

Taneli Sammaljoki

# ASFALTTIROUHEEN OMINAISUUDET JA KÄYTTÖ ASFALTTIPÄÄLLYSTEISSÄ

Diplomityö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
12/2021

# TIIVISTELMÄ

Taneli Sammaljoki: Asfalttirouheen ominaisuudet ja käyttö asfalttipäällysteissä  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Joulukuu 2021

---

Asfalttirouheen käyttäminen on merkittävä kiertotaloutta edistävä keino asfaltin valmistuksessa. Suomi on tällä hetkellä edelläkävijän roolissa, sillä EAPA:n tilastojen mukaan Euroopan valtioista täällä käytetään eniten asfalttijätettä uuden asfalttimassan valmistukseen. Asfalttirouheen käyttöä halutaan lisätä, joten sen vaikutukset päällysteen ominaisuuksiin on syytä tuntea. Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää kirjallisuuteen pohjautuen, miten asfalttirouheen käyttäminen muuttaa päällysteen ominaisuuksia. Lisäksi kokeellisessa osuudessa tutkittiin kiviaineksen kuumentamisen vaikutuksia sen kuulamylyarvoon. Osana diplomityötä tehtiin myös asiantuntijahaastatteluita asfalttirouheen käyttöön liittyen sekä käytiin katselmoimassa PAB-kohteita, joissa on käytetty asfalttirouhetta.

Työn kirjallisuusselvityksessä on esitetty lyhyesti asfalttimassan ja -päällysteen raaka-aineet sekä valmiin päällysteen perusominaisuudet. Lisäksi on kuvattu tutkimusmenetelmät, joilla päällysteen toiminnallisia ominaisuuksia voidaan tutkia. Tarkasteltaviksi toiminnallisiksi ominaisuuksiksi valittiin kulumis-, veden- ja deformaatiokestävyys sekä jäätymis-sulamiskestävyys. Asfalttirouheen valmistus, ominaisuudet ja sen käyttäminen on myös esitelty osana diplomityötä.

Kirjallisuuden perusteella asfalttirouheen ja pehmeän asfalttibetonin sideaineet sekoittuvat hyvin. Sekoittumisessa suuri merkitys on diffuusiolla, joka edesauttaa sideaineiden sekoittumista. Löydetyn tutkimuksen perusteella pelkän diffuusion avulla sideaineet sekoittuivat täydellisesti toisiinsa.

Kirjallisuusselvityksessä tutkittiin, mitä asfalttirouheen käyttäminen vaikuttaa päällysteen ominaisuuksiin. Asfalttirouheen käytön vaikutukset havaittiin enimmäkseen positiivisiksi ja toiminnallisia ominaisuuksia parantaviksi tai vaikutukseltaan neutraaliksi. Lisäksi huomattiin, että toiminnalliset ominaisuudet voivat jopa parantua asfalttirouheen käyttömäärän kasvaessa. Löydetyt tutkimukset eivät ottaneet kuitenkaan kantaa päällysteiden pitkäaikaiskestävyyteen. Kirjallisuuden pohjalta selvitettiin myös kuumentamisen vaikutusta kiviainekseen. Esimerkiksi graniittikiven rakenteessa alkaa tapahtumaan muutoksia vasta kiviaineksen lämpötilan noustessa yli 300°C. Tyypilliset suomalaiset asfalttikiviainekset ovat rapautumattomia, joten ne eivät ole herkimpiä kuumennuksen vaikutukselle.

Katselmoituissa PAB-B-kohteissa oli käytetty asfalttirouhetta 10 %. Tehtyjä vauriohavaintoja verrattiin Väyläviraston korjaustarveinventointeihin. Vertailun perusteella voitiin todeta, että katselmoitujen kohteiden olivat keskimääräisessä kunnossa. Pitkäaikaiskestävyyden arviointi vaatisi kuitenkin seuranta pidemmällä ajanjaksolla. Myös tehtyjen asiantuntijahaastatteluiden perusteella asfalttirouheen käyttäminen on havaittu hyväksi käytännöksi myös PAB-B-päällysteissä. Asfalttirouheen käyttöä PAB-B-päällysteissä rajoittaa kuitenkin saatavilla olevan asfalttirouheen korkea sideainepitoisuus ja bitumin kovuus, sillä PAB-B-rouhetta ei käytännössä muodostu ja käytettävä asfalttirouhe on peräisin AB-päällysteistä. Asfalttirouheen käyttömäärän kasvaessa PAB-B-päällysteen joustavuus pienenee.

Testattavana oli viisi asfalttirouhetta ja neljä referenssikiviainesta. Asfalttirouheista kaksi oli jyrsinrouhetta ja loput oli paloista murskattua asfalttirouhetta. Kuumennuksen vaikutus kuulamylyarvoon oli tapauskohtaista eikä jyrsinrouheiden kiviaineksissa havaittu muutoksia tehtyjen kuumennusten jälkeen. Referenssikiviaineksilla kuumennuksen vaikutuksen todettiin olevan kiviainekohtaista.

Tutkimuksen loppupäätelmänä voitiin todeta, että asfalttirouheen käyttö päällysteissä voi jopa parantaa lopputuotteen ominaisuuksia. Käytettävän asfalttirouheen ominaisuudet on kuitenkin tunnettava hyvin, jotta päällysteestä saadaan tasalaatuinen ja laadukas. Kuumennuksen vaikutusta kiviaineksiin on vaikea ennustaa ainoastaan mineraali- ja kivilajikoostumuksen perusteella. Tarvittaessa asfalttirouheen kiviaineksen kuumuudenkestävyyttä tulisi tutkia, mutta kiviaineksen koko lämpötilaprofilia asfalttiaseman prosessissa ei tunneta tarkasti. Epäiltäessä kuumuudenkestävyyttä tässä työssä käytetty menettely soveltuu, jos kiviaineksen lämpötilaprofilii esimerkiksi asfalttiasemalla ääritilanteissa on selvitetty.

Avainsanat: Asfalttirouhe, asfalttipäällyste, asfalttirouheen ominaisuudet, kiviaines

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Taneli Sammaljoki: The properties and use of reclaimed asphalt in asphalt pavements  
Master's thesis  
Tampere University  
Civil Engineering  
December 2021

---

The use of reclaimed asphalt is a crucial factor of promoting the circular economy in the production of asphalt. According to EAPA statistics Finland is currently in a pioneering role as the use of asphalt waste in production of new asphalt mix is the highest in Europe. It is desired to increase the use of reclaimed asphalt, so its effects on the properties of the asphalt pavement should be known. The aim of this Master's thesis was to find out, based on the literature, how the use of reclaimed asphalt changes the properties of the asphalt pavement. In the experimental part of the thesis the effects of heating on Nordic ball mill value of aggregate was studied. Also the Finnish asphalt experts were interviewed to collect information about the practices of use of reclaimed asphalt. The use of reclaimed asphalt in soft asphalt was studied and some sites where reclaimed asphalt was used were inspected.

The raw materials of the asphalt mixtures and pavements as well as the basic properties of the asphalt pavements are briefly presented in the literature review. In addition, the main research methods have been described. Wear-, water- and deformation resistance as well as freeze-thaw resistance were chosen as the functional properties to be considered. The manufacturing, basic properties and practices of using of reclaimed asphalt are also presented as part of the Master's thesis.

Based on the literature review, the binders of reclaimed asphalt and soft asphalt concrete are mixed properly. Diffusion, which promotes the mixing of the binders, is of great importance in mixing of old and new bitumen. Based on the found research, the binders were completely mixed by diffusion alone.

According to the literature review the effects of the use of reclaimed asphalt on pavement properties were mostly positive and improved the functional properties or to had only a neutral effect. In addition, it was found that the functional properties may even improve when the amount reclaimed asphalt increases. However, no studies of the effects of reclaimed asphalt on the long-term durability of the pavements were found. The effect of heating on the aggregate properties was also investigated on the basis of the literature. For example, changes in the structure of granite only begin to occur when the temperature of the aggregate rises above 300°C. Typical Finnish asphalt aggregates are non-weathered, so they are not the most sensitive to the effects of heating.

In the inspected soft asphalt sites (tarmacked 2016) the amount of reclaimed asphalt was 10 %. Damage observations were made at the sites and the results were compared to the repair needs inventories done by the Finnish Transport Infrastructure Agency. On the basis of the comparison, it could be concluded that the roads were in average condition. However, the assessment of long-term durability would require monitoring over a longer period. Based on the expert interviews, the use of reclaimed asphalt in soft asphalts is possible from practical point of view. However, the use of reclaimed asphalt in soft asphalts is limited by the higher binder content and bitumen hardness of the available reclaimed asphalt, because reclaimed soft asphalt is not available. When the amount of reclaimed asphalt in soft asphalt increases the flexibility of the soft asphalt pavement decreases.

Five reclaimed asphalts and four reference aggregates were tested to evaluate the effect heating on the aggregate properties. Two of the reclaimed asphalt were milled from the road surface and the rest were crushed from pieces of reclaimed asphalt. The effect of heating on the Nordic ball mill value was case-specific and no changes were observed in the aggregates of the milled reclaimed asphalt after the heating. For the reference aggregates, the effect of heating was found to be aggregate specific.

The final conclusion of the study was that the use of reclaimed asphalt in asphalt pavements can even improve the properties of the final product. However, the properties of the reclaimed asphalt used must be well known in order to obtain a uniform and high-quality pavement. The effect of heating on aggregates is difficult to predict solely on the basis of mineral and rock type composition. If necessary, the heat resistance of the asphalt aggregate should be investigated,

even though the exact temperature profile of the aggregate in the asphalt plant process is not known exactly. When suspecting heat resistance, the procedure used in this work is suitable for testing the effect of temperature on the aggregate properties, for example if an extreme temperature profile the asphalt plant is observed.

Keywords: Reclaimed asphalt, asphalt pavement, the properties of reclaimed asphalt, aggregate

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty osana Tampereen yliopiston ja Väyläviraston yhteistä asfalttirouhetutkimusta. Työn kokeellinen osuus on suoritettu Tampereen yliopistossa tutkimuskeskus Terran asfaltti- ja geolaboratorioissa. Oli hieno mahdollisuus päästä tekemään diplomityö aiheesta, joka oli ajankohtainen ja kiertotaloutta edistävä. Projektina tämä on ollut hyvin opettavainen ja olen oppinut asfalttirouheen ominaisuuksista sekä sen käytöstä enemmän kuin osasin kuvitellakaan. Työssä parasta oli laboratoriotyöskentelyn ja kirjoitustyön tarjoama monipuolisuus.

Kiitokset Väyläviraston ohjaajille Katri Eskolalle ja Ossi Saariselle tutkimuksen tarjoamisesta, työn aikaisista kommentteista ja kannustuksesta. Kiitokset myös Tampereen yliopiston Pirjo Kuulalle diplomityöpaikan tarjoamisesta, saaduista neuvoista ja kärsivällisestä työn ohjaamisesta. Kiitos myös Pauli Kolisojalle saaduista kommentteista. Kiitokset ansaitsevat myös laboratorioiden koko henkilökunta. Eryitysmaininnan laboratoriosta ansaitsee Tapio Mattila, joka osaamisellaan ja vinkeillään auttoi suuresti edistämään työn kokeellista osuutta. Kiitokset myös asiantuntijahaastatteluihin osallistuneille.

Lopuksi kotiin suuret kiitokset saamastani kannustuksesta ja tuesta koko opintojeni aikana. Ilman tukijoukkojani en olisi saanut tätä päätökseen.

Tampereella, 16.12.2021

Taneli Sammaljoki

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
2. ASFALTTIMASSAT JA -PÄÄLLYSTEET .....	2
2.1 Raaka-aineet .....	2
2.2 Massatyypit ja niiden keskinäiset erot .....	4
2.3 Valmiin päällysteen perusominaisuudet .....	6
2.3.1 Päällysteen koostumus.....	6
2.3.2 Massamäärä .....	7
2.3.3 Tyhjättila .....	8
2.4 Toiminnalliset ominaisuudet .....	9
2.4.1 Kulumiskestävyys .....	9
2.4.2 Vedenkestävyys.....	11
2.4.3 Deformaatiokestävyys .....	12
2.4.4 Jäätymis-sulamiskestävyys .....	13
2.5 Asfalttimassan valmistaminen .....	13
2.6 Päällysteiden levitys ja tiivistäminen.....	14
3. ASFALTTIROUHEEN VALMISTUS, OMINAISUUDET JA KÄYTTÖ .....	16
3.1 Jyrsinrouhe .....	16
3.2 Asfalttipaloista murskattu rouhe.....	17
3.3 Ominaisuudet.....	18
3.4 Varastointi.....	20
3.5 Rouheen käyttö asfalttiasemalla.....	21
3.6 Asfalttirouheen käyttökohteet .....	22
4. ASFALTTIROUHEEN KÄYTTÖ PAB-PÄÄLLYSTEISSÄ .....	23
4.1 Sideaineiden sekoittuminen.....	23
4.2 Käytännön kokemuksia.....	24
4.3 PAB-kohteita.....	25
4.3.1 Asfalttirouheen käyttäminen PAB-kohteissa .....	25
4.3.2 Tutkimuksessa katselmoidut kohteet.....	26
5. ASFALTTIROUHEEN KÄYTÖN VAIKUTUKSET PÄÄLLYSTEIDEN OMINAISUUKSIIN.....	36
5.1 Kulumiskestävyys .....	36
5.2 Vedenkestävyys.....	40
5.3 Deformaatiokestävyys .....	45
5.4 Jäätymis-sulamiskestävyys .....	49
6. ASFALTTIROUHEEN KIVIAINES .....	51
6.1 Suomen kallioperä ja kiviainekset.....	51
6.2 Asfalttikiviainesten mineralogiset ominaisuudet .....	53
6.3 Kuumentamisen vaikutus kiviainekseen .....	54

7.ASFALTTIROUHENÄYTTEET JA -TESTIT .....	58
7.1 Testausohjelma .....	58
7.2 Testausmenetelmät .....	58
7.2.1 Petrografinen tutkimus.....	58
7.2.2 Kuulamylyttesti.....	58
7.2.3 Vedenimukyky .....	60
7.2.4 Lämpöshokki.....	61
7.3 Asfalttirouhenäytteiden käsittely .....	62
7.4 Asfalttirouhetestien tulokset.....	66
7.4.1 Petrografinen tutkimus.....	66
7.4.2 Kuulamylyttesti.....	69
7.4.3 Vedenimeytyminen .....	70
7.4.4 Lämpöshokki.....	70
8.KIVIAINESNÄYTTEET JA -TESTIT .....	71
8.1 Testausohjelma .....	71
8.2 Testausmenetelmät .....	71
8.2.1 Petrografinen tutkimus.....	71
8.2.2 Kuulamylyttesti.....	72
8.3 Kiviainestestien tulokset .....	72
8.3.1 Petrografinen tutkimus.....	72
8.3.2 Kuulamylyttesti.....	74
8.3.3 Lämpöshokki.....	75
9.TULOSTEN ANALYSOINTI JA VERTAILU.....	76
9.1 Kuulamylytulosten korrelaatio .....	76
9.2 Kuumennuksen vaikutus asfalttirouheiden kiviainesten kuulamylyarvoon	
77	
9.3 Kuumennuksen vaikutus referenssikivien kuulamylyarvoon.....	80
9.4 Lämpöshokki.....	82
10. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	83
LÄHTEET .....	86

LIITE A: Asiantuntijahaastatteluiden kysymykset ja vastausten yhteenveto



# 1. JOHDANTO

Rakennusalalla on yleisenä tavoitteena edistää kiertotaloutta, koska rakennusala on merkittävä päästöjen aiheuttaja ja neitseellisten raaka-aineiden käyttäjä. Asfaltin valmistuksessa kiertotaloutta on mahdollista edistää esimerkiksi käyttämällä asfalttirouhetta, jolloin neitseellisen kiviaineksen ja uuden sideaineen tarve pienenee. Asfalttirouhetta käytetään hyvin vaihtelevia määriä riippuen valmistettavan asfalttimassan laadusta ja päällystettävän kohteen vaatimuksista. Myös asfalttirouheen saatavuus vaikuttaa merkittävästi sen käyttömahdollisuuksiin. Asfalttirouheen käytölle ja sen laadulle on asetettu ohjeita ja vaatimuksia Asfalttinormeissa.

Asfalttirouhetta valmistetaan asfalttijätteestä eli käytöstä poistetusta asfaltista. Asfalttijätettä syntyy tie-, katu- ja aluerakenteiden purkutöissä sekä päällystystöiden yhteydessä esimerkiksi jyrsinöissä. Asfalttirouhe on jyrsinnyttä tai paloista murskattua asfalttia ja sitä voidaan käyttää uuden asfalttimassan valmistukseen. Asfalttirouheet muodostuvat tyypillisesti kiviaineksesta ja vanhasta sideaineesta. Vuoden 2019 aikana asfalttijätettä otettiin Suomessa talteen 1 500 000 tonnia. Asfalttijätettä muodostuu hyvin vaihtelevasti eri osissa Suomea ja pääasiassa sitä syntyy kasvukeskuksien ympäristössä.

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää, miten kuumennus vaikuttaa asfalttirouheen kiviaineksen mekaanisiin ominaisuuksiin erityisesti nastarengaskulutuskestävyyteen. Lisäksi selvitetään kirjallisuuden perusteella kiviaineksen kuumuuden kestoa, asfalttirouheen vaikutuksia asfalttipäällysteiden deformaatio-ominaisuuksiin, vedenkestävyyteen ja kulumiskestävyyteen pohjoisissa olosuhteissa.

