessin ensimmäinen vaihe ei pysty toimimaan. Lopuksi kiviaines vielä seulotaan lajittelua varten. [7.]

Murskausprosessia suunniteltaessa raaka-aineen ominaisuudet ja valmistettavien tuotteiden vaatimukset otetaan huomioon. Prosessilaitteilla ja murskauspiirin muutoksilla voidaan vaikuttaa kiviaineksen muotoon ja rakeisuuteen, jotka puolestaan vaikuttavat päällysteen lujuus- ja laatuominaisuuksiin. Perinteinen

kolmivaihemurskausprosessi koostuu esimurskaus-, välivaihemurskaus- ja hienomurskausvaiheesta. Hienomurskausvaiheessa tarkoituksena on parantaa tuotteen muotoa ja laatua. Sen yhteydessä käytetään seulaa, jolloin ylisuuri louhe palautetaan murskaimeen. Tuotettavien asfalttilajikkeiden määrästä riippuen voidaan käyttää myös nelivaiheisia murskausprosesseja. [7.]

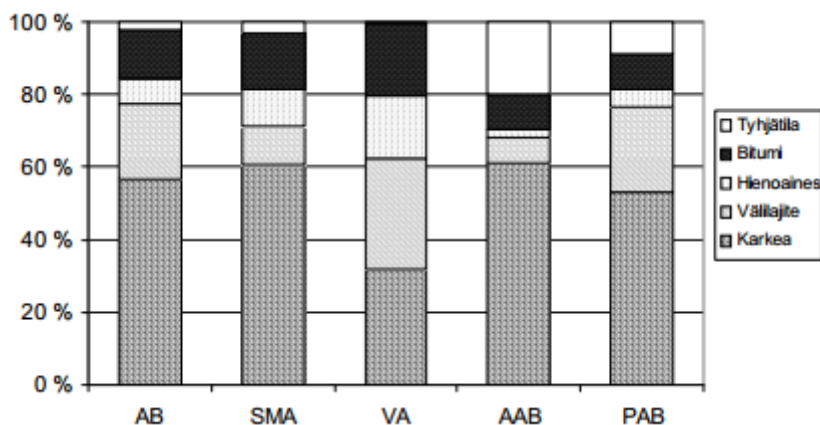
Perinteisessä asfalttiasemassa kiviaineslajikkeet syötetään valmistusohjeen mukaisessa suhteessa kuivausrumpuun, jossa kiviaines kuumennetaan asfalttimassan lämpötilavaatimusten mukaiseen lämpötilaan. Valmistusohjeen mukaisesti kutakin lajiketta kuumaa kiviainesta punnitaan sekoittimeen, johon lisätään myös lisätäytejauhe, kiviaineksesta pölynpoistossa talteenotettu ns. syklopöly sekä kuumennettu sideaine, joka tyypillisesti on bitumia. Asfaltti sekoitetaan ja sekoituksen jälkeen asfaltti varastoidaan lyhytaikaisesti siiloissa, kaadetaan asfaltointia varten kehitettyjen kuorma-autojen lavalle ja kuljetetaan asfaltoitavaan kohteeseen kuumana, valmiina levitystä ja lopullista muotoilua varten ennen kuin aines kylmenee ja saavuttaa lopullisen kulutusta kestävän muotonsa. Lopulta asfaltti tiivistetään jyrällä kestävämmäksi. Kuten kuvasta 4 voidaan havaita, Lemminkäinen oli Suomen ensimmäinen asfaltin levittäjä vuonna 1950. Asfalttiasemat voivat olla joko annos- tai jatkuvatoimisia asemia. Jatkuvatoiminen asema voi olla toimintavaiheeltaan tyypillisen annosaseaman kaltainen lukuun ottamatta jatkuvatoimisuuttaan. [7.]



Kuva 4. Asfaltin levitys vuonna 1950 [8].

2.3 Asfalttityypit

Asfalttityyppi valitaan aina käyttökohteen ominaisuuksien ja vaatimusten mukaan, sillä asfaltteja on erilaisia. Kiviaineksen rakeisuudella ja bitumin määrällä sekä pitoisuudella voidaan säädellä päällysteen pinnan sileyttä ja kulutuskestävyyttä. Mitä hienojakoisempaa kiviaineksen raekoko on, sitä sileämpi asfalttipinta on. Toisaalta kulutuskestävyys on tällöin huonompi. Sileät asfalttiet soveltuvat kevyelle liikenteelle ja piholle. Mitä raskaampia kulkuvälineitä tiellä kulkevat ja liikenteen vilkastuessa, sitä karkeajakoisempaa kivilajia tarvitaan, jotta päällyste kestäisi kulutusta. Tiepäällysteen halutut ominaisuudet määrittävät kiviaineksen, bitumin, tyhjätilan ja lisäaineiden sekä määrän että laadun. Kuvasta 5 voidaan tarkastella eri asfalttityyppien koostumuksia tilavuussuhteina. [8; 9.]



Kuva 5. Eri asfalttipäällystetyyppien koostumukset tilavuussuhteina. Toisin kuin kuvassa, nykyään kiviainestakin käytetään tyypillisesti yli 95 %. [7.]

Kuvan 5 mukaisesti asfalttityyppejä on useanlaisia, ja niiden välisenä erona ovat asfaltin eri komponenttien pitoisuudet. Kuvassa ollaan lueteltu asfalttibetoni AB, kivimastiksiasfaltti SMA, pehmeä asfalttibetoni PBA, valuasfaltti VA ja avoin asfalttibetoni AAB. Näistä kolme ensimmäistä ovat yleisimpiä asfalttityyppejä. Muita asfalttityyppejä ovat muun muassa kantavan kerroksen asfaltti ABK, tiivis asfalttibetoni ABT ja sidekerroksen asfalttibetoni ABS. Seuraavissa luvuissa 2.3.1 - 2.3.3 käsitellään yleisimmät asfalttityypit. Evogrip Oy:n tutkimukseen on näistä valittu asfalttibetoni AB ja pehmeä asfalttibetoni PAB. [8; 9.]

2.3.1 Asfalttibetoni (AB)

Asfalttibetoni on Suomen käytetyin asfalttityyppi. Asfalttibetonin kiviaineskäyrä sekä kiviainesresepti on samanlainen kuin betonin, mutta sideaineena on käytetty bitumia sementin ja veden sijasta. Rakeisuuskäyrä on jatkuva ja 25 °C:n lämpötilassa sideaineen tunkeuma on alle 330 1/10 mm. Asfalttibetonia käytetään kulutuskerroksen materiaalina tiepäällysteissä lukuun ottamatta kaikkein vilkkaimmin liikenneityjä teitä. Asfalttibetonia käytetään myös tasaus-, pintaus- ja paikkausmassana sekä kevyen liikenteen väylillä. Ajoteihin käytetään yleensä 12 - 16 mm kokoisia kivimurskeita, kun taas kävelyteihin hieman pienempiä, yleensä noin 8 mm kokoisia kivimurskeita. [10; 11; 12, s.94.]

2.3.2 Kivimastikiasfaltti (SMA)

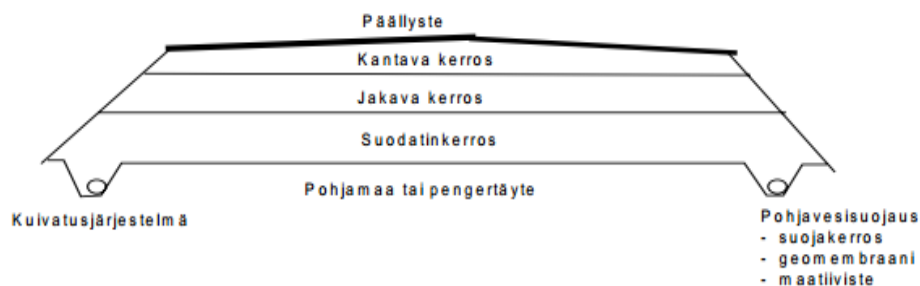
SMA koostuu pääosin karkeasta, lähes tasarakeisesta kiviaineksesta. Stabiloitu mastiksi täyttää kiviainesrungon tyhjätilan. Kivimastikiasfalttia käytetään kulutuskerroksen materiaalina vilkkaasti liikennöidyillä teillä, sillä kivimastikiasfaltti kestää nastarenkaiden aiheuttamaa kulutusta paremmin kuin asfalttibetoni. Esimerkiksi Helsingin Mannerheimintie ja moottoriteiden kuorma-autokaistat ovat kivimastikiasfalttia. SMA:ta ei käytetä vähäliikenteisillä teillä hintavuudensa vuoksi. [10; 11.]

2.3.3 Pehmeä asfalttibetoni (PAB)

Pehmeällä asfalttibetonilla on asfalttibetonin lailla jatkuva rakeisuuskäyrä, mutta siinä käytetään pehmeämpää sideainetta, jonka tunkeuma on suurempi. Pehmeää asfalttibetonia PAB-B käytetään kulutuskerroksen materiaalina kevytpäällysteisillä teillä, joissa kulkee noin 500 - 2500 ajoneuvoa vuorokaudessa. PAB-V sisältää pehmeintä mahdollista bitumia, ja sitä käytetään vielä vähemmän liikennöidyillä teillä (200 - 1500 ajoneuvoa/vrk). Paras etu PAB-päällysteissä on, että ne kestävät roudasta aiheutuvat liikkeet. [10.]

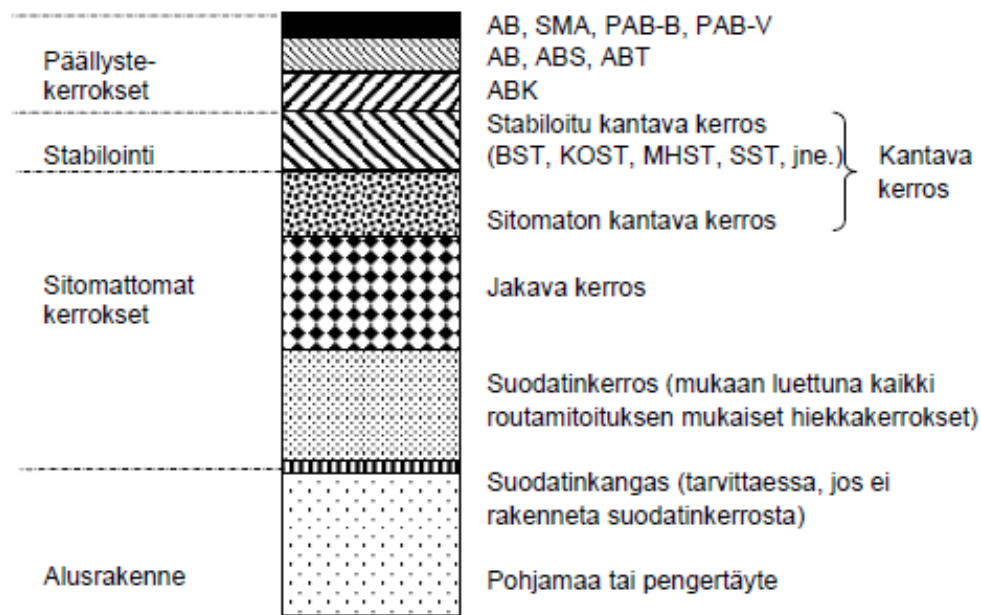
3 Tierakenteen perusmalli

Asfaltin kestävyys kannalta päällysten alarakenteiden laatu ja kunto ovat tärkein asia. Jokaisella alapuolisella kerroksella on oma tärkeä tehtävänsä. Asfalttimassapäällyste voidaan tehdä joko yksi- tai kaksikerroksena. Moottoriteillä taas voi olla jopa kolmekin kerrosta. Tiepäällysteet tehdään hieman kuperaksi, jotta kerääntynyt vesi ei imeytyisi tien rakenteisiin. Kuten kuvasta 6 voidaan havaita, päällystekerroksen alapuolella on kantava kerros, jakava kerros ja suodatinkerros. Tämä periaate soveltuu hyvin pohjamaan ollessa kantava. [11; 13.]



Kuva 6. Yksinkertainen tierakennemalli pohjamaan kannateltaessa hyvin. Kuvastakin voidaan huomata, että tiepäällysteet tehdään hieman kuperaksi, jotta kerääntynyt vesi ei imeytyisi alla oleviin rakenteisiin. [13.]

Edellisessä kappaleessa 2.3 oltiin selitetty eri asfalttityyppien väliset erot. Asfalttibetonia AB on monenlaista, ja erilaisia asfalttityyppejä käytetään eri tienrakenteen kerroksissa. Sidekerroksen asfalttibetonia ABS käytetään kulutuskerroksen eli päällysteen sekä kantavan kerroksen välisenä materiaalina. Kantavan kerroksen asfalttibetonia ABK puolestaan käytetään kantavan kerroksen materiaalina kohteissa, joissa liikennemäärä ja kuormitus ovat suuria. [12, s.45].



Kuva 7. Tiepäällysteen alapuolisia kerroksia ovat kantava, jakava ja suodatinkerros. [14].

Kuvassa 7 on lueteltu tierakenteen eri osia tarkemmin kuin kuvassa 6. Kuvasta voidaan tarkastella myös, mitkä kerrokset ovat stabiloituja, sidottuja tai sitomattomia. Stabiloitu rakennekerros ei saa muuttua selvästi routivaksi rapautessaan. Sidotun ja sitomattoman kerroksen erona taas on se, että sidotussa kerroksessa on käytetty sideainetta kiviaineksen koossapysyvyyteen. Sitomattomassa kerroksessa taas kiviaines on irtonaisina kiviappaleina. [14.]

Jos pohjamaa on heikosti kantava, tierakenteeseen tarvitaan vielä kuormituksen siirtorakenteet sekä pohjanvahvistusrakenteet. Kaikkia rakenteellisia osia ei kuitenkaan välttämättä tarvita riippuen maan rakenteesta ja pohjasuhteesta. [14.]

3.1 Tien päällystekerros

Päällyste on tien kulutuskerroksena. Päällystetyypin valintaan vaikuttavat tien käyttökohteet. Ajoneuvojen paino, ajonopeus, liikennevilkkkaus, rengasmelu, renkaan ja tien välinen kitka ovat olennaisia huomioon otettavia tekijöitä. Myös ympäristöolosuhteet on eräs todella tärkeä tekijä suunniteltaessa tiepäällysteen

koostumusta ja rakennetta. Seuraavat tierakenteen kerrokset ovat lueteltu järjestyksessä ylhäältä alaspäin.

3.2 Kantava kerros

Asfalttimassapäälysteen alapuolella on kantava kerros. Kantavan kerroksen tarkoituksena on tehdä tierakenteesta mahdollisimman jäykkä ja jakaa kuormitusta yhä laajemmalle jakavaa kerrosta ja pohjarakenteita. Kantavan ja jakavan kerroksen sitomattoman materiaalin tulisi olla tarpeeksi kantava, rakeinen ja sen tulee olla riittävästi tiivistettävä. Kantavuus vaikuttaa päälysteen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksiin, kun taas rakeisuus veden- ja roudanläpäisevyyteen. Tiiviyssaste puolestaan vaikuttaa kaikkiin näihin edellä mainittuihin. Kantava kerros voi olla sidottu tai sitomaton. Sidotun kerroksen sideaineena käytetään bitumia, kun valmistuskohteena on asfalttibetoni (ABK). [13.]

3.3 Jakava kerros

Jakavan kerroksen tehtävänä on jakaa kuormitus pohjamaalle tasaisesti ja ehkäistä routimisen haittavaikutuksia. Jakavan kerroksen tulee olla riittävän kantava. Jakava kerros voidaan tehdä materiaaleista, jotka täyttävät tietyt rakennusvaatimukset sekä sitomattomana että hienorakeisimmista materiaaleista sidottuna kerrokseen. [13.]

3.4 Suodatinkerros

Suodatinkerros eli eristyskerros on ensimmäinen ylärakenteen kerros. Suodatinkerroksen tehtävänä on estää veden kapillaarinen nousu, johtaa rakenteesta tuleva vesi ulos sekä erottaa pohjamaa rakennekerroksista. [13.]

3.5 Kuormituksen siirtorakenteet

Ylärakenteiden ja pohjarakenteiden yhteistoimivuus varmistetaan kuormituksen

siirtorakenteilla. Siirtorakenteiden tehtävänä on siirtää ylärakenteisiin kohdistuva kuormitus pohjarakenteisiin. [13.]

3.6 Pohjanvahvistusrakenteet

Pohjanvahvistusrakenteiden avulla voidaan taata stabiili ja vankka pohja. Pohjanvahvistusmenetelmiä on useita, mutta niitä voi olla esimerkiksi poistamalla vesi maasta tai täyttämällä huokoiset kohdat sideaineilla. [13.]

4 Bitumi

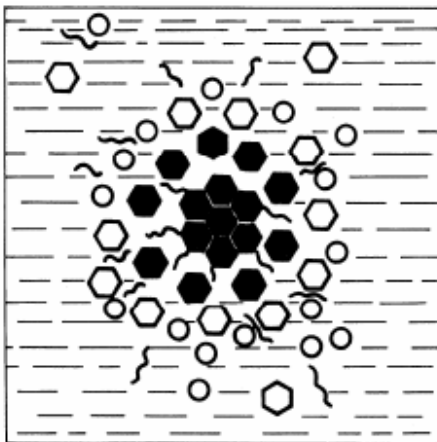
Bitumi on raakaöljyn tislauksesta syntyvä pohjatuote, jonka kiehumispiste on 400 - 600 °C. Sitä käytetään tien- ja maanrakennuksessa asfalttimassan sideaineena sekä rakennusteollisuudessa muun muassa tiivisteinä, liimauksena ja vedeneristeenä. Kuten raakaöljy myös bitumi on mitä moninaisimpien hiilivetyjen seos, jossa on yhdisteitä alhaisen molekyylipainon omaavista parafiineista korkean molekyylipainon omaaviin aromaatteihin. Luonnossa bitumia muodostuu orgaanisten aineiden muutosprosesseissa, ja kerokeenin kanssa ne ovat luonnonasfaltin pääainekomponentteja. Eri puolilla maailmaa esiintyvissä luonnon asfalttilähteissä voi olla hyvinkin korkea bitumipitoisuus. Bitumi on ensimmäinen ihmisen käyttämä maaöljytuote, ja luonnonasfaltit ovat olleet ainoa saantolähde. Nykypäivänä luonnonasfalttien käyttö on varsin vähäistä, sillä jo 1800-luvun lopulla maaöljyn jalostuksen myötä myös bitumia valmistetaan tislaamalla. Kuvan 8 mukaisesti Trinidad-asfalttijärvestä nousee bitumin lisäksi vettä ja hienoa kiviainesta sisältävää luonnonasfalttia. [7; 12, s. 35; 15; 16, s. 14 - 16.]



Kuva 8. Trinidad-asfalttijärvestä nousee paitsi bitumia myös vettä ja hienoa kiviainesta sisältävää luonnonasfalttia [16, s. 17].

4.1 Bitumin rakenne

Kuten raakaöljy, myös bitumi on kemialliselta koostumukseltaan hiilivetyjen seos. Raakaöljy sisältää pääasiassa parafiineja, naftaliineja ja aromaattisia hiilivetyjä. Bitumiin jää monia raakaöljyn epäpuhtauksia kuten typpi-, happi- ja rikkiyhdisteitä sekä pieniä määriä metalleja. Bitumin saannon kannalta raakaöljyn suurimolekyylisimmat osat, asfalteenit ovat kaikkein keskeisimmät. Suurimolekyylisimmat asfalteenit ovat luonteeltaan kovin erilaisia verrattuna keveimpiin öljymolekyyleihin ja täten ne ovat toisiinsa liukenemattomat. Tämän takia bitumin ja raakaöljyn rakenne on selitetty misellimallilla, jossa suurimmat ja aromaattisimmat asfalteenimolekyylit muodostavat ytimen kuten kuvassa 9 on esitetty. Asfalteenimolekyylit ovat ryhmittyneet jopa viiteen tai kuuteen kerrokseen. Asfalteenimolekyylejä ympäröi pienempimolekyylinen ja vähemmän aromaattinen hartsikerros, jonka tehtävänä on saada asfalteenit liukenemaan ympäröivään öljyjakeeseen. [7; 16, s. 35 - 36; 17; 18, s. 3 - 35.]



Kuva 9. Bitumin asfalteenimisellin mallirakenne. Aromaattista asfalteeniydintä ympäröi hartsikerros, jotka ovat kuvassa valkoisina kuutioina. Tyydytetty öljyjae on jatkuvana faasina. [16, s. 35.]

Bitumit voidaan kolloiditilan mukaan jakaa sooli- ja geelityyppeihin. Soolityypisissä misellit liikkuvat vapaasti toistensa suhteen, kun taas geelityypisissä misellit vaikuttavat toisiinsa, ja muodostavat jatkuvan rakenteen bitumissa. Puhalletuissa bitumeissa on geelirakenne, kun taas soolityypisiä ovat yleensä tislattut bitumit.

Bitumin asfalteenihartsimisellin malli on täysin riippuvainen muun muassa asfalteenien laadusta ja määrästä sekä malteenien eli ei-asfalteenisten öljyjen aromaattisuudesta. Misellin muodostumisessa on kyse asfalteenien liukoisuudesta, joten lämpötila on tärkeä vaikuttava tekijä. Lämpötilan noustessa miselli pienenee, ja siitä lähtee molekyylejä ympäröivään öljyyn, jolloin bitumi muuttuu yhä enemmän newtoniseksi nesteeksi. Neste on newtoninen, kun viskositeetti on vakio ja leikkausjännitys lähestyy nolaa leikkausnopeuden pienentyessä. Matalan viskositeetin omaavat nesteet kuten vesi ja bensiini ovat myös newtonisia nesteitä. Lämpötilan lasku taas saa hartsimolekyylit adsorboitumaan asfalteenien pinnalle kasvattaen misellejä, jolloin bitumin viskositeetti kasvaa ja käyttäytyminen muuttuu enemmän ei-newtoniseksi. Bitumin olomuoto voi siis vaihdella raskaasta, jähmeäliikkeisestä ja lähes mustasta keveään, juoksevaan ja kellanruskeaan. Jotkut raakaöljyt soveltuvat koostumuksensa ansiosta paremmin bitumin valmistukseen kuin toiset. Öljyjalostamoissa tislataan kovuudeltaan ja toiminnallisilta ominaisuuksiltaan erilaisia bitumituotteita. Tislauksessa saatava perustuote on bitumi, joka vasta noin 135 - 170 °C lämpötilaan kuumennettuna soveltuu tiepäällysteiden valmistukseen ja valuun.

[1; 7; 16, s. 35 - 36; 17; 18, s. 3 - 35.]

4.2 Bitumin ominaisuudet

Bitumin rakenne ja sen ominaisuudet vaikuttavat myös asfalttipäällysteen ominaisuuksiin. Seuraavissa luvuissa 4.2.1 - 4.2.2 käydään läpi bitumin sekä mekaaniset että fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, jotka määräytyvät hyvin pitkälti bitumin rakenteesta.

4.2.1 Mekaaniset ominaisuudet

Bitumit ovat newtonisia nesteitä 10 - 20 °C:een pehmenemispisteen yläpuolella, kun taas alemmissa lämpötiloissa kolloidaalisen geelirakenteen vaikuttaessa bitumi käyttäytyy pseudoplastisen aineen tavalla. Pseudoplastiset fluidit eivät noudata Newtonin lakia, vaan niiden viskositeetti riippuu leikkausnopeudesta. Esimerkiksi ketsuppi käyttäytyy pseudoplastisen aineen tavoin. Bitumin fysikaaliset ominaisuudet riippuvat huomattavasti lämpötilan lisäksi myös kuormituksen kestoajasta.

Kuormitusajan ollessa lyhyt ja lämpötilojen ollessa matala, bitumi on elastinen aine. Tällöin siihen voidaan soveltaa kiinteiden aineiden mekaniikkaa ja kimmomodulia. Korkeammissa lämpötiloissa tai hyvin pitkällä kuormitusajalla bitumi on viskoosinen neste. Bitumin tiheys ja viskositeetti ovat voimakkaasti lämpötilasta riippuvaisia. Näiden lämpötilojen välivaihealueessa bitumi on viskoelastinen neste, jolloin bitumilla on sekä elastisia että viskoosisia ominaisuuksia. Tämä välivaihealue tyypillisesti kattaa bitumin käyttölämpötila-alueen, ja tästä syystä on todella tärkeä bitumin käytön kannalta. [12, s. 36; 16, s. 60.]

Kimmomodulin ja viskositeetin lisäksi jäykkyysmoduuli kuvaa bitumin ominaisuuksia. Jäykkyysmoduuli määritellään samalla tavalla kuin kimmomoduli, mutta lämpötilan lisäksi se on myös ajan funktio. Alla on esitetty jäykkyysmodulin (S) kaava. [12, s. 36; 16, s. 60.]

$$S(t, T) = \frac{\sigma}{\varepsilon(t, T)} \quad (1)$$

, jossa

- S = jäykkyysmoduuli
- t = aika
- T = lämpötila
- σ = jännitys
- ε = muodonmuutos

Bitumin jäykkyysmoduulilla on pystytty selittämään murtovenymää. Murtovenymällä tarkoitetaan enimmäiskuormituksen aiheuttamaa venymää. Bitumin murtovenymä kasvaa lämpötilan noustessa tai kuormitusnopeuden laskiessa. Molemmat näistä tekijöistä ovat jäykkyysmodulin parametreja. Jäykkyysmodulin ollessa suuri, kaikilla bitumeilla on sama jäykkyysmodulista riippuva murtovenymä. [12, s. 36; 16, s. 60.]

Kuormituskertojen kasvaessa bitumin murtolujuus ja -venymä laskevat. Murtolujuus on suurin kuormitus, joka kappaleeseen voidaan kohdistaa ennen sen halkeamista. Väsymislujuudella taas mitataan kappaleen heikkenemistä pitkäaikaisen vaihtuvan kuormituksen vaikutuksesta. Väsymislujuus lähenee murtolujuutta bitumin

jäykkyyssmoduulin kasvaessa. Bitumin ollessa täysin elastinen, väsymistä ei enää tapahdu, vaan väsymislujuus on sama kuin murtolujuus. Bitumin väsymisellä on havaittu olevan yhteys viskoelastiseen komponenttiin.

[12, s. 36; 16, s. 60.]

4.2.2 Fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet

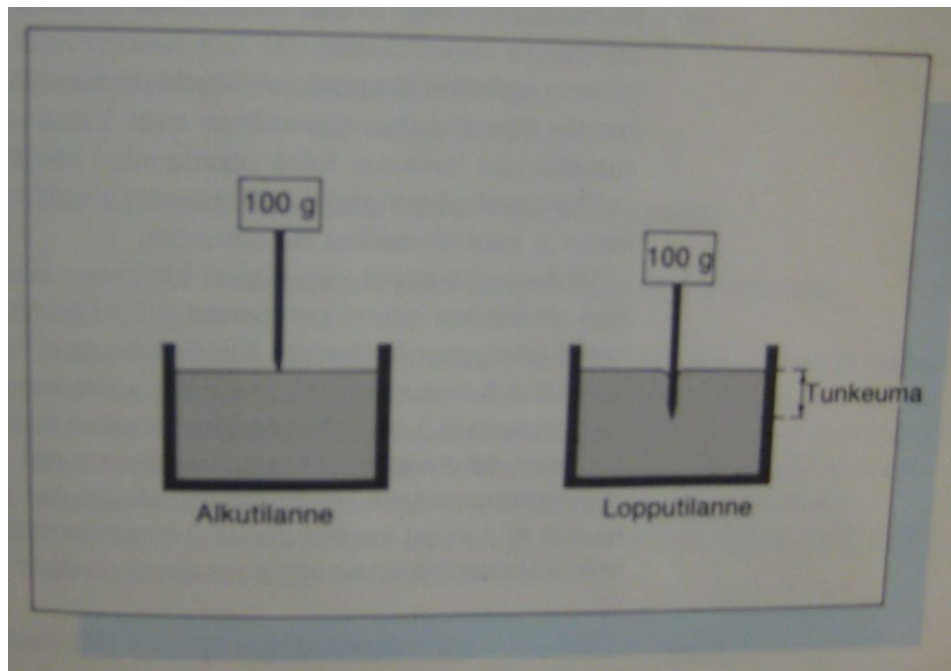
Bitumien tiheys 15 °C:ssa on yleensä yli 1000 kg/m³. Bitumi on kemiallisesti hyvin inertti aine, sillä se ei reagoi helposti muiden aineiden kanssa. Bitumi kestää myös vesipohjaisia liuoksia, emäksiä ja laimeita happoja, mutta öljypohjaiset liuottimet ja poltto- sekä voiteluöljyt liuottavat bitumia. Bitumi eristää hyvin vettä, sähköä ja lämpöä. Bitumin ominaislämpö on noin puolet veden ominaislämmöstä. Bitumin ominaislämpö nousee lineaarisesti lämpötilan noustessa eikä sillä ole sulamispistettä. Tarttuvuus erilaisille pinnoille on myös bitumin keskeisimpiä ominaisuuksia sekä sitkeys laajalla lämpötila-alueella. [12, s. 39; 16, s. 53 - 59.]

4.3 Testausmenetelmät

Osa testausmenetelmistä ovat kehitetty kuvaamaan käytännön tilanteita, eivätkä välttämättä kuvaa teoreettisesti mitään selvää suuretta kuten esimerkiksi viskositeettia tai lämpötilaa. Testausmenetelmän arvon kannalta on kuitenkin tärkeää, että se mittaa jotakin bitumille oleellista ominaisuutta. Viskositeetti on kuitenkin tärkeä ominaisuus bitumille, joten sekin on testausmenetelmänä esitetty. [16, s. 116.]

4.3.1 Tunkeuma

Tunkeuma on nykyisessä muodossaan yleisimmin käytetty bitumin testausmenetelmä. Tunkeuma kuvaa bitumin kovuutta ja jäykkyyttä. Menetelmässä bituminäytettä kuormitetaan tarkasti määritellyllä neulalla viiden sekunnin ajan 100 g:n painolla. Kuvassa 10 on esitetty tunkeuman mittaustilanne.



Kuva 10. Tunkeuman määrittäminen. Kuormitusaikana on viisi sekuntia ja testilämpötila 25 °C. [16, s. 83.]

Tuloksena siis ilmoitetaan neulan tunkeuma bitumiin mittayksikön ollessa 1/10 mm. Menetelmä suoritetaan yleensä 25 °C:n lämpötilassa. Tunkeuman avulla luokitellaan tiebitumeja ja osittain puhallettuja bitumeja. Yleisesti voidaan todeta, että

$$\text{Viskositeetti} = \text{Vakio} \times (\text{Tunkeuma})^{-2} \quad (2)$$

[16, s. 83 - 84.]

4.3.2 Pehmenemispiste

Bitumi ei sula lämmitessä, joten pehmenemispisteen avulla mitataan bitumin valumista. Määrittämenetelmiä on useita, mutta eniten käytetty on niin kutsuttu rengas- ja kuulamenetelmä. Kyseisessä menetelmässä renkaaseen valettua bitumia kuormitetaan 3,5 g:n painoisella teräskuulalla. Lämpötilaa nostetaan vakionopeudella 5 °C/min, ja pehmenemispiste on määritelty lämpötilana, jossa valuma on 25 mm.

[16, s. 89.]

4.3.3 Murtumispiste

Fraass -murtumispistemethodella voidaan kuvata bitumin kylmäominaisuuksia. Fraassin methodessä 0,5 mm paksuinen bitumikalvo levitetään peltilevyn päälle. Levyä jäähdytetään nopeudella 1 °C/min ja levyä taivutetaan tällöin joka minuutti. Lämpötilan laskiessa bitumi jäykistyy ja lopulta murtuu venymisen sijaan. Tämä kyseinen lämpötila on bitumin murtumispiste. [16, s. 91.]

4.3.4 Viskositeetti

Viskositeetilla voidaan kuvata aineen sisäistä kitkaa ja täten sen kykyä vastustaa virtausta. Bitumin viskositeetti on voimakkaasti riippuvainen lämpötilasta sekä ei-newtonisella alueella myös leikkausnopeudesta riippuvainen. Yleisimmin tapa mitata bitumin viskositeetti on kapillaariviskometrillä, joka on ohuella lasikapillaarilla varustettu U-putki. Korkeissa lämpötiloissa bitumi valuu omalla painollaan kapillaarin läpi, jolloin kyseessä on kinemaattinen viskositeetti yksiköllä mm²/s. Dynaamisesta viskositeetista (yksikkönä Pas) on kyse silloin, kun alemmissa lämpötiloissa bitumin virtausta nopeutetaan alipaineimulla. Dynaaminen viskositeetti on leikkausjännityksen ja -nopeuden suhde, kun taas kinemaattinen viskositeetti on dynaamisen viskositeetin ja aineen tiheyden suhde. 60 °C:n lämpötilassa viskositeetti kuvaa asfalttipäällysteen deformaatiovastusta. Suomessa pehmeimmät bitumit luokitellaan tunkeuman sijasta viskositeetin avulla nestemäisyytensä vuoksi. [12, s. 38; 16, s. 93 - 94.]

4.3.5 Leimahduspiste

Bitumista haihtuu niin paljon keveitä hiilivetyjä, että leimahduspisteessä ja sen yläpuolella ne syttyvät tuleen. Leimahduspiste on siis se lämpötila, jossa bitumista haihtuvat kaasut leimahtavat liekin läsnäollessa. Leimahduspistettä voidaan mitata avoimen tai suljetun astian methodellä. [12, s. 38; 16, s. 106.]

4.4 Bitumityypit

Bitumituotteet voidaan jakaa valmistustavan tai käyttösovelluksen mukaan. Tärkeimmät tuoteryhmät ovat tislattut ja puhalletut bitumit. Muita bitumityyppejä ovat polymeerimodifioidut bitumit, bitumiliuokset ja bitumiemulsiot. Käyttösovellutuksen mukaan jaoteltuna tärkeimmät tuoteryhmät ovat tiebitumit ja katteiden valmistukseen käytettävät teollisuusbitumit. Bitumit tyypillisesti käsitellään kuumennettuina, jolloin ne ovat hyvin viskoosisia ja puolikiinteitä aineita. [7; 16, s.119.]

4.4.1 Tislattut bitumit

Tislattujen bitumien ominaisuuksia kuvataan yleisesti tunkeumaluokalla, joka merkitään kirjaimella B. Tunkeuma kuvaa bitumin kovuuden ja samalla muitakin fysikaalisia ominaisuuksia kuten pehmenemis- ja murtumispiste. Mitä pienempi tunkeuma-arvo on, sitä kovempaa on bitumi ja sitä korkeampi on sen pehmenemis- ja murtumispiste. Tunkeuma-alue ilmaistaan ala- ja ylärajaluvuilla esimerkiksi B70/100. Hyvin pehmeät bitumit, joiden tunkeumaa ei voida mitata, määritellään 60 °C:n viskositeetin mukaan. Tällöin tunnuksena on kirjain V ja tuotteen keskimääräistä viskositeettia ilmaiseva luku esimerkiksi V1500. Tislattujen bitumien mekaaniset ominaisuudet ovat todella lämpötilariippuvaisia. [7; 16, s. 119.]

4.4.2 Puhalletut bitumit

Puhalletuilla bitumeilla on yleisesti korkea pehmenemispiste ja samanaikaisesti alhainen murtumispiste. Puhallettujen bitumien lämpöherkkyys on myös huomattavasti pienempi kuin tislattujen bitumien. Puhalluksessa bitumin viskositeetti kasvaa huomattavasti. Puhallettuja bitumeja ei voida yhtä yksiselitteisesti kuvata tunkeuman raja-arvoilla kuten tislattuja bitumeja, vaan tunkeumaluokan lisäksi tarvitaan myös pehmenemispistetaso lämpöherkkyden kuvaamiseksi. Ensimmäinen luku kuvaa keskimääräistä pehmenemispistettä ja toinen taas keskimääräistä tunkeumaa. Myös puhalletut bitumit merkitään kirjaimella B, esimerkiksi B100/30. [7; 16, s. 119.]

4.4.3 Bitumiliuokset

Bitumiliuoksen käytön tarkoituksena on se, että bitumia voidaan helposti kylmäkäsitellä. Bitumiliuos valmistetaan joko tislatusa tai puhallettavasta bitumista sekä siihen lisättävästä liuottimena toimivasta hiilivetytuotteesta, useimmiten lakkabensiinistä. Tienrakennetarkoituksiin käytettävät bitumiliuokset valmistetaan yleensä tislatuista bitumeista. Kun bitumi tarttuu kiviainekseen, liuotin haihtuu. Bitumiliuokset merkitään kirjaimilla BL ja viskositeettiluokkaa kuvaavalla numerolla. [7; 16, s. 120 - 121.]

4.4.4 Bitumiemulsiot

Bitumiemulsio on liuoksen kaltoin tapa saada bitumi kylmäkäsiteltävään muotoon. Bitumiemulsio on keskenään sekoittumattomien nesteiden muodostama hienojakoinen dispersio, jossa toinen aineista muodostaa jatkuvan faasin sekä toinen epäjatkuvan eli esiintyy pieninä pisaroina jatkuvassa faasissa. Bitumiemulsio valmistetaan saattamalla kuumaa bitumia pieniksi pisaroiksi ja samanaikaisesti vesifaasiin lisätään emulgaattoria, joka stabiloii syntynyttä emulsiota. Kun bitumiemulsio joutuu kosketuksiin kiviaineksen kanssa, emulsio murtuu, bitumi tarttuu kiviainekseen ja vesi erottuu pois. Bitumiemulsiota on helppo kuljettaa sekä käsitellä, ja niitä käytetään lähinnä vähäliikenteisten teiden päällystyksessä. Bitumiemulsiot merkitään kirjaimella BE. [7; 16, s. 127.]

4.4.5 Polymeerimodifioitut bitumit

Polymeerimodifioituun bitumiin on lisätty polymeeriä ominaisuuksien parantamiseksi. Edellytyksenä polymeerille on se, että sen täytyy liueta bitumiin. Kun se ei liukene bitumiin, niin tällöin polymeeri toimii lähinnä täyteaineena. Polymeerilisäyksellä pyritään parantamaan bitumin ominaisuuksia kuten muun muassa lujuus, venymä, joustavuus, tarttuvuus, väsymiskestävyys ja säänkestävyys. [7; 16, s. 136.]

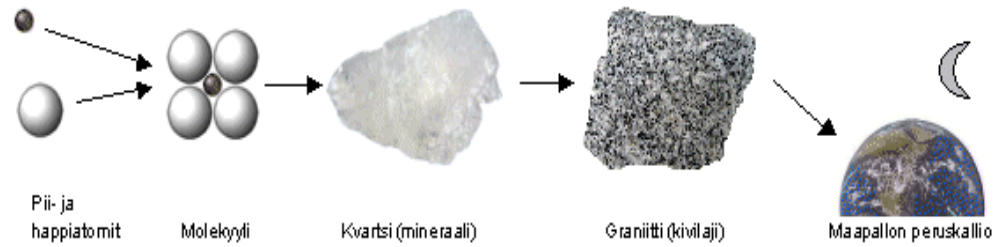
5 Kiviaines

5.1 Yleistä

Kiviaines on veden jälkeen maailman käytetyin raaka-aine. Asfalttimassapäälysteessä on tyypillisesti kiviainesta yli 90 %. Asfalttipäälysteen kiviaines koostuu tavallisesti sora- tai kalliomurskeesta, hiekasta ja täytejauheesta. Kiviaines on sopiva pintapäälyste, sillä se parantaa kantavuutta, tasaa hyvin alustoja ja suojaa maaperän kosteuden nousemasta rakenteisiin. Asfalttinormit määrittelevät asfalttipäälysteelle asetettavat laatuvaatimukset sekä laatua tarkkailevat testausmenetelmät ja -parametrit. Asfalttinormit esittävät myös kiviainesten standardit ominaisvaatimukset ja määrittelevät eri kiviaineslajitteiden raja-arvot. Kiviaineksen käyttökelpoisuus määritetään sen rakeisuuden, puhtauden, lujuuden, rakeiden muotojen, vesipitoisuuden ja mineraalikoostumuksen avulla. [7; 12, s. 40 - 41.]

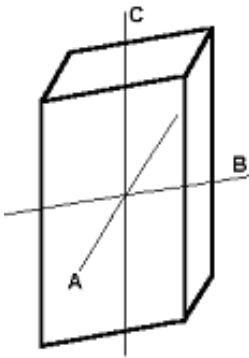
5.2 Kiviaineksen mineraalikoostumus ja geometriset ominaisuudet

Asfalttimassan pinta- ja kesto-ominaisuuksiin, erityisesti kulutuskestävyyteen voidaan vaikuttaa kiviainesten geologisilla ja geometrisilla ominaisuuksilla, jotka ovat kiviainesten koostumus, mineraalikoostumus ja niiden muoto sekä raekokojakauma. Erityisen tärkeitä ovat mineraalikoostumus, mineraalien muoto ja raekokojakauma. Nämä ominaisuudet vaihtelevat eri asfalttimassoissa käyttökohteen mukaan. Kiviainesten kyky vastustaa sekä raapivaa että iskevää kulutusta kasvaa lähes eksponentiaalisesti keskimääräisen mineraalikoon pienentyessä. [12 s. 40 - 41; 20.]



Kuva 11. Peruskallio koostuu eri kivilajeista, jotka taas puolestaan sisältävät erilaisia mineraaleja. Kullakin mineraalilla on oma kemiallinen koostumus, jonka perusteella ne luokitellaan ryhmiin. Tavallisimpia mineraaleissa esiintyviä alkuaineita ovat Si, O, Al, Fe, Ca, Na, K ja Mg. [20.]

Kuvasta 11 voidaan havaita, että peruskallio koostuu eri kivilajeista, jotka puolestaan sisältävät erilaisia mineraaleja. Kullakin mineraalilla on oma kemiallinen koostumus, jonka perusteella ne luokitellaan ryhmiin. Kiviaineksen mineraalikoostumus, mineraalien lujuus ja mineraalien keskenäiset sidokset vaikuttavat kiven laatuun. Kiviaineksen mineraalikoostumus määrää kiven pinnan fysikaaliset ominaisuudet kuten bitumin tarttuvuus ja rappeutumisalttius. Bitumin hyvä tarttuvuus kivipinnalle on tiepäällysteen perusedellytys. Graniitit ja osa gneisseistä sisältävät mineraaleja kuten kvartssia ja kiilteitä, jotka heikentävät bitumin tartuntaa kivrakeiden pinnalle. Suuri kiillepitoisuus voi myös altistaa päällystettä rappeutumiseen. Tarttuvuuteen vaikuttaa mineraalikoostumuksen lisäksi myös kiven epäpuhtaus. Esimerkiksi sorakiviaineksen pinnalla voi usein olla humusta tai savea. Mineraalien kovuus ja mineraalien keskinäiset sidokset vaikuttavat kiven lujuuteen ja kulutuskestävyyteen.



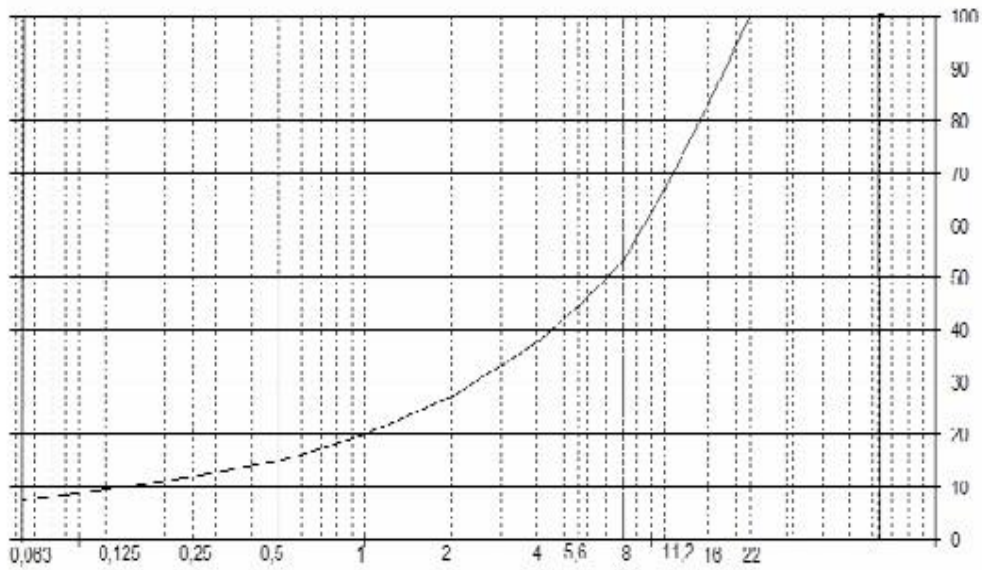
Kuva 12. Monokliininen kidejärjestelmä, jossa on kolme eripituista akselia. A ja B leikkaavat toisensa vinosti, kun taas C on kohtisuorassa niiden tasoa vastaan. Tällaisia mineraaleja ovat muun muassa osa maasälvistä, biotiitti, muskoviitti, kipsi, serpentiini ja talkki. [20.]

Mineraalien muoto-ominaisuudet vaikuttavat päällysteen kulutuskestävyyteen. Esimerkiksi kuvan 12 mineraalityypillä on monokliininen kidejärjestelmä, jossa on kolme eripituista akselia. Yhdessä kivilajissa on monta erityyppistä mineraalia ja mineraalien ominaisuudet määrittävät myös kiviaineksen ominaisuudet. [19; 21.]

Hienorakeisten kivien mineraalirakeiden väliset rajat ovat haarottuneimpia kuin karkearakeisten kivien, minkä vuoksi hienorakeiset kivet voivat tiiviydensä vuoksi kestää iskuja paremmin. Toisaalta kivien hienorakeisuus ja mineraalirakeiden haaroituneisuus altistaa tien pinnan helpommin kulutukselle, sillä kivet irtoavat tällöin helposti pinnalta. Myös valmistusprosesseilla voidaan vaikuttaa kiviaineksen laatuun. [7; 19; 21.]

5.3 Kiviaineksen rakeisuus

Rakeisuus ilmoitetaan rakeisuuskäyrillä, jotka ilmaistaan SFS-EN-standardeissa määrättyjen seulojen läpäisyprosentteina. Rakeisuuskäyrä ilmoittaa, kuinka suuri osa kivirakeista on läpäissyt tietyn kokoisen seula-aukon. Seuraavan sivun kuvassa 13 on esitetty esimerkki rakeisuuskäyrästä ja taulukossa 1 rakeisuuskäyrän läpäisyprosentteja vastaavat seula-aukot. [7.]