Tutkimus koostuu kokeellisesta osuudesta, kirjallisuusselvityksestä ja asiantuntijahaastatteluilta. Kokeellisessa osuudessa tutkitaan kiviaineksen kuumennuksen vaikutusta nastarengaskulutuskestävyyteen eli kuulamylyarvoon sekä vedenimeytymiseen. Tutkimukseen valitaan viisi asfalttirouhetta ja neljä kiviainesta. Asfalttirouheista uutetaan bitumi pois, minkä jälkeen rouheen kiviaines seulotaan kuulamylynäytteiden muodostamista varten. Kuulamylyttestejä tehdään lajitteille 8/11,2 mm ja 11,2/16 mm, jotta nähdään myös mahdollinen testilajitteen vaikutus kuumennuskäsitellyille näytteille.

Kirjallisuusselvityksessä esitetään asfalttirouheen käytön vaikutukset asfalttimassan ja valmiiden päällysteiden ominaisuuksiin. Lisäksi selvitetään kuumennuksen vaikutusta kiviainekseen ja asfalttirouheen käyttöä PAB-päällysteissä.

## 2. ASFALTTIMASSAT JA -PÄÄLLYSTEET

### 2.1 Raaka-aineet

Asfalttimassan tärkeimmät raaka-aineet ovat kiviaines ja sideaine. Asfalttimassassa voidaan käyttää kiviaineksena kalliomursketta, soramursketta, murskaamatonta kiviainesta ja fillerikiviainesta. Asfalttikiviaineksella tulee olla hyvät tarttumisominaisuudet sideaineiden kanssa. Suomessa käytettävän asfalttikiviaineksen on kestettävä talvisia olosuhteita, joista merkittävimmät ovat nastarenkaiden kulutusvaikutus ja toistuvat jäätymsulamissyklit.

Kiviainesvaatimuksia on esitetty Asfalttinormeissa 2017 ja ne pohjautuvat suurelta osin eurooppalaiseen tuotestandardiin SFS-EN 13043 (Asfalttinormit 2017, s. 76). Kiviainestuottajan on osoitettava tuotteen laatu tuotannon aikaisilla laadunvalvontatuloksilla, suoritusasoilmoituksella ja kiviaineksen CE-merkinnällä. Asfalttikiviaineksen CE-merkissä on ilmoitettava:

- Rakeisuusluokka
- Hienoainespitoisuuden luokka
- Kiintotiheys ja vedenimeytyminen
- Tarvittaessa jäädytys-sulatuskestävyyden luokka
- Litteysluokka
- Petrografinen nimi
- Kuulamylyarvon luokka. (Asfalttinormit 2017, s. 76)

Asfalttipäällysteen onnistumisen kannalta yksi tärkeimmistä kiviaineksen ominaisuuksista on sideaineen hyvä tartunta rakeiden pintaan. Tartuntaan vaikuttavat kivilaji ja sen mineraalikoostumus sekä pinnan epäpuhtauksien määrä. Epäpuhtaudet ovat yleisempiä sorapohjaisilla kiviaineksilla, joiden tyypillisiä epäpuhtauksia ovat humus ja savi, jotka molemmat heikentävät sideaineen tarttumista merkittävästi. Tartuntaan vaikuttaa lisäksi käytetty kivilaji, koska kiven pinnassa olevat mineraalit vaikuttavat kiviaineksen fysikaalisiin ominaisuuksiin. Esimerkiksi rakeiden pinnassa oleva kvartsi tai kiille heikentävät tartuntaa. (PANK 2018a, s. 14)

Kiviaineksessa merkittäviä ominaisuuksia ovat lisäksi lujuus ja kulutuskestävyys, joihin vaikuttavat mineraalikoostumus ja kiven rakenne. Nämä ominaisuudet vaikuttavat esimerkiksi valmiin päällysteen nastarengaskulutuskestävyyteen ja vedenkestävyyteen.

(PANK 2018a, s. 14) Kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyys määritetään kuulamylytestillä ja kiviainekset luokitellaan tuloksen mukaisiin luokkiin. Luokat ovat esitettyinä taulukossa 1.

**Taulukko 1.** *Kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyyden luokat. (Asfalttinormit 2017, s. 82)*

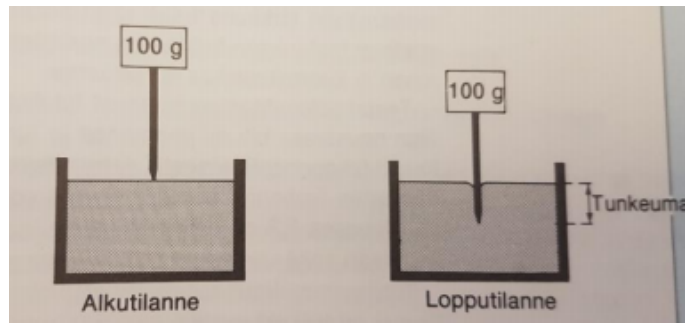
Luokka	Kuulamylyarvo
A <sub>N</sub> 7	≤7,4
A <sub>N</sub> 10	≤10,4
A <sub>N</sub> 14	≤14,4
A <sub>N</sub> 19	≤19,4
A <sub>N</sub> 30	≤30,4

Taulukon 1 kuulamylyluokkien lisäksi asfalttikiviaineksen laatukriteerejä ovat rakeisuus, litteysluku, vedenimeytyminen, jäädytys-sulatuskestävyys ja mineraalikoostumus.

Asfalttimassoissa käytetään sideaineena bitumia, polymeerimodifioitua bitumia, bitumiliuosta, fluksattua bitumia tai bitumiemulsiota. Asfaltissa käytettävien sideaineiden on oltava tasalaatuisia, jotta massasta saadaan tasalaatuista, eikä ne saa sisältää epäpuhauksia haitallisissa määrin. Sideaineiden ominaisuudet ja laatuvaatimukset perustuvat SFS-EN-tuotestandardeihin, joiden pohjalta on valittu Suomen olosuhteisiin sopivat ominaisuudet. (Asfalttinormit 2017, s. 94)

Sideaine toimii valmiissa päällysteessä yhdessä hienoaineksen kanssa ja ne muodostavat mastiksien. Mastiksissa sideaine jäykistyy hienoaineksen johdosta ja sen ominaisuudet riippuvat sekä sideaineen että hienoaineksen määrästä ja laaduista. Päällysteen mekaaninen kestävyys ja stabiilisuus eli jäykkyys johtuvat mastiksista. Mastiksi varmistaa päällysteen säänkestävyyden, sillä se estää veden kulkua sidotussa kerroksessa ja pitää karkeat kiviainesrakeet kiinni päällysteessä. (PANK 2018a, s. 24)

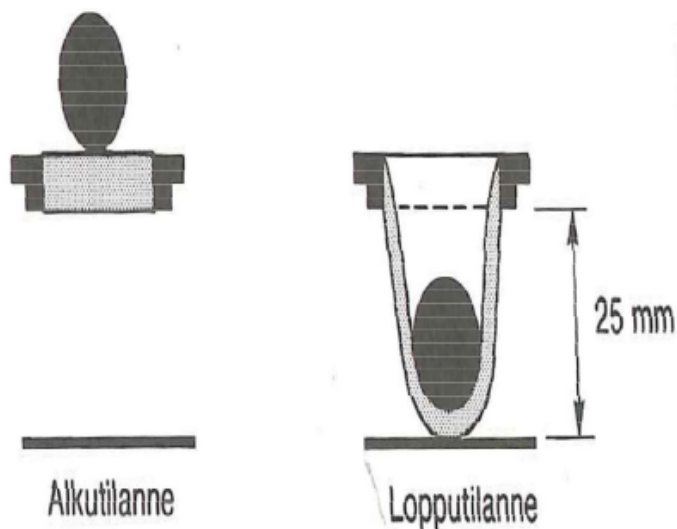
Bitumit luokitellaan joko tunkeuman tai viskositeetin mukaan. Viskositeetti kuvaa aineen kykyä vastustaa virtaamista ja se on nesteiden ominaisuus, joten viskositeettiluokitellut bitumit ovat hyvin notkeita. Tunkeuma määritetään bituminäytteestä, jota painetaan koh-tisuoraan neulalla viiden sekunnin ajan. Tiebitumien (tunkeuma 20-220) tunkeuma testataan 25°C asteisesta näytteestä, mutta pehmeillä tiebitumeilla (tunkeuma 250-900) määrittäminen tehdään 15°C asteisena. Neula on painotettu 100 grammalla. Tunkeuma ilmoitetaan neulan painuman mukaan yksikössä 1/10 mm eli esimerkiksi 20/30 bitumilaadun tunkeuma pitää testin mukaan olla 2–3 mm. Kuvassa 1 on periaatekuva tunkeuman määrittämisestä. (Blomberg 1990, s. 83; PANK 2018a, s. 8)



**Kuva 1.** Periaatekuva bitumin tunkeumamäärityksestä (Blomberg 1990, s. 83).

Bitumien tyyppimerkintänä käytetään tunkeuma-alueen ala- ja ylärajaa, kuten edellä mainittiin.

Sideaineen pehmenemispiste määritetään standardin SFS-EN 1427 mukaisesti. Pehmenemispiste määritetään vesihautessa, jossa teräskuula asetetaan bituminäytteen pinnalle. Haudetta lämmitetään tasaisesti niin, että lämpötila kohoaa viisi astetta minuutissa. Bitumin lämmitessä se alkaa notkistumaan ja lopulta teräskuula alkaa painumaan alaspäin. Pehmenemispiste on se lämpötila, jossa bituminäytteen muodonmuutos on 25 mm (SFS-EN 1427 2000). Kuvassa 2 on esitetty periaatekuva pehmenemispisteen määrittämisestä.



**Kuva 2.** Periaatekuva bitumin pehmenemispisteen määrittämisestä (Blomberg 1990, s. 90)

Kuvassa 2 on määrittämisen alku- ja lopputilanteet. Pehmenemispiste kuvaa sideaineen viskositeettia ja valuvuutta sekä sen kykyä vastustaa deformaatiota. (PANK 2018a, s. 6)

## 2.2 Massatyypit ja niiden keskinäiset erot

Erilaisia asfalttityyppejä ovat asfalttibetoni (AB), pehmeä asfalttibetoni (PAB), kivimastik-siasfaltti (SMA), avoinasfaltti (AA) ja valuasfaltti (VA). Asfalttimassojen koostumuksen

tärkeimmät osatekijät ovat kiviaineksen rakeisuus ja massan sideainepitoisuus. (Asfalttinormit 2017, s. 37)

Asfalttibetonia käytetään yleensä tien tai kadun kulutuskerroksessa (AB), sidekerroksessa (ABS), kantavassa kerroksessa (ABK) tai sen yläosassa. Sitä käytetään tavallisesti myös massapintauksiin, tasauksiin ja paikkauksiin. Lisäksi voidaan tehdä tiivistä asfalttibetonia (ABT), jota käytetään esimerkiksi ympäristönsuojusrakenteissa. Asfalttibetonin sideaineeksi soveltuvat tiebitumit 20/30–160/220 sekä polymeerimodifioidut bitumit (PMB). (Asfalttinormit 2017, s. 37)

Pehmeät asfalttibetonit (PAB) luokitellaan kahteen tyyppiin käyttökohteen tai valmiin päällysteen sideainelajin mukaan. Nämä kaksi alatyyppejä ovat PAB-B ja PAB-V. Mikäli pehmeässä asfalttibetonissa käytetään bitumiemulsiota, tulee siihen etuliitteeksi E. Pehmeä asfalttibetoni on alatyyppejä PAB-B, kun päällyste tehdään kulutuskerrokseksi ja siinä käytetty sideaine on pehmeää tiebitumia (tunkeumaluokaltaan 250/330, 330/430, 500/650 tai 650/900). Alatyyppin PAB-V asfalttibetonissa sideaineena on viskositeetti-luokiteltua bitumia V1500 tai V3000, mutta myös fluksattua bitumia BL2Bio voidaan käyttää tyyppin PAB-V pehmeissä asfalttibetoneissa. Fluksattu bitumi on liuottimen ja bitumin muodostama liuos. (Asfalttinormit 2017, s. 51)

Kivimastixiasfaltin eli SMA:n kiviaineksesta on oltava kalliomursketta vähintään 85 %. Sideaineeksi soveltuvat tiebitumit 35/50–100/150 sekä polymeerimodifioidut bitumit (PMB). SMA:ssa käytetään kuituja lisäaineena sitomassa bitumia. Kuitupitoisuus valitaan massan suunnittelun yhteydessä. (Asfalttinormit 2017, s. 56)

Vilkasliikenteisillä teillä ja kaduilla ylimpänä päällystekerroksena käytetään SMA- tai AB-päällysteitä, koska niillä saavutetaan paras kulutuskestävyys. SMA-päällysteiden kiviaineksen rakeisuuskäyrä on epäjatkua, minkä vuoksi se kestää kaikista päällysteistä parhaiten nastarengaskulutusta, mutta on myös kalliimpaa kuin AB-päällysteet. Maanteillä SMA:n käytön ajatellaan olevan kannattavaa silloin, kun kaistan vuorokautinen liikennemäärä on yli 2500 ajoneuvoa. Pehmeitä asfalttibetoneita käytetään vähemmän liikennöidyillä kohteilla, joiden alusrakenteet ovat yleensä routivia ja kantavuudeltaan heikompia kuin SMA- ja AB-kohteiden. PAB-B soveltuu kohteisiin, joissa keskivuorokausiliikenne on enintään 2500 ajoneuvoa. Joustavampaa PAB-V:tä käytetään silloin, kun keskivuorokausiliikenne on enintään 500 ajoneuvoa. PAB-päällysteitä ei yleensä käytetä teillä, joita joudutaan suolaamaan. (Liikennevirasto 2018, s. 61)

## 2.3 Valmiin päällysteen perusominaisuudet

Asfalttipäällysteen yksi tärkeä perusominaisuus on sen tasalaatuisuus, jotta päällyste on turvallinen liikenteelle ja siitä tulee kestävä. Päällystettä tehdessä siihen voi syntyä kiviaineslajittumia, sideaineen pintaan nousua tai halkeamia. Sideaineen pintaan nousuminen pienentää päällysteen pinnan kitkaa ja näin ollen vaarantaa liikenneturvallisuutta. Kiviaineslajittumat sen sijaan heikentävät päällysteen kestävyyttä ja näistä lajittumien kohdista päällyste purkautuu helpommin kuin tasalaatuinen päällyste. Edellä mainitut virheet tarkastetaan silmämääräisesti ja mahdolliset virheet luokitellaan InfraRYL:n tai sopimusasiakirjojen mukaisesti. (Asfalttinormit 2017, s. 19) Seuraavissa alaluvuissa on esitetty ominaisuudet, joilla päällysteen laatua tyyppillisesti mitataan.

### 2.3.1 Päällysteen koostumus

Päällysteen koostumus määritetään levittimen perästä otetuista tiivistämättömistä näytteistä, jotka otetaan menetelmän PANK 4007 mukaisesti. Taulukossa 2 on esitetty tieltä otettujen massanäytteiden sideainepitoisuuden ja rakeisuuden sallitut poikkeamat. Yksittäisen näytteen tulosta verrataan saatujen tulosten keskiarvoon. (Asfalttinormit 2017, s. 20)

**Taulukko 2.** *Tieltä otettujen massanäytteiden sideainepitoisuuden ja rakeisuuden (SFS-EN 12697-1 tai 12697-39) sallitut poikkeamat eri laatuvaatimusluokissa (A-D) (Asfalttinormit 2017, s. 20).*

Ominaisuus	Yksikkö	Yksittäinen näyte	
		A	B, C, D
Sideainepitoisuus	massa-%	± 0,4	± 0,5
8 tai 11 mm seulan läpäisy	massa-%	± 6	± 7
2 tai 4 mm seulan läpäisy	massa-%	± 4	± 6
0,5 mm seulan läpäisy	massa-%	± 3	± 5
0,063 mm seulan läpäisy	massa-%	± 2,0	± 3,0

Taulukkoa 2 ei sovelleta poranäytteistä saatujen tulosten arviointiin. Mikäli työmenetelmät mahdollistavat vanhan päällysteen sekoittumisen massanäytteeseen, ei taulukkoa voida käyttää. Laatuvaatimusluokat A-D määräytyvät keskivuorokausiliikenteen ja nopeusrajoituksen mukaan. Luokan A kohteet ovat keskivuorokausiliikenteeltään suurimmat ja luokan D kohteet pienimmät. (Asfalttinormit 2017)

### 2.3.2 Massamäärä

Massamäärävaatimukset asetetaan joko määrävaatimuksena yksikössä kg/m<sup>2</sup> tai paksuusvaatimuksena yksikössä mm, mutta kerrallaan niistä voi olla voimassa vain toinen. Työkohteissa on seurattava, ettei työvuoroittain levitetty massamäärä alita tilattua määrää. Toteutunut massamäärä (kg/m<sup>2</sup>) määritetään ensisijaisesti massapunnitusten avulla, josta edelleen voidaan laskea päällysteen paksuus kaavalla (1).

$$h = \frac{M}{\rho} * 1000, \quad (1)$$

jossa  $h$  on päällysteen paksuus (mm),  $M$  levitetty massamäärä (kg/m<sup>2</sup>) ja  $\rho$  päällysteen tiheys (kg/m<sup>3</sup>, standardin SFS-EN 12697-5 mukaan). (Asfalttinormit 2017, s. 18)

Massamäärää voidaan arvioida myös poranäytteiden perusteella, jolloin poranäytteitä on otettava vähintään 12 kpl niin, että ne edustavat koko päällystettyä pinta-alaa. Taulukkoon 3 on koottu massamäärien sallitut toleranssit, kun vaatimus on annettu yksikössä kg/m<sup>2</sup>.

**Taulukko 3.** Poranäytteistä määritettyjen massamäärien sallitut toleranssit (Asfalttinormit 2017, s. 19).

Massamäärä (kg/m <sup>2</sup> )	Keskiarvon alitus tilusta enintään (kg/m <sup>2</sup> )	Sidotut alustat yksittäisen porapalan sallittu alitus (kg/m <sup>2</sup> )	Sitomaton alusta yksittäisen porapalan sallittu alitus (kg/m <sup>2</sup> *)
50	1,50	8,50	**)
60	1,80	9,00	**)
75	2,25	9,75	**)
100	3,00	11,00	20
125	3,75	12,25	20
150	4,50	13,50	20
160	4,80	14,00	20
170	5,10	14,50	20

Taulukossa 3 \*) merkitty vaatimus koskee InfraRYL:n mukaisesti tasattuja alustoja. Sitomattoman alustan tasaukseen on käytettävä tarvittaessa InfraRYL:n luvussa 21411.2.2 esitettyä tasaumurskettä. Merkinällä \*\*) osoitettuja vaatimuksia ei suositella asetettaviksi. Massamäärän keskiarvo ei saa alittaa tilattua määrää yli 3 %:n. Sidotulle alustalle tehdyn päällysteen yksittäisen poranäytteen tulos saa alittaa 6 kg/m<sup>2</sup> + 5 % tilatun määrän. Sitomattomalla alustalla on käytössä vakio sallittu alitus. Sitomattomalle alustalle tehdyn päällysteen yksittäiselle porapalalle ei suositella asetettavaksi vaatimusta, kun massamäärä alittaa 100 kg/m<sup>2</sup>. Taulukossa 4 on esitetty poranäytteistä määritettyjen päällysteen paksuuksien sallitut toleranssit.

**Taulukko 4.** Poranäytteistä määritettyjen päällysteen paksuuksien sallitut toleranssit (Asfalttinormit 2017, s. 19).

Päällysteen paksuus (mm)	Sidotut alustat yksittäisen porapalan sallittu alitus (mm)	Sitomaton alusta yksittäisen porapalan sallittu alitus (mm)
40	4	10
50	5	10
60	5	10
80	-	10

Taulukon 4 mukaan päällysteen paksuuden keskiarvo ei saa alittaa tilattua määrää. Yksittäisestä porapalasta määritetty päällysteen paksuus saa alittaa tilatun määrän.

### 2.3.3 Tyhjätila

Tyhjätila on ominaisuus, joka kuvaa valmiin päällysteen tiivyyttä. Tyhjätilaa arvioidaan poranäytteiden, ainetta rikkomattoman menetelmän tai tiiviille päällysteelle soveltuvan pistekohtaisen mittauksen perusteella. Poranäytteiden perusteella tyhjätila arvostellaan tilastollisesti laskettujen tyhjätilapoikkeamien perusteella. Tyhjätilamääritys voidaan tehdä samoista poranäytteistä kuin massamäärän laskenta. (Asfalttinormit 2017, s. 20) Taulukkoon 5 on koottu sallitut tyhjätilat eri laatuvaatimusluokissa.

**Taulukko 5.** Sallittu tyhjätila ajoradalla eri laatuvaatimusluokissa A-D (SFS-EN 12697-8, PANK 4123) (Asfalttinormit 2017, s. 21).

Päällyste	Tyhjätila V (til-%)					
	Yksittäinen näyte			Keskiarvo		
	A, B	C	D	A, B	C	D
AB 5-8		≤ 7,0	≤ 8,0		≤ 6,0	≤ 7,0
AB 11		≤ 6,0	≤ 7,0		≤ 5,0	≤ 6,0
AB 16-22	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 6,0	1,0-4,0	≤ 4,0	≤ 5,0
SMA 5-22	≤ 6,0	≤ 6,0		1,0-5,0	≤ 5,0	
ABS 16-22	≤ 6,0			2,0-5,0		
ABK 22-32	≤ 8,0	≤ 8,0	≤ 8,0	≤ 7,0	≤ 7,0	≤ 7,0
AA 11-16		14-25			14-25	

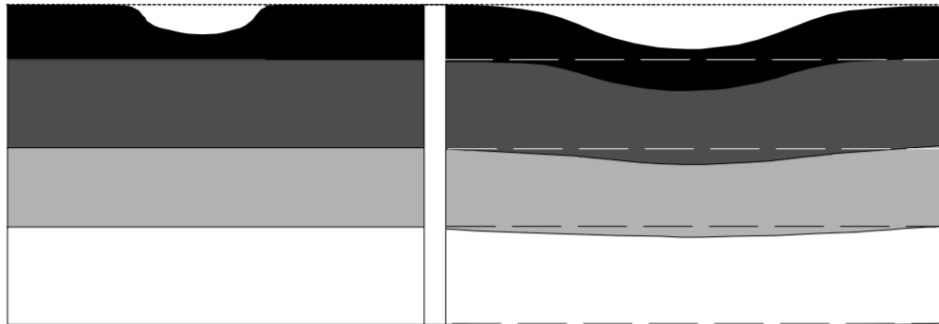
Päällysteiden säänkestävyyden kannalta saumojen tiivydellä on suuri merkitys, joten saumojen tiivistämiseen, lämmittämiseen ja liimaamiseen on syytä kiinnittää huomiota. Vaikka tyhjätila arvosteltaisiin ainetta rikkomattomilla menetelmillä, on päällysteen saumoista otettava silti poranäytteet, jotta niiden tiivyydestä voidaan varmistua. Saumojen poranäytteet on porattava niin, että sauma löytyy kokonaisuudessaan näytteestä. Saumanäytteiden tyhjätilan vaihteluväliin lisätään kaksi prosenttiyksikköä taulukossa 5 esitettyihin arvoihin. (Asfalttinormit 2017, s. 21)



## 2.4 Toiminnalliset ominaisuudet

### 2.4.1 Kulumiskestävyys

Päällysteen kuluminen ilmenee poikkisuuntaisena epätasaisuutena eli urautumisena, jonka pääasialliset syyt ovat nastarenkaiden kuluttava vaikutus sekä päällysteen, rakennekerrosten ja alusrakenteen pysyvät muodonmuutokset. (Tiehallinto 2002, s. 45) Urasyvyyden mittayksikkönä on millimetri ja se voidaan mitata oikolautamenetelmällä standardin SFS-EN 13036-7 mukaan.



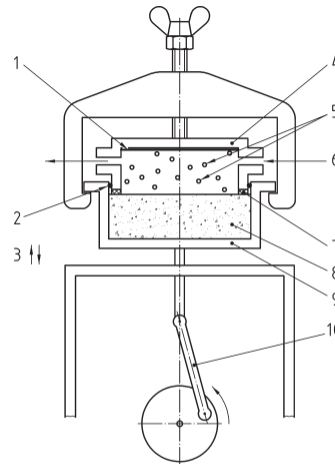
**Kuva 3.** Vasemmalla kulumisen aiheuttamaa urautumista ja oikealla pysyvistä muodonmuutoksista aiheutuvaa urautumista (Tiehallinto 2002, s. 45).

Kuvassa 3 on esitettyä urautumisen kaksi pääasiallista tyyppiä, jotka on hyvä osata erottaa, sillä kulumiskestävyys päällysteen ominaisuutena ei vaikuta pysyvien muodonmuutosten aiheuttamaan urautumiseen.

Päällysteen kulumiskestävyys kuvaa valmiin päällysteen kykyä vastustaa liikenteen aiheuttamaa nastarengaskulutusta. Päällystetyyppi, kiviaineksen kulutuskestävyys, sääolosuhteet ja nastarengaskuormitus vaikuttavat kulumiseen. Kulumiskestävyys määritetään tieltä otetuista poranäytteistä tai laboratoriossa valmistetusta näytteestä. Testimenetelmänä käytetään Prall-menetelmää tai SRK-menetelmää, joista SRK-menetelmää käytetään, kun on käytetty modifioitua sideainetta. (Asfalttinormit 2017, s. 25) Kulumiskestävyys on ominaisuutena tärkeä, sillä se on yksi neljästä päällysteen urautumista aiheuttavista tekijöistä ja pohjoisissa olosuhteissa sen merkitys on huomattava. Kulumista mitataan tieltä kuntomittauksilla. Kulumiskestävyuden huomioinnilla voidaan välttyä liian nopealta urautumiselta.

Kulumiskestävyudessa keskeistä on karkean kiviaineksen ominaisuudet, kuten lujuus, koko ja määrä. Esimerkiksi SMA-päällysteet ovat hyviä kulumiskestävyydeltään, koska kiviaineksen rakeisuuskäyrä on epäjatkua ja päällysteen kiviaineksessa on paljon karkeita rakeita, jotka kestävät kulutusta. Kiviaineksella voi olla hyvä iskunkestävyys, mutta silti sillä voi olla heikko kestävyys hiovaa kulutusta vastaan. (Tuomala 2020, s. 17)

Kuvassa 4 on yleiskuva Prall-menetelmässä käytettävästä laitteistosta.



**Selite**

1 Kumilevy	6 Jäähdytysveden sisään- ja ulostulo
2 O-rengas	7 Sileä kumirengas
3 Määrän liike	8 Näyte
4 Kansi	9 Näytekaulus
5 Teräspallot	10 Kiertokanki

**Kuva 4.** Prall-laitteiston yleiskuva (SFS-EN 12697-16, s. 8).

Testissä näyte asetetaan näytekauluskeeseen, jonka jälkeen sileä kumirengas asetetaan näytteen päälle ja teräskuulat renkaaseen. Testin aikana näytteen pinnalle johdetaan jäähdytysvettä. Testin aikana kiertokanki liikkuu edestakaisin pystysuuntaisesti, jolloin myös näytekammio liikkuu ja näytteen päällä olevat teräskuulat kuluttavat näytettä. Testin jälkeen huuhdeltu ja pintakuiva testinäyte punnitaan, jotta voidaan laskea kulumisarvo. Kulumisarvot ilmoitetaan millilitroina. Saatu mittaustulos kertoo, kuinka iso osa näytteestä on kulunut pois kuulien vaikutuksesta. Prall-menetelmän kulumiskestävyysluokat on esitetty taulukossa 6.

**Taulukko 6.** Tieltä porattujen näytteiden kulumiskestävyysluokat Prall-menetelmällä (Asfalttinormit 2017, s. 25).

PRALL-kulumisluokka	Prall-arvo $Abr_A$ (ml)
I	≤ 22
II	≤ 30
III	≤ 38
IV	≤ 46

Kohteiden laatuvaatimukset esitetään taulukon 6 mukaisina luokkina. Laadunarviointi tehdään tulosten keskiarvon pohjalta. Kiviaineksen nastarengaskulumiskestävyys määritetään kuulamylyarvon perusteella, minkä mukaan Prall-kulumisluokalle voidaan asettaa vaatimus valitun massatyypin mukaan. (Tuomala 2020, s. 26)

## 2.4.2 Vedenkestävyys

Päällysteen vedenkestävyys on tärkeä ominaisuus, joka kuvaa kiviaineksen ja sideaineen yhteensopivuutta. Myös asfalttimassan suunnittelu vaikuttaa vedenkestävyysominaisuuksiin. Vähäliikenteisillä teillä vedenkestävyyden merkitys korostuu, sillä pienen liikennemäärän vuoksi näiden päällysteet eivät vaurioidu deformaation tai kulumisen seurauksena. Vedenkestävyys tarkoittaa asfalttikiviaineksen ja sideaineen välisen tartunnan lujuutta ja pysyvyyttä, joten siihen vaikuttavat sekä kiviaineksen että sideaineen laatu. Vesi irrottaa kiviaineksen ja sideaineen toisistaan, mikäli vedenkestävyys ei ole tarpeeksi hyvä. Tällöin päällyste rapautuu ja alkaa purkautumaan. (Tiehallinto 2008, s. 31)

Vastuu taulukossa 7 esitettyjen vedenkestävyyden vaatimusten täyttymisestä on asfalttimassan valmistajalla. Vedenkestävyys kuvaa sideaineen ja kiviaineksen välistä tartuntaa. (Asfalttinormit 2017, s. 73)

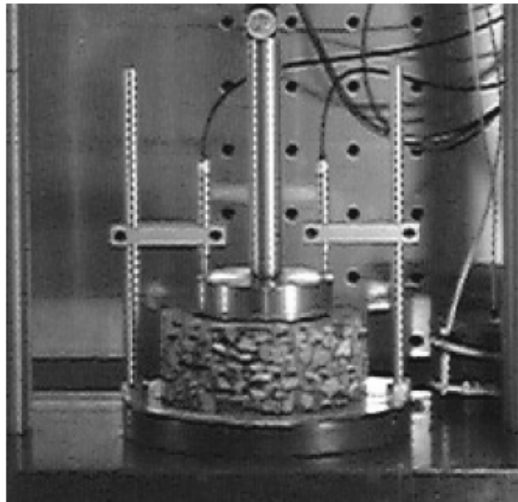
**Taulukko 7.** *Asfalttimassojen vedenkestävyydsvaatimukset suunnittelun mukaisella massalla (Asfalttinormit 2017, s. 73).*

Ominaisuus	Asfalttityyppi	Luokka	Vaatus	Menetelmä
ITSR-tarttuvuusluku, suunnittelun mukaisella massalla	AB, SMA	ITSR <sub>80</sub>	≥ 80 %	SFS-EN 12697-12, menetelmä A
ITSR-tarttuvuusluku, suunnittelun mukaisella massalla	PAB-B	ITSR <sub>60</sub>	≥ 60 %	SFS-EN 12697-12, menetelmä A
MYR-arvo	PAB-V	bv <sub>2,0</sub>	≤ 2,0 g	SFS-EN 12697-12, menetelmä C
MYR-arvo	PAB-B	bv <sub>2,0</sub>	≤ 2,0 g	SFS-EN 12697-12, menetelmä C, kun massa valmistetaan kuivaamattomasta kiviaineksestä

Standardin SFS-EN 12697-12 mukaisen menetelmän A tulos tarkoittaa märkänä ja kuivana säilytettyjen koekappaleiden halkaisuvetolujuuksien suhdetta. Menetelmän C tulos kertoo kokeen aikana näytteestä irronneen materiaalin kuivamassan grammoina. Kun vedenkestävyys testataan suunnitellun mukaisesta asfalttimassasta, on sen oltava vähintään 80 % AB- ja SMA-massoilla. PAB-massoilla vaatimus on vain 60 %. (SFS-EN 12697-12, s. 13)

### 2.4.3 Deformaatiokestävyys

Päällysteen deformaatiokestävyyttä tutkitaan standardin SFS-EN 12697-25 testimenetelmän A mukaisesti jaksollisella virumiskokeella. Koekappaleena käytetään lieriön mallista poranäytettä tai laboratoriossa valmistettua näytettä. Testin aikana näytteeseen kohdistetaan jaksottaista kuormitusta, joka aiheuttaa näytteeseen muodonmuutoksia eli deformaatiota. Kuvassa 5 on esitettyä virumiskokeessa käytettävä testilaitteisto. (SFS-EN 12697-25)



**Kuva 5.** Jaksollisen virumiskokeen testilaitteisto. (SFS-EN 12697-25, s. 16)

Deformaatio kuvaa päällysteeseen syntyviä pysyviä muodonmuutoksia, joten deformaatiokestävyys tarkoittaa päällysteen kykyä vastustaa pysyviä muodonmuutoksia. Korkeat lämpötilat ja raskaat ajoneuvot ovat potentiaalisia deformaation aiheuttajia. Kovempi bitumi parantaa päällysteen deformaatiokestävyyttä, mutta samalla se heikentää säänkestävyyttä. Päällysteen laatuvaatimukset esitetään taulukon 8 mukaisina luokkina. (Asfalttinormit 2017, s. 26)

**Taulukko 8.** Tieltä porattujen näytteiden deformaatioluokat (Asfalttinormit 2017, s. 26).

Deformaatioluokka	Pysyvä muodonmuutos $\epsilon_n$ (%) SFS-EN 12697-25A
I	$\leq 2,0$
II	$\leq 3,5$

Valmiin päällysteen laadunarviointi tehdään virumiskokeen tulosten keskiarvon perusteella (Asfalttinormit 2017, s. 26). Deformaatiokestävyyteen vaikuttavat oleellisesti asfalttimassassa käytetty kiviaines, bitumin kovuus, bitumin määrä ja lämpötila. Kiviaineksen osalta eniten deformaatiokestävyyteen vaikuttavat sen rakeisuus ja raemuoto. Maksimiraekoon kasvaessa deformaatiokestävyys yleensä paranee. Raemuodoltaan pyörei-

den rakeiden suuri määrä heikentää deformaatiokestävyyttä, koska pyöreät rakeet pääsevät liikkumaan helpommin toisiaan vasten kuin särmikkäät rakeet. Kovempi bitumi lisää deformaatiokestävyyttä samoin kuin alhaisempi bitumin määrä. Bitumia vähentämällä päällysteestä tulee jäykempi ja deformaatiokestävämpi, mutta bitumin vähentäminen lisää tyhjätillaa ja heikentää säänkestävyyttä. Lämpötilan vaikutus deformaatiokestävyyteen johtuu bitumin ominaisuuksien muuttumisesta lämpötilan suhteen; kuumassa auringossa bitumi on huomattavasti pehmeämpää kuin matalissa lämpötiloissa.

#### **2.4.4 Jäätymis-sulamiskestävyys**

Päällysteen tulee kestää jäätymis-sulamissykliä aiheuttama rapauttava vaikutus. Asfalttimassasta jäätymis-sulamiskestävyys voidaan tutkia PANK-4306 mukaisella menetelmällä. Valmiin päällysteen jäätymis-sulamiskestävyydelle ei ole annettu tarkkaa vaatimusta. (Asfalttinormit 2017, s. 26) Testausmenetelmä on kehitetty osana Asfadur-projektia (Halonen et al. 2012, s. 102).