Kuva 13. Rakeisuuskäyrä. Pystyakseli kuvaa prosenttiosuutta, jota kiviaines on läpäissyt tietyn kokoisen seulan läpi. Vaaka-akseli kuvaa puolestaan seula-aukkojen kokoja pienimmästä suurimpaan. [7, s. 22.]

Taulukko 1. Yllä esitetyn rakeisuuskäyrän läpäisyprosentteja vastaavat seula-aukot.

Seula-aukko (mm)	Läpäisy- %
0,063	7
0,125	9
0,25	12
0,5	15
1	20
2	27
4	38
5,6	44
8	53
11,2	67
16	83
22,4	100
31,5	100

Taulukossa 1 on edellä esitetyn kuvan 13 rakeisuuskäyrän pisteet. Seula-aukko vastaa neliömäisen seulan sivun pituutta millimetreissä. Läpäisyprosentteina ilmoitetaan, kuinka suuri osa kivirakeista on läpäissyt tietyn kokoisen seulan. Näin ollen rakeisuuskäyrää luetaan siten, että hienoimman seulan 0,063 mm läpäisee 7 % kiviaineksesta, seuraavan 0,125 mm taas 9 %, ja karkean kiviaineksen seulan 2 mm taas läpäisee 27 % kiviaineksesta. 16 mm:n seulan läpäisee 83 % ja 22,4 mm taas jo 100 %. [7.]

Kiviaines jaetaan rakeisuudensa mukaisesti hienoaineksi eli hienoksi kiviaineksi, täytekiviaineksi sekä karkeaksi kiviaineksi. Luvuissa 5.3.1 - 5.3.3 käsitellään näitä kiviainekomponentteja ja niiden vaikutuksista tiepäällysteessä.

5.3.1 Hienoaines

Hienoainekseksi määritellään 0,063 mm kokoisen seulan läpäisevän kiviaineksen. Hienoaines koostuu sekä varsinaisesta päällystekiviaineesta että erikseen lisättävästä täytejauheesta. Täytejauheen osuus koko hienoaineksen määrästä voi olla 30 - 60 % riippuen asfalttityypistä. Nykyisin käytetään täytejauheena tyypillisesti kalkkikivitäytejauhetta tai lentotuhkaa. Täytejauhetta lisätään, sillä varsinaisen runkokiviaineksen hienoaines ei riitä täyttämään rakeisuuskäyrän alaosa vaaditulle tasolle. Hienoaineen toimivuuden kannalta hienoaineksen tyhjätila ja ominaispinta-ala vaikuttavat kykyyn sitoa bitumia, ja siten mastiksin jäykkyyteen. Mastiksi on bitumin ja hienoaineksen muodostama seos. Hienoaineksen avulla bitumi tarttuu paremmin karkeisiin kiviaineksiin taaten kulutus- ja säänkestävämmän päällysteen. [7; 12, s. 42; 22.]

5.3.2 Täytekivijauhe

Täytekivijauhe puolestaan on raekokoa 0,063 - 2 mm. Täytekivijauheella on vaikutusta päällysteen stabilisuuteen ja säänkestävyyteen, kun taas hienoaine on täyttämässä karkean kiviaineksen tyhjätilaa ja siten takaamassa stabiilisemmän päällysteen. [7.]

5.3.3 Karkea kiviaines

Kiviaines luokitellaan karkeaksi kiviaineeksi, kun sen raekoko on isompi kuin 2 mm. Halutusta asfalttityypistä ja käyttökohteesta riippuen kiviaineksen osuus koko asfalttimassasta sekä hienoaineksen, täytekivijauheen ja karkean kiviaineksen suhteutus vaihtelee. [7.]

5.4 Kiviaineksen mekaaniset ominaisuudet

Kiviaineksen raekoko ja rakeiden muoto ovat fysikaalisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat päällysteiden kulutuskestävyyteen. Pienistä kivirakeista koostuvalla asfalttimassalla on suhteellisesti enemmän kulutuspintaa kuin suurista rakeista koostuvilla. Tämän takia karkeiden kiviainesten sekaan lisätään hienompia kiviaineita kantavuuden ja kestävyden lisäämiseksi. Myös kiviaineksen muodolla on merkitystä, sillä kivirakeeseen kohdistuvan voiman suuruus riippuu kivirakeen pinnan tukivoimasta sekä sisäisistä voimista. Esimerkiksi litteät kivirakeet murtuvat pyöreitä rakeita helpommin. Päällysteen käyttökohteesta riippuen kiviaineksen raekokoja ja muotoja kannattaa suunnitella. Tiepintojen kulumiseen ja vaurioitumiseen riippuvat muun muassa liikennemäärä, ajoneuvojen paino ja nastarenkaat, ajonopeus sekä sääolosuhteet, jotka on huomioitava kulumistutkimuksia ja -ennusteita tehtäessä. Suomen kaltaisissa olosuhteissa tiepinnan kosteus, sulaminen ja jäätyminen sekä teiden suolaus ovat huomioon otettavia asioita. [19.]

6 Asfaltin vaurioituminen pitkäaikaiskäytön vaikutuksena

Asfaltti on kemiallisesti ja mekaanisesti kestävä materiaalia. Sitä on myös helppo pitää puhtaana ja kantavana materiaalina se kestää kulutusta. Asfaltti on myös todella vaikeasti syttyvää, täysin kierrätettävää ja lähes pölyämätöntä. Vaikeiden sääolosuhteiden kanssa nastarenkaat voivat kuitenkin aiheuttaa kulutusta ja pölyä. On monta tekijää, jotka vaikuttavat asfalttimassapäällysteen vaurioitumiseen. Päällysteitä suunniteltaessa otetaan käyttökohde huomioon. [23.]

Bitumi, orgaanisena aineena on altis hapelle, UV-säteilylle ja korkeille lämpötiloille. Asfalttipäällysteen kemiallinen kestävyys on suurelta osin riippuvainen bitumin kemiallisesta kestävydestä. Laimeita happoja, emäksiä ja erilaisia suolaliuoksia bitumi kestää hyvin, kun taas öljytuotteet ja orgaaniset liuottimet liuottavat bitumia, mikä taas aiheuttaa asfaltin rapautumista. Voimakkaille kemikaaleille altistuminen on syytä ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa, sillä esimerkiksi kalkkikivitäytejauhe ei kestä happoja. Tällöin on käytettävä haponkestäviä raaka-aineita. Toinen olennainen asia, mikä on otettava huomioon, on lämmönkestävyys ja kylmäominaisuudet. Kumibitumilla voidaan parantaa molempia ominaisuuksia, kun taas kovia bitumeja käyttämällä voidaan parantaa vain lämmönkestävyyttä ja pehmeillä bitumeilla kylmäominaisuuksia. [12, s. 39; 23.]

Asfalttinen eristerakenne on melko paksu, joten ilmaston hapen hapettava vaikutus jää aivan päällysteen pintaosiin. Tästä syystä uusi, musta päällyste ajan myötä hapettuessaan muuttaa väriään kiviaineksen kaltaiseksi. Hapettava vaikutus vähenee mitä syvemmälle pintaa edetään. Liian runsas huokoisuus asfalttipäällysteessä lyhentää asfaltin käyttöikä. Päällysteen hapettuminen on tällöin nopeampaa ja se myös päästää vettä helpommin lävitse. Yleisesti ottaen asfalttipäällysteen vedenkestävyys on erinomainen ja bitumi itsessään on vettä hylkivää. Pohjarakenteena oleva asfalttinen eristysrakenne voi kestää satoja vuosia enemmän kuin pintarakenteena oleva asfalttipäällyste. [12, s. 62.]

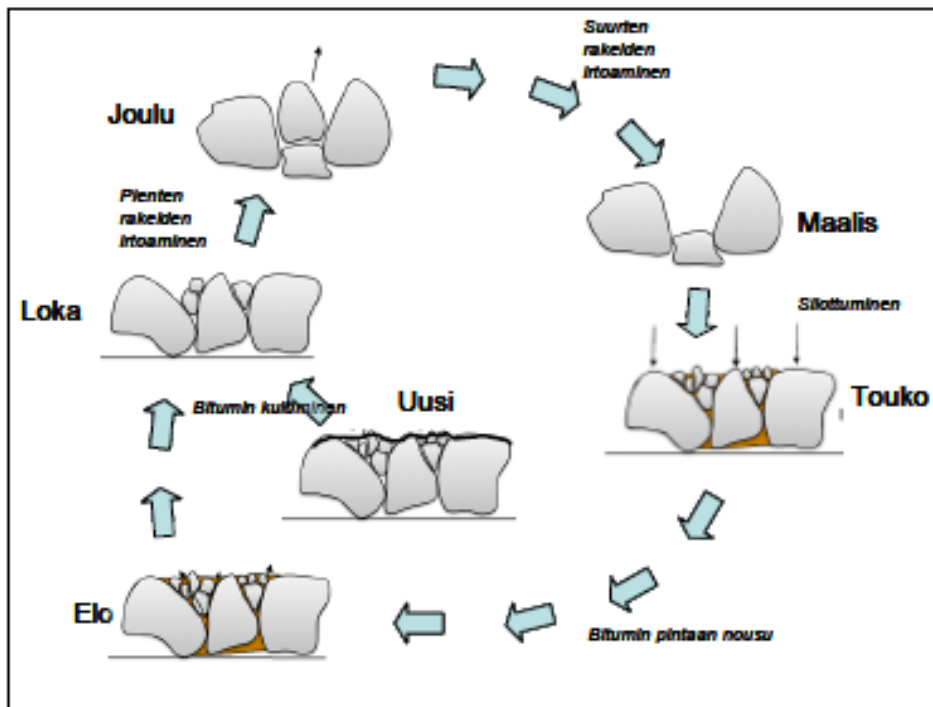


Kuva 14. Urat asfaltissa. Syynä voi olla esimerkiksi lumiauran hampaiden jättämät jäljet.

Ajan saatossa ilmenee useita ongelmia asfalttimassapäälysteessä pinnan kuluessa ja haljetessa. Kuvassa 14 asfalttipäälysteen pinnalla esiintyy uria. Nämä ovat voineet syntyä esimerkiksi lumiauran hampaista. Vauriot voivat edetä pintaa syvemmälle alempiin rakennekerroksiin asti. Näitä vaurioita ovat muun muassa urautuminen, kulumisen ja deformaatio eli muovautuminen, väsyminen, pakkaskatkokot ja purkautuminen. Urautuminen voidaan jakaa kulumiseen ja deformaatioon eli muovautumiseen.

6.1 Kulumisen

Nykyisin asfaltissa on noin 94 - 95 prosenttia kiveä, kun aikaisemmin ollaan kiviaineksena käytetty hiekkaa. Kiven geologisilla ominaisuuksilla on hyvin suuri merkitys asfaltin pitkäaikaiskestävyyden kannalta. Näitä ominaisuuksia ovat kiven mineraalikoostumus ja mineraalien liittyminen toisiinsa. Myös kivien raekokojakaumalla sekä muoto-ominaisuuksilla on suuri merkitys. Hienorakeisimmat päälysteet kestävät huonommin kulutusta kuin karkearakeisimmat, sillä kulutus tapahtuu aivan kivirakeiden pinnoilla. Nastarenkaat, ilman lämpötila ja päälysteen kosteus ovat kulumisen suurimpia aiheuttajia. [24.]



Kuva 15. Päällysteen karkeutumista, silottumista ja kulumista vuoden aikana [24].

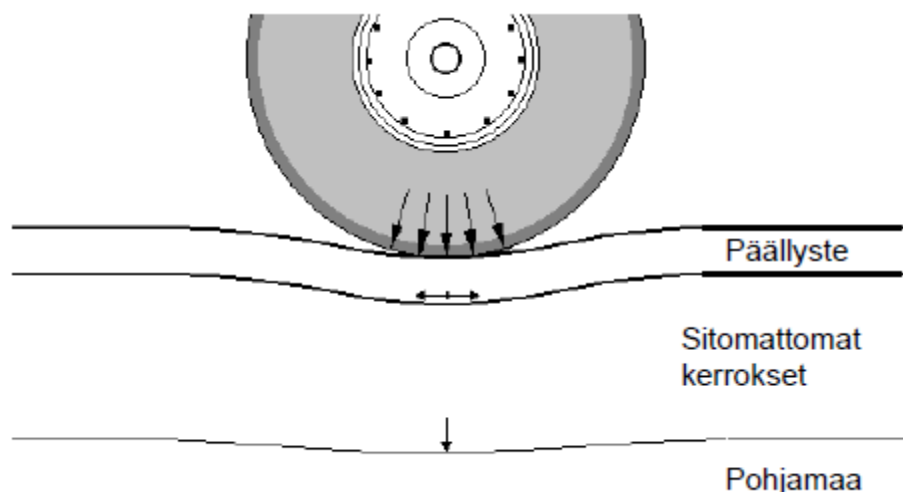
Oheisen kuvan 15 mukaisesti suunnilleen joulukuun ja maaliskuun välisenä aikana irtoaa suurempia rakeita. Kulutuskestävyys on erittäin tärkeä ominaisuus erityisesti nastarenkaiden ja liikenteen suuren määrän takia. Nastarenkaat karkeuttavat tien pintaa, ja kylmät olosuhteet jäykistävät bitumia tehden siitä hauraamman. Monelle on varmaan tuttua kevätaikaan autoa ajaessa kuuluvaa rapinaa, kun pikkukivet sinkoilevat renkaiden mukana. Tien pinnalta irtoaa kiviä nastarenkaiden vaikutuksesta. Päällysteen pinnalla oleva mastiksikerros, joka on bitumin ja hienoaineksen seos, kuluu nopeasti alussa. Alkukuluminen jälkeen kulumisen jatkuu tasaisesti. Loppukuluminen taas tapahtuu sekä mastiksikerroksen että kiviaineksen pinnalla. Tällöin päällyste karkeutuu, sillä mastiksikerros kuluu nopeammin kuin kiviaines. Toinen asia, mikä aiheuttaa kulumista on myös päällysteen kosteus. Keväällä lumet vasta sulavat ja päällysteen tyhjätilan huokosiin imeytyessä kosteutta, kiviaineksen pinnatkin ovat kosteita. Tällöin kiviaineksen ja bitumin välinen tartunta heikkenee huomattavasti, mikä lisää kulumista. Kiviaineksen lujuus märkänä on myös heikompaa kuin kuivana. Nastarengaskauden ollessa ohi, tien pinta rupeaa silottumaan yllättävänkin nopeasti. Sekä kevyt että raskas liikenne aiheuttavat tien silottumista, mutta huomattavasti eniten silottumiseen

vaikuttaa kuitenkin ilman lämpötilan nouseminen. Lämpötilan noustessa bitumikin muuttuu joustavammaksi, kiiltävämmäksi ja nousee enemmän pintaan.

Kulutuskestävyyteen vaikuttavat ulkoisten ympäristötekijöiden sekä kiven geologisten ominaisuuksien lisäksi myös tyhjätilan määrä ja kiviaineksen tyhjätilan täyttömäärä, jotka vaikuttavat myös vedenläpäisevyyteen ja imeytymiseen. [24; 25.]

6.2 Deformaatio

Päällysteen urautuminen johtuu kulumisen lisäksi myös deformaatiosta eli plastisista muodonmuutoksista ja jälkitiivistymisestä. Päällysteen viskoelastisuus on suurin syy deformaatiolle. Deformaatioon vaikuttavia tekijöitä ovat raskaan ajoneuvoliikenteen määrä ja paino sekä kuumien hellepäivien määrä, päällysteen massakoostumus ja sideainepitoisuus. Jälkitiivistyminen johtuu ajoneuvojen painosta ja ylityskerroista. Raskaan liikenteen aiheuttama deformaatio ja tiivistyminen synnyttävät pysyviä muodonmuutoksia päällysteeseen. Raskaan liikenteen kuormituksen aiheuttamat leikkausjännitykset synnyttävät plastista muodonmuutosta, jolloin päällystemateriaali siirtyy sivusuunnassa. Tyypillisesti plastista muodonmuutosta ilmenee paikoissa, joissa ajonopeus on alhainen kuten linja-autopysäkit tai parkkipaikat. [25.]



Kuva 16. Tiehen syntyä epätasaisuutta muun muassa painumien vuoksi [26].

Urautuminen ei tapahdu vain päällysteen pinnalla, mutta myös alusrakenteissa tapahtuu pysyviä muodonmuutoksia. Kuvan 16 mukaisesti liikenteen aiheuttaman kuormituksen vuoksi sitomattomat rakennusmateriaalit painuvat alaspäin ajourien kohdalla siirtäen viereistä, syrjäytyvää materiaalia sivuille ja ylöspäin pienintä vastusta kohti. Alusrakenteen sitomattomien materiaalien ominaisuudet riippuvat vallitsevasta jännitystilasta, raeminaisuuksista, tiivyydestä ja kosteudesta. Sitomattomien kerrosten materiaalit tulisi sisältää mahdollisimman vähän savilajeja, rakeisuuskäyrän pitäisi olla tasaisesti kaartuva, ja maksimiraekoon tulisi olla suuri. Kosteus vaikuttaa todella merkittävästi sitomattomien materiaalien käyttäytymiseen. Vedenpitoisuuden noustessa, kiviainespinta kostuu ja lujuusominaisuus heikkenee. Lujuuden heikkeneminen romahduttaa rakeiden välisen tehokkaan jännityksen, jolloin kivirakeet irtoilevat toisistaan aiheutuen kuormituksesta johtuvasta huokosvedenpaineesta. Suurin osa vedestä pääsee rakennekerrokseen päällysteen halkeamien ja vaurioiden kautta, tien reunoista sekä ympäröivästä maasta imeytyen. Ohut päällyste on vähemmän jäykempää kuin paksu päällyste. Ohutpäällysteisillä teillä sitomattomien materiaalien ominaisuudet ovat siis hyvin merkittäviä. [25.]

6.3 Väsyminen

Ajoneuvojen kuormitus aiheuttaa tiepäällysteeseen puristusrasitusta ja alempiin kerrokseen vetojännitystä. Tällöin rakenteessa tapahtuu taipumista, mikä aiheuttaa vetomuodonmuutoksia sidottujen kerrosten alapinnalla. Vetomuodonmuutosten ollessa jatkuvaa, sidottu kerros alkaa vaurioitua eli väsyä. Päällysteen väsyminen johtuu bitumin ja päällysteen viskoosien ja kimmoisten ominaisuuksista. Jos päällyste olisi täysin kimmainen, väsymistä ei tapahtuisi. Bitumin muuttuessa iän ja kuormituksen myötä vähemmän kimmoisaksi, pienenee sen murtolujuus ja murtovenymä.

Väsymisen alkuvaiheessa sidotun kerroksen alapintaan syntyy pituussuuntaisia hiushalkeamia, ja kuormituksen jatkuessa niitä tulee lisää, kunnes syntyy hiushalkeamaverkkoja. Vetomuodonmuutokset kasvavat ja päällysteen jäykkyys heikkenee. Päällysteeseen alkaa tulla näkyviä vaurioita, kun hiushalkeamat lisääntyvät ja kasvavat sekä lähestyvät tien pintaan kohti. Halkeamien lisääntyessä ja kasvaessa syntyy verkkohalkeilua. Seuraavan sivun kuvasta 17 voidaan havaita tiepäällysteen

pinnalle muodostunutta verkkohalkeilua. Pituussuuntainen halkeamasta aiheutuu, ettei päällyste toimi enää yhtenäisenä laattana, vaan kuormitus jakautuu epätasaisesti. Tällöin vaurioituminen nopeutuu entisestään. Päällysteen alla olevan materiaalin ollessa kantava ja kasvattamalla päällysteen paksuutta sekä jäykkyyttä, pienennetään päällysteen alapinnan vetomuodonmuutoksia. Simuloimalla päällysteeseen kohdistuvia jännityksiä ja muodonmuutoksia, voidaan testata asfalttipäällysteen väsymiskestävyyttä laboratorio-olosuhteissa. [25.]



Kuva 17. Verkkohalkeilua parkkipaikalla. Syynä voi olla väsymisen lisäksi pakkaskatkeilua.

6.4 Pakkaskatkot

Asfalttiin tulevat halkeamat aiheutuvat, kun lämpötilan alentuessa asfaltti pyrkii kutistumaan. Myös alempien kerrosten routiminen aiheuttaa päällysteen halkeilua, kun rakoihin, huokosiin tai kerrosten väliin pääsee vettä. Huonosta pakkasenkestävyydestä aiheutuu poikkisuuntaisia halkeamia. Kuvan 17 tiepäällysteen verkkohalkeiluun on todennäköisesti vaikuttanut myös talven pakkasolosuhteet. Asetettaessa

pakkasenkestävyysvaatimus asfalttimassalle, päällysteen sideaine valitaan käyttökohteen alhaisimman lämpötilan mukaisesti. Myös deformaatiokestävyys on otettava huomioon pakkasenkestävän massan suunnittelussa. Pakkasenkestävään massaan tarvitaan joustavaa eli melko pehmeää bitumia. Kumibitumia käytetään erityisen suuren pakkaskestävyyden tarpeessa. [25.]

6.5 Purkautuminen

Purkautuminen on pakkaskatkojen lisäksi erityisesti Pohjoismaita ja muita samanlaisia ympäristöolosuhteita omaavia valtioita vaivaava asfaltin vaurioitumistapa. Pakkasenkestävyys ja jäätymis-sulamisominaisuudet ovat asfalttipäällysteiden tärkeitä ominaisuuksia, joita kehitetään koko ajan. Säänkestävyysongelmat ilmenevät päällysteiden purkautumisena ja reikiintymisenä kuten allaolevasta kuvasta 18 voidaan todeta. Ilmastoperäiset päällystevauriot aiheuttavat suuria korjauskustannuksia ja vaurioiden yleistyminen vaarantaa liikenneturvallisuutta. Pitkäaikaiskestävyyden kannalta asfalttipäällysteiden tärkeitä ominaisuuksia ovat pakkasenkestävyys ja jäätymis-sulamisominaisuudet, joita täytyisi kehittää. [25.]



Kuva 18. Purkautuminen ilmenee asfaltin reikiintymisenä. Jatkuva jäätymis-sulamisvaihe heikentää bitumin ja kiviaineksen välistä tarttuvuutta, mistä purkautuminen aiheutuu.

Muun muassa massan raaka-aineiden ominaisuudet, sideainepitoisuus ja tyhjätila vaikuttavat asfaltin jäätymis-sulamisominaisuuksiin. Kun vettä pääsee tunkeutumaan päällysteen huokosiin, kestää päällyste yhä huonommin vettä eikä se kestä jäätymis-sulamisrasitusta. Asfalttipäällysteen jäätymis-sulamiskestävyyden ollessa riittämätön, päällyste vaurioituu toistuvista jäätymisistä ja sulamisista. Tällöin bitumin tarttuvuus heikkenee huomattavasti ja päällysteen koostumus purkautuu. Vauriot näkyvät irtoiluna tai reikiintymisinä kuvan 18 mukaisesti. Sideaineen ja kiviaineksen välistä tarttuvuutta voidaan parantaa tartukkeen avulla, josta puhutaan tarkemmin seuraavassa kappaleessa. Jäätymis-sulamisvauriot aiheutuvat veden jatkuvasta jäätymis-sulamisvaiheista asfalttipäällysteen huokosissa sekä halkeamiin kohdistuvista vedenpaineiskuista, jotka raskaat ajoneuvot aiheuttavat. Leutoina talvina tapahtuu enemmän veden jäätymistä ja sulamista kuin kylminä talvina, jolloin asfalttipäällysteet ovat aivan erilaisissa koettelemuksissa. [25.]