Päällysteen jäätymis-sulamiskestävyys voidaan määrittää menetelmän PANK-4306 testimenetelmällä A tai B. Testimenetelmässä A koekappaleet jäädytetään ilmassa ja sulatetaan vedessä. Testimenetelmässä B molemmat vaiheet tapahtuvat vedessä. Molemmilla menetelmillä voidaan käyttää joko 12 tai 24 tunnin jäätymis-sulamissyklin pituutta. Asfalttimassoilla syklien määrä on 10 riippumatta käytettävästä testimenetelmästä. Menetelmällä B voidaan tutkia asfalttimassan liukkaudentorjunta-aineen kestävyys, jolloin veteen lisätään liukkaudentorjunta-ainetta. (PANK-4306 2011)

Jäätymis-sulamiskestävyys määritetään koekappaleiden halkaisuvetolujuuksista. Halkaisuvetolujuudet määritetään jäädytys-sulatusrasituksessa olleista näytteistä sekä vertailunäytteistä. Ennen halkaisuvetolujuuksien määrittämistä kaikki koekappaleet on saatettava samaan vedellä kyllästysasteeseen, jotta rasitettujen kappaleiden tyhjätillassa oleva vesi ei vääristä tuloksia. Saatuja tuloksia verrataan toisiinsa ja näin saadaan selville päällysteen jäätymis-sulamiskestävyys. (PANK-4306 2011) Asfalttinormeissa (2017) ei ole esitetty vaatimuksia testin tulokselle, koska vertailuarvoja ei ole.

## **2.5 Asfalttimassan valmistaminen**

Suomessa käytettävät asfalttiasemat voidaan jakaa annosasemiin ja jatkuvatoimisiin asfalttiasemiin. Yleisin asematyyppi on annosasema. Asfalttiasemia on kiinteitä ja siirrettäviä. Annosasemalla eri kiviainesjakeet syötetään rumpuun valmistusohjeen mukaisesti, jotta kiviainesten suhde pysyy oikeana. Rummussa kiviaines kuumennetaan haluttuun lämpötilaan, minkä jälkeen se seulotaan kuimalajikkeiksi ja varastoidaan kuuman kiviain-

neksen siiloihin. Silloista punnitaan tarvittava määrä kiviaineksia sekoittimeen, jossa kiviainekseen lisätään myös sideaine. Tässä vaiheessa lisätään myös muut raaka-aineet, kuten esimerkiksi täytejauhe. Valmis asfalttimassa voidaan purkaa sekoittimesta auton kyytiin tai kuumamassasiiloihin. (PANK 2018c, s. 1)

Jatkuvatoimisella asfalttiasemalla asfalttimassaa ei valmisteta annoksittain, vaan valmistusprosessi on käynnissä koko ajan. Rumpusekoitinasemalla kiviainesjakeet syötetään massan tai tilavuuden perusteella säätyvillä syöttölaitteilla, jolloin kuumennettava kiviaines on oikeanlaista valmistettavaan asfalttimassaan. Kuivausrumpuun syötetään myös sideaine, täytejauhe ja muut mahdolliset lisäaineet. Jatkuvatoimisella asfalttiasemalla on tiukemmat vaatimukset kiviaineksen rakeisuuden suhteen, koska kiviainesta ei seulota annosaseaman tapaan kuumennuksen jälkeen. (PANK 2018c, s. 14)

## 2.6 Päälysteiden levitys ja tiivistäminen

Ennen päällystysten aloittamista on tarkistettava reunatukien sijainnit ja korkeusasetmat, jotta päällyste voidaan tehdä suunnitellusti. Asemalta asfalttimassa lastataan kuorma-autoihin ja massakuormat on peitettävä kuljetuksen ajaksi. Asfalttimassa levitetään ja tiivistetään kaikissa työtavoissa normaaliin tapaan. Massa pyritään levittämään mahdollisimman tasaisena kerroksena päällystettävälle pinnalle ja pituussuuntaiset saumat tehdään lähtökohtaisesti ajokaistojen reunoille. Kun päällystetään sidotulle alustalle, on päällyste aina liimattava alustaansa. (InfraRYL 2020/2 2020)

Päällystystyötä ei saa tehdä sateen aikana eikä massaa levitetä alustalle, joka on märkä tai jäinen. Asfalttinormien (2017) mukaan päällystäminen edellyttää 5°C lämpötilan. Päällystäminen alle 5°C lämpötilassa edellyttää, että urakoitsija ja tilaaja sopivat noudatettavista laatuvaatimuksista. Märkä tai jäinen alusta heikentävät päällysteen laatua. Mikäli työtä tehdään poikkeavissa olosuhteissa, on sen vaatimuksista sovittava tapauskohtaisesti. Päällysteen saumat puhdistetaan ennen uuden massan levittämistä, jotta saavutetaan hyvä tartunta. Jäähtyneet saumat joko liimataan tai lämmitetään levittimeen asennettavalla sauman lämmittimellä. PAB-päällysteiden saumoja ei liimata eikä kuumenneta. (InfraRYL 2020/2 2020; Asfalttinormit 2017, s. 17)

Mikäli asfalttimassan levittäminen keskeytyy niin pitkäksi ajaksi, että massa ehtii jäähtymään alle sallitun levityslämpötilan, on levitin käytettävä tyhjäksi ja tehtävä poikkisauma. Poikkisaumat tehdään suoriksi ja niiden suunta on aina kohtisuorassa levitettävää kaistaa vasten. Levitetty asfalttimassa tiivistetään vaatimusten mukaiseen tiiveyteen ja tasaisuuteen. (InfraRYL 2020/2 2020)

Jyräämällä tiivistettävät asfalttipäällysteet ovat keskenään hyvin samanlaisia tiivistettävyydeltään, joten tiivistämiseen liittyvät ohjeet ovat lähes yhtenäisiä. Tiivistämisen onnistuminen vaatii oikeanlaisen jyräskaluksen ja lisäksi kaluston on vastattava levityskapasiteettia, jotta jyräys voidaan tehdä tarvittavan monta kertaa ja riittävän hiljaisella nopeudella. Asfalttimassan tiivistäminen jaetaan kolmeen vaiheeseen, jotka ovat esi-, tiivistys- ja jälkijyräys. Eri vaiheisiin käytettävä aika riippuu päällysteen jäähtymisestä, sillä liiaksi jäähtynyttä massaa ei voi enää tiivistää. Levittimen perässä oleva tamppari aloittaa esitiivistyksen ja se saatetaan loppuun varsinaisella jyrällä. Esitiivistyksen tarkoituksena on sulkea päällysteen pinta, jotta jäähtyminen hidastuu, ja tiivistää päällystettä. Lopullinen tiivistäminen tapahtuu tiivistysjyräyksessä, joka on tehtävä ennen kuin päällyste jäähtyy alle 75°C:n. Tiivistysjyräyksen ensimmäiset tiivistyskerrat on tehtävä massan lämpötilan ollessa yli 115°C. Jälkijyräyksen tarkoituksena on tasata päällysteen pinnasta jäljet, jotka ovat muodostuneet tiivistysjyräyksessä. Tämä vaihe vaatii vielä yli 60°C lämpötilan. (PANK 2018b, s. 1–4)

### 3. ASFALTTIROUHEEN VALMISTUS, OMINAISUUDET JA KÄYTTÖ

Asfalttirouhe on käytöstä poistettua asfalttia eli toisin sanoen se on asfalttijätettä. Asfalttijätettä syntyy tie-, katu- ja aluerakenteiden purkutöissä sekä päällystystöiden yhteydessä. Asfalttipäällyste voidaan poistaa käytöstä paloina tai jyrsimellä. Asfalttirouhe on jyrsimällä tai paloista murskattua asfalttia ja se käytetään pääosin uuden asfalttimassan valmistukseen, jotta uutta bitumia ja kiviainesta voitaisiin säästää. (Väylävirasto 2020, s. 19 ja liite 2) Asfalttijätteen synty on keskittynyt kasvukeskuksiin ja erityisesti Etelä-Suomen alueelle. Asiantuntijahaastattelujen mukaan haja-asutusalueella ja pohjoisemmassa Suomessa asfalttirouhetta voidaan joutua varastoimaan vuosia ennen hyötykäyttöä, sillä rouhetta kertyy vuosittain niin vähän.

#### 3.1 Jyrsinrouhe

Asfaltin jyrsimä jaetaan kahteen päätyyppiin: kylmä- ja kuumajyrsimään. Kuumajyrsimässä vanhasta päällysteestä saatu asfalttirouhe käytetään heti syntypaikassa. Tämä on osa Remix- ja MPKJ-menetelmiä, joita ei käsitellä tässä työssä. (Katajamäki 2013, s. 11)

Kylmäjyrsimä voidaan jakaa tasaus- ja hienojyrsimään sekä laatikkojyrsimään. Tasaus- ja hienojyrsimällä tasataan päällysteen pinta eli vanha urautunut päällyste jyrsimällä urien pohjan syvyyteen. Hienojyrsimä pinta voidaan jättää liikenteelle, sillä se täyttää taseisuusvaatimukset. Tasausjyrsimä on puolestaan toimenpide, joka tehdään päällystettäviin kohteisiin. Laatikkojyrsimässä päällystettävä alue jyrsimään kokonaisuudessaan. (Katajamäki 2013, s. 11)



**Kuva 6.** Asfalttipäällysteen jyrsimää (Asfalttikallio 2020).

Kuvassa 6 on käynnissä asfalttipäällysteen kylmäjyrsimä. Jyrsinrouheen ominaisuuksiin vaikuttavat jyrsimän päällysteen laatu ja jyrsimätapa. Jyrsinrouhetta ei välttämättä tar-



vitse murskata jatkokäyttöä varten, vaan sen rakeisuus voi olla valmiiksi sopivaa asfalttikäyttöön. Jyrsinrouhetta voidaan myös murskata asfalttirouheeksi. (Katajamäki 2013, s. 10–11; Tiehallinto 2005, s. 10)

### 3.2 Asfalttipaloista murskattu rouhe

Asfalttipäällyste puretaan usein kaivinkoneella tai muulla työkoneella, jolloin syntyy eri kokoisia asfalttilaattoja. Purkamisen aikana tulisi kiinnittää huomiota siihen, ettei purkupaikalla asfaltin sekaan päädy sinne kuulumattomia materiaaleja, kuten esimerkiksi betonia tai asfaltin alla olevaa kivi- tai maa-ainesta. (Tiehallinto 2005, s. 10–11)



*Kuva 7. Käytöstä poistettua asfalttipäällystettä.*

Kuvassa 7 on käytöstä poistettua asfalttia varastokasalla. Paloina poistettu asfaltti on jo osittain rikkoutunut pienempiin paloihin, mutta kasassa on edelleen havaittavissa asfalttilaattoja ennen kuin se päättyy murskaimeen.



*Kuva 8. Vanhan päällysteen murskausta.*

Kuvassa 8 murskataan vanhaa päällystettä. Vanhaa päällystettä syötetään kaivinkoneella murskaimen suppiloon. Vierailun tuotantopaikan murskausprosessissa oli ensimmä-

mäisenä iskupalkkimurskain ja toisena kartiomurskain. Asfalttijätteen murskaaminen aiheuttaa vähemmän melu- ja pölyhaittoja kuin luonnonkiviaineksen murskaaminen (Tiehallinto 2005, s. 12).



**Kuva 9.** Murskattua asfalttirouhetta.

Kuvasta 9 voidaan havaita, että murskattu asfalttirouhe muistuttaa kalliomurskettä, mutta asfalttirouheen väri on hieman tummempaa siinä olevan sideaineen vuoksi. Palarouhe voi sisältää kaikkia asfalttilaatuja, sillä purkukohteissa ei yleensä eritellä eri laatuja, vaan kaikki sidotut kerrokset puretaan samaan kasaan. Lisäksi paloina poistetun asfaltin mukana varastokasaan päätyy tavallisesti myös pieniä määriä sitomattomien kerroksien materiaaleja.

### 3.3 Ominaisuudet

Asfalttirouheet sisältävät tyypillisesti yli 90 painoprosenttia kiviainesta ja niiden bitumipitoisuus on 2–6 % (Tiehallinto 2005, s. 10–11). Asfalttirouheen tulee täyttää standardin SFS-EN 13108-8 vaatimukset ja puhtausluokan on oltava F1. Vieraiden aineiden määrä asfalttirouheessa määritetään standardin SFS-EN 12697-42 mukaisesti. Asfalttimassan valmistuksessa asfalttirouhetta voi käyttää Asfalttinormien mukaan enintään 50 %, kun massa tehdään kulutuskerrokseen. Muiden sidottujen rakennekerroksien asfalttimassoihin voidaan käyttää rouhetta jopa 70 %. Rouheen määrän ylittäessä 10 % on se lämmitettävä. Tilaaja voi antaa luvan tai esittää vaatimuksen käyttää asfalttirouhetta enemmän kuin edellä mainittiin. Asfalttinormien (2017) mukaan asfalttirouheen kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyys on tutkittava, mikäli kohteen luokkavaatimus on  $A_{N7}$  tai  $A_{N10}$ . Asfalttirouheesta ilmoitettavat tiedot ja testattavat ominaisuudet ovat esitettynä taulukossa 9. (Asfalttinormit 2017, s. 91)

**Taulukko 9.** *Asfalttirouheesta ilmoitettavat tiedot ja testattavat ominaisuudet (Asfalttinormit 2017, s. 92).*

Käyttökohde	Asfalttirouheen määrä (%)	Ilmoitettavat tiedot	Vaatimukset
Kulutuskerros	≤10%	Raekokojakautuma ja sideainepitoisuus	Ilmoitettava, testataan 2000 t välein
Kulutuskerros	>10%	Raekokojakautuma ja sideainepitoisuus	Ilmoitettava, testataan 2000 t välein, vähintään 5 näytettä
		Kiviaineksen maksimi raekoko	Ilmoitettava, $D_{RA} \leq D$
		Asfalttityyppi (AB, PAB-B, PAB-V, VA, SMA, ABS tai ABK)	Ilmoitettava
		Sideaineen tyyppi sekä tunkeuma tai pehmenemispiste tai viskositeetti	Ilmoitettava Vähintään 2 testiä/murskauserä.
Muut sidotut rakennekerrokset	≤20%	Raekokojakautuma ja sideainepitoisuus	Ilmoitettava, testataan 2000 t välein
Muut sidotut rakennekerrokset	>20%	Raekokojakautuma ja sideainepitoisuus	Ilmoitettava, testataan 2000 t välein, vähintään 5 näytettä
		Kiviaineksen maksimi raekoko	Ilmoitettava, $D_{RA} \leq D$
		Asfalttityyppi (AB, PAB-B, PAB-V, VA, SMA, ABS tai ABK)	Ilmoitettava
		Sideaineen tyyppi sekä tunkeuma tai pehmenemispiste tai viskositeetti	Ilmoitettava Vähintään 2 testiä/murskauserä.

Asfalttirouheessa olevan bitumin ominaisuudet ovat muuttuneet ajan myötä siitä, kun alkuperäinen asfalttimassa on valmistettu ja levitetty päällysteeksi. Tätä ominaisuuksien muuttumista kutsutaan bitumin vanhenemiseksi. Vanheneminen voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin: pitkä- ja lyhytaikaiseen vanhenemiseen. Lyhytaikainen vanheneminen on käytännössä asfalttimassan valmistuksessa tapahtuvaa, joka huomioidaan suunnittelussa. Pitkäaikainen vanheneminen on valmiissa päällysteessä useiden vuosien aikana tapahtuvaa muuttumista. Bitumin vanheneminen kasvattaa sen jäykkyyttä ja viskositeettia, mikä johtaa pienempään tunkeumaan ja murtumispisteeseen. Vanheneminen vaikuttaa myös sideaineen fysikaaliskemiallisiin ominaisuuksiin ja sen tartuntakykyyn. (Karlsson & Isacsson 2006)

Karlssonin ja Isacssonin (2006) mukaan bitumia voidaan elvyttää pehmentimillä ja varsinaisilla elvyttimillä. Pehmentimillä pyritään lisäämään ainoastaan bitumin viskositeettia eli kasvattamaan tunkeuma-arvoa. Pehmentiminä voidaan käyttää tarkoitukseen sopivia liuottimia ja öljyjä. Elvyttimillä parannetaan sen lisäksi bitumin reologisia ominaisuuksia. Elvyttimiksi soveltuvat esimerkiksi viskositeettiluokitellut bitumit. Elvyttimien vaikutukset päällysteen laatuun on tutkittava, jotta niiden käyttö voidaan huomioida uuden massan valmistamisessa ja levittämisessä. (Karlsson & Isacsson 2006)

Elvyttimellä parannetun vanhan sideaineen tulee täyttää tehtävän massan sideaineelle asetetut vaatimukset, jotta päällysteestä tulee tasalaatuinen. Asfalttinormien (2017) mukaan sideaineet luokitellaan tunkeuman mukaan. Tunkeumaluokka on lopputuotteen sideaineen arvioinnin kriteerinä Suomessa. (Asfalttinormit 2017, s. 94) Ruotsissa asfalttimassoista, joissa on käytetty asfalttirouhetta, tutkitaan lopputuotteen sideaineen pehmenemispiste ja sille on annettu omat vaatimukset. (Trafikverket 2020, s. 70–71) Elvyttimen tulee olla kemiallisilta ominaisuuksiltaan sellainen, että se sekoittuu vanhan sideaineen kanssa ja lisäksi niiden yhdessä tulee muodostaa pysyvä seos. Mikäli elvytin on kemiallisilta ominaisuuksiltaan erilainen kuin elvytettävä sideaine, on riskinä niiden erottuminen valmiissa päällysteessä. Tämä erottuminen aiheuttaa päällysteen lujisuuden pienentymistä ja lisäksi elvytin voi nousta päällysteen pintaan vähentäen sen kitkaa. (Karlsson & Isacsson 2006)

### 3.4 Varastointi

Valtioneuvoston asetuksen 846/2012 mukaan asfalttijätettä ovat asfalttirouhe, asfaltin palat ja paloista valmistettu asfalttimurske. Asfalttijätteen varastointi on ympäristölupamenettelyn alaista toimintaa ja toiminnanharjoittajalla on velvollisuus tarkastaa vastaanottamansa asfalttijäte ja sen mukana toimitettava siirtoasiakirja. Toiminnanharjoittajalla on oltava ohjeet asfalttijätteen vastaanotosta, varastoinnista ja käsittelystä. Lisäksi pitää olla ohjeet tehtävästä seurannasta ja tietojen toimittamisesta valvovalle viranomaiselle. (Valtioneuvoston asetus 846/2012)

Asfalttirouheen jatkokäytön kannalta varastoinnilla on suuri merkitys, sillä erilaiset asfalttilaadut ja -tyypit tulisi pitää erillään optimaalisen jatkokäytön vuoksi. Parhaimmillaan toiminnanharjoittaja ohjaa kuorman tarkkuudella tulevan asfalttijätteen parhaaksi katsoomaansa varastokasaan. Tällöin on mahdollista pitää erillään hyvälaatuiset asfalttijätteet, jotta ne voidaan jatkokäyttää sellaisenaan. On havaittu, että vastaanottoaikan ohjauksesta huolimatta varastokasoihin päätyy niihin kuulumatonta materiaalia. Asfalttijätteen lajittelu on kierrättämisen kannalta tehokkain keino lisätä asfalttirouheen käyttöä. Huolellisen lajittelun avulla on saatavilla hyvälaatuisia asfalttirouhetta eri asfalttimassalaatua ajatellen, jolloin myös käytetyn asfalttirouheen määrää voidaan kasvattaa. (Tiehallinto 2005, s. 11)

Varastokasojia ei voida toteuttaa samaan tapaan kuin kalliomurskeiden varastokasat, koska asfalttijätteessä on bitumia ja materiaali on tällöin sitoutuvaa. Tämän vuoksi varastokasojen päällä ei tule ajaa työkoneilla ja kasat pitää tehdä pyöräkuormaajalla nos-

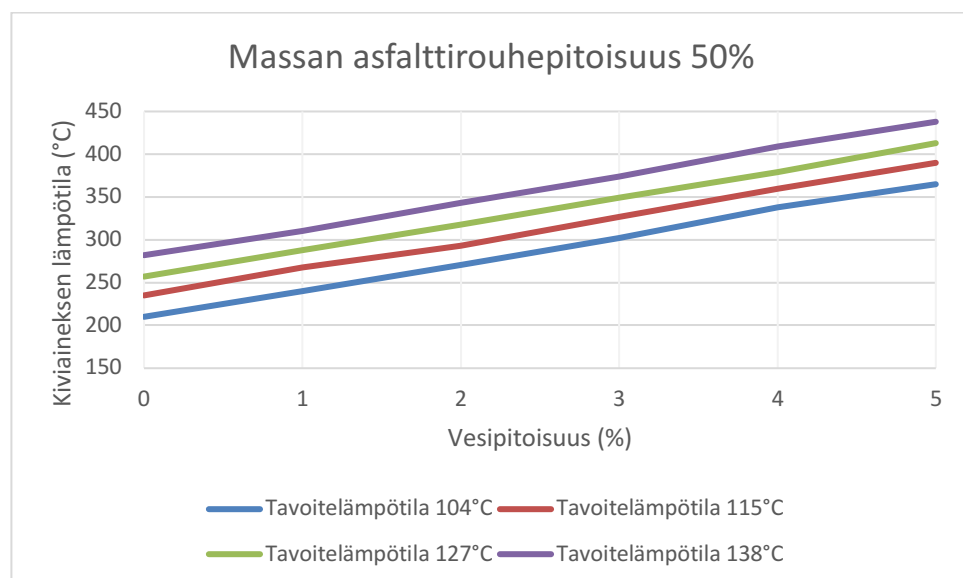
taen. Tällöin varastokasojen korkeus on hyvin rajallinen, mikä aiheuttaa lisää varastoalueen pinta-alatarvetta verrattuna luonnonkiviainesten varastointiin. (Tiehallinto 2005, s. 12)

### 3.5 Rouheen käyttö asfalttiasemalla

Asfalttirouheen käytölle omat vaatimuksensa asettaa asfalttiasemalla käytössä oleva tekniikka, joka vaikuttaa rouheen käyttömäärään ja -tapaan. Suomalaisilla toimijoilla on käytössään kolme eri tekniikkaa asfalttirouheen lisäämiseksi ja sekoittamiseksi. (Väylävirasto 2021a, s. 13) Väyläviraston julkaisussa 39/2021 eri tekniikat jaoteltiin kylmä-, keski- ja erillisrumpusyöttöön.

Kylmäsyöttöasemalla rouhe syötetään lämmittämättä sekoittimeen, jolloin rouhetta voidaan käyttää alle 10 % määrää. Keskisyötöllä asfalttirouhe lisätään kiviainesrumpuun vasta liekin jälkeen rummun keskiosasta, jolloin asfalttirouhe ei joudu suoraan kosketukseen liekin kanssa ja sideaine ei syty palamaan. Keskisyötöllä rouhemäärää voidaan kasvattaa 20–40 %:iin. Mikäli rouhetta halutaan käyttää vielä enemmän, onnistuu se erillisrumpusyötöllä, jossa asfalttirouheen kuumennukselle on oma rumpunsa. Erillisrumpusyötöllä päästään jopa 70–80 %:n rouhepitoisuuksiin. (Väylävirasto 2021a, s. 13)

Asfaltin valmistuksessa kiviaineksen lämmittämiseen hyödynnetään asfalttiaseman savukaasuja, joilla kiviaines lämmitetään nopeasti tavoiteltuun lämpötilaan. Kiviaineksen tavoitelämpötila riippuu rouhemäärästä ja asfalttiasemalla käytössä olevasta tekniikasta, sillä esimerkiksi keskisyötöllä kiviaines joudutaan lämmittämään normaalia kuumemmaksi rouhemäärän kasvaessa. Kuumennuslämpötilan nostaminen johtuu siitä, että kiviaines luovuttaa osan lämpöenergiasta asfalttirouheeseen. Lämpötilan muutostarpeeseen vaikuttavat rouhemäärä ja sen vesipitoisuus. (Väylävirasto 2021a, s. 14)



**Kuva 10.** *Asfalttirouheen vesipitoisuuden merkitys kiviaineksen lämmittämiseen asfalttimassan valmistuksessa. Kuvaajat on tehty lähteen Zaumanis&Mallick (2015, s. 3) mukaan.*

Kuvasta 10 nähdään, että kiviaineksen kuumennuslämpötilaa joudutaan nostamaan, kun asfalttirouheen vesipitoisuus kasvaa. Tämä johtuu ylimääräisen veden sitomasta lämpöenergiasta. Kahden prosentin nousu vesipitoisuudessa aiheuttaa karkeasti 50°C suuremman kiviaineksen kuumennukseen tarvittavan lämpötilan, jotta haluttu massan tavoitelämpötila voidaan saavuttaa. (Zaumanis&Mallick 2015, s. 3)

### **3.6 Asfalttirouheen käyttökohteet**

Vuonna 2020 Suomessa valmistettiin asfalttia noin 7,55 miljoonaa tonnia, joista 22 % sisälsi asfalttirouhetta (Laurila 2020). Vuonna 2019 Suomessa otettiin talteen 1 500 000 tonnia asfalttijätettä (EAPA 2019, s. 9). Asfalttinormit 2017 antaa mahdollisuuden käyttää rouhetta kulutuskerroksissa 50 % ja muissa sidotuissa rakennekerroksissa jopa 70 %. Yleensä rouhe-% vaihtelee 10 ja 40 välillä, mutta esimerkiksi AB-massoja on tehty tilaajan mahdollistamana 80 % rouhepitoisuudella. Rouhetta käytetään pääasiassa AB-, ABK- ja PAB-massoissa. Esimerkiksi ELY-keskusten urakoissa rouheen käyttö SMA-massoissa on kielletty. (Asiantuntijahaastattelut 2021)

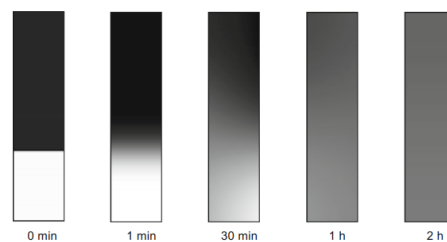
EAPA:n (2019) tilastossa mukana olleista Euroopan valtioista Suomi oli edelläkävijä ja täällä käytettiin eniten asfalttirouhetta asfalttimassan valmistuksessa. Tilastosta käy ilmi, että asfalttirouheen käyttökohteet eroavat hyvin paljon eri maiden kesken. Pahimmillaan jopa 75 % asfalttirouheesta päätyi kaatopaikalle. (EAPA 2019, s. 9)

## 4. ASFALTTIROUHEEN KÄYTTÖ PAB-PÄÄLLYSTEISSÄ

### 4.1 Sideaineiden sekoittuminen

Ekblad ja Lundström (2016) ovat tutkineet asfalttirouheen käyttöä pehmeissä asfalttibetoneissa. Tutkimuksen tarkoituksena oli osoittaa, että asfalttirouheen kova sideaine on mahdollista kompensoida pehmeällä sideaineella ja näin saavuttaa halutun kaltainen pehmeä asfalttibetoni. Tutkimuksessa käytettiin kolmea erilaista neitseellistä sideainetta, jotka olivat V1500, V3000 ja V6000.

Sideaineet olivat viskositeettiluokiteltuja, joten tutkimuksen tuloksia voidaan verrata Suomen PAB-V massoihin. Tutkimuksessa käytetyn asfalttirouheen sideaineen tunkeuma oli 21 yksikköä ja pehmenemispiste oli 64,2 °C. Sideaineen sekoittumista tapahtuu asfalttimassan valmistuksessa kahdella eri tavalla: mekaanisesti sekoittamalla ja diffuusiolla.



**Kuva 11.** Viskositeettiluokitellun sideaineen ja rouheen sideaineen sekoittuminen diffuusiolla (Ekblad & Lundström 2016, s. 6).

Kuvassa 11 on havainnollistettu uuden neitseellisen viskositeettiluokitellun sideaineen ja rouheen sideaineen sekoittumista diffuusiolla. Ajanhetkellä 0 ylhäällä musta osuus esittää jäykempää rouheen sideainetta ja valkoinen osuus pehmeämpää bitumia. Testin aikana lämpötila on ollut 100 °C, joka täyttyy myös PAB-massojen valmistuksessa kuuma-aseilla. Kahden tunnin aikana sideaineet olivat sekoittuneet täysin diffuusion vuoksi. (Ekblad & Lundström 2016, s. 6) Taulukossa 10 on esitettyä tutkimuksessa valmistetut testimassat.

**Taulukko 10.** Tutkimuksessa tehdyt testimassat (Ekblad & Lundström 2016, s. 8).

Asfalttimassa	Rouheen osuus (paino-%)		Viskositeetti 60 °C (mPas)
	Asfalttimassasta	Sideaineesta	
Referenssi (V6000)	0	0	7090 (mitattu)
V3000 + rouhe	10,9	13,5	7 090
V1500 + rouhe	15,4	18,9	7 090
V6000 + 20 % rouhe	20,0	24,2	30 200
V6000 + 40 % rouhe	40,0	45,9	111 000

Taulukon 10 referenssimassassa on ollut sideaineena viskositeettiä luokiteltu bitumi V6000, jonka mitattu viskositeetti on valittu vertailuarvoksi. Kun sideaine V6000 vaihdettiin V3000:een ja lisättiin rouhetta noin 10 %, saatiin lopputuotteen sideaineen viskositeetiksi sama kuin vertailuarvo. Sideaineella V1500 rouhetta pystyttiin lisäämään noin 15 % niin, että vertailuarvo vielä saavutettiin. Rouhetta lisättiin myös massaan, jossa oli sama sideaine kuin vertailumassassa. Tällöin rouheprosentin ollessa 20 lopputuotteen sideaineen viskositeetti oli jo nelinkertainen verrattuna vertailumassaan. Sideaineet sekoittuivat keskenään, mutta liian suurella rouheprosentilla lopputuotteen sideaine ei täyttä enää haluttuja ominaisuuksia. (Ekblad & Lundström 2016, s. 8)

Lehtimäen (2012) mukaan myös elvyttimien ja asfalttirouheen vanhan sideaineen välillä tapahtuu diffuusiota. Diffuusion merkityksen on todettu kasvavan, kun vaikutusaikaa pidennetään ja lämpötilaa nostetaan. Elvyttimet muodostavat aluksi kalvon vanhan sideaineen pinnalle ja tämän viskositeetti on hyvin pieni. Tämän jälkeen elvytintunkeuma alkaa tunkeutumaan sideaineeseen, jonka viskositeetti alkaa pienentymään. Lopulta diffuusion vaikutuksesta vanhan sideaineen viskositeetti on kauttaaltaan sama. (Lehtimäki 2012, s. 28–29)

## 4.2 Käytännön kokemuksia

Asfalttirouheen käytölle PAB-päällysteissä ei ole asetettu mitään poikkeavia rajoituksia Asfalttinormeissa, vaan kulutuskerroksessa rouhetta voitaisiin käyttää maksimissaan 50 %. (Asfalttinormit 2017, s. 91) PAB-päällysteiden sideaineena käytetään pehmeitä tiebitumeja, joiden tunkeumat ovat suurempia kuin AB-päällysteiden. Kuitenkin rouheet ovat yleensä peräisin AB-päällysteistä, sillä PAB-päällysteitä jyrjitään tai puretaan paloina hyvin harvoin. AB-päällysteistä peräisin olevan rouheen sideaineet ovat olleet jo alkujaan kovempia kuin pehmeissä asfalttibetoneissa käytettävät sideaineet ja lisäksi rouheiden sideaine on vanhentunut ja siten tunkeuma on pienentynyt. (Asiantuntijahaastattelut 2021)

Rouheen sideaineen kovuus aiheuttaa omat rajoituksensa rouheen maksimimäärälle, sillä isolla AB-rouhemäärällä on vaikea saada lopputuote, jonka sideaine täyttää pehmeän tiebitumin vaatimukset. PAB-massoja voidaan valmistaa tavallisella kuuma-aseamalla ja lisäksi niin sanotulla turboasemalla, jossa kiviaines ja rouhe lämmitetään vesihöyryllä. Turboasemalla ei päästä yhtä korkeisiin lämpötiloihin kuin kuuma-aseaman rum-pukuumennuksella, joten myös maksimi rouhe-% on tällöin pienempi. Kylmäsytöllä rou-



hetta voidaan lisätä maksimissaan 20 %, turboasemalla 50 % ja tavallisella kuuma-ase-malla jopa 80 %. Jotta rouheen määrä voidaan nostaa 80 %:iin, on rouheen oltava pe-räisin PAB-päällysteestä. (Asiantuntijahaastattelut 2021)

Kokemuksien mukaan rouheen ja uuden massan sideaineet sekoittuvat hyvin. Sideai-neiden sekoittumista tarkkaillaan silmämääräisesti, kuten muidenkin asfalttimassojen valmistuksessa. Riskinä sekoitettaessa on liian pitkä sekoitusaika, joka aiheuttaa sideai-neen paakkuuntumista. Riskejä ja epävarmuustekijöitä ei ole juuri havaittu liittyen rou-heen käyttöön PAB-päällysteissä. AB-rouheen käyttäminen kasvattaa valmiin päällys-teen deformaatiokestävyyttä, koska sideaine on kovempaa. Tämä on hyödyksi esimer-kiksi alueilla, joilla liikkuu verrattain paljon raskasta liikennettä, sillä siellä neitseellisistä materiaaleista tehdyn PAB-päällysteen kyky vastustaa deformaatiota ei ole välttämättä riittävän hyvä. Suuri rouhe-% tekee päällysteestä jykemmän, joten tällainen päällyste ei kestä niin hyvin routivalla pohjalla eli päällyste ei toimi enää PAB-päällysteen tavoin. (Asiantuntijahaastattelut 2021)

## 4.3 PAB-kohteita

### 4.3.1 Asfalttirouheen käyttäminen PAB-kohteissa

Asiantuntijahaastatteluiden perusteella asfalttirouheen käytölle PAB-päällysteissä on hy-vin vaihtelevia käytäntöjä, mikä näkyy myös Väyläviraston kohteiden toteumatiedoista. Väyläviraston tilaamalla PAB-B-kohteilla on saanut käyttää asfalttirouhetta ja sitä on käy-tetty vaihtelevissa määrin. Vuosina 2012–2020 tehtyjen Väyläviraston PAB-B-päällystei-den, joissa on käytetty asfalttirouhetta, määrät on koottu taulukkoon 11.

**Taulukko 11.** Vuosina 2012–2020 tehtyjä PAB-B päällysteitä, jotka on tehty massapintauksena tai laattana (Väylävirasto 2021b).

Käytetty asfalttirouheen määrä (%)	Määrä (km)	Keskivuorokausiliikenne (KVL)
5	24	557–871
8	1	225
10	63	133–1074
12	103	322–1133
20	115	225–2443
25	88	323–1442
30	124	93–2050
35	56	186–1193
40	12	218–805
50	67	361–2729
Yhteensä:	653	

Vuosien 2012–2020 aikana on tehty PAB-B päällysteitä noin 4 570 kilometriä, joista 653 kilometrillä on käytetty asfalttirouhetta 5–50 %. Nämä päällysteet on tehty erityyppisinä

massapintauksina tai laattana. Kohteista noin 14 %:ssa on käytetty asfalttirouhetta. Yleisimmin asfalttirouhetta on käytetty 20 % tai 30 %. Tehtyjen kohteiden keskivuorokausiliikenteet vaihtelivat välillä 133–2729. (Väylävirasto 2021b)

### 4.3.2 Tutkimuksessa katselmoidut kohteet

Tutkimuksen aikana käytiin katselmoimassa kolme Varsinais-Suomessa vuoden 2016 kesäkuussa päällystettyä tiekohdetta. Kohteet olivat valmistuneet kesäkuussa. Katselmointi tehtiin syyskuussa 2021. Tieosuuksien tiedot ovat taulukossa 12.