7 Lisäaineet

Lisäaineiden avulla pyritään parantamaan tiepäällysteiden toiminnallisia ominaisuuksia. Lisäaineiden käyttö tulee yleensä ajankohtaiseksi vain erikoiskohteissa. Lisäaineita ei pidä sekoittaa erikseen lisättäviin hienoaineksiin, joita ovat kalkkitäytejauhe tai lentotuhka. Kalkkitäytejauhe ja lentotuhkakin ovat erikseen lisättäviä, mutta ne eivät lisäaineiden tavoin ole tarkoitettu erikoistilanteisiin, vaan ovat kiviainesmassaan yleisesti kuuluvia raaka-aineita. Lisäaineiden avulla parannetaan päällysteiden erilaisia ominaisuuksia, ja täten pyritään hidastamaan asfaltin vaurioitumista pitemmällä aikatahtimella. [7.]

7.1 Tartukkeet

Nykyään asfaltin kivet ovat lähes poikkeuksetta murskettua. Murskeen yleinen ongelma on se, että kiven pinnat ovat kosteita ja niissä on vesikerroksia, joita alunperin kidevesi sitoo lisää vetysidosten avulla. Lisäaineiden tarkoituksena on joko emulgoida asfalteenit veteen tai alentaa bitumin tai asfaltin viskositeettia ja sitä kautta käsittelylämpötilaa. [27.]

Tartukkeiden tarkoituksena on edistää kiviaineksen ja sideaineen välistä tarttuvuutta. Heikon tartunnan syy johtuu bitumin ja kiviaineksen huonosta yhteensopivuudesta sekä hienoaineksen ominaisuuksista. Yhteensopivuus perustuu bitumin ja kiviaineksen fysikaalisiin ominaisuuksiin. Hienoaineksen suuri ominaispinta-ala ja veden adsorptiokyky lisää huonon tartunnan mahdollisuutta. Kun tartuntaa parannetaan tartukkeilla, voidaan riittävä tartukkeen määrä arvioida vedenkestävyyksikoilla. Asfalttinormeissa on määritetty vaatimuksia ja ohjeita, jotka asfalttipäällysteen täytyy täyttää. [27.]

Tartukkeen osuus bitumissa riippuu tartukkeen koostumuksesta. Yleisimmät tartukkeet ovat ammoniakista johdettuja alkyylamiineja, joiden vetyatomit korvataan hiilivetyketjuilla. Nämä hiilivetyketjut tarttuvat bitumiin ja muu osa yhdisteestä kiviainekseen. Yleisin tartukelaji on diamiini, jota lisätään bitumiin noin 1 %. Muita käytettyjä tartukkeita Pohjoismaissa amiinipohjaisten lisäksi on sementti. Tämän

tutkimuksen tavoitteena oli tutkia mäntyöljypohjaisia tartukkeita ja selvittää niiden käyttäytymistä asfaltissa eri olosuhteissa. Tutkimuskokeet ovat suoritettu yleisillä koemenetelmillä, jotka ovat Pohjoismaissa käytössä. [1; 7.]

7.2 Muut lisäaineet

Muita lisäaineita ovat kuidut, erikoispolymeerit, erikoistäytejauheet ja luonnonasfaltit. Kuidut mahdollistavat suuren sideainemäärän käytön sekä parantavat päällysteen lujuutta. Erikoispolymeerit puolestaan voivat parantaa sideaineen kemikaalinkestävyyttä, kun taas erikoistäytejauheiden tarkoituksena on parantaa asfaltin lämmönkestävyyttä. Luonnonasfaltit parantavat lämmönkestävyyden lisäksi myös työstettävyyttä. [12 s. 43.]

8 Tutkimuskohteet ja tutkimuksen tavoite

Märkä tai kostea kiviaines heikentää bitumin ja kiviaineksen välistä tartuntaa. Tarttuvuutta edistävän tartukkeen toimivuutta sekä kiviaineksen ja bitumin välistä tartuntaa voidaan tutkia altistamalla asfalttimassa veden vaikutukselle.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää mäntyöljypohjaisten Evogrip-tartukkeiden toimivuutta eri asfalttityypeissä. Tartukkeiden toimivuutta tutkittiin pehmeissä asfalttilaaduissa eli PAB-V-päällysteissä sekä AB16-kuumapäällysteissä. Tutkimuksessa käytetty PAB-päällyste on siis pehmeää asfalttibetonia. Paras etu pehmeissä asfalttibetonipäällysteissä on se, että ne kestävät roudasta aiheutuvat liikkeet. AB-päällyste on asfalttibetonia, jonka rakeisuuskäyrä on yhtäläillä jatkuva kuin PAB-päällysteenkin. Kuumapäällysteellä tarkoitetaan, että kyseinen asfalttilaatu on valmistettu korkeammassa lämpötiloissa kuin kylmäasfaltit kuten PAB-päällyste. [28.]

Tässä työssä tutkimuksen tarkastelu on jaettu kahteen erilliseen osaan asfalttityyppien mukaisesti. Näihin kahteen eri asfalttityyppiin on sovellettu erilaiset koemenetelmät eivätkä ne ole lainkaan verrattavissa toisiinsa.

9 PAB-V-päällysteiden tutkimus

Asfalttiteollisuudessa käytetään lähes aina tartukkeita niin kutsutuissa pehmeissä asfalteissa eli PAB-päällysteissä. Suomessa käytetään yleisesti amiinipohjaisia tartukkeita PAB-V-päällysteissä. V kirjaimella merkityt bitumit ovat niin pehmeitä, ettei niitä voi tunkeumalla määrittää, vaan viskositeetti mitataan 60 °C:ssa. PAB-V-päällysteet valmistetaan yleensä niin sanotuilla Turbo-aseilla. Tällöin asfaltin valmistuslämpötila on 60 - 90 °C. Tartukemäärä vaihtelee 0,4 - 1,3 %:n välillä. [28.]

9.1 Työn tarkoitus

Kolmea erilaista mäntyöljypohjaista tartuketta tutkittiin pehmeissä asfalttilaaduissa. Näitä kaikkia kolmea tartuketta verrattiin Suomessa yleisimmän käytetyimmän joukkoon kuuluvaa nestemäiseen diamiinipohjaiseen tartukkeeseen. Kokeita suoritettiin yhteensä kuusi kappaletta kaikki samoilla menetelmillä. Tarkoituksena oli selvittää tartukkeiden vedenkestävyyttä ja tarttuvuutta sekä verrata näitä ominaisuuksia toisiinsa.

9.2 Käytetyt koemenetelmät

Tartukkeiden toimivuutta pehmeissä asfalteissa haluttiin tutkia niillä tutkimusmenetelmillä, jotka ovat Pohjoismaissakin käytössä. Tartukkeiden käyttäytymisen selvittämiseksi käytettiin kahta erilaista menetelmää, jotka olivat seuraavanlaiset:

- Ämpärikoe (lämmin ja kylmä) Tiehallinnon vanha ohje
- MYR-koe, SFS-EN 12697-12C

9.2.1 Ämpärikoe

Ämpärikoe on Tiehallinnon vanhan ohjeen mukainen, ja yksinkertaisuutensa vuoksi sitä voidaan käyttää suoraan työmaalla tarttuvuuden vedenkestävyyden selvittämiseksi. Menetelmässä juuri valmistettu, lämmin asfalttimassa kaadetaan vesiämpäriin. Silmämääräisesti arvioidaan, kuinka sideaine pysyy kiviaineksessa ja paljonko

sideainetta on irronnut veteen. Arvio tehdään siis kiviaineksen värin ja veden sameuden perusteella. Tässä tutkimuksessa ämpärikoe on suoritettu sekä kylmällä että lämpimällä asfalttimassalla. Kylmä ämpärikoe tarkoittaa sitä, että PAB-massa on jäähtynyt tunnin huoneenlämmössä ennen kokeen suorittamista. Lämmin ämpärikoe taas suoritetaan siten, että tuore asfalttimassa laitetaan heti valmistuksesta suoraan veteen.

9.2.2 MYR-koe

MYR-koe muistuttaa hyvin pitkälti ämpärikoetta, mutta sen sijaan, että arvioidaan veden sameutta silmämääräisesti, MYR-kokeessa vesi kerätään talteen ja kaadetaan suodatinpaperin läpi. Suodatinpaperille jäänyt sideainemäärä punnitaan. Punnitus vastaa MYR-arvoa, ja se ilmoitetaan yleensä grammoina (g). MYR-testi suoritetaan asfalttimassalle, joka on ensin jäähtynyt tunnin ajan huoneenlämmössä. Asfalttinormien 2011 mukaan hyväksyttävän MYR-arvon täytyy olla pienempi kuin 2 g kuten seuraavasta taulukosta 2 voidaan havaita. Tutkimuksessa MYR-koe suoritettiin SFS-EN 12697-12C standardin mukaisesti.

Taulukko 2. Asfalttipäällysteen vedenkestävyydelle on lakisääteiset laatuvaatimukset. Menetelmän SFS-EN 12697-12 mukaan PAB-V-päällysteiden MYR-arvon on oltava pienempi kuin 2 g. [29.]

Asfalttipäällysteen vedenkestävyys				
AB- ja SMA- massojen vedenkestävyys osoitetaan päällystetestinä SFS-EN 12697-12 mukaisella testillä suunniteltavien massan raaka-aineista valmistetulle PANK 4301 mukaiselle AA 11-massalle				
Ominaisuus	Asfalttityyppi	Luokka	Vaatus	Menetelmä
ITSR-tarttuvuusluku	AB, SMA	ITSR ₇₀	≥ 70 %	SFS-EN 12697-12, AA11-massa
ITSR-tarttuvuusluku suunnittelun mukaisella massalla	PAB-B	ITSR ₆₀	≥ 60 %	SFS-EN 12697-12, menetelmä B
MYR- arvo	PAB-V	bv _{2,0}	≤ 2,0 g	SFS-EN 12697-12, menetelmä C

9.3 Massaresepti ja testatut tartukelaadut

Taulukko 3. Käytetyn asfalttilaadun massaresepti.

PAB-V 16 massaresepti	Pitoisuudet
Sideaine, V1500	3,40 %
Kiviaines, Sammonmäeltä	rakeisuus; kts liite 1
Kiviaineksen kosteus	4 %
Valmistuslämpötila	80 - 85 °C

Yllä olevassa taulukossa on ilmoitettu käytetyn asfalttityypin, PAB-V 16 kiviaineksen rakeisuus, kosteus ja sideainetyyppi. Kiviaineksen rakeisuuskäyrä löytyy liitteestä 1. Sideaineena on käytetty hyvin pehmeää bitumia, V1500.

Tutkimuksessa käytetyt tartukelaadut olivat seuraavanlaiset:

- GT-Grip
- Evogrip 1
- Evogrip ST12
- Kilpaileva nestemäinen diamiinipohjainen tartuke, joka on urakoitsijoiden keskuudessa eniten käytetty. Selkeyden vuoksi tämä merkitään taulukkoihin nimellä nestemäinen amiini 1.

9.4 Koematriisi

Seuraavassa taulukossa 4 on esitetty, millä koemenetelmillä kukin tartuke on tutkittu. PAB- päällysteen tutkimuksessa on suoritettu yhteensä kuusi koetta, kuten taulukosta 4 voidaan havaita. Punaisella merkityt solut edustavat menetelmiä, joita ei käytetty kyseisen tartukkeen tutkimiseen. Suoritettujen menetelmien koetulokset ovat merkitty taulukkoon ja niiden solut ovat vihreällä värillä maalattu. MYR- ja lämmin ämpärikoe on suoritettu jokaiselle tartukkeelle jokaisessa kokeessa, kun taas kylmä ämpärikoe on jätetty suorittamatta vain ensimmäiselle kokeelle. Kiviaineksen kosteutta on tutkittu

pelkästään kokeessa 5. Taulukon 4 tuloksia tarkastellaan seuraavassa luvussa 10. Koenumerot edustavat yhtä koekertaa.

Taulukko 4. PAB-päällysteen tutkimuksessa suoritettut kokeet eri tartukkeille. Tartukkeen osuus koko asfalttinäytteen massasta on ilmoitettu prosentteina. Punaisella merkityt solut ovat menetelmiä, joita ei suoritettu kyseiselle tartukkeelle, kun taas vihreä väri edustaa kyseisen menetelmän suorittamista.

Koenumero	Tartuke	Osuus (%)	MYR (g)	Lämmin ämpärikoe	Kylmä ämpärikoe	Kiviaineksen kosteus (%)
1	GT-Grip	0,6	5,1	Huono		
1	GT-Grip	1	0,9	Huono		
1	Diamiini1	1	0,5	Huono		
2	Evogrip 1	0,6	1,7	Erittäin huono	Huono	
2	Evogrip 1	0,8	2,4	Erittäin huono	Huono	
2	Evogrip 1	1	0,1	Täysin puhdas	Täysin puhdas	
2	Diamiini1	0,6	0,9	Huono	Tyydyttävä	
2	Diamiini1	0,8	1,1	Huono	Tyydyttävä	
3	Evogrip 1	1	2,2	Erittäin huono	Huono	
3	Diamiini	0,6	1,7	Erittäin huono	Huono	
4	Evogrip 1	0,8	2,6	Erittäin huono	Huono	
4	Evogrip 1	1	2,3	Erittäin huono	Huono	
4	Evogrip 1	1	2,7	Erittäin huono	Huono	
4	ST12	1	6,7	Erittäin huono	Erittäin huono	
4	Diamiini1	0,6	0,7	Huono	Tyydyttävä	
5	Evogrip 1	1,4	2,9	Erittäin huono	Huono	4
5	Evogrip 1	1	0	Täysin puhdas	Täysin puhdas	0
5	Evogrip 1	1	2,6	Huono	Huono	2,5
6	GT-Grip	1	5,6	Erittäin huono	Huono	
6	Evogrip 1	1	8	Erittäin huono	Huono	

10 Tulokset ja tulosten tarkastelua PAB-päällysteiden tutkimukselle

PAB-päällysteiden tutkimisessa tehtiin yhteensä kuusi koetta. Asfalttimassaresepti on joka kokeessa ollut samanlainen, ja jokaisella koekerralla suoritettiin sekä MYR-kokeet että ämpärikokeet. Testatut tartukkeet ja niiden osuus asfalttimassassa kuitenkin vaihtelivat joka kokeessa. Koe 3 suoritettiin kuumakäsiteltyillä sideaineilla. Kokeesta 4 lähtien taas koeolosuhteet tarkennettiin eli mittausepävarmuutta aiheuttavia tekijöitä valvottiin tarkemmin. Kokeessa 5 kiviaineksen kosteus otettiin yhdeksi lisämuuttujaksi.

Varsinaisia toistoja ei tutkimuksessa ole tehty, minkä vuoksi tulokset ovat epäluotettavia. Vähäisen koemäärän vuoksi tuloksissa esiintyy todella suurta hajontaa.

10.1 Suoritettujen kokeiden tulokset ja niiden tarkastelua

Kokeessa 1 käytetyt tartukkeet olivat

- GT-Grip (yksi kolmesta mäntyöljypohjaisista tartukkeista)
- Kilpaileva nestemäinen diamiinipohjainen tartuke.

Alla olevassa taulukossa 5 on ensimmäisen kokeen tulokset. Taulukosta nähdään myös kyseisen tartukkeen osuus asfalttimassasta sekä MYR-kokeen arvo ja ämpärikokeiden tulokset, jotka ovat silmämääräisesti arvioitu. Arvioija on ollut vakio. Ensimmäisessä kokeessa on suoritettu vain lämmin ämpärikoe, kun muilla koekerroilla ollaan suoritettu myös kylmä ämpärikoe.

Taulukko 5. Tulokset kokeelle 1, jossa vertailtiin amiinipohjaista tartuketta mäntyöljypohjaiseen GT-Grip- tartukkeeseen.

Tartuke	Tartukkeen osuus (%)	MYR (g)	Ämpärikoe (lämmin)
GT-Grip	0,6	5,1	Huono
GT-Grip	1	0,9	Huono
Nestemäinen amiini1	1	0,5	Huono

Asfalttinormien 2011 mukaan MYR-arvon tulisi olla pienempi kuin 2 g kuten taulukosta 2 voitiinkin jo todeta. Molemmat amiinipohjainen ja GT-Grip-tartuke vastaavat tähän vaatimukseen toisin kuin GT-Grip pitoisuudessa 0,6 %, joka antaa huomattavasti huonomman tuloksen. Näillä GT-Gripin kahdella eri pitoisuudella on kovin suuri ero. On vaikea sanoa, onko mittausepävarmuutta aiheuttavat häiriötekijät vaikuttaneet kokeen tuloksiin. Vähäisen koemäärän vuoksi ei voida sanoa, että ovatko tulokset sattumanvaraisia vai toistettavia.

Ämpärikokeessa saatiin kaikista sama tulos, vaikka olisi voinut luulla, että MYR-arvon pienenytessä ämpärikokeen tulos olisi parantunut. Voisi olettaa, että MYR-arvolla 5,1 g saataisiin huonompi ämpärikokeen tulos. Toisaalta täytyy muistaa, että ämpärikoe on silmämääräinen koe, eikä MYR-kokeen tavoin siinä mitata minkäänlaista suuretta.

Kokeessa 2 käytetyt tartukkeet olivat

- Evogrip 1
- Nestemäinen diamiinipohjainen tartuke.

Taulukko 6. Tulokset kokeelle 2, jossa vertailtiin mäntyöljypohjaista Evogrip1- tartuketta amiinipohjaiseen tartukkeeseen.

Tartuke	Tartukkeen osuus (%)	MYR (g)	Ämpärikoe (lämmin)	Ämpärikoe (Kylmä)
Evogrip 1	0,6	1,7	Erittäin huono	Huono
Evogrip 1	0,8	2,4	Erittäin huono	Huono
Evogrip 1	1	0,1	Täysin puhdas	Täysin puhdas
Nestemäinen amiini1	0,6	0,9	Huono	Tyydyttävä
Nestemäinen amiini1	0,8	1,1	Huono	Tyydyttävä

Voidaan todeta, että Evogrip 1 antaa paremmat MYR-arvot kuin GT-Grip kokeessa 1. Lämpimän ämpärikokeen tulokset ovat huonompia kuin edellisen kokeen GT-Grip-tartukkeen tulokset pienemmällä pitoisuudella, mikä on hieman ristiriitaista. Toisaalta

ämpärikokeen tulokset ovat vain tätä koetta tarkasteltaessa loogiset. Mitä parempi ämpärikokeen tulos on, niin sitä pienempi on MYR-arvo. Sekin täytyy muistaa, että ämpärikoe on tosiaan silmämääräinen mittaus ja eri koekertoihin vertaaminen ei ole tarkkaa. Pienimmällä pitoisuudella Evogrip 1 antaa paremman MYR-tuloksen kuin suuremmalla 0,8 %:n pitoisuudella, vaikka tarttuvuuden pitäisi näissä olosuhteissa olla verrannollinen tartukkeen pitoisuuteen. Evogrip 1:sen kahdella suurimmalla pitoisuuksien tuloksilla on todella suuri ero, mikä kyseenalaistaa tulosten luotettavuutta. Myös amiinipohjainen tartuke antaa paremman MYR-arvon pienemmällä pitoisuudella. Molempien tartukkeiden ristiriitainen tulos kyseenalaistaa tulosten oikeellisuuden.

Loogista kuitenkin on se, että amiinipohjainen tartuke antoi odotetut arvot suhteessa edelliseen testiin, vaikka sekin antoi tässä kokeessa pienemmällä pitoisuudella paremman MYR -tuloksen. Myös sekin on järjenmukaista, että kylmemmällä ämpärikokeella saadaan paremmat tulokset.

Tämän kokeen perusteella tartukkeen osuudella ei näytä olevan loogista riippuvuutta MYR-arvoon. Tartukkeen pitoisuuden kasvaessa MYR-arvon tulisi olla pienempi. Toisaalta ehkä tartukkeiden osuuksien muutos on pieni verrattuna mittausvirheisiin, jolloin mittausvirheet peittävät kokeen tuloksien todelliset arvot.

Kokeessa 3 käytetyt tartukkeet ovat samat kuin edellisessäkin

- Evogrip 1
- Nestemäinen diamiinipohjainen tartuke.

Koesuunnitelman laadinnan yhteydessä oli sovittu, että kokeita tehdään myös vanhennetuilla sideaineilla. Sideaineen vanhentamisella tarkoitetaan tartukkeen kuumasäilytystä ennen kokeen suorittamista. Amiinitartuke menettää kuumasäilytyksessä noin 10 % tehoaan vuorokautta kohden, joten haluttiin selvittää, miten Evogrip 1 -tartukkeeseen vaikuttaa kuumasäilytys. Vanhennus suoritettiin säilyttämällä tartuketta sisältävä bitumiseos uunissa 125 °C:ssa 7 vuorokauden ajan.

Taulukko 7. Tulokset kokeelle 3, jossa testattiin vanhennettuja sideaineita.

Tartuke	Tartukkeen osuus (%)	MYR (g)	Ämpärikoe (lämmin)	Ämpärikoe (Kylmä)
Evogrip 1	1	2,2	Erittäin huono	Huono
Nestemäinen amiini1	0,6	1,7	Erittäin huono	Huono

Odotettiin, että molemmat tartukkeet antavat huonommat tulokset verrattuna edelliseen kokeeseen 2, sillä tiedetään, että amiinitartuke menettää 10 % tehostaan vuorokaudessa kuumasäilytyksen aikana. Kokeeseen 2 verrattuna molemmat tartukkeet antoivat odotetusti huonommat MYR-arvot ja vielä odotetut ämpärikokeen tulokset. Ämpärikoe perustuu kuitenkin aistihavaintoon, joten eri koekertoihin vertaaminen ei ole luotettavaa. Tämän kokeen perusteella Evogrip 1:n tarttuvuus ei tosin menetä yhtä paljon tehoa kuumasäilytyksen aikana kuin amiinitartuke.

Kokeessa 4 käytetyt tartukkeet olivat

- Evogrip 1
- ST12 (hartsipitoinen)
- Kilpaileva nestemäinen diamiinipohjainen tartuke.

Neljänteen kokeeseen toimitettiin myös ST12-tartuke, joka sisältää runsaasti hartsikomponentteja. Evogrip 1 tutkittiin kaksi kertaa pitoisuudessa 1 %.

Taulukko 8. Kokeen 4 tulokset, jossa tutkittiin amiinipohjaisen ja Evogrip 1 -tartukkeen lisäksi myös hartsipitoista ST12-tartuketta.

Tartuke	Tartukkeen osuus (%)	MYR (g)	Ämpärikoe (lämmin)	Ämpärikoe (Kylmä)
Evogrip 1	0,8	2,6	Erittäin huono	Huono
Evogrip 1	1	2,3	Erittäin huono	Huono
Evogrip 1	1	2,7	Erittäin huono	Huono
ST12	1	6,7	Erittäin huono	Erittäin huono
Nestemäinen amiini 1	0,6	0,7	Huono	Tyydyttävä

Tässä kokeessa Evogrip 1 -tartuke tutkittiin kaksi kertaa 1 %:n pitoisuudella, ja hajontaa on sen verran, että Evogrip-tartukkeen pienemmän pitoisuuden tulos sijoittuu kahden suuremman pitoisuuksien tulosten väliin. Verrattuna kokeeseen 2, Evogrip-tartuke 1 %:n pitoisuudella antaa huomattavasti suuremman MYR-arvon. Aikaisempien kokeiden perusteella tässä kokeessa Evogrip 1 antaa muutenkin suuremmat MYR-arvot toisin kuin amiinipohjainen tartuke, joka antaa edellisiin kokeisiin nähden odotetut arvot.

Runsaasti hartsikomponentteja sisältävä ST12-tartuke antoi äärimmäisen huonon MYR-arvon ja erittäin huonot ämpärikokeen arvot. Toisaalta siitä on tehty vain yksi mittaus eikä sen perusteella voi luotettavasti päätellä kyseisen tartukkeen toimivuutta. Kuten aiemmissa kokeissa tässäkin kokeessa diamiinipohjainen tartuke antoi parhaimmat tulokset. Ämpärikokeen tulokset ovat suhteessa edellisiin kokeisiin odotuksia vastaavat.

Kokeessa 5 tutkittu tartuke oli vain

- Evogrip 1

Kokeen tarkoituksena oli selvittää kiviaineksen kosteuden vaikutusta tartukkeen toimivuuteen. Aikaisemmin käytetyssä asfalttiresseptissä kiviaineksen kosteus on ollut 4 %, mutta tässä kokeessa sitä testattiin myös arvoissa 2,5 % ja 0 %. Testissä myös korotettiin Evogrip 1:n pitoisuutta kiviaineksen kosteuden ollessa 4 %.

Taulukko 9. Kokeessa 5 uutena muuttujana on kiviaineksen kosteus.

Tartuke	Tartukkeen osuus (%)	MYR (g)	Ämpärikoe (lämmin)	Ämpärikoe (Kylmä)	Kiviaineksen kosteus (%)
Evogrip 1	1	2,6	Huono	Huono	2,5
Evogrip 1	1	0	Täysin puhdas	Täysin puhdas	0
Evogrip 1	1,4	2,9	Erittäin huono	Huono	4

Tässä kokeessa kiviaineksen kosteus valittiin lisämuuttujaksi, ja havaittiin, että kuivemmalla kiviaineksella tarttuvuus on odotetusti parhaimmillaan. MYR-arvot ovat tosin entistä suurempia, sillä 2,5 %:n kosteus kiviaineksessa antaa melko huonon MYR-arvon verrattuna edellisiin testeihin, joissa kiviaineksen kosteus oli 4 %. Tartukkeen lisäys 1,4 %:iin ei anna parempia MYR-arvoja. Itse asiassa sillä pitoisuudella MYR-arvon tulos on tähän asti huonoin. Aikaisemmissa kokeissa jo 1,7 g:n MYR-arvolla, lämpimän ämpärikokeen tulokseksi on saatu *erittäin huono*. Tällä kertaa kuitenkin Evogrip 1 MYR-arvolla 2,6 g antaa *huonon* lämpimän ämpärikokeen tuloksen. Kyseessä on hyvin luultavasti silmämääräisen arvion epätarkkuus.

Kiviaineksen kosteus vaikuttaa selkeästi tarttuvuuteen kiviaineksen ollessa täysin kuiva. MYR-arvon tulokseksi saatiin 0 g. Kosteutta läsnäollessa tartukkeiden toimivuudella ei näytä olevan parannusta, vaikka kosteutta oli toisessa 2,5 % ja toisessa 4 %. Tartukkeiden MYR-arvojen ero on kovin pieni tartukkeen pitoisuuden lisäyksestä

huolimatta. Mittausvirheitä on voinut tapahtua esimerkiksi kiviaineksen kosteutta määritettäessä.

Kokeessa 6 vertailtiin seuraavia tartukkeita keskenään.

- Evogrip 1
- GT-Grip

Taulukko 10. Kokeen 6 tulokset. Tässä kokeessa GT-Grip- ja Evogrip 1 -tartuketta verrattiin toisiinsa.

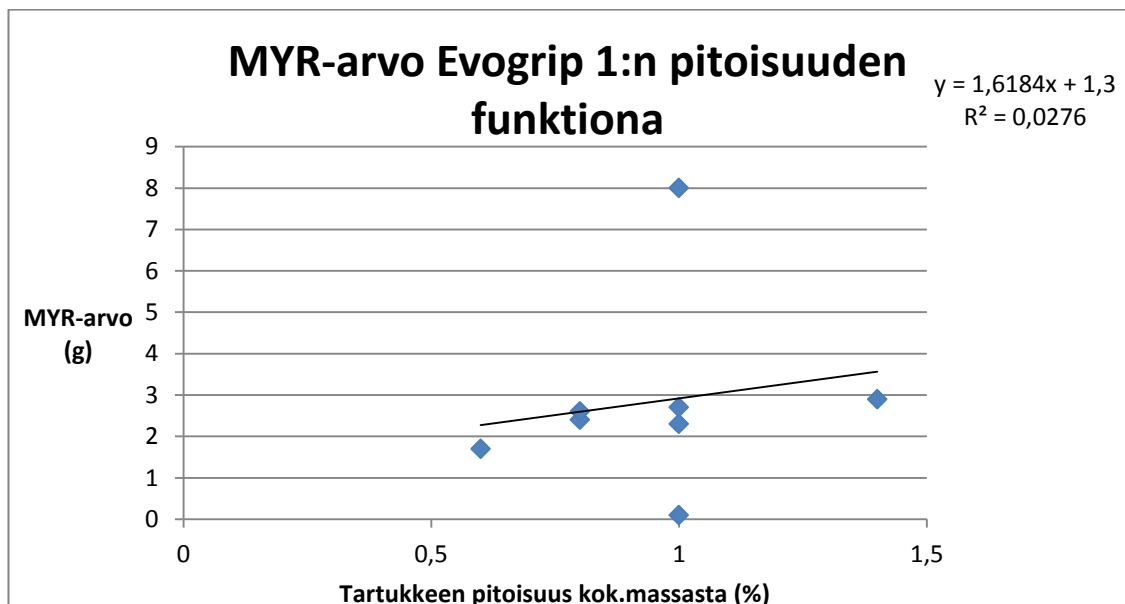
Tartuke	Tartukkeen osuus (%)	MYR (g)	Ämpärikoe (lämmin)	Ämpärikoe (Kylmä)
GT-Grip	1	5,6	Erittäin huono	Huono
Evogrip 1	1	8	Erittäin huono	Huono

Tarkoitus oli verrata aluksi testattua GT-Grip-tartuketta Evogrip 1 -tartukkeeseen. Vastoin odotettua molemmat tartukkeet antoivat äärimmäisen huonot MYR-arvot. GT-Grip antoi aikasemmin samalla pitoisuudella 0,9 g ja Evogrip 1 taas välillä 0,1 g - 2,9 g. GT-Grip on kuitenkin antanut pitoisuudella 0,6 % MYR-arvon 5,1 g:n. GT-Gripistä on tehty vain kaksi analyysikoetta, joten on hankala sanoa, minkä suuruusluokan MYR-arvoja se antaa mittausvirheet minimoitaessa. Evogrip 1 -tartuketta on kuitenkin mitattu jo sen verran paljon, että voidaan todeta tämän MYR-arvon olevan lähes kolminkertainen edellisiin kokeisiin perustuviin odotuksiin nähden. Kuitenkin molempien huonot arvot viittaavat siihen, että tällä koekerralla on tapahtunut jonkinmoinen koevirhe ja tämän kokeen tulokset ovat hyvin suurella todennäköisyydellä virheelliset.

10.2 Evogrip 1 -tartukkeen tarkastelua

Aikaisemmassa kappaleessa tarkasteltiin suoritettujen kokeiden tuloksia ja niiden oikeellisuutta. Tämän kappaleen tarkoituksena on tarkastella Evogrip 1 -tartukkeen tuloksia kokonaisuudessaan. Kokeiden perusteella kuitenkin voitiin todeta, että amiinipohjainen tartuke antaa paremmat arvot kuin Evogrip 1 -tartuke. ST12- ja GT-Grip-tartukkeita ei tutkittu yhtä paljon kuin Evogrip 1 -tartuketta. ST12 esiintyi kerran kokeessa 4 ja GT-Grip puolestaan kokeessa 1 ja 6. Mittauksia tehtiin niistä niin vähän, ettei niistä voi tehdä luotettavia johtopäätöksiä. Tulokset kuitenkin vaikuttivat siltä, että Evogrip 1 -tartuke olisi toimivin näistä kolmesta. Toisaalta GT-Grip antoi kokeessa 1 melko hyvän MYR-arvon pitoisuudella 1 %.

Evogrip 1 -tartuke mitattiin jokaisessa kokeessa paitsi ensimmäisessä. Tarkastelusta on kuitenkin jätetty vanhennettujen sideaineiden kokeen eli kokeen 3 tulokset pois. Kokeesta 5 eli kiviaineksen kosteuttava tutkivasta kokeesta on otettu vain se analyysikoe, jossa kiviaineksen kosteus oli muiden kokeiden tavoin 4 %. Tällä tavoin tarkasteluun on otettu vain ne analyysikokeet, joita voidaan verrata toisiinsa, kuten kuvasta 19 voidaan havaita.



Kuva 19. MYR-arvo Evogrip 1:n pitoisuuden funktiona. Vanhennettujen sideaineiden kokeen (koe 3) ja kiviaineksen kosteuden ollessa muu kuin 4 % (koe 5) ei ole otettu mukaan tähän tarkasteluun.

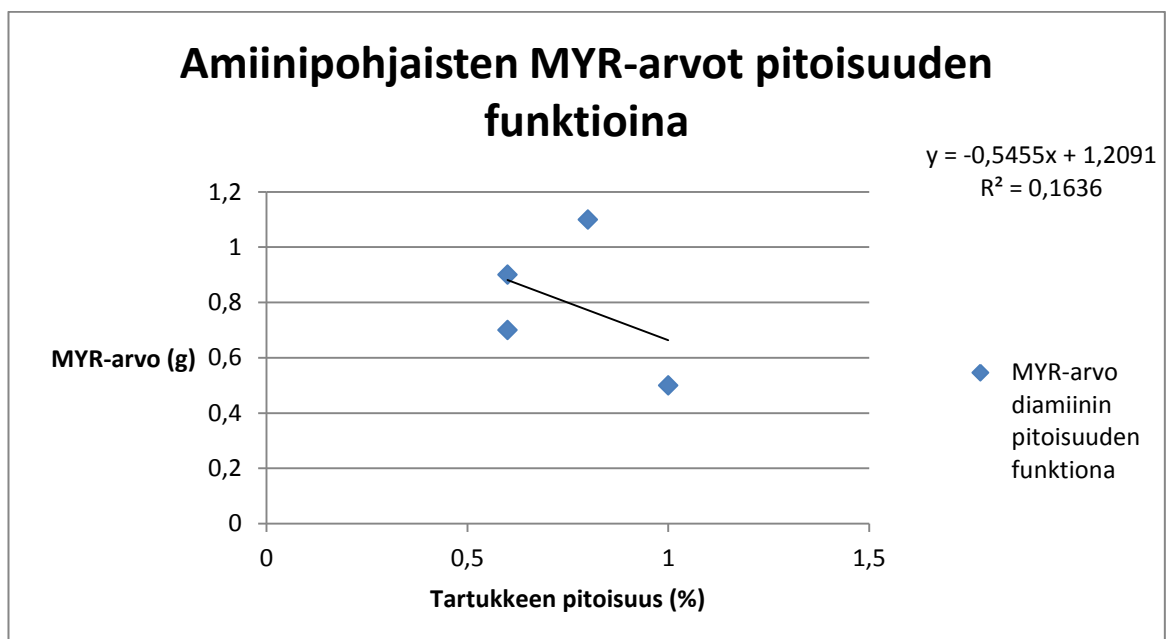
Pitoisuudessa 1 % on jopa neljäkin toistoa. Kahdella kerralla MYR-arvot ovat melko lähellä toisiaan, mutta kaksi muuta arvoa ovat varsin kaukana näistä. Pitoisuudessa 0,8 % arvojen ero oli vain 0,2 g. Ristiriitaista on se, että pienimmällä määrällä tartuketta saatiin Asfalttinormien 2011 mukaisen alle 2 g:n MYR-arvo. On hyvin mahdollista, että toistettaessa Evogrip-tartukkeen pitoisuudella 0,6 %, saataisiin suurempi MYR-arvo. Kokeessa 6, jossa saatiin 8 g:n MYR-arvo, on hyvin todennäköisesti tapahtunut jonkinmoinen virhe tai tuloksiin on vaikuttanut jokin häiriötekijä.

Tartukkeen pitoisuuden kasvaessa, MYR-arvon tulisi pienentyä. Tulokset ovat täysin ristiriitaisia, sillä kuvaajan 19 mukaan taas mitä suurempi on tartukkeen pitoisuus massassa, sitä suurempi MYR-arvo saadaan. Se, että pitoisuuksissa 0,8 % ja 1 % saatiin niin lähekkäisiä arvoja, merkitsee sitä, että kokeet voivat olla toistettavia. Toisaalta pitoisuuksien arvot ovat keskenäänkin niin lähekkäisiä, että kokeiden perusteella, voidaan kyseenalaistaa, onko 0,8 %:n ja 1 %:n pitoisuuksien eroilla merkitystä. 1,4 %:n MYR-arvo on oletettua huonompi, mutta mahdollisesti toistokokeilla voitaisiin saada parempia arvoja, sillä 2,5 %:n kiviaineksen kosteudella saatiin 2,6 g, joka vastaa tavallista 4 %:n kiviainekosteuden arvoa.

Pitoisuuden 1 % MYR-arvoista, kaksi neljästä olivat kyseenalaistettavia. Tämä osoittaa sen, että kokeen tuloksiin tulee helposti mittausvirhettä, ja täten tulokset voivat kovasti vaihdella. Tehdyt koemittaukset kuitenkin ovat suuruusluokaltaan lähekkäisiä, mikä kertoo, että kokeet ovat suhteellisen hyvin onnistuneita. Toisaalta tulokset ovat ristiriidassa teorian kanssa, minkä mukaan tartukkeen pitoisuuden kasvaessa, MYR-arvojenkin tulisi laskea. Muita mäntyöljypohjaisia tartukkeita ST12 ja GT-Grip olisi pitänyt mitata enemmän, jotta niiden toimivuudesta olisi voinut tehdä luotettavia johtopäätöksiä.

10.3 Diamiinipohjaisen tartukkeen tarkastelu

Tämän kappaleen tarkoituksena on tarkastella amiinipohjaisen tartukkeen tuloksia toisiinsa. Amiinipohjaisia tartukkeita tutkittiin kaikissa muissa kokeissa paitsi kokeissa 5 ja 6. Tarkastelusta on kuitenkin jätetty vanhennettujen sideaineiden kokeen eli kokeen 3 tulokset pois. Koe 3 on suoritettu eri olosuhteissa kuin muut kokeet, joten sen tuloksia ei voida verrata niihin. Seuraavassa kuvassa 20 on esitetty vertailukelpoisten amiinipohjaisten tartukkeiden MYR-arvot tartukkeen pitoisuuden funktiona.



Kuva 20. Kuvaajassa on esitetty amiinipohjaisten tartukkeiden MYR-arvot pitoisuuden funktiona. Kokeen 3 eli vanhennettujen sideaineiden kokeen tulokset on jätetty pois kuvaajasta.

Kuvasta 20 voidaan todeta, että pitoisuudessa 0,6 % molemmat MYR- arvot ovat vain 0,2 g:n päässä. Erikoista on se, että 0,8 % pitoisuudella saadaan heikommat tarttuvuusominaisuudet kuin pitoisuudessa 0,6 %. Virhettä on voinut tapahtua kokeita suoritettaessa. Loogista on se, että suurimmalla pitoisuudella tartuketta saatiin pienin MYR-arvo. Mittausta pitoisuudessa 0,8 % lukuunottamatta amiinipohjaisten tartukkeiden mittaukset ovat kaiken kaikkiaan johdonmukaisempia kuin Evogrip 1 - tartukkeiden koemittaukset, vaikka Evogrip 1 -tartukkeiden mittauksia suoritettiin kaksinkertainen määrä amiinipohjaisiin tartukkeisiin verrattuna.

Molemmista kuvaajista 19 ja 20 voidaan todeta, että tulokset eivät ole kovin odotettuja ja tarttuvuustehokkuus ei ole tuloksien perusteella loogisesti riippuvainen tartukkeen määrään. Toisaalta tällä koemäärällä on vaikea sanoa, että onko tulosten ristiriitaisuus yleisistä mittausvirheistä, kokeiden suorittamiseen liittyvästä virheestä, mittausepävarmuuteen vaikuttavista tekijöistä, menetelmien epätarkkuudesta vai jostakin tarttuvuuteen ja vedenkestävyyteen vaikuttaviin tuntemattomista tekijöistä johtuvaa.

10.4 Yhteenveto PAB-päällysteen tuloksista

Tavoitteena oli selvittää GT-Grip-, Evogrip 1- ja hartsipitoisen ST12-tartukkeiden käyttäytymistä asfaltissa. Ristiriitaisia tuloksia on tullut varsin paljon eikä kokeiden tulosten perusteella ole voinut tehdä tarkkoja johtopäätöksiä tartukkeiden käyttäytymisestä asfaltissa.

Diamiinipohjainen tartuke antoi jokaisessa testissä parhaimmat tulokset. Ämpärikokeista saadut tulokset ovat melko järkeenkäyviä, ja niiden perusteella voidaan päätellä, että kaiken kaikkiaan ämpärikokeen tulos on lähes looginen verrattuna MYR-arvoon. Täytyy kuitenkin muistaa, että ämpärikokeet ovat silmämääräisiä mittauksia eikä eri koekertoihin vertaaminen ole luotettavaa. Kokeesta 4 alkaen uunin, sekoittimen ja ämpärikokeen veden lämpötilaa tarkistettiin samoin kuin sekoitusaikaa sekuntikellon avulla sekä kiviaineksen kosteuspitoisuus ennen ja jälkeen uunia. Muuten kokeet ovat tehty samanlaisissa koeolosuhteissa. Kaikissa kokeissa oli käytetty samaa Pohjoismaissa yleisimmin käytettyä PAB-tartuketta eli nestemäistä diamiinipohjaista tartuketta.

GT-Grip- ja ST12-tartukkeiden MYR-arvojen suuruusluokat jäivät hieman kyseenalaistettaviksi. GT-Grip mitattiin vain kolme kertaa ja ST12 kerran. GT-Grip antoi ensimmäisen kokeen mittauksessa melko hyvän MYR-arvon suuremmalla tartukepitoisuudella, mutta muilla kerroilla arvot olivat huomattavasti huonompia. Myös ST12 antoi todella huonon MYR-arvon. Näihin tuloksiin verrattuna Evogrip 1 oli selkeästi lupaavimman oloinen. Koetta 1 lukuunottamatta Evogrip 1 -tartuketta mitattiin jokaisessa kokeessa. MYR-arvojen tulokset olivat melko ristiriitaisia, sillä

pienemmillä pitoisuuksilla saatiin parempia MYR-arvoja. Kahta mittaustulosta lukuunottamatta MYR-arvojen suuruusluokka saatiin melko hyvin selville. Evogrip 1 - tartuke ei kuitenkaan yltänyt samalle tasolle kuin amiinipohjainen tartuke, joka pärjäsi parhaiten kaikissa kokeissa.

Toistokokeita ei varsinaisesti ole tehty, mutta eri kokeissa esiintyi sama tartuke uudestaan samalla pitoisuudella. Kokeessa 4 tehtiin toistomittaus Evogrip 1 - tartukkeelle. Lisäämällä toistokokeita saataisiin luotettavampia ja täsmällisempiä tuloksia. Mittausepävarmuutta aiheuttavia tekijöitä on runsaasti aivan asfalttinäytteiden valmistuksesta kokeiden suorittamiseen. Muun muassa uunin, sekoittimen ja veden lämpötila, joita tarkennettiin kokeesta 4 lähtien ovat tuloksiin vaikuttavia tekijöitä. Asfalttinäytteiden homogenisointi sekoittimella, tartukkeiden lisäys bitumiin sekä kiviainesten kuivaus tietyn kosteuden saavuttamiseksi ovat tilanteita, joissa herkästi voi tapahtua mittausrvirheitä.

11 AB16-päällysteiden tutkimus

Huolimatta siitä, että tartukkeen toimivuuden todistamisesta ei ole selkeitä tutkimustuloksia, julkiset tilaajat muissa Pohjoismaissa edellyttävät tartukkeen käyttöä kuuma-asfalteissa. Suomessa puolestaan tartukkeita käytetään hyvin harvoin kuuma-asfalteissa. Tanskassa käytetään yleensä sementtiä vedenkestävyyttä ja tartuntaa edistävänä aineena. Norjassa taas käytetään pääsääntöisesti amiinipohjaisia tartukkeita. Ruotsissa käytetään molempia edellä mainittuja. Amiinipohjaisia tartukkeita lisätään yleensä noin 0,3 % suhteessa bitumin määrään, kun taas sementtiä lisätään 1 % koko asfalttimassaan nähden. Kalliimpi sementti valitaan yleensä terveysystävällisistä. [31.]

11.1 Työn tarkoitus

Evogrip-tartukkeiden toimivuutta haluttiin tutkia kuumapäällysteissä niillä menetelmin, joita käytetään Suomessa ja muissa Pohjoismaissa. Tutkimuksessa tutkittiin kahta erilaista Evogrip-tartuketta, ja vertailun vuoksi yhtä amiinipohjaista sekä yhtä sementtistä tartuketta. Tutkimuskohteeksi valittiin AB16-päällyste. Asfalttibetonimassa haluttiin simuloida huonosti tiivistetyksi ja osittain lajittuneeksi. Massa suhteutettiin bitumiköyhäksi ja tyhjätilan osuus melko korkeaksi.

11.2 Käytetyt koemenetelmät

Tartukkeiden toimivuutta sekä AB-16-päällysteen vedenkestävyyttä tutkittiin kahdella eri menetelmällä, jotka olivat seuraavanlaiset:

- Vedenkestävyys- eli halkaisuvetolujuuskoe SFS-EN 12697-12A
- Rullapullokoee SFS-EN 12697-11A

Koemenetelmien selkeänä erona oli se, että vedenkestävyysskoeksessa tutkittiin asfalttikappaleen murtolujuutta altistamalla kappale vedelle eripituisina aikajaksoina. Rullapullokoeksessa taas bituminoidut kivikappaleet pyörivät vettä sisältävässä pullossa. Tällöin tarttuvuuden vedenkestävyyden lisäksi kivikappaleiden hiertävä vaikutus toisiinsa heikensi bitumin tarttuvuutta kiviainekseen.