**Taulukko 12.** *Katselmoitujen kohteiden tiedot.*

	Kohde 1	Kohde 2	Kohde 3
Päällystetyyppi	PAB-B	PAB-B	PAB-B
Raekoko	16	16	16
Massa (kg/m <sup>2</sup> )	100	100	-
RC-%	10	10	10
Päällystysten työmenetelmä	Massapinta	Massapinta	Massapinta
Edellinen päällyste	-	PAB	PAB
Pituus (m)	3119	4335	5550
KVL	525	1071	688
Nastarengaskulumisluokka	A <sub>N</sub> 19	A <sub>N</sub> 19	A <sub>N</sub> 19
Valmistumisaika-kohta	06/2016	06/2016	06/2016

Taulukon 12 mukaisesti kaikkiin kohteisiin oli tehty PAB-B päällyste massapintauksena. Lisäksi tiedossa oli, että kohteissa 2 ja 3 oli ollut jo ennen päällystystä PAB-päällyste. Kohteiden keskivuorokausiliikenne vaihteli noin 500:n ja 1100:n välillä. Kiviaineksen nastarengaskulutusluokaksi oli valittu A<sub>N</sub> 19. Kaikkien kohteiden päällysteissä oli käytetty rouhetta 10 %. Kuvissa 12–14 on yleiskuvat kohteista.



**Kuva 12.** *Kohteen 1 yleiskuva.*



**Kuva 13.** Kohteen 2 yleiskuva.



**Kuva 14.** Kohteen 3 yleiskuva.

Kuvien 12–14 perusteella voidaan todeta, että yleisesti kaikkien kohteiden päällysteet olivat pääasiassa hyväkuntoisia, eikä kulumista tai laajoja vaurioita ollut havaittavissa. Taulukkoon 13 on koottu kohteissa havaitut vauriotyypit.

**Taulukko 13.** Kohteista havaitut vauriotyypit.

	Kohde 1	Kohde 2	Kohde 3
Purkauma	10–15 kpl	0–5 kpl	
Reikä		0–5 kpl	
Sideaineen pintaan nousu		1 kpl	
Avoin keskisauma		1 kpl	
Pituussuuntaiset halkeamat	5–10 kpl	15–20 kpl	40–50 kpl
Poikkisuuntaiset halkeamat	0–5 kpl	20–25 kpl	
Verkkohalkeamat		0–5 kpl	

Kohteesta 2 löytyi eniten erilaisia vauriotyyppejä, mutta vauriot olivat hyvin paikallisia, kuten muissakin kohteissa. Yleisesti voidaan todeta, että suurin osa havaituista vaurioista johtuu muusta kuin päällysteestä. Määrällisesti eniten havaittiin pituussuuntaisia

halkeamia, jotka johtuvat todennäköisimmin roudan vaikutuksesta. Seuraavissa kappaleissa on esitetty valokuvia vaurioista.

### **Purkaumat ja reiät**

Päällysteen purkaumassa pinnasta irtoaa kiviä ja lopulta päällyste reikiintyy, kun purkauma kehittyy riittävän pitkälle. Purkaumat johtuvat tyypillisesti sideaineen ja kiviaineksen välisestä huonosta tartunnasta. Huono tartunta voi johtua esimerkiksi kiviaineksen pinnalla ollut pöly, joka estää bitumin hyvän tartunnan. Myös asfalttimassassa olevan hienoaineksen määrä vaikuttaa tartuntaan, sillä karkea kiviaines irtoaa helpommin, mikäli mastiksia ei ole riittävästi. (Tie- ja katurakenteen suunnittelu 2018)

Purkaumat voivat johtua myös työvirheistä. Vauriotyyppinä nämä ovat tavallisimpia työvirheistä aiheutuvia päällysteen vaurioita. Työvirheistä purkauksia voivat aiheuttaa esimerkiksi märälle alustalle päällystäminen, kylmällä säällä päällystäminen sekä lajittumien muodostuminen. Lajittumasta päällysteeseen muodostuu epähomogeeninen kohta, jossa kiviaineksen tai sideaineen määrä eivät ole samanlaisia verrattuna muuhun päällysteeseen. Lajittumissa purkauksien riski kasvaa silloin, kun niissä on suurempi karkean kiviaineksen osuus kuin muualla. Tällöin päällysteen tyhjätila jää isommaksi ja rakenteeseen pääsee enemmän vettä. (Tie- ja katurakenteen suunnittelu 2018)



**Kuva 15.** Kohteessa 1 havaittu purkauma.



**Kuva 16.** Kohteessa 1 havaittuja purkaumia.

Kuvissa 15 ja 16 on purkaumia kohteessa 1. Purkaumat eivät olleet edenneet vielä rei'iksi, mutta päällyste oli jo lähes puhki. Purkaumat olivat hyvin pienialaisia ja yksittäisiä, joten ne johtuvat todennäköisimmin työteknisistä virheistä, kuten lajittumista. Kuvissa 17 ja 18 on kohteen 2 purkaumia.



**Kuva 17.** Kohteessa 2 havaittu purkauma.



**Kuva 18.** Kohteessa 2 purkauma edennyt reiäksi.

Toisen kohteen purkaumat olivat hyvin pieniä, mutta yksi purkauma oli edennyt jo reiäksi. Reikä on kuvassa 18 ja siitä nähdään, että se on muodostunut liikenteen suunnassa suojatien jälkeen, kun ajoneuvot kiihdyttävät nopeuttaan.

### **Sideaineen pintaan nousu**

Sideaineen pintaan nousussa päällysteen sideainepitoisuus on huomattavan suuri ja tyhjätila on hyvin pieni. Päällysteen pinta on sileä, jolloin kitkaominaisuudet ovat huonot. Pintaan nousua voivat aiheuttaa asfalttimassan liian suuri sideainepitoisuus tai liiallinen jyräys. Pintaan nousu on liikenneturvallisuutta alentava ilmiö, joka ei välttämättä palaudu alhaisilla liikennemäärillä. (Tie- ja katurakenteen suunnittelu 2018) Kuvassa 19 on sideaineen pintaan nousua kohteesta 2.



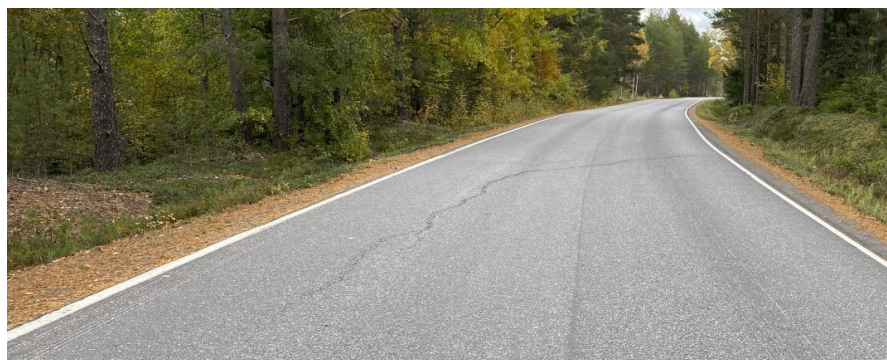
**Kuva 19.** Kohteessa 2 havaittua sideaineen pintaan nousua.

Sideaineen pintaan nousua oli havaittavissa ainoastaan kohteessa 2. Kuvan 19 perusteella voidaan todeta, että pintaan nousu on kohteessa melko vähäistä. Pintaan nousua oli toisella ajokaistalla noin 400 metrin matkalla.

### **Halkeamat**

Päällysteeseen voi syntyä useita erilaisia halkeamia. Halkeamatyypit ovat pituus-, poikkisuuntaiset halkeamat ja verkkohalkeamat. Lisäksi työteknisistä syistä johtuen voi syntyä saumahalkeamia. Halkeamat päästävät kantavaan kerrokseen vettä, jolloin kerroksen kantavuus heikkenee ja vaurioituminen kiihtyy. Pituussuuntaiset halkeamat syntyvät yleensä epätasaisen routanousun vuoksi, sillä päällysteeseen kohdistuu vetoa ja lopulta syntyy halkeama. Halkeamia voi syntyä myös lähelle reunaa, jolloin se voi aiheutua esimerkiksi tien reunan heikosta kantavuudesta tai huonosta kuivatuksesta. Tien reunan heikkoa kantavuutta aiheuttaa puutteellinen sivuttaistuki eli liian jyrkät reunaluiskat. (Tie- ja katurakenteen suunnittelu 2018)

Poikkihalkeamissa syntymekanismi on hyvin samankaltainen kuin pituussuuntaisissakin. Poikkihalkeamat syntyvät yleensä rakenteen tai pohjamaan muutoskohtiin. Tällaisia poikkeamia ovat esimerkiksi rakennekerroksien paksuusvaihtelu, tien alittavat putkikaivannot tai pohjamaan tyypin muutos. Verkkohalkeamat ovat nimensä mukaisesti halkeamia, jotka muodostavat verkkokuvion eikä halkeamalla ole havaittavissa yhtä pääsuuntaa. Tällainen vaurio syntyy useimmiten ajouraan liikennekuormituksesta aiheutuneen pitkälle edenneen väsymisvaurioitumisen seurauksena. Syynä on rakenteen heikko kuormituskestävyys. Saumahalkeamat syntyvät yleensä työvirheistä johtuen. Käytännössä saumat on lämmitettävä ja jyrättävä mahdollisimman pian, jotta niistä saadaan kestävä ja välttää halkeamilta. (Tie- ja katurakenteen suunnittelu 2018) Kuvissa 20 ja 21 ovat kohteessa 1 havaitut halkeamatyypit.



**Kuva 20.** Kohteessa 1 havaittu pituussuuntainen halkeama.



**Kuva 21.** Kohteessa 1 havaittu poikkisuuntainen halkeama.

Kohteessa 1 oli havaittavissa vain pituus- ja poikkisuuntaisia yksittäisiä halkeamia. Kuvassa 22 on kohteessa 2 havaittua alkavaa verkkohalkeamaa.



**Kuva 22.** Kohteessa 2 havaittua verkkohalkeamaa.

Kohteessa 2 oli havaittavissa yhdessä paikassa alkavaa verkkohalkeamaa toisella ajokaistalla. Verkkohalkeamat sijaitsevat ajourissa, joten ne johtuvat liikenteen kuormituksesta. Kuvissa 23–25 on pituus- ja poikkisuuntaisia halkeamia kohteissa 2 ja 3.





**Kuva 23.** Kohteessa 2 havaittuja pituussuuntaisia halkeamia.



**Kuva 24.** Kohteessa 2 havaittu poikkisuuntainen halkeama.



**Kuva 25.** Kohteessa 3 havaittuja pituussuuntaisia halkeamia.

Kuvien 23, 24 ja 25 halkeamatyypit johtuvat todennäköisimmin pohjamaan ja sitomattomien rakennekerrosten ongelmista, eivätkä päällysteestä. Kohteesta 3 ei havaittu muita vaurioita kuin pituussuuntaisia halkeamia. Katselmuksissa löydettiin myös yksi avoin keskisauma ja se sijaitti kohteessa 2 (kuva 26).



**Kuva 26.** Kohteessa 2 havaittu avoin keskisauma.

Kuvasta 26 voidaan havaita, että päällyste on alkanut purkautumaan auenneen keskisauman kohdalta. Sauman kohdalla oli havaittavissa jo pieniä reikiä. Löydetty vaurio oli hyvin lyhyellä matkalla.

#### **Yhteenveto katselmoiduista kohteista**

Katselmoiduista kohteista kahdessa löytyi päällysteestä johtuvia vaurioita, joita olivat purkaumat, reiät ja avoin keskisauma. Vaurioiden muodostumiseen liittyy oleellisesti sideaineen ja kiviaineksen välinen tartunta, johon vaikuttaa työtekniisten seikkojen lisäksi myös asfalttimassan sideaineen ominaisuudet. Päällysteissä on käytetty asfalttirouhetta 10 %, joten luonnollisesti osa valmiin massan sideaineesta on ollut vanhentunutta ja huomattavasti kovempaa kuin PAB-massoissa käytettävät pehmeät bitumit.

Vauriot olivat kuitenkin hyvin paikallisia ja niitä löydettiin vähän. Todennäköisimmin vauriot johtuvat päällystystyön aikana tapahtuneista virheistä, kuten massan lajittumisesta ja kylmästä keskisaumasta. Voidaan siis todeta, että maltillinen rouheen käyttäminen PAB-päällysteissä on mahdollista. Rouhetta käytettäessä on kuitenkin kiinnitettävä normaalia enemmän huomiota massan sekoittamisen onnistumiseen ja oikeisiin työtekniikoihin, jotta vältetään löydettyjen vaurioiden kaltaisia ongelmia.

Katselmoitujen kohteiden arvioidut korjaustarpeet on laskettu taulukkoon 14, jossa on myös valittujen referenssikohteiden korjaustarpeita Väyläviraston (2021b) mukaan. Referenssikohteet ovat valmistuneet vuosina 2015–2017 ja kaikkien päällyste on PAB-B.

Referenssikohteet valittiin siten, että ne sijaitsevat samojen maakuntien alueilla kuin katselmoidut tiekohteet. Kohteet olivat Satakunnan ja Varsinais-Suomen alueilla. Lisäksi myös referenssikohteissa on käytetty asfalttirouhetta ja ne vastaavat keskivuorokausiliikenteeltään kohteita 1–3. Korjaustarpeet laskettiin niin, että havaittujen vaurioiden kapalemäärä jaettiin tien pituuden suhteen. Korjaustarve ilmoitetaan yksikössä havaintoa per 100 metrin tieosuus. (Väylävirasto 2021b)

**Taulukko 14.** Kohteiden korjaustarpeet (Väylävirasto 2021b).

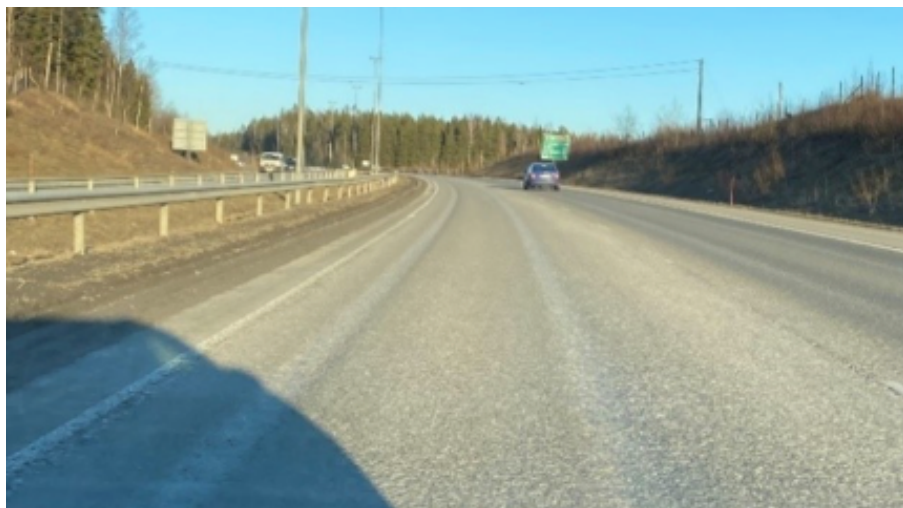
Kohde	Asfalttirouheen määrä (%)	Keskivuorokausiliikenne (KVL)	Korjaustarve (PVK)
Kohde 1	10	525	1
Kohde 2	10	1071	2
Kohde 3	10	688	1
Referenssi 1	10	266	0
Referenssi 2	10	587	0
Referenssi 3	10	675	0
Referenssi 4	20	553	5
Referenssi 5	20	1154	5
Referenssi 6	25	725	3
Ilman rouhetta	-	-	2

Taulukosta 14 voidaan havaita, että kohteiden 1–3 korjaustarpeet ovat samalla tasolla kuin referenssikohteiden. Korjaustarve kertoo, kuinka monta tehtyä havaintoa kohteessa on jokaista 100 metriä kohti. Lisäksi taulukkoon on laskettu ilman asfalttirouhetta tehtyjen kohteiden keskimääräinen korjaustarve, joka sai arvon 2. Ilman asfalttirouhetta tehtyjä kohteita vuosina 2015–2017 oli noin 1 695 km. Taulukon perusteella voidaan todeta, että kohteet 1–3 ovat kunnoltaan samalla tasolla kuin kohteet, joissa asfalttirouhetta ei ole käytetty. Kohteiden, joissa asfalttirouhetta on käytetty, seuranta on tehtävä pidempään kuin kolmen vuoden takuuajaksi. Asfalttirouheen vaikutus päällysteen toimivuuteen nähdään vasta pitkän aikavälin seurannassa. PAB-päällysteitä käytetään alempiluokkaisilla teillä, joissa päällysteen käyttöikä voi olla jopa kymmeniä vuosia. (Väylävirasto 2021b). (Väylävirasto 2021c, Liite 1)

## 5. ASFALTTIROUHEEN KÄYTÖN VAIKUTUKSET PÄÄLLYSTEIDEN OMINAISUUKSIIN

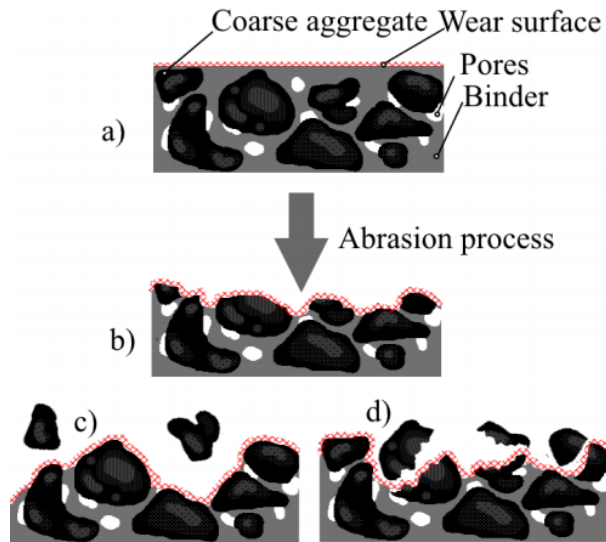
### 5.1 Kulumiskestävyys

Päällysteen kuluminen näkyy tiellä urautumisena, joka johtuu liikenteen aiheuttamista mekaanisista tekijöistä, kuten nastarenkaiden kuluttavasta vaikutuksesta ja raskaan kuormituksen aiheuttamasta deformaatiosta. Vilkasliikenteisillä teillä urautuminen on yleisin syy, jonka vuoksi päällyste uusitaan tai sille tehdään korjaustoimenpiteitä. Urautumiseen vaikuttaa liikenne, ilmasto-olosuhteet, ajoneuvotyyppi, rengastus, päällysteen tyyppi sekä liikenneympäristö. (Heikkinen 2012, s. 23) Nastarenkaiden aiheuttama kuluminen on Pohjoismaiden olosuhteissa merkittävin tekijä (Garba 2002, s. 10). Kuvassa 6 on esimerkki nastarenkaiden aiheuttamasta urautumisesta.