11.2.1 Vedenkestävyysskoe

Vedenkestävyysskoe on Asfalttinormien 2011 edellyttämä menetelmä, jolla määritetään halkaisuvetolujuus (HVL) kuivalle ja vedessä säilytetylle asfalttimassalle. Vedenkestävyysskoe suoritettiin SFS-EN 12697-12A standardin mukaisesti. Halkaisuvetolujuudella katsotaan olevan yhteys päällysten lujuuteen, kiinteyteen ja koossapysyvyyteen. Näiden ominaisuuksien kehittymistä eri-ikäisillä koekappaleilla voidaan helposti seurata. Asfalttipäällysteen vedenkestävyys on märkänä ja kuivana säilytettyjen tiivistettyjen asfalttinäytteiden halkaisuvetolujuuksien suhde. Tätä suhdetta kutsutaan ITSR-tarttuvuusluvuksi eli Q-luvuksi. Asfalttinormien vedenkestävyysvaatimus AB- ja SMA-päällysteille on, että ITSR-tarttuvuusluvun on oltava suurempi kuin 70 % kuten sivun 39 taulukosta 2 voidaan havaita. Menetelmän mukaisesti asfalttinäytteen halkaisuvetolujuus määritetään kolmen vuorokauden 40 °C:n vesiupotuksen jälkeen. Ruotsissa vesiupotus suoritetaan seitsemän vuorokauden ajan. Tässä tutkimuksessa päätettiin käyttää molempia menetelmätapoja, sekä kolmen että seitsemän vuorokauden vesiupotuksella. [30.]

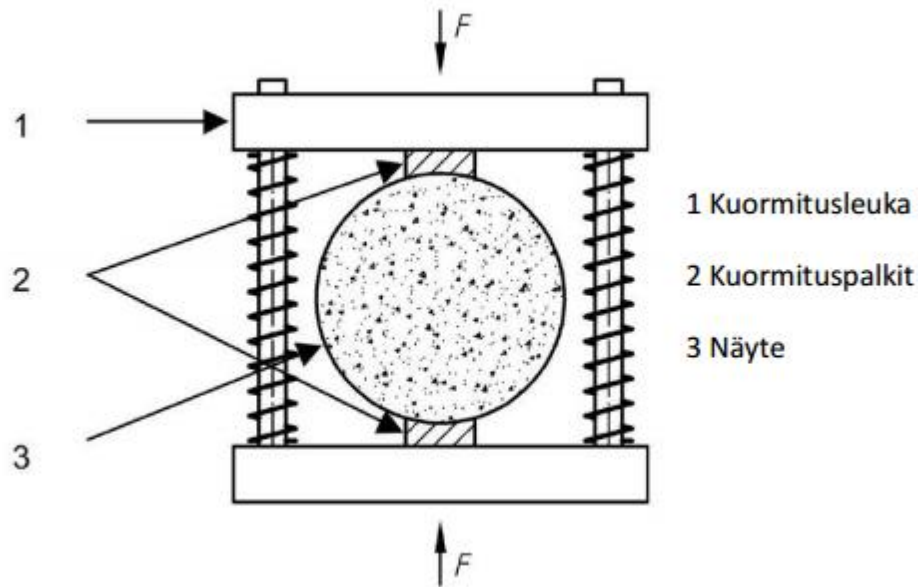
Massoista valmistettiin asfalttilaatta, josta porattiin 16 sylinterin muotoista poranäytettä. Asfalttimassa valmistettiin kyseisen menetelmän mukaisella kiviaineskoostumuksella ja sideainelaadulla. Poranäytteet jaettiin tyhjätilan perusteella neljään ryhmään siten, että tyhjätilakeskiarvot olivat suunnilleen samat. Poranäytteiden tyhjätilat määritettiin SFS-EN 12697-8 vaatimuksen mukaisesti. Poranäytteet jaettiin seuraavanlaisesti:

	56
1. Kuivanäytteet, jotka pysyivät kuivina koko testauksen ajan.	4 kpl
2. Kuivanäytteet, jotka kastettiin puoli tuntia ennen HVL- määrittystä	4 kpl
3. Normaali 3 vuorokauden vesisäilytys	4 kpl
4. Pitkä 7 vuorokauden vesisäilytys	4 kpl

Samassa järjestyksessä ovat liitteessä 3 esitetty näiden halkaisuvetolujuustulokset sekä niistä lasketut tarttuvuus- eli Q-luvut.

Koe suoritettiin karkeasti jaoteltuna neljässä eri vaiheessa.

- 1) Sylinterimäiset asfalttikoekappaleet punnittiin vedessä ja ilmassa, mistä määritettiin tiheydet. Koekappaleissa oli erona tartukkeen määrä bitumissa.
- 2) Näytteet temperoitiin uunissa 40 °C:een 72 tunnin tai 168 tunnin ajan. Puolet olivat vesisäilytyksessä, puolet taas olivat kuivanäytteitä.
- 3) Testipäivänä näytteet laitettiin 10 °C:n lämpötilaan minimissään viisi tuntia. Puolet olivat vesisäilytyksessä ja puolet kuivanäytteitä.
- 4) Halkaisuvetolujuus ja -jäykkyystestit suoritettiin. Olennaista oli mitata maksimivoima, jolla saadaan kappale murtumaan ja puristusmatka, jonka kuormitusleuka kulkee voiman saavuttamiseksi. Seuraavan sivun kuvasta 21 voidaan havaita, kuinka kappale puristetaan kuormitusleuoilla.



Kuva 21. Koeasetelma halkaisuvetolujuuskokeessa (Suomen Standardisoimisliitto SFS 2004b) [31, s. 21].

Laite mittaa sen maksimipuristusvoiman, joka kuormitetaan kappaleeseen murtumiseen saakka. Halkaisuvetolujuus laskettiin mitattujen suureiden avulla seuraavanlaista kaavaa käyttäen.

$$\sigma = \frac{2000 * P_m}{\pi * D * h} \quad (3)$$

, jossa σ = halkaisuvetolujuus [kPa]
 P_m = murtovoima [N]
 D = näytekappaleen keskimääräinen halkaisija [mm]
 h = näytekappaleen korkeus [mm].

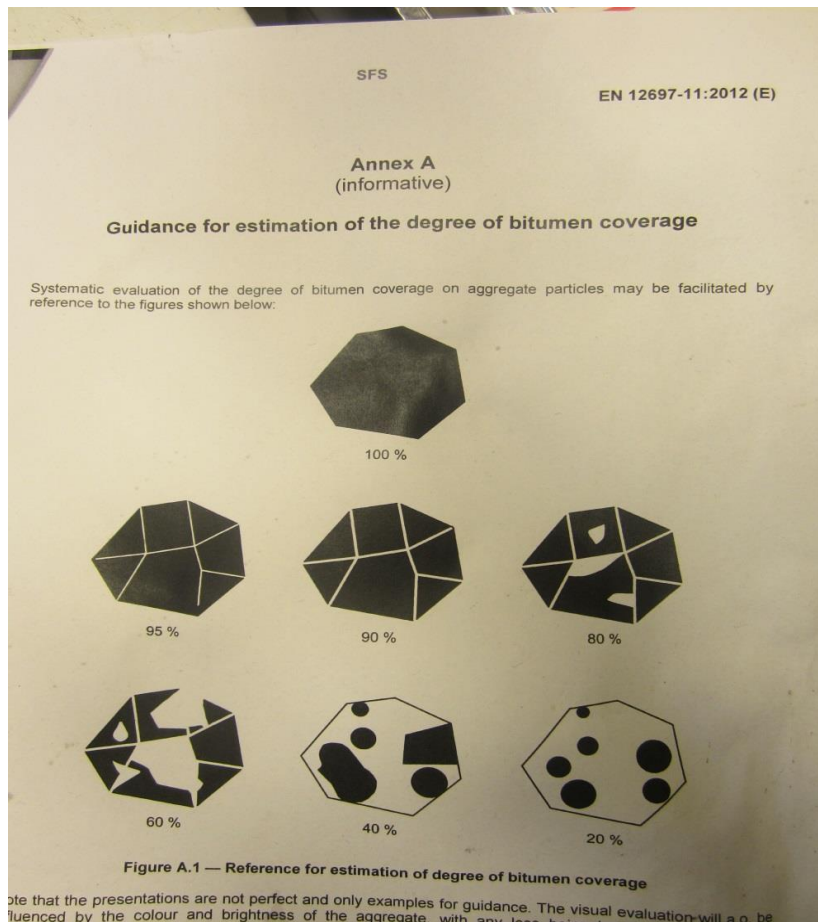
Testissä käytettiin vakioipuristusnopeutta, joka oli 10 mm/min, kun se ei vielä osunut näytekappaleen pinnalle. Leuan osuessa kappaleen pinnalle nopeus kasvoi arvoon 100 mm/min. Puolet näytekappaleista olivat vedessä, jotta saataisiin selville, paljonko näyte imee vettä ja miten vesi vaikuttaa puristukseen. Näin voitiin verrata toisiinsa märkeä ja

kuivia näytteitä, joissa oli saman verran tartuketta. Tämä testi suoritettiin Lemminkäisen keskuslaboratoriossa Maantiekylässä, Tuusulassa. [32.]

11.2.2 Rullapullokoee

Rullapullokokeen avulla voidaan määrittää bituminoidun kiviaineksen vedenkestävyyttä. Rullapullokoee eroaa muihin koemenetelmiin nähden siten, että kiviaines on kivikappaleina, jolloin niiden hiertävä vaikutus toisiinsa vaikuttaa bitumin tarttuvuuteen. Vedenkestävyydellä mitataan bitumin ja kiviaineksen välisen tarttuvuuden säilyvyyttä vedessä. Rullapullokoeket tehtiin menetelmän SFS-EN 12697-11A standardin mukaisesti. Sammonmäen kiviaineksen fraktio oli 0/20, josta seulottiin rullapullotestiin fraktio 8 - 11,2 mm. Seulottu kiviaines pinnoitettiin menetelmän mukaisesti bitumilla tai tartukkeellisella bitumilla. Kiviaineksen rakeisuuskäyrä ja asfaltin massaresepti olivat samat kuin halkaisuvetolujuuskokeen AB-massoissa. Rullapullonäytteet valmistettiin Lemminkäisen Keskuslaboratoriossa, kun taas rullapullokoee suoritettiin Aalto-yliopistolla Tie- ja liikennetekniikan laboratoriossa, Espoon Otaniemessä.

Rullapullokokeen suoritus tapahtui siten, että 150 g:aa bitumilla pinnoitettua kiviainesta laitettiin standardin mukaisen kokoiseen pulloon, jonne lisättiin merkkiin asti lämpötilaltaan 5 °C tislattua vettä. Pullon koko ei tosin vastannut kyseistä standardia, vaan kooksi valittiin vanhan standardin mukainen 250 ml:n kokoinen pullo. 150 g:n bituminoidut kiviainenäytteet sisälsivät eri määrä tartuketta. Pullot laitettiin rullapullolaitteeseen pyörimään yhteensä 72 tunnin ajaksi. Sideaineen pysyvyys kiviaineksessa arvioitiin 6:n, 24:n ja 48:n tunnin päästä levittämällä kivet petrimaljalle. 72 tunnin päästä arvioitiin bitumin peittoaste ja kivien tarttuvuus toisiinsa. Kuvassa 23 on näyte D 72 tunnin päästä. Peittoaste on sitä korkeampi, mitä enemmän bitumia kiven pinnalla on. Peittoasteet ovat määritetty SFS EN 12697-11 standardin mukaisesti kuten kuvasta 22 nähdään sekä rullien pyörimisnopeus oli myös standardin mukaisesti vakio. Peittoasteita arvioimassa olivat kolme henkilöä, jotka eivät tieneet mitä tartuketta kukin näyte sisälsi.



Kuva 22. SFS-EN standardit bitumin peittoasteelle.



Kuva 23. 72 tunnin jälkeen bitumin peittoaste arvioidaan. Kuvassa on näyte D, joka arvioimishetkellä näytti tältä.

11.3 Massaresepti ja käytetyt tartukelaadut

Kuten PAB-V-päällysteen tutkimuksessa, niin AB-päällysteen kokeissakin haluttiin simuloida asfalttibetonia heikoimmillaan. Asfalttimassa valmistettiin siis melko matalahkossa valmistuslämpötilassa verrattuna kuuma-asfaltin tyypilliseen valmistuslämpötilaan. Asfalttimassaan valittiin myös alhainen bitumipitoisuus ja suuri tyhjätilan määrä. Kiviaineksen rakeisuuskäyrä oli samanlainen kuin edellisessäkin tutkimuksessa. Suhteutus löytyy liitteestä 2. Seuraavassa taulukossa 11 on tutkitun AB-päällysteen massaresepti.

Taulukko 11. Asfalttibetonin AB16 massaresepti.

AB 16 massaresepti	Pitoisuudet
Sideaine, B70/100	5,00 %
Kiviaines, Sammonmäeltä	Rakeisuus; kts liite 2
Valmistuslämpötila	140 - 150 °C

11.4 Koematriisi

Alla olevassa taulukossa 12 on lueteltu AB-päällysteen tutkimuksessa käytetyt tartukkeet sekä vedenkestävyys- että rullapullokoikeessa. Rullapullokoikeessa ei ole tutkittu sementin eikä korkean hartsipitoisen Evogrip 1 -tartukkeen toimivuutta. Vedenkestävyyskoikeessa puolestaan ei ole tutkittu Pohjoismaiden käytetyintä nestemäistä amiinipohjaista tartuketta. Taulukkoon 12 on merkitty punaisella ne menetelmät, joita ei ole käytetty tartukkeen tutkimiseen. Vihreät solut edustavat käytettyjä menetelmiä.

Taulukko 12. Käytetyt tartukelaadut AB-päällysteen tutkimuksissa. Vihreää väriä edustavat tartukkeen tutkimiseen käytettyjä menetelmiä, kun taas punaisilla merkityt menetelmät eivät ole olleet käytössä.

Tartuke	Lisätietoa	Vedenkestävyys- koe	Rullapullo-koe
Sementti	"Rapidsementti"		
Evogrip 1	korkea hartsipitoisuus		
Evogrip 1	vähähartsinen		
Nestemäinen amiini 2	Suomen käytetyin		
Nestemäinen amiini 3	Pohjoismaiden käytetyin		

12 Tulokset ja tulosten tarkastelua AB16-päällysteiden tutkimukselle

12.1 Vedenkestävyysskoeken tulokset ja tulosten tarkastelu

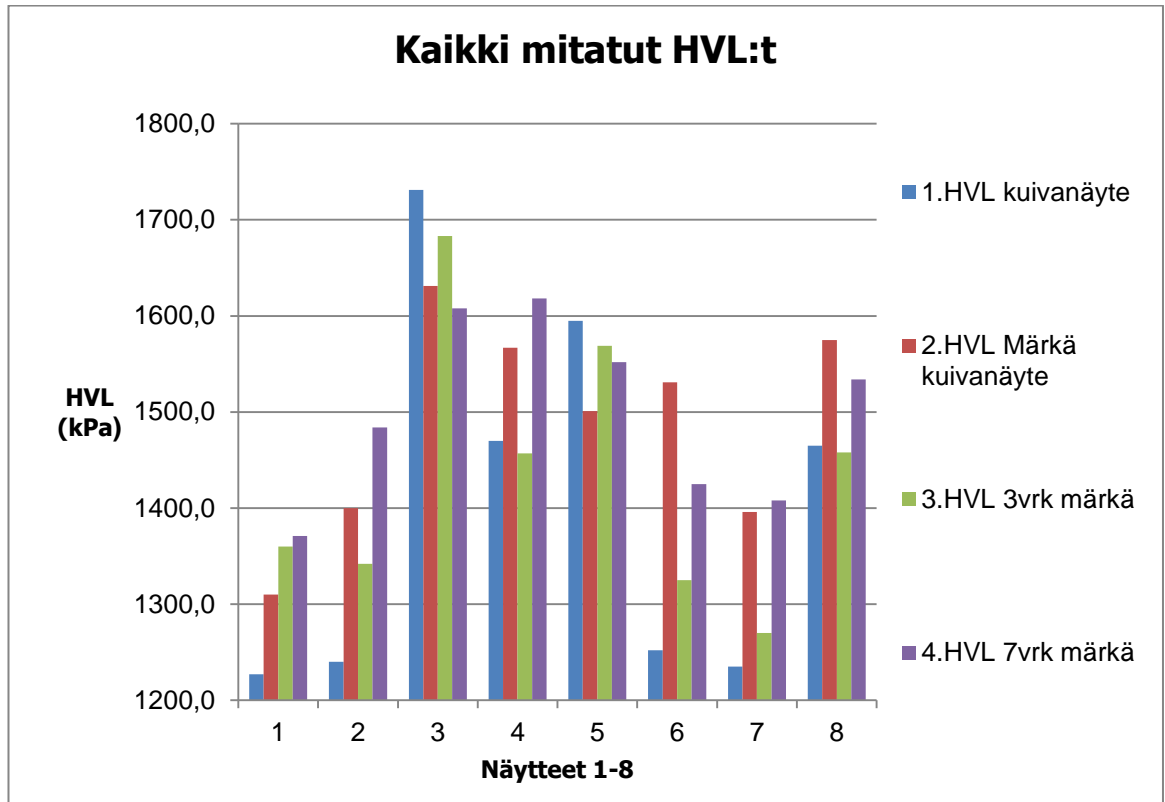
Alla olevassa taulukossa 13 on vedenkestävyytulokset jokaiselle näytetyypille. Massanäytteiden tyhjätilakeskiarvot sekä halkaisuvetolujuuksista lasketut tarttuvuus- eli Q-luvut puuttuvat taulukosta 13, mutta löytyvät sekä taulukosta 14 että liitteestä 3.

Taulukko 13. Tulokset eri poranäytteiden halkaisuvetolujuuksille. Liitteestä 3 löytyy halkaisuvetolujuustuloksien lisäksi niistä lasketut Q-arvot ja jokaisen kappaleen tyhjätilakeskiarvo.

Massa	Tartuke	Pitoisuus (%)	1. HVL (kPa)	2. HVL (kPa)	3.HVL (kPa)	4.HVL (kPa)
			<i>Täysin kuiva</i>	<i>Märkä kuiva-näyte</i>	<i>3.vrk märkä</i>	<i>7.vrk märkä</i>
1	Ei tartuketta	0	1227,0	1310,0	1360,0	1371,0
2	Sementti	1	1240,0	1400,0	1342,0	1484,0
3	Nestemäinen amiini2	0,3	1731,0	1631,0	1683,0	1608,0
4	Evogrip1 korkea hartsipit.	0,3	1470,0	1567,0	1457,0	1618,0
5	Evogrip vähäharts.	0,3	1595,0	1501,0	1569,0	1552,0
6	Evogrip1 korkea hartsipit.	0,5	1252,0	1531,0	1325,0	1425,0
7	Evogrip vähäharts.	0,5	1235,0	1396,0	1270,0	1408,0
8	Ei tartuketta	0	1465,0	1575,0	1458,0	1534,0

Yllä olevan taulukon 13 perusteella kappaleen altistus vedelle parantaa halkaisuvetolujuutta. Kyseiset vedenkestävyytulokset ovat esitetty graafisesti seuraavan sivun kuvassa 24. Todellisuudessa halkaisuvetolujuus kuitenkin heikkenee kappaleen altistuessa vedelle. Vain massoilla 3 ja 5 vesi vaikuttaa

halkaisuvetolujuuteen heikentävästi. Halkaisuvetolujuuteen vaikuttaa kosteuden lisäksi myös tyhjätilan määrä. Massat ovat suunnilleen samaa suuruusluokkaa tyhjätilaansa nähden. Tyhjätilakeskiarvot löytyvät liitteestä 3.



Kuva 24. Vedenkestävyyskokeen kaikki halkaisuvetolujuustulokset. HVL on lyhenne sanasta halkaisuvetolujuus.

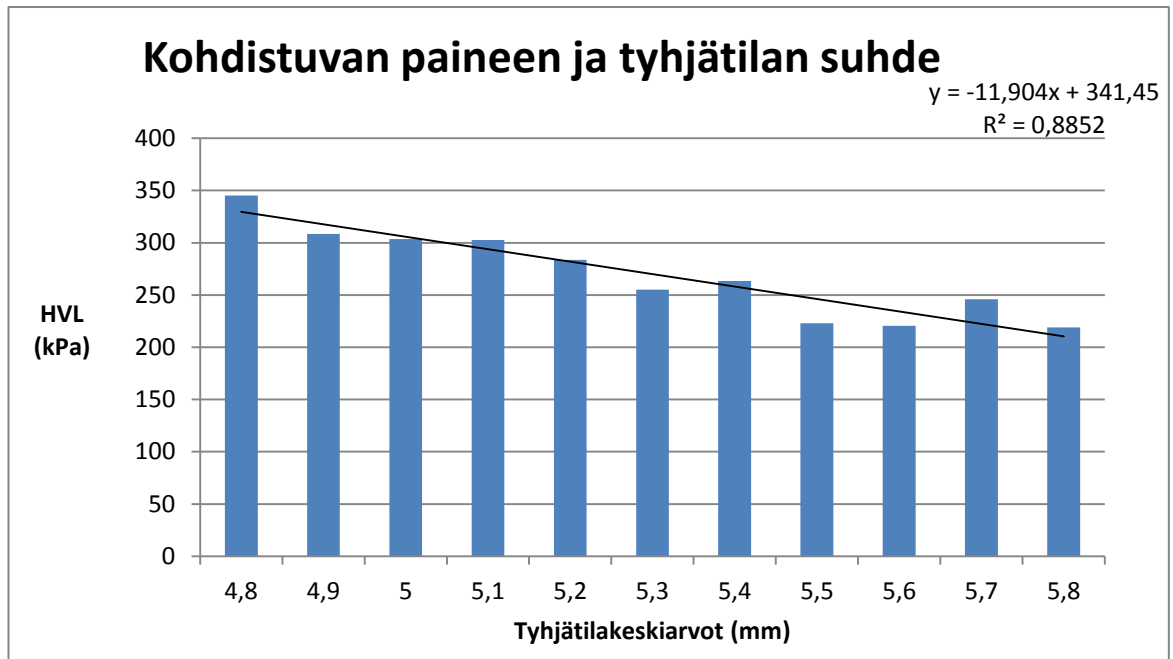
Kuvasta 24 nähdään, että selvästi lujin massa oli näyte 3 eli pastamaista diamiinipohjaista tartuketta sisältävä asfalttimassa. Matalimmat halkaisuvetolujuudet saatiin näytteelle 1, jossa ei ollut tartuketta lainkaan sekä näytteelle 7, jossa oli 0,5 % Evogrip-tartuketta.

Pienin halkaisuvetolujuus oli 1227 kPa ja suurin 1731 kPa. Ruotsin liikenneviraston Trafikverketin ohjeen mukaan vaatimuksena on, että HVL eli halkaisuvetolujuus on vähintään 1000 kPa. Kaikki massat siis täyttivät kyseisen vaatimuksen. Tartukkeet 4 - 7 olivat Evogripin tartukkeita. Näistä parhaimmat olivat 4 ja 5, jotka molemmat olivat Evogrip 1 -tartukkeita pitoisuudella 0,3 %. Näyte 4 oli Evogrip 1 -tartuke korkealla hartsipitoisuudella, kun taas näyte 5 vähähartsista. Näytteet 6 ja 7 olivat Evogrip 1 -

tartukkeita 0,5 %:n pitoisuudella. Ne olivat useimmiten hauraimpia muihin massoihin verrattuina. Näytteen 6 märkä kuivanäyte tosin menestyi todella hyvin. Näytteiden 1 ja 8 halkaisuvetolujuserot ovat melko suuret ottaen huomioon, että molemmat ovat massoja, joissa ei ole tartuketta lainkaan.

Kosteus heikentää tartukkeen parantavaa vaikutusta, jolloin koko massasta tulee heikompi. Tämä ei kuitenkaan näy tuloksissa, vaan tulosten perusteella kosteudella ja halkaisuvetolajuudella ei näy olevan loogista riippuvuutta. Oletuksena oli, että 1.HVL eli kuivanäytteen halkaisuvetolajuus olisi suurempi kuin 4.HVL eli 7 vuorokautta vedessä säilyneen näytteen halkaisuvetolajuus. Suurimmassa osassa 7 vuorokauden vedessä säilytys on parantanut halkaisuvetolajuutta verrattuna kuivassa säilytettyyn halkaisuvetolajuuteen. Joissain tilanteissa puolen tunnin vesisäilytys antaa parhaimman HVL-tuloksen. Vain tartukkeilla 3 ja 5 halkaisuvetolajuus laskee kosteuden lisääntyessä. Tämä voi johtua siitä, että kun ilmahuokokset täyttyvät vedellä ja kappaleeseen kohdistetaan dynaamista painetta, niin sen sijaan, että massa ja huokostila puristuvat kokoon, veden täyttämänä massa saakin tukea vesimassasta. Halkaisuvetolajuuskokeessa käytettävä dynaaminen voima on sen verran lyhytaikaista, että kosteus ei välttämättä ehdi heikentämään tartukkeen tarttuvuutta edistävää vaikutusta. Toisaalta osa näytteistä oli kolme tai seitsemän vuorokautta vesisäilytyksessä, minkä aikana kosteuden pitäisi vaikuttaa heikentävästi kappaleen murtolajuuteen.

Halkaisuvetolajuuteen vaikuttaa muitakin tekijöitä kuin kosteus, kuten tyhjätilan määrä. Tavoite koetta suunniteltaessa oli valmistaa näytteet, joiden keskimääräinen tyhjätilamäärä olisi noin 5 %. Keskimääräiset tyhjätilat vaihtelivat 4,8 - 5,8 % välillä. Näytekappaleet on luokiteltu tyhjätilakeskiarvojen mukaisesti kuten liitteestä 3 voidaan tarkastella.



Kuva 25. Halkaisuvetolujuuksien ja tyhjätilakeskiarvojen suhteiden keskiarvot. Halkaisuvetolujuus jaettiin vastaavalla tyhjätilakeskiarvolla. Koska samaa tyhjätilakeskiarvoa omaavia massoja oli useampi näiden keskiarvot ovat esitetty kuvaajassa.

Kuvaajan 25 perusteella mitä suurempi tyhjätila asfalttimassalla on, sitä pienempi halkaisuvetolujuus sillä on. Kun huokostilassa on ilmaa ja massaan kohdistetaan dynaaminen paine, niin massan muu osa voi puristua kokoon samalla, kun huokostilan ilma puristuu kokoon. Tällöin kappale murtuu. Massan tyhjätilalla on merkitystä ja mitä enemmän tyhjätilaa massassa on, sitä pienempi voima siihen tarvitsee kohdistaa sen halkaisemiseen.

Tarttuvuusluku eli Q-luku on märän näytteen halkaisuvetolujuussuhde kuivan näytteen halkaisuvetolujuuteen kerrottuna luvulla 100. Kaava on siis seuraavanlainen:

$$Q = (HVL_{\text{märkä}} / HVL_{\text{kuiva}}) \times 100 \% \quad (4)$$

Aikaisemmin sivulla 56 oli listattu neljä eri ryhmää, joihin poranäytteet jaettiin tyhjätilakeskiarvojensa mukaisesti. Tarttuvuusluvut on laskettu näiden seuraavien ryhmien HVL- määritysten avulla.

- | | |
|--|-------|
| 1. Kuivanäytteet, jotka pysyivät kuivina koko testauksen ajan. | 4 kpl |
| 2. Kuivanäytteet, jotka kastettiin puoli tuntia ennen HVL- määrittystä | 4 kpl |
| 3. Normaali 3 vuorokauden vesisäilytys | 4 kpl |
| 4. Pitkä 7 vuorokauden vesisäilytys | 4 kpl |

Tarttuvuusluvut eli Q-luvut on tässä projektissa laskettu neljällä eri tavalla. Laskutoimituksen numerot viittaavat edellä mainittuihin neljään eri näyteryhmään.

- 3./₁. Suomen normien ja SFS-EN 12697-12 standardin mukainen tarttuvuusluku. Suomen Asfalttinormien mukaan tämän tarttuvuusluvun täytyy olla > 70%.
- 3./₂. Noudattaa niitä havaintoja ja ehdotuksia, mitä on saatu ns. Asfadur-projektin myötä.
- 4./₁. Tämä noudattaa Ruotsissa vallitsevaa tapaa, jossa vesiupotuksen täytyy kestää 7 vuorokautta 40 °C:ssa. Ruotsin liikenneviraston Trafikverket TRVKB 10 mukaan tarttuvuusluvun täytyy olla > 75 % sekä halkaisuvetolujuuksien HVL vähintään 1000 kPa.
- 4./₂. Noudattaa niitä havaintoja ja ehdotuksia, mitä on saatu ns. Asfadur-projektin myötä.

Esimerkiksi ensimmäinen kaava 3./₁ edustaa listalla olevia poranäytteitä eli 3 vuorokautta vedessä säilytetyn poranäytteen halkaisuvetolujuus jaettiin koko testauksen aikana kuivana pysyneen poranäytteen halkaisuvetolujuudella. Vastaavasti esimerkiksi 4./₂ jakaa 7 vuorokautta vedessä säilytetyn poranäytteen halkaisuvetolujuuden puoleksi tunniksi vedessä säilytetyn kuivan poranäytteen

halkaisuvetolujuutta. Alla olevaan taulukkoon 14 on listattu halkaisuvetolujuuksista lasketut Q-arvot.

Taulukko 14. Halkaisuvetolujuuksista lasketut Q-arvot.

Massa	Tartuke	Pitoisuus (%)	Q-arvot (%)			
			3./1.	3./2.	4./1.	4./2.
1	Ei tartuketta	0	110,8	103,8	111,7	104,7
2	Sementti	1	108,2	95,9	119,7	106,0
3	Nestemäinen amiini 2	0,3	97,2	103,2	92,9	98,6
4	Evogrip1 korkea hartsipit.	0,3	99,1	93,0	110,1	103,3
5	Evogrip vähäharts.	0,3	98,4	104,5	97,3	103,4
6	Evogrip1 korkea hartsipit.	0,5	105,8	86,5	113,8	93,1
7	Evogrip vähäharts.	0,5	102,8	91,0	114,0	100,9
8	Ei tartuketta	0	99,5	92,6	104,7	97,4

Suomen Asfalttinormien vaatimuksen mukaan tarttuvuuslukujen on oltava vähintään 70 % sekä Ruotsin Trafikverketin vaatimusten mukaan taas vähintään 75 % kuumapäälysteille. Huonoin tarttuvuusluku oli likimäärin 91 % ja paras 120 %. Tällöin määrän poranäytteen HVL on suurempi kuin kuivan. Tarttuvuusluvut olivat siis todella hyvät, mutta hieman kyseenalaista on se, että useimmilla kappaleilla, mitä kosteampi se oli, sen parempi halkaisuvetolujuusarvo saatiin. Tällöin tarttuvuusluku on yli 100 %. Voidaan kuitenkin havaita, että asfalttibetonin vedenkestävyysominaisuudet ovat tämän testin perusteella varsin hyviä myös ilman tartukettakin.

Halkaisuvetolujuuskokeessa mitattiin myös puristuma samalla, kun mitattiin näytekappaleen halkaisuvetolujuus. Tulokset ovat esitetty seuraavan sivun taulukossa 15. Puristuma on se puristus, jonka leuat aiheuttavat näytekappaleen hajottamiseen leukojen osuessa kappaleeseen. Tyhjätilan määrä ja kappaleen lujuus vaikuttavat puristukseen. Todellisuudessa puristus on sitä suurempi, mitä lujempi kappale on. Puristustulokset eivät täten aivan vastanneet todellisuutta, mutta toisaalta tulosten

väliset erot olivat niin pienet, että mittausepävarmuutta aiheuttavat tekijät ovat voineet peittää todelliset arvot.

Taulukko 15. Halkaisuvetolujuuskokeessa mitatut puristumat.

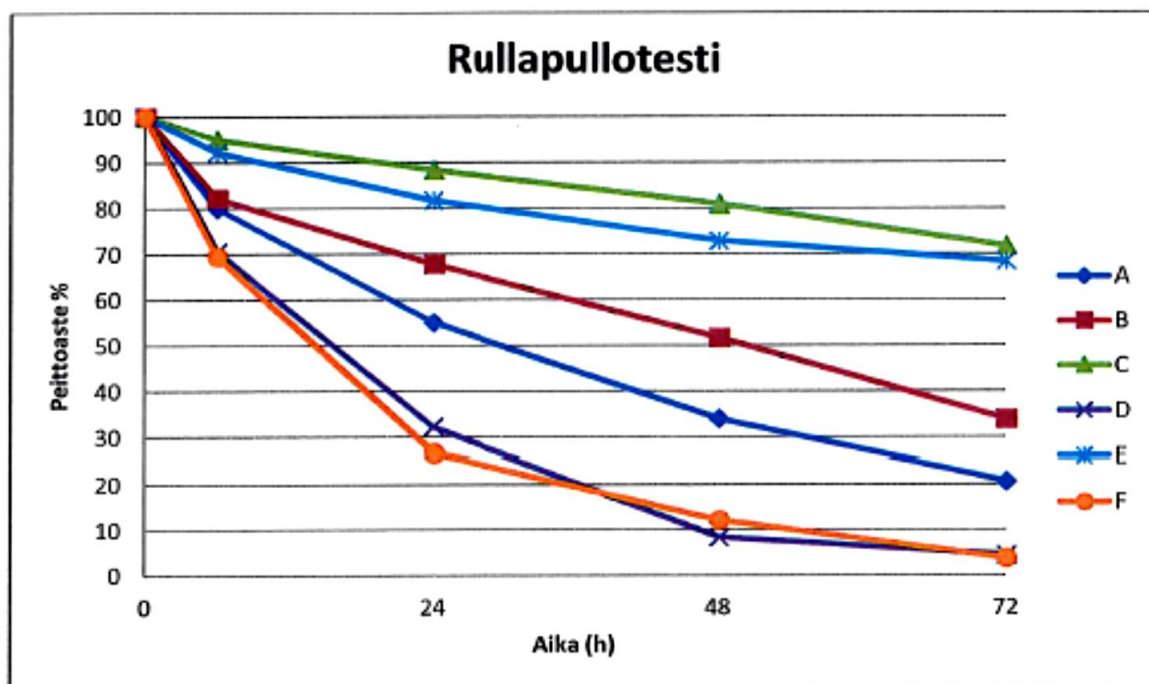
Massa	Tartuke	Pitoisuus (%)	Puristuma (mm)			
			Täysin kuiva	Märkä kuivanäyte	3.vrk märkä	7.vrk märkä
1	Ei tartuketta	0	2,2	2,2	2,4	2,4
2	Sementti	1	2,4	2,2	2,5	2,1
3	Nestemäinen amiini2	0,3	2,4	2,1	2,2	2,1
4	Evogrip1 korkea hartsipit.	0,3	2,4	2,4	2,3	2,5
5	Evogrip vähäharts.	0,3	2,1	2,1	2,1	2,2
6	Evogrip1 korkea hartsipit.	0,5	2,1	2,0	2,2	2,3
7	Evogrip vähäharts.	0,5	2,0	2,0	2,1	2,5
8	Ei tartuketta	0	2,0	2,1	2,0	2,1

12.2 Rullapullokokeen tulosten tarkastelua

Näytteet A ja F ovat samanlaisia, sillä kumpikaan ei sisällä tartuketta lainkaan. Vertailun vuoksi kahta erilaista amiinipohjaista tartuketta otettiin kokeeseen mukaan. Näyte C on Suomessa urakoitsijoiden käytetyin nestemäinen diamiinipohjainen tartuke, kun taas näyte E on Pohjoismaiden käytetyin amiinipohjainen tartuke. Näytteet B ja D ovat Evogrip-tartukkeita.

Taulukko 16. Rullapullokokeessa käytetyt tartukkeet ja bitumin peittoaste ajan funktiona. 72 tunnin jälkeen bitumin peittoaste arvioitiin silmämääräisesti.

			0 h	6 h	24 h	48 h	72 h
Näyte	Tartuke	Pitoisuus (%)	Bitumin peittoaste (%)				
A	Ei tartuketta	0	100	80	55	34	21
B	Evogrip 1	0,3	100	82	68	52	34
C	Nestemäinen amiini 2	0,3	100	95	88	81	72
D	Evogrip 1	0,5	100	71	32	8	4
E	Nestemäinen amiini 3	0,3	100	92	82	73	68
F	Ei tartuketta	0	100	69	27	12	4



Kuva 26. Rullapullotestin tulokset kuvaajassa.

Kuvaajasta 26 voidaan todeta, että amiinipohjaiset tartukkeet (C ja E) antavat selkeästi parhaimmat peittoasteet. Tällöin niistä on irronnut vähiten bitumia. Huonoimmat tulokset antavat F ja D eli massa, jossa ei ollut tartuketta sekä Evogrip 1 pitoisuudella 0,5 %. Erikoista on, että A ja F ovat molemmat näytteitä ilman tartuketta. Näytteelle A saatiin kuitenkin parempi peittoaste. Kyseessä voi olla sama tilanne kuin vedenkestävyyskokeessa, että tyhjätilan osuus vaikuttaisi rullapullokokeessakin. Evogrip-tartukkeista näyte B, jossa oli 0,3 % tartuketta, pärjäsikin parhaiten. Kaikkia tartukkeita tarkasteltaessa Evogrip 1 -tartuke pitoisuudella 0,3 % pärjäsikin keskimääräisen hyvin.

Näytteiden A ja F tulokset hieman kyseenalaistavat onko koe toistettava. Molemmat näytteet olivat massoja ilman tartuketta, ja niiden olisi voinut luulla toimivan samalla tavalla. Ero voi johtua mittausvirheistä, sillä esimerkiksi näytteiden valmistusvaiheissa asfalttimassan sekoitus, sekoittimen lämpötila, bitumin sekä kiviaineksen lämpötilojen ja kiviainesmassan homogeenisyys voivat aiheuttaa virhettä. Kokeen suorittamiseen liittyvää mittausepävarmuutta voi tapahtua, sillä pullot ovat eri kohdissa pyörimässä, ja veden lämpötilakin voi täten vaikuttaa. Sekin täytyy muistaa, että rullapullokoee on

ämpärikokeen tavoin silmämääräinen mittaus, vaikka kokeen suorittavat kolme kokenutta, ulkopuolista henkilöä.

12.3 Yhteenveto AB-päällysteiden tuloksista

Työn tavoite oli tutkia AB-päällysteen vedenkestävyyttä sekä bitumin ja kiviaineksen välistä tarttuvuutta. AB-päällysteen tutkimuksessa käytettiin kahta eri koemenetelmää, jotka olivat vedenkestävyys- eli halkaisuvetolujuuskoe sekä rullapulloko.

Vedenkestävyysskoe suoritettiin EN 12697-12A -standardin mukaisesti. Ruotsin Liikenneviraston mukaan halkaisuvetolujuuden täytyy olla vähintään 1000 kPa. Kaikki massat pärjäsivät kokeessa todella hyvin, sillä pienin mitattu arvo oli 1227 kPa ja suurin taas 1731 kPa. Myös ITSR-tarttuvuusluvut olivat todella hyviä, sillä Suomen standardien mukaan tarttuvuusluvun on oltava vähintään 70 %, kun taas Ruotsin 75 %. Kokeessa pienin ITSR-luku oli 91 %. Kappaleen halkaisuvetolujuus heikkenee, kun kappale altistetaan kosteudelle. Kokeessa vertailtiin näytteitä, jotka olivat

1. täysin kuivia
2. kastettu veteen 30 min ennen mittausta
3. kolme vuorokautta vesisäilytyksessä
4. seitsemän vuorokautta vesisäilytyksessä.

Vedenkestävyysskokeiden perusteella voidaan todeta, että AB-päällysteen murtolujuus on todella hyvä ilman tartukettakin. Parhaiten pärjäksi selkeästi amiinipohjainen tartuke. Mäntyöljypohjaisista tartukkeista Evogrip 1 -tartuke pärjäksi parhaiten pitoisuudella 0,3 %. Näyte 4, joka oli korkea hartsipitoinen Evogrip 1 -tartuke 0,3 %:n pitoisuudella, pärjäksi seitsemän vuorokauden vesisäilytyksessä paremmin kuin amiinipohjainen tartuke. Näytteet 1 ja 8 olivat molemmat massoja ilman tartuketta, ja niiden väliset tuloserot olivat melko isot. Näyte 8 pärjäksi huomattavasti paremmin.

Kokeesta voitiin myös todeta, että tyhjätilan osuudella on suora vaikutus halkaisuvetolujuuteen. Mitä suurempi tyhjätilan osuus on, sitä vähemmän voimaa tarvitaan kappaleen murtamiseen. Ristiriitaista kokeessa oli, että kappaleen vesisäilytys

paransi halkaisuvetolujuutta. Todellisuudessa kosteuden pitäisi heikentää bitumin ja kiviaineksen välistä tarttuvuutta, jolloin kappaleesta tulee heikompi ja on helpompi murtaa. Vain näytteissä 3 ja 5 kosteus näytti vaikuttavan heikentävästi kappaleen halkaisuvetolujuuteen. Tämä voi johtua siitä, kun kappaleeseen kohdistetaan lyhytaikaisesti dynaamista painetta massa saa tukea vedellä täyttyneistä ilmahuokosista.

Rullapullokoee oli aistihavaintoon perustuva mittaus eikä siinä mitattu tarkasti mitään suureita, kuten vedenkestävyysskoeksessa. Rullapullokoeksessakin 0,3 %:n Evogrip1-tartuke pärjäsi paremmin kuin 0,5 %:n pitoisuudella. Myös rullapullokoeksessa massat, joissa ei ollut tartuketta, antoivat keskenään melko erilaiset arvot. Näyte A pärjäsi paremmin kuin näyte F. Mittausvirhettä voi tapahtua aivan näytteen valmistuksesta kokeen suorittamiseen. Visuaaliseen arviointiin perustuvassa mittauksessa voi melko helposti tapahtua mittausvirhettä, vaikka arvioijia on ollut kolme.

Voidaan todeta, että AB-päällysteen tutkimuksessa amiinipohjaisilla tartukkeilla saatiin paras tulos. Evogrip-tartukkeista Evogrip 1 oli antoi selkeästi parhaimmat arvot 0,3 %:n pitoisuudella. Vedenkestävyysskoeksessa korkea hartsipitoinen antoi vähän paremmat verrattuna vähähartsiseen. Muissa kokeissa ei oltu testattu korkeaa hartsipitoista tartuketta.

13 Yhteenveto ja päätelmät

EVOgrip Oy on yhtiö, joka pyrkii markkinoimaan mäntyöljypohjaisia tartukkeita. Suomen ja muiden Pohjoismaiden asfalttiteollisuudessa käytetään hyvin pitkälti amiinipohjaisia tartukkeita. Mäntyöljypohjainen tartuke on ympäristöystävällisempi vaihtoehto asfalttipäällysteen lisäaineeksi.

Mäntyöljypohjaisten tartukkeiden toimivuutta selvittävä tutkimus oli tilattu EVOgrip Oy:n toimeksiannosta Lemminkäisen Keskuslaboratoriolta. Tämän johdosta Lemminkäisen Keskuslaboratorio oli velvollinen sekä laatimaan koesuunnitelmat että toteuttamaan kokeet hyväksytyjen standardien mukaisesti tai niitä mukaillen. Tutkimus on aloitettu jo syksyllä vuonna 2012 ja jatkotutkimuksia tehdään yhä. Insinööriyön tavoitteena oli tarkastella valmiiksi tehdyn koesuunnitelman tutkimustulokset ja tehdä johtopäätöksiä tartukkeiden toimivuudesta PAB-V- ja AB16-päällysteissä. Tarkoituksena oli myös pohtia, mitä kannattaisi jatkotutkimusten kannalta ottaa huomioon.

PAB-V- ja AB16-päällysteiden tutkimus suoritettiin eri koemenetelmin, joten ne tarkasteltiin tässä insinööriyössäkin erillisesti. PAB-V-päällysteet tutkittiin standardin mukaisella MYR-kokeella ja vanhan Tiehallinnon ohjeen mukaisella ämpärikokeella. Näissä kokeissa tutkittiin kolmea erilaista mäntyöljypohjaista tartuketta. Nämä olivat Evogrip1-, GT-Grip- ja ST12-tartukkeet. Vertailukohteeksi valittiin Suomen yleisimmin käytettyjen joukkoon kuuluva nestemäinen diamiinipohjainen tartuke. Tulosten perusteella voidaan todeta, että amiinipohjainen tartuke pärjasi kokeissa parhaiten. Evogrip 1 -tartukkeen pitoisuus näytti toimivan 0,6 - 1 %:n välillä parhaiten. MYR-arvojen tulokset olivat melko ristiriitaiset, sillä pienimmällä pitoisuudella saatiin paras tulos. Tulokset eivät täten noudattaneet teoriaa siitä, että tartukkeen pitoisuuden kasvaessa, MYR-arvo pienenee. Vain kahdessa tapauksessa MYR-arvot olivat Asfalttinormien määrittämän vaatimusten mukaisia. Vaatimus on, että MYR-arvon täytyy olla pienempi kuin 2 g. Tämä toteutui pienimmällä eli 0,6 %:n pitoisuudella sekä kerran 1 %:n pitoisuudella. Varsinaisia toistokokeita ei tehty, mutta eri kokeissa sama tartuke saattoi esiintyä samalla pitoisuudella.

Tutkimuksesta kävi kuitenkin selkeästi ilmi, että Evogrip 1 -tartuke ei kuumasäilytyksen aikana menetä tehoaan yhtä paljon kuin diamiinipohjaiset tartukkeet. Sekin oli hyvin ilmeistä, että kosteus vaikutti tarttuvuustehokkuuteen kiviaineksen ollessa kuiva, sillä MYR-arvoksi saatiin tällöin 0 g. Tutkimustulosten perusteella kiviaineksen ollessa kostea, kiviaineksen kosteusmäärällä ei vaikuttanut olevan merkitystä, vaikka tartukkeen pitoisuutta lisättiinkin. Toisaalta tutkimukseen liittyvä koevirhe voi olla suurempi kuin testattujen pitoisuuksien välinen ero. Toistokokeiden puuttumisen vuoksi tarkkoja johtopäätöksiä ei voida tehdä tartukkeiden suhteen eikä varsinkaan hartsipitoisesta ST12 ja GT-Grip-tartukkeista. Saadut MYR-arvot näistä olivat kaikkiaan todella huonot. Kuitenkin Evogrip 1 -tartuke oli lupaavimman oloisin muihin Evogrip-tartukkeisiin verrattuna. Sen laatu ei kuitenkaan aivan yltänyt amiinipohjaisten tartukkeiden tasolle.