**Kuva 27.** Kulunutta asfalttipäällystettä (Väätäinen 2020, s. 33).

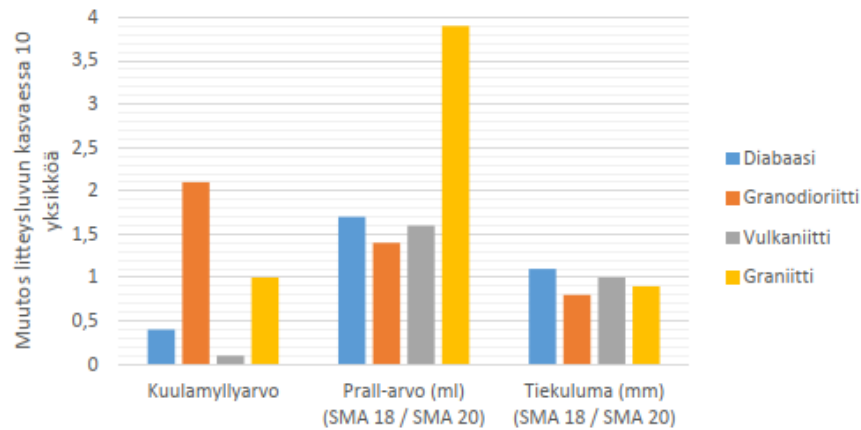
Kuvassa 27 mitataan kulumisurien urasyvyyttä. Urasyvyyttä pidetään yhtenä toimenpiderajana päällysteen uusimisen tai korjaamisen näkökulmista. Päällysteen kuluminen voidaan esittää yksinkertaistetulla mallilla, joka on kuvassa 28.



**Kuva 28.** Päällysteen kulumismekanismi (Bajmukhametov et al. 2008, s. 7).

Kuvassa 28 päällysteen kulutuspinna on merkittynä punaisilla katkoviivoilla. Ensimmäisessä kuvassa (a-kohta) on esitetty uusi päällyste, josta nähdään sideaine, karkea kiviaines ja tyhjätila. Kulumisen alkuvaiheessa (b-kohta) pinnasta kuluu sideainetta ja hieinan karkeaa kiviainesta, mutta päällyste ei vaurioidu vielä pahoin. Kulumisen edetessä (c-kohta) karkea kiviaines menettää tartuntaansa sideaineen kanssa ja lopulta kokonaisia rakeita alkaa irtoamaan. Lopulta kiviainesrakeet alkavat hajoamaan (d-kohta) ja päällysteen kuluminen on tässä vaiheessa huomattavaa. Kiviainesrakeiden irtoamiseen ja hajoamiseen vaikuttaa myös käytetyn sideaineen elastisuus ja sillä on havaittu olevan jopa 10–20 %:n vaikutus kulumiskestävyyteen silloin, kun karkean kiviaineksen rakeisuuskäyrä on jatkuva. SMA-päällysteillä vaikutuksen ei ole havaittu olevan niin merkittävä epäjatkuvan rakeisuuskäyrän vuoksi. (Bajmukhametov et al. 2008, s. 7) Epäjatkuvan rakeisuuskäyrän vuoksi päällysteessä on paljon keskikokoisia rakeita ja niiden väliin jää suuri etäisyys, jolloin kulumiskestävyys paranee (Tuomala 2020, s. 17).

Litteysluvun kasvamisen on tutkittu vaikuttavan päällysteen kulumista kuvaaviin parametreihin, kuten kiviaineksen kuulamylyarvoon, Prall-arvoon ja tieltä mitattuun kulumaan. Kuvaan 29 on koottuna saatuja tuloksia.



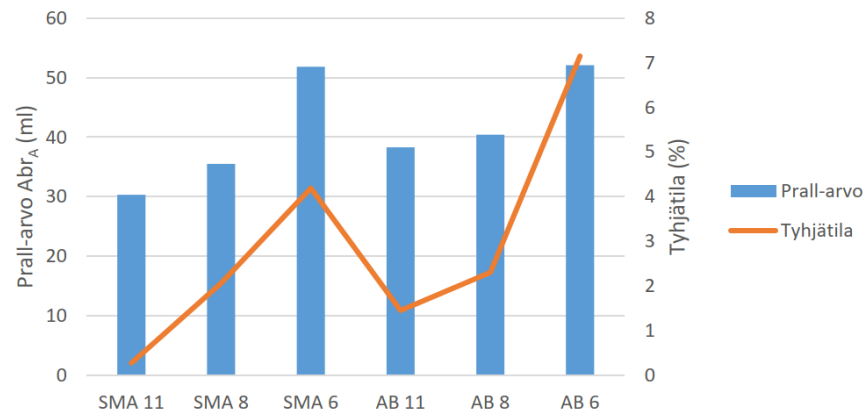
**Kuva 29.** Kiviaineksen litteysluvun vaikutus kulumiseen (Tuomala 2020, s. 57).

Kuvassa 29 on esitetty litteysluvun 10 yksikön kasvun vaikutus päällysteen kulumista kuvaaviin arvoihin eri kivilajeilla. Litteysluvun kasvaessa kuulamylyarvo muuttui vähiten vulkaniitilla ja kasvoi eniten granodioriitilla. Granodioriitilla kuulamylyarvon muutos oli hieman yli kaksi yksikköä. Prall-arvoissa suurin kasvu ilmeni graniitilla, jolla muutos oli noin neljä yksikköä. Muiden kivilajien tulosten muutokset olivat keskenään samaa luokkaa. Tiekuluman muutos oli mitattu kolmena talvena ja tulokseksi saatiin noin yhden millimetrin kasvu verrattuna parempaan litteyslukuun. (Tuomala 2020, s. 57)

Väyläviraston (2021) julkaisussa on esitetty kahden asfalttirouheen kuulamylyluokat ja litteysluvut. Rouheen 1 kuulamylyluokka oli 14 ja litteysluku 5. Rouheella 2 oli sama kuulamylyluokka, mutta litteysluku oli 8. Rouheet ovat samoja, joiden tutkimustuloksia on esitetty myös tässä työssä myöhemmissä luvuissa.

Asfalttirouheilla 1 ja 2 oli pieni litteysluku, sillä Asfalttinormien (2017) mukaan alustavissa valintaperusteissa  $A_N$  14 kuulamylyluokan kiviainekselle suositellaan litteysluvun luokaksi enintään  $Fl_{20}$ . Saaduista tuloksista voidaan päätellä, että asfalttirouheen murskausprosessissa ja päällysteen käyttöaikana sen kiviaineksen litteysluku voi parantua jopa 5–10 yksikköä. Kulumiskestävyyden näkökulmasta asfalttirouheessa oleva kiviaines on hyvää, koska molempien rouheiden litteysluvut olivat selvästi alle kymmenen eli Asfalttinormien (2017) luokituksen mukaisesti ne kuuluvat pienimpään luokkaan. (Väylävirasto 2021a, s. 22; Asfalttinormit 2017, s. 81–82)

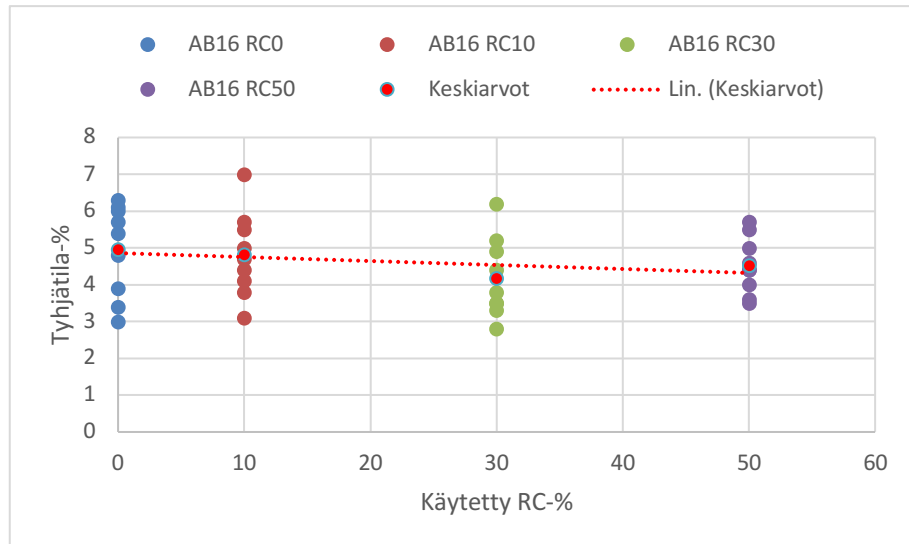
Lerfald (2007) tutki erilaisten SMA- ja AB-päällysteiden kulumiskestävyyttä ja kiviaineksen maksimiraekoon vaikutusta Prall-arvoon. Tutkimuksen tulokset ovat esitettyinä kuvassa 30.



**Kuva 30.** Maksimiraekoon vaikutus päällysteen kulumiskestävyyteen Lerfaldin mukaan (Tuomala 2020, s. 59).

Lerfaldin (2007) tutkimuksessa testattiin SMA- ja AB-päällysteitä, joiden maksimiraekoot olivat 6 mm, 8 mm ja 11 mm. Kuvasta 30 nähdään, että Prall-arvo kasvoi samalla, kun päällysteen maksimiraekoko pienentyi. Tutkituista näytteistä havaittiin, että Prall-arvot kasvoivat tyhjättilojen kasvaessa. Tutkimuksessa ei siis voitu varmuudella sanoa, missä suhteessa maksimiraekoko ja tyhjättila vaikuttivat saatuihin tuloksiin.

Päällysteen tyhjättilan kasvamisen on todettu lisäävän päällysteen kulumista. Ruotsissa Jacobson (1994) tutki tyhjättilan vaikutusta koetiellä, jossa päällysteenä oli pehmeä asfalttibetoni. Kulumista tutkittiin päällysteen kohdista, joissa tiiveysasteet olivat erilaiset. Kohdissa saavutettiin 3 % ja 7-9 % tyhjättilat. Ensimmäisen seurantatalven jälkeen tiiviimpi päällyste oli kulunut noin 0,8 mm ja avoimempi päällyste noin 1,2 mm. (Jacobson 1994, s. 26) Katajamäki (2013) on tutkinut asfalttirouheen käytön vaikutuksia AB16-päällysteen ominaisuuksiin Suomessa ja yhtenä tutkittavana ominaisuutena oli päällysteen tyhjättila. Tutkimuksessa tehtiin koekappaleita massasta ilman asfalttirouhetta ja lisäksi massoista, joissa sitä oli 10 %, 30 % tai 50 %. Saavutetut tyhjättilat on esitetty kuvassa 31.



**Kuva 31.** Käytetyn asfalttirouhemäärän vaikutus päällysteen tyhjättilaan (muokattu lähteestä Katajamäki 2013).

Kuvassa 31 on kaikkien tehtyjen koekappaleiden tyhjättilat eri rouheprosentteilla. Jokaisessa tapauksessa tehtiin 9 koekappaletta, jotta saatiin edustava tulos. Kuvaan on merkitty jokaisen testimassan tulosten keskiarvot, joiden mukaan on sovitettu lineaarinen trendiviiva. Tuloksista voidaan havaita, että tyhjättila pienenee hieman käytetyn rouhemäärän kasvaessa. Ilman rouhetta tyhjättilaksi saatiin noin 5 % ja rouhetta 50 % lisäämällä tyhjättilaksi saatiin noin 4,5 %. Asfalttirouheen käyttöä lisäämällä voidaan siis saavuttaa hieman tiiviimpi päällyste kuin neitseellisillä materiaaleilla. (Katajamäki 2013, s. 38 ja liite 8) Yhtenä syynä muutokseen voidaan pitää asfalttirouheen kiviaineksen raemuotoa.

## 5.2 Vedenkestävyys

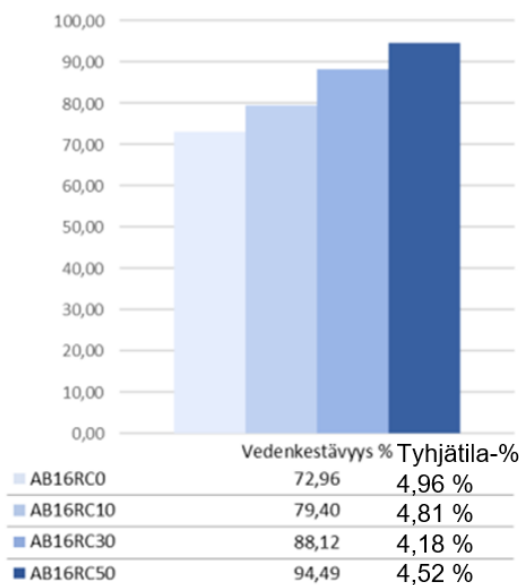
Päällysteessä sideaine varmistaa kiviainesrakeiden välisen tartunnan ja kerroksen koosapysyvyyden. Vedenkestävyyden näkökulmasta edellä mainittu tartunta on hyvin merkittävä, sillä riittämättömän tartunnan vuoksi päällysteeseen muodostuu purkaumia. Purkaumat syntyvät, kun päällysteen tyhjättilaan pääsee vettä ja jäätyessään se laajenee ja aiheuttaa päällystettä kuormittavia voimia. Päällysteen vedenkestävyyteen vaikuttavat muun muassa asfalttimassan sekoittamisen aikainen liiallinen kosteus sekä pölyisen kiviaineksen käyttäminen. Lisäksi asfalttimassan suunnittelulla on oma vaikutuksensa, sillä sideainepitoisuus ja tyhjättila vaikuttavat vedenkestävyyteen. (Opara et al. 2016, s. 1–2)

Makowska & Pellinen (2018) tutkivat kiviaineksen ja sideaineksen välistä tartuntaa, joka on tärkeässä roolissa päällysteen vedenkestävyydessä. Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka kiviaineksen uudelleen kuumentaminen vaikuttaa tartuntaan. Materiaaleina olivat



70/100 bitumi ja granodioriitti, jonka rakeisuus oli 8/11,2 mm. Sideaine ja kiviaines sekoitettiin laboratoriossa, minkä jälkeen tartuntaominaisuuksia testattiin 72 tunnin ajan rullapullokokeella. Tartunta testattiin kuumentamattomalla, kerran kuumentetulla ja kaksi kertaa kuumentetulla kiviaineksella. Kuumennus tehtiin 250°C lämpötilassa 30 minuutin ajan. Kuumennuksella ei todettu olevan mitään vaikutusta tartuntaan. (Makowska & Pellinen 2018, s. 83)

Asfalttirouheen käytön vaikutuksia AB16-päällysteen vedenkestävyyteen tutkittiin Katajamäen (2013) tutkimuksessa neljällä eri rouhepitoisuuden omaavalla massalla. Tehtyjen massojen sideainepitoisuus, tunkeuma ja rakeisuuskäyrä olivat samanlaisia. Saadut tulokset ovat kuvassa 32.



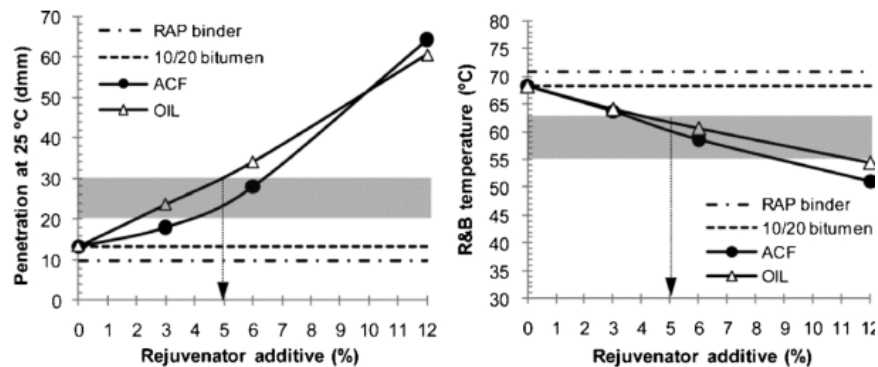
**Kuva 32.** Asfalttirouheen määrän vaikutus AB16-päällysteen vedenkestävyyteen (muokattu lähteestä Katajamäki 2013).

Kuvan 32 tuloksien perusteella ilman rouhetta vedenkestävyydeksi saatiin vain noin 73 %, joka alittaa Asfalttinormeissa (2017) asetetun vaatimuksen AB-päällysteiden vedenkestävyydelle (vähintään 80 %). Vedenkestävyys parani noin 20 %, kun massassa käytettiin rouhetta 50 %. Tuloksia saattaa selittää se, että rouheessa osa kivistä on jo valmiiksi tarttunut sideaineeseen. Lisäksi pitää ottaa huomioon, että tutkimuksessa päällysteen tyhjättila pieneni rouhemäärän kasvaessa, jolla saattaa olla myös vaikutusta vedenkestävyyden paranemiseen. Saatujen testitulosten perusteella ei voida sanoa mitään päällysteen pitkäaikaiskestävyydestä. (Katajamäki 2013, s. 40-42)

Jesus et al. (2011) tutkivat kuumamassoja, joissa käytetty rouheprosentti oli 100 %. Tutkimuksessa käytetty rouhe oli jyrskitty moottorin kulutuskerroksesta, jotta saatiin mahdollisimman tasalaatuinen rouhe. Rouheen sideainepitoisuus oli 5,1 %, sideaineen tun-

keumaluokka 10/20 ja pehmenemispiste 73°C. Vedenkestävyyttä tutkittiin kolmesta sideaineeltaan erilaisesta massasta, joissa yhdessä oli rouheen vanhentunut kova sideaine ja kahteen muuhun oli käytetty elvyttimiä. Elvyttiminä olivat ACF Iterlene 1000 (kuvissa ACF) ja öljy (kuvissa OIL). ACF Iterlene 1000 on alkyylimidopolyamiinien sekoitus, joka on nestemäinen bitumin lisäaine. Elvyttimen määräksi valittiin 5 % sideaineen määrästä, koska tällöin molempien lopputuotteiden sideaineet vastasivat tunkeumaluokkaa 20/30, joka on hieman pehmeämpää kuin rouheen vanhentunut sideaine.