AB16-päällysteiden tutkimuksissa käytettiin vedenkestävyys- eli halkaisuvetolujuuskoetta sekä rullapullokoetta. Halkaisuvetolujuusarvot olivat kaikki todella hyviä. Ruotsin liikenneviraston mukaan vaatimuksena on vähintään 1000 kPa, kun pienin HVL tutkimuksessa oli 1227 kPa. Tarttuvuusluvutkin täyttivät vaatimukset, joka Suomessa on > 70 % ja Ruotsissa > 75 %. Pienin tarttuvuusluku oli 91 %. Kokeiden perusteella asfalttibetoni AB toimii melko hyvin ilman tartukettakin. Tutkimuksen avulla on voitu todistamaan tyhjätilan merkitys päällysteen lujuteen, sillä tulosten perusteella tyhjätilan osuudella on suora vaikutus halkaisuvetolujuuteen. Mitä suurempi tyhjätilan osuus on, sitä vähemmän voimaa tarvitaan kappaleen murtamiseen. Ristiriitaista oli, että kosteus vaikutti näytemassojen halkaisuvetolujuuteen parantavasti. Tämä voi tosin johtua siitä, kun kappaleeseen kohdistetaan lyhytaikaisesti dynaamista painetta ilmahuokoset vedellä täytyessään niin sen sijaan, että massa ja huokostila puristuvat kokoon, niin veden täyttämänä massa saakin tukea vesimassasta.

Rullapullokoee oli ainoa koe, jonka avulla tartukkeet pystyivät laittamaan selkeästi paremmuusjärjestykseen. Kaikissa tehdyissä kokeissa amiinipohjaiset tartukkeet pärjäsivät parhaiten. Sekä rullapullo- että halkaisuvetolujuuskokeessa Evogrip 1 pitoisuudella 0,3 % pärjasi parhaiten verrattuna Evogrip-tartukkeisiin. Yleisesti ottaen Evogrip 1 0,3 %:n pitoisuudella pärjasi rullapullokoekessa keskimääräisen hyvin

verrattuna muihin tartukkeisiin ja halkaisuvetolujuuskokeessa toiseksi parhaiten. Kuitenkin voidaan todeta, että AB-päällysteen tutkimuksessa amiinipohjaisilla tartukkeilla saatiin paras tulos. Evogrip-tartukkeista Evogrip 1 antoi selkeästi parhaimmat arvot 0,3 %:n pitoisuudella. Vedenkestävyyskokeessa korkea hartsipitoinen Evogrip 1 antoi vähän paremmat verrattuna vähähartsiseen. Rullapullokoikeessa ei oltu testattu korkeaa hartsipitoista Evogrip 1 -tartuketta. Jatkotutkimuksissa voitaisiin tutkia Evogrip 1 -tartukkeen toimivuutta alhaisemmilla pitoisuuksilla.

Kokeiden vähäinen toistomäärä kuitenkin kyseenalaistaa tuloksien täsmällisyyttä ja oikeellisuutta. Sekä halkaisuvetolujuuskokeessa että rullapullokoikeessa oli rinnakkaisnäytteet massoista ilman tartuketta. Molemmissa kokeissa nämä antoivat hyvin erilaiset arvot. Halkaisuvetolujuuskokeessa syynä on voinut olla näytekappaleiden heterogeenisyys. Jos valmistettu asfalttimassa ei ole ollut homogeeninen, niin näytekappaleiden tyhjätilat sijaitsevat eri paikoissa, jolloin kohdistunut paine vaikuttaa eri tavoin kappaleisiin. Mittausvirhettä on voinut myös tapahtua useassa eri välivaiheessa. Välivaiheita kuitenkin on melkoisesti aivan näytteen valmistuksesta kokeen suorittamiseen. Epätarkat lämpötilat, tiheydet ja koostumukset voivat aiheuttaa vaihtelua tuloksissa.

Tuloksissa on odottamattoman paljon ristiriitaisuuksia, mikä voi johtua menetelmien epätarkkuudesta tai kokeiden suorittamiseen liittyvästä mittausvirheistä. Sama tartuke samalla pitoisuudella voi antaa hyvinkin paljon erilaisia tuloksia eikä toistoja ole riittävästi varmojen johtopäätösten tekemiseksi. Saatujen tulosten perusteella jatkossa kokeiden toistettavuus edesauttaisi mäntyöljypohjaisten tartukkeiden toimivuuden selvittämiseksi. Koe- ja analyysitoistojen avulla minimoitaisiin koetulosten mittausepävarmuutta aiheuttavien häiriötekijöiden vaikutusta kuten esimerkiksi asfalttimassaerien vaihtelu ja näytteiden temperoinnit. Selvittämällä tutkimuksen koevirhe voitaisiin selittää myös tulosten ristiriitaisuudet paremmin ja niitä voitaisiin tulkita luotettavammin. Testattujen pitoisuuksien välinen ero oli kuitenkin niin pieni, että tutkimukseen liittyvä koevirhe voi olla tätäkin suurempi. Tällöin ei saada todellista kuvaa tuloksien hajonnasta eivätkä tulokset ole luotettavasti tulkittavia. Myös alemmilla pitoisuuksilla tutkiminen voisi olla kannattavaa, sillä Evogrip 1 -tartuke menestyi

paremmin hieman alhaisemmilla pitoisuuksilla. Olisi myös järkevää tutkia tartukkeen toimivuutta useissa pitoisuuksissa samanaikaisesti ja tehdä tämä koe useaan kertaan. Tällöin saataisiin ulkoisesti vaikuttavat häiriötekijät minimoitua sekä kohdistettua tasaisemmin kaikkiin tuloksiin.

Insinööriyön tavoite onnistui siinä mielessä, että tulosten perusteella voitiin päätellä, mitä jatkotutkimuksessa kannattaisi ottaa huomioon. Tarkkoja ja luotettavia johtopäätöksiä mäntyöljypohjaisten tartukkeiden toimivuudesta ei kuitenkaan voitu tekemään.

Lähteet

1. Varis, Mika. Keskustelu. 26.09.2013
2. Infra Ry. Mitä asfaltti on. Verkkodokumentti.
<<http://www.infrary.fi/index.php?m=3&s=2&d=7&id=2125>> Luettu 17.09.2013
3. European Asphalt Pavement Association. What is asphalt. Verkkodokumentti.
<<http://www.eapa.org/asphalt.php?c=78>> Luettu 30.12.2013
4. Aluehallintovirasto. Etelä-Suomi. 2013. Verkkodokumentti.
http://www.avi.fi/documents/10191/56814/esavi_paatos_17_2013_1-2013-01-31.pdf Luettu 02.01.2014
5. Tyregrip. Verkkodokumentti. <<http://www.valpastin.fi/6>> Luettu 28.03.2014
6. Asfaltti. Verkkodokumentti <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Asfaltti>> Luettu 28.03.2014
7. Ahveninen, Raimo. Blomberg, Timo. 2006. ASKO Asfalttialan koulutusohjelma. Opetusmateriaali. <http://www.infrary.fi/files/2520_ASKOpieni.pdf> Luettu 17.09.2013
8. Lemminkäinen Oy. Asfaltti
<https://www.lemminkainen.fi/Global/Brochures/Infrastructure%20construction/Paving/Asfaltti-esite.pdf> Luettu 17.09.2013
9. NCC. Asfalttityyppi valitaan käyttökohteen mukaan. Verkkodokumentti.
<http://www.ncc.fi/fi/Infrapalvelut/Asfaltti/Asfaltin-ominaisuudet/Asfalttityypit/> Luettu 17.09.2013
10. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2012. Suomessa käytettävät tiepäällysteet. Verkkodokumentti. <http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/515653/suomessa_kaytettavat_tiepaallysteet.pdf/af67140-0d85-4231-a3c0-399f6ab840c1> Luettu 30.01.2014
11. Varis, Mika. Keskustelu. 15.01.2014
12. Sarkkila, Jouni. Kuusiniemi, Risto. Forstén, Lars. Manni-Rantanen Leena. 2006. Asfalttiset ympäristönsuojaurakenteet. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala.
13. Eskola, Paula. Mroueh, Ulla-Maija. Juvankoski, Markku. Ruotoistenmäki, Antti. 1999. Maarakentamisen elinkaariarviointi. VTT tiedotteita.
<<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1962.pdf>> Luettu 06.01.2014
14. Tierakenteen suunnittelu. 2004. Tiehallinto. Edita Helsinki.
<<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf>> Luettu 22.02.2014

15. The formation of petroleum. Verkkodokumentti. Fuel Chemistry Division Public Education and Outreach Committee.
<http://www.ems.psu.edu/~pisupati/ACSO Outreach/Petroleum_2.html> Luettu 13.1.2014
16. Blomberg, Timo. 1990. Bitumit. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä. Luettu 28.02.2014
17. Raakaöljylaadut. Verkkodokumentti. Öljyalan liitto. <<http://www.oil.fi/fi/tietoa-oljysta-oljytuotteet/raakaoljylaadut>> Luettu 13.01.2014
18. Ancheyta, Jorge. 2011. Modeling and simulation of catalytic reactors for petroleum refining. Published by John Wiley and sons. Luettu 14.01.2014
19. Torppa, Akseli ja Räisänen, Mika. Kiviainesten raekoon, muodon ja geologisten ominaisuuksien vaikutus hiljaisten asfalttien kulumiseen. Geologian Tutkimuskeskus. Luettu 02.01.2014
20. Geologia. Verkkodokumentti. <<http://www.geologia.fi/>> Luettu 23.02.2014
21. NCC. Kiviainekset ovat rakentamisen perusmateriaaleja. Verkkodokumentti. <<http://www.ncc.fi/fi/Infrapalvelut/Kiviaines/Kiviainekset/>> Luettu 05.01.2014
22. Lee, Chih-Jen. White, Thomas D. West, Terry R. July 1999. Verkkodokumentti. Effect of fine aggregate angularity on asphalt mixture performance. <<http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1575&context=jtrp>> Luettu 06.01.2014
23. NCC Infrapalvelut. Asfaltin ominaisuudet. Verkkodokumentti. <<http://www.ncc.fi/fi/Infrapalvelut/Asfaltti/Asfaltin-ominaisuudet/>> Luettu 02.12.2013
24. Liikennevirasto. 2010. Päälysteiden pintakarkeuden vaikutukset tien käyttäjiin ja tienpitoon. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2010-01_paallysteiden_pintakarkeuden_web.pdf> Luettu 28.03.2013
25. Liski, Jussi. Opinnäytetyö 2010. Asfalttipäälysteiden pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat tekijät. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/23130/Liski_Jussi.pdf?sequence=1> Luettu 17.09.2013
26. Pihlajamäki, Jari. Spoof, Harri. 2001. Kuormituskestävyyssmitoitus- Päälysrakenteen väsyminen. Verkkodokumentti. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Tiehallinto. <<http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/17-kuormituskest.pdf>> Luettu 28.03.2014
27. Ahonen, Heikki. HJA Engineering. Asfaltin lisäainekoostumus. Patenttihakemus. Luettu 03.04.2014

28. Varis, Mika. 2013. Evogrip- tartukkeiden ominaisuuksien määrittäminen. Tutkimusselostus. Luettu 22.02.2014
29. Asfalttinormit 2011. Verkkodokumentti. ELY-keskusten tiepäällystysurakoiden laatuvaatimukset 2011.
<pank.fi/file/332/570_pankmenetelmapaiva2011_eskola.pdf> Luettu 12.04.2014
30. Vedenkestävyys, halkaisuvetomenetelmä. 2012. Verkkodokumentti. PANK.
<pank.fi/file/741/pank4301_2013.pdf> Luettu 22.2.2014
31. Simonen, Markus. Diplomityö 2011. Biofluksattujen bitumien ominaisuudet ja käyttö varastoitavissa pehmeissä asfalttibetonimassoissa.
<<http://lib.tkk.fi/Dipl/2011/urn100442.pdf>> Luettu 22.2.2014
32. PANK Päällystealan Neuvottelukunta. 1996. Halkaisuvetolujuus. PANK-4202. Luettu 28.02.2014

PAB- päällysteen kiviaineksen rakeisuuskäyrä

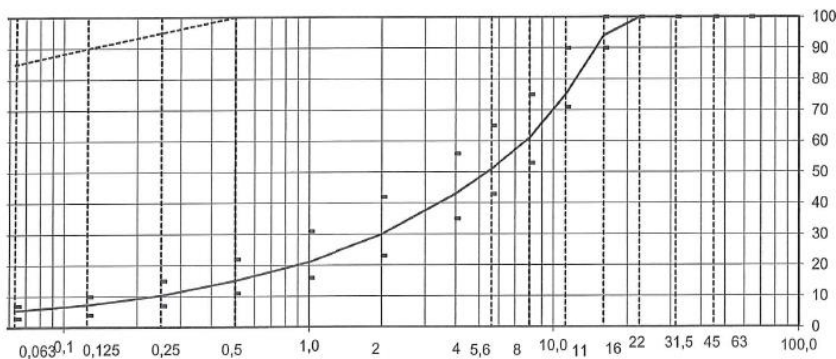


Keskuslaboratorio

SUHTEITUS

24.04.13

Päällyste:	PAB-V16 Evogrip Oy							Projektinnumero:	13M31KL		
Asf. asema:	Laboratorio / Turbosimulaatio							Evogrip 1: 0,6 ja 1,0 %			
Sideaine:	V1500	3,4	%	Tartuke	1,0	%	Diamine: 0,6 %				
Täytejauhe:	LT	0,0	%	Vesi	4,0	%	OHJEALUE				
Lisäaine:	Lämpötila 80-85 C							Bitumi	Alaraja	Yläraja	
Kiviainekset:	Sammonmäki SEULO							Ohje			
Numero											
Nimi	LT	KaM0/20									
Tiheys	2200	2670	2700	2700	2700	2700	2700				
%-osuudet		100						Suhteit	alaraja	yläraja	
0,063	85	6						5,5			
0,125	90	7						7			
0,25	95	10						10			
0,5	100	15						15			
1	100	21						21			
2	100	30						30			
4	100	43						43			
5,6	100	51						51			
8	100	61						61			
11,2	100	75						75			
16	100	94						94			
22,4	100	100						100			
31,5	100	100						100			
45	100	100						100			
63	100	100						100			



	Kuvaajassa ohjealue	2	Kuvaajassa normialue
Lisätietoja	Massa 38	Evogrip 1	1,0 %
	Massa 39	Evogrip 1	0,6 %
	Massa 40	Diamine	0,6 %
Tehnyt:	Vesa Laitinen		Tarkastanut:
LEMMINKÄINEN INFRA OY	Posti	Puh.no 02071 5000	
Keskuslaboratorio	PL 10	Fax no 02071 53915	
Sammonmäki Tuusula	04361 TUUSULA	Internet www.lemminkainen.fi	

AB-päällysteen kiviaineksen rakeisuuskäyrä.

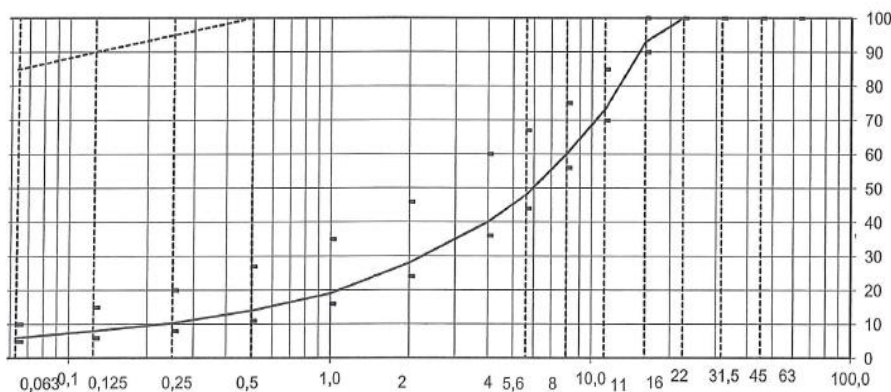


Keskuslaboratorio

SUHTEITUS

24.04.13

Päällyste:	AB16							Evogrip Oy			Projektinnumero:		
Asf.asema:	Laboratorio										13M31KL		
Sideaine:	B70/100	4,9	%	Tartuke									
Täytejauhe:	LT	0,0	%										
Lisäaine:													
Kiviainekset:	Sammonmäki												
	SEULO										OHJEALUE		
Numero								Bitumi	Alaraja	Yläraja			
Nimi	LT	KaM0/20						Ohja					
Tiheys	2200	2670	2700	2700	2700	2700	2700						
%-osuudet		100						Suhteit	alارaja	yläraja			
0,063	85	6						6,0					
0,125	90	8						8					
0,25	95	10						10					
0,5	100	14						14					
1	100	19						19					
2	100	28						28					
4	100	40						40					
5,6	100	48						48					
8	100	60						60					
11,2	100	73						73					
16	100	93						93					
22,4	100	100						100					
31,5	100	100						100					
45	100	100						100					
63	100	100						100					



	Kuvaajassa ohjealue	2	Kuvaajassa normialue
Lisätietoja	Massa 38	Evogrip 1	1,0 %
	Massa 39	Evogrip 1	0,6 %
	Massa 40	Diamine	0,6 %

Tehnyt:	Vesa Laitinen	Tarkastanut:	
LEMMINKÄINEN INFRA OY	Posti	Puh.no	02071 5000
Keskuslaboratorio	PL 10	Fax no	02071 53915
Sammonmäki Tuusula	04361 TUUSULA	Internet	www.lemminkainen.fi

Ensimmäisessä taulukossa on vedenkestävyys- eli halkaisuvetolujuuksien tulokset sekä niistä lasketut Q-arvot. Alemmassa taulukossa on puristuman tulokset sekä niistä lasketut Q-arvot. Myös jokaisen näytteen tyhjätilat ovat lueteltu taulukkoon.

13M31KL

	1. HVL		2. HVL		3. HVL		4. HVL		Q-arvo (%)		Huomioit
	Laatat	Kuiva	Kuiva/märkä	3 vrk märkä	3 vrk märkä	7 vrk märkä	7 vrk märkä	3/1.	3/2.	4/1.	
Massa	TT	TT	kPa	TT	TT	TT	TT	kPa	kPa		
1 ei tartuketta	5,3 (5,2-6,0) 5,5	1227 (4,4-6,0) 5,4	1310 (4,3-6,5) 5,2	1360 (4,7-6,1) 5,3	1371	110,8	103,8	111,7	104,6		
2 Sementti 1 %	5,1 (3,7-5,9) 5,2	1240 (3,8-5,7) 5,0	1400 (4,1-6,6) 5,2	1342 (4,6-5,4) 5,1	1484	108,2	95,8	119,7	106		
3	5,0 (4,1-7,1) 5,2	1731 (4,2-5,2) 4,8	1631 (4,2-5,5) 4,8	1683 (4,1-6,1) 5,1	1608	97,2	103,2	92,9	98,6		
4 EvoGrip 1 0,3%	5,1 (4,7-5,4) 4,9	1470 (4,5-5,8) 5,2	1567 (3,6-6,7) 5,2	1457 (4,6-5,8) 5,1	1618	99,1	93	110,1	103,3		
5 EvoGrip 0,3%	5,0 (4,8-5,3) 5,0	1595 (5,0-5,4) 5,0	1501 (4,4-5,8) 5,2	1569 (4,5-5,2) 4,9	1552	98,4	104,5	97,3	103,4		
6 EvoGrip 0,5%	5,3 (4,4-6,0) 5,3	1252 (5,3-5,7) 5,4	1531 (4,2-6,2) 5,3	1325 (3,8-6,4) 5,4	1425	105,8	86,5	113,8	93		
7 EvoGrip 0,5%	5,7 (4,8-6,2) 5,6	1235 (5,1-6,5) 5,7	1396 (5,0-6,6) 5,8	1270 (4,5-6,5) 5,7	1408	102,8	91	114	100,9		
8 ei tartuketta	5,1 (4,5-5,8) 5,1	1465 (4,6-6,0) 5,0	1575 (4,8-5,9) 5,3	1458 (4,5-6,0) 5,2	1534	99,5	92,6	104,7	97,4		

	1. HVL		2. HVL		3. HVL		4. HVL		Huomioit
	Laatat	Kuiva	Kuiva/märkä	3 vrk märkä	3 vrk märkä	7 vrk märkä	7 vrk märkä		
Massa	TT	TT	mm	mm	mm	mm	mm		
1 ei tartuketta	5,3 (5,2-6,0) 5,5	2,2 (4,4-6,0) 5,4	2,2 (4,3-6,5) 5,2	2,4 (4,7-6,1) 5,3	2,4	109	109	109	
2 Sementti 1 %	5,1 (3,7-5,9) 5,2	2,4 (3,8-5,7) 5,0	2,2 (4,1-6,6) 5,2	2,5 (4,6-5,4) 5,1	2,1	104	114	87,5	
3	5,0 (4,1-7,1) 5,2	2,4 (4,2-5,2) 4,8	2,1 (4,2-5,5) 4,8	2,2 (4,1-6,1) 5,1	2,1	91,2	105	87,5	
4 EvoGrip 1 0,3%	5,1 (4,7-5,4) 4,9	2,4 (4,5-5,8) 5,2	2,4 (3,6-6,7) 5,2	2,3 (4,6-5,8) 5,1	2,5	95,8	95,8	104	
5 EvoGrip 0,3%	5,0 (4,8-5,3) 5,0	2,1 (5,0-5,4) 5,0	2,1 (4,4-5,8) 5,2	2,1 (4,5-5,2) 4,9	2,2	100	100	105	
6 EvoGrip 0,5%	5,3 (4,4-6,0) 5,3	2,1 (5,3-5,7) 5,4	2 (4,2-6,2) 5,3	2,2 (3,8-6,4) 5,4	2,3	105	110	110	
7 EvoGrip 0,5%	5,7 (4,8-6,2) 5,6	2 (5,1-6,5) 5,7	2 (5,0-6,6) 5,8	2,1 (4,5-6,5) 5,7	2,5	105	105	125	
8 ei tartuketta	5,1 (4,5-5,8) 5,1	2 (4,6-6,0) 5,0	2,1 (4,8-5,9) 5,3	2 (4,5-6,0) 5,2	2,1	100	95,2	105	

Aalto-yliopistolla suoritetun rullapullokokeen tulokset.

Rullapullotesti

Tähän on koottu Lemminkäisen kuuden rullapullonäytteen A-F tulokset. Tiellaboratorion näytenuumerot ovat näytteille A-C 1973 ja näytteille D-F 1974.

Rullapullotesti suoritettiin standardin EN 12697-11 mukaan. Testi poikkesi standardista siinä, että käytössämme on vanhat PANK – ohjeen mukaiset 250 ml rullapullot, kun standardissa testipullon koko on 500 ml. Näytteiden peittoaste tarkasteltiin 6, 24, 48 ja 72 tunnin välein. Näytteitä tarkasteli kolme arvioijaa.

Peittoaste:

Aika (h)	0	6	24	48	72
A	100	80	55	34	21
B	100	82	68	52	34
C	100	95	88	81	72
D	100	71	32	8	4
E	100	92	82	73	68
F	100	69	27	12	4