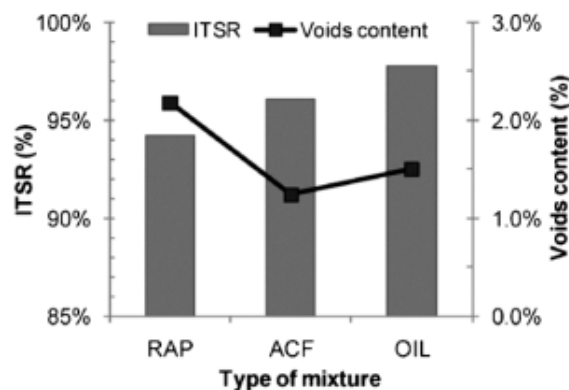
Kuvassa 33 on esitettyä, kuinka sideaine on muuttunut elvyttintä lisättäessä.



**Kuva 33.** Elvytetyn sideaineen tunkeuma ja pehmenemispiste käytetyn elvyttimen %-osuuden mukaan, joka on merkitty pystyviivalla kuvaajiin (Jesus et al. 2011, s. 5).

Kuvan 33 kuvaajista nähdään, kuinka elvyttimen osuutta nostamalla sideaineen tunkeuma kasvaa ja pehmenemispiste (R&B temperature) laskee lähes lineaarisesti. Tutkimuksessa käytettiin sideainetta, josta 5 % oli elvyttintä.

Tutkimuksessa saavutettiin jopa yli 90 %:n ITSR-tarttuvuusluku kaikilla kolmella testimassalla. Saadut ITSR-tarttuvuusluvut ja tyhjätilatprosentit ovat esitettyä kuvassa 34.



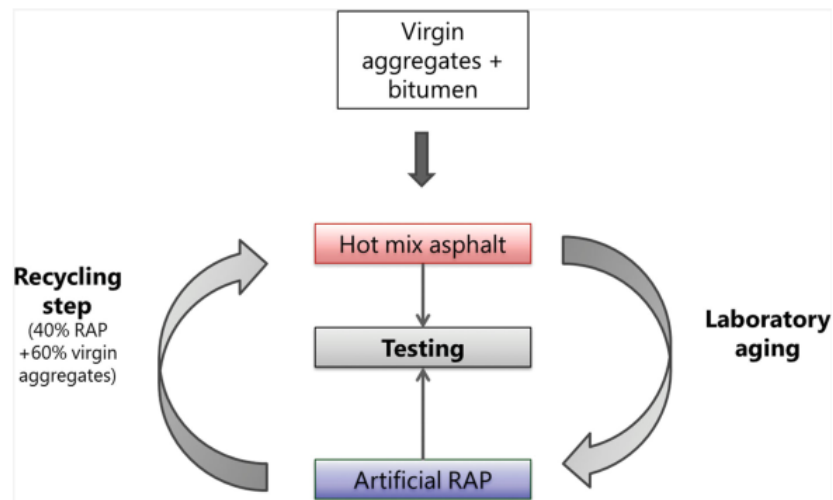
**Kuva 34.** Testimassoilla saavutetut tyhjätilat ja ITSR-tarttuvuusluvut (Jesus et al. 2011, s. 7).

Kuvan 34 perusteella havaitaan, että molemmat käytetyistä elvyttimistä paransivat vedenkestävyyttä 2–4 yksikköä. Myös testimassalla, jossa elvyttintä ei käytetty, saavutettiin

yli 90 %:n tarttuvuusluku. Valmiin päällysteen tyhjätilalla on vaikutusta sen vedenkestävyyteen ja suuren rouhemäärän päällysteillä on yleensä hieman suurempi tyhjätila kuin neitseellisistä materiaaleista tehdyillä päällysteillä. Elvyttimien avulla tyhjätilaa saatiin pienennettyä hieman yli kahdesta prosentista noin yhteen prosenttiin. (Jesus et al. 2011, s. 6)

Behnia et al. (2013) havaitsivat laboratoriotutkimuksessaan, että rouhepitoisuutta kasvattamalla voidaan parantaa kuumamassojen vedenkestävyyttä, jos laboratoriossa saadut tulokset vastaavat käytännön päällystekohteita. Vedenkestävyyden paraneminen edellyttää kuitenkin laadukkaan asfalttirouheen käyttämistä, joten rouheiden ennakkotutkimisen merkitys korostuu. (Behnia et al. 2013, s. 5–6 ja 10)

Myös asfaltin useampaa uudelleenkäyttökertaa on simuloitu laboratorio-olosuhteissa. Hugener & Kawakami (2017) tutkimuksessa asfalttimassa tehtiin kokonaan neitseellisistä materiaaleista, jonka jälkeen sitä vanhennettiin laboratoriossa ja saatiin keinotekoisia kierrätysasfalttia. Vanhentaminen tehtiin 100 °C asteisessa uunissa ja vanhennettavaa erää pidettiin siellä 96 tuntia. Kuvassa 35 on esitetty käytetty kierrätysyykli. (Hugener & Kawakami 2017, s. 5)

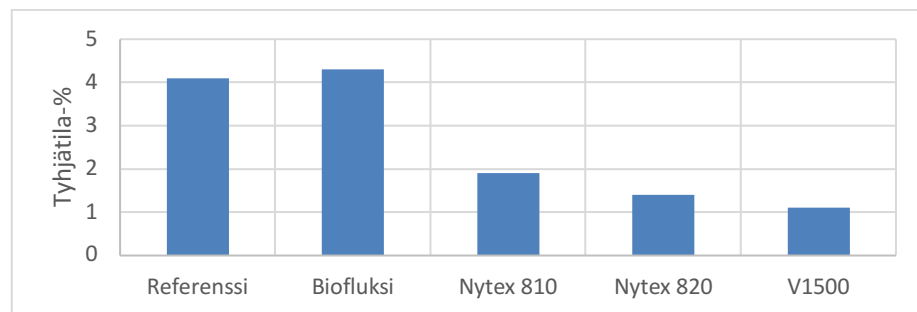


**Kuva 35.** Kolme kertaa kierrätetyn asfaltin kierrätysyykli (Hugener & Kawakami 2017, s. 6).

Kuvan 35 mukaisesti laboratoriossa vanhennettua asfalttia lisättiin uuteen neitseelliseen massaan 40 %. Tutkimukset tehtiin neitseelliselle referenssimassalle sekä 1–3 kertaa syklin kiertäneille massoille. Valmiin asfalttimassan ja sen sideaineen ominaisuudet eivät merkittävästi muuttuneet, vaikka osa massasta oli vanhennettu jo kolme kertaa. Kuitenkin havaittiin, että vedenkestävyys muuttuu käyttökertojen määrän kasvaessa. Referenssimassalla vedenkestävyys oli 85 % ja viimeisellä testatulla massalla se oli vain 71 %. (Hugener & Kawakami 2017)

Arambula et al. (2007) mukaan päällysteen vedenkestävyyssominaisuuksiin vaikuttavat sideaineen koheesio ja sideaineen sekä kiviaineksen välinen tartunta (Arambula et al. 2007, s. 7). Sideaineen koheesio-ominaisuudet paranevat sideaineiden modifioinnilla, jolloin päällysteen kestävyys murtumia vastaan paranee ja päällyste pysyy paremmin koossa. Tutkimuksessa havaittiin myös, että nestemäisten amiinipohjaisten tartukkeiden käyttö lisää päällysteen koossapysyvyyttä ja purkaumien muodostumiseen vaaditaan suurempi ulkopuolinen voima kuin ilman tartukkeita. (Arambula et al. 2007, s. 14–15)

Lehtimäki (2012) tutki elvyttimien toimintaa asfalttirouheen kanssa. Elvyttiminä käytettiin biofluksia, viskositeettiluokiteltua bitumia V1500 sekä Nytex 810 ja 820 elvyttimiä. Tutkimuksessa tehtiin muun muassa koekappaleita 100 %:sesti rouheesta ilman elvyttimen käyttöä sekä eri elvyttimillä. Näistä määritetyt tyhjätilat ovat esitettynä kuvassa 36.



**Kuva 36.** Asfalttirouheesta tehtyjen koekappaleiden tyhjätilat (muokattu lähteestä Lehtimäki 2012).

Kuvan 36 tuloksista voidaan havaita, että elvyttimet vaikuttavat huomattavasti asfalttirouheesta tehtyjen koekappaleiden tyhjätiloihin. Biofluksin käyttäminen lisäsi tyhjätilaa, mutta muut elvyttimet laskivat sitä 2–3 %. Pienin tulos saatiin kuitenkin viskositeettiluokitellun bitumin V1500 koekappaleista. Elvyttimien käyttäminen parantaa siis päällysteen tiivistettävyyttä. Rouheen sideaineen tunkeuma oli 26 ja V1500:lla elvytettynä tunkeuma oli 97 eli tunkeumaluokka kasvoi kolmella.

Lisäksi Lehtimäki (2012) tutki sideaineiden ja elvyttimien sekoittumista uusiomassoissa. Tässä käytettiin elvyttiminä biofluksia ja Nytex 820:tä. Koe tehtiin AB8-massalla, jossa käytettiin rouhetta 40 %. Sekoittumista tutkittiin käyttämällä perinteistä sekoitustapaa, jossa asfalttirouhe ja lisäkiviaines laitettiin sekoittimeen, jonka jälkeen sinne lisättiin elvyttimeen sekoitettu uusi sideaine. Toisena sekoitustapana käytettiin koostettua sekoitustapaa, jolla yritettiin simuloida täydellistä sekoittumista. Koostetussa sekoitustavassa rouheesta uutettu sideaine sekoitettiin elvyttimen kanssa, jonka jälkeen elvyttimen annettiin vaikuttaa 15 tuntia. Tästä saatu sideaine sekoitettiin uuteen. Rouheen kiviaines ja lisäkiviaines sekoitettiin keskenään ja vasta tämän jälkeen lisättiin valmistettu sideaine. (Lehtimäki 2012, s. 44)

Perinteisellä sekoitustavalla valmistetun massan tyhjätilat jäivät noin 1–2 % suuremmiksi. Sideainepitoisuudet olivat kaikilla samat 0,2 % tarkkuudella. Koekappaleista määritettiin lisäksi halkaisuvetolujuudet ja jäykkyyssmoduulit. Tuloksissa ei havaittu tilastollisesti merkittäviä eroja eri sekoitustapojen välillä. Saatujen havaintojen pohjalta voidaan todeta, että sideaineet ja elvytin sekoittuvat tasaisesti myös perinteisillä menetelmillä. (Lehtimäki 2012, s. 60)

Asiantuntijahaastatteluiden mukaan ainakaan vedenkestävyyden heikkenemisestä ei ole tehty mitään havaintoja. Erityisesti AB-massoilla onnistutaan tekemään rouheen kanssa yhtä laadukasta päällystettä kuin ilmankin rouhetta, koska prosessi osataan hallita todella hyvin. Suomessa ei ole juurikaan tehty vedenkestävyyteen liittyvää vertailua rouheenkäyttöön liittyen. (Asiantuntijahaastattelut 2021)

### 5.3 Deformaatiokestävyys

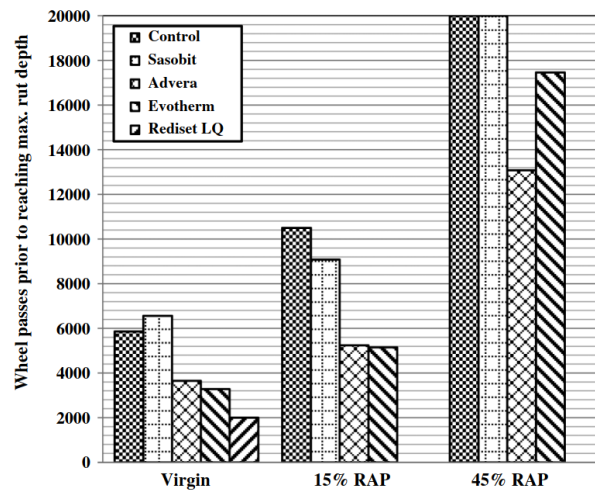
Deformaatiota voi syntyä tiellä kaikkiin rakennekerroksiin päällysteestä pohjamaahan asti. Deformaatio on rakenteen pysyvää muodonmuutosta eli rakenne ei palaudu siitä. Päällysteen deformaatioon vaikuttavat alempien rakennekerrosten lisäksi sen kiviaines, tyhjätila, sideaineen laatu ja sen määrä. (Tiehallinto 2004, s. 15 ja 18) Myös päällysteen lämpötilalla on suuri vaikutus deformaatioon, sillä lämpötilan noustessa deformaatoriski kasvaa. Deformaatoriskin kasvaminen johtuu sideaineen pehmenemisestä sen lämmitessä. Deformaatiokestävyyden näkökulmasta kovemmat bitumit ovat parempia, sillä ne eivät ole yhtä deformaatioherkkiä lämpötilan noustessa kuin pehmeämmät bitumit. (Väisänen 2014, s. 20)

Päällysteen kiviaineksen raekoko ja -muoto vaikuttavat lopputuotteen deformaatiokestävyyteen. Maksimiraekokoa suurentamalla pystytään useimmiten nostamaan deformaatiokestävyyttä. Myös kiviainesrakeiden muoto vaikuttaa deformaatiokestävyyteen, sillä pyöristyneet rakeet pääsevät särmikkäitä helpommin toistensa ohi päällystekerroksessa ja näin deformaation riski kasvaa. Särmikkään kiviaineksen on kuitenkin oltava riittävän lujaa, jotta se kestää asfalttimassan tiivistämisen hajoamatta. Deformaatoriski kasvaa moninkertaiseksi, mikäli kiviaines hajoaa tiivistämisen aikana. (Väisänen 2014, s. 20 ja Garba 2002, s. 27)

Garban (2002) mukaan yksi asfalttimassan deformaatiokestävyyteen vaikuttava raaka-aine on käytetty sideaine. Asfalteissa käytettävät bitumiset sideaineet ovat normaali lämpötilassa melko kovia, mutta lämmitessään ne pehmenevät merkittävästi. Sideaineet ovat ominaisuuksiltaan visko-elastisia, joten niiden kyky vastustaa deformaatiota riippuu

hyvin paljon lämpötilasta ja kuormituksen kestosta. Visko-elastisessa materiaalissa yhdistyvät elastinen ja viskoosi käyttäytyminen, jotka ovat tärkeitä deformaation näkökulmasta. Elastisuus tarkoittaa sitä, että päällyste pyrkii palautumaan kuorman aiheuttamasta muodonmuutoksesta. Viskoosisuus puolestaan mahdollistaa jatkuvat muodonmuutokset. (Garba 2002, s. 30)

Behnia et al. (2013) tutkivat asfalttirouheen käytön vaikutuksia muun muassa matalalämpöasfaltin deformaatiokestävyyteen. Deformaatiokestävyyttä tutkittiin Hamburg Wheel-tracking testillä, jossa laskettiin testilaitteen pyörän ylityskertoja niin kauan, kunnes deformaatioura saavutti tavoitellun maksimisyvyyden. Tulos kuvaa deformaatiourautumisen syntyyn tarvittavien ylityskertojen määrää, jolloin suurempi tulos tarkoittaa parempaa deformaatiokestävyyttä. Kuvassa 37 on esitettyä testausmenetelmällä saadut tulokset. (Behnia et al. 2013, s. 6)



**Kuva 37.** Asfalttirouheen käytön vaikutus matalalämpöasfaltin deformaatiokestävyyteen (Behnia et al. 2013, s. 6)

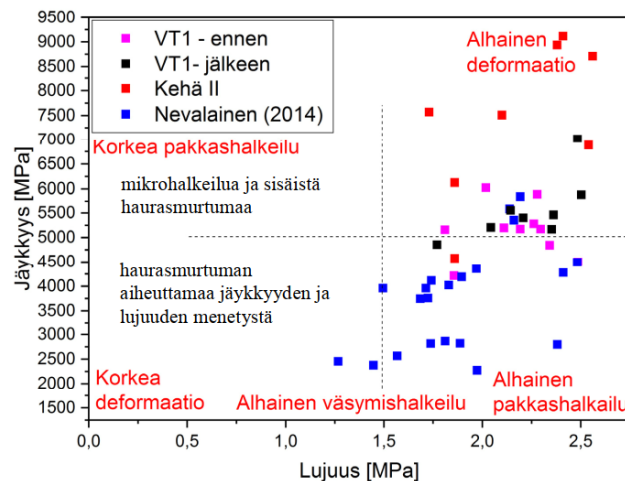
Kuvassa 37 on esitettyä ylityskertojen määrät, joilla tavoitteellinen urasyvyys 12,5 mm saavutettiin. Testausmenetelmän mukaisesti testi lopetetaan, kun kertojen määrä saavuttaa arvon 20 000. Tutkimuksessa testattiin neljällä erilaisella lisäaineella tehtyjä massoja, joiden rouheprosentit olivat 0 %, 15 % ja 45 %. Vertailun vuoksi tehtiin myös yksi kuumamassa samoilla rouheprosentteilla. Kuumamassa löytyy kuvasta 29 nimellä Control. Neitseellisistä materiaaleista tehdyt koekappaleet saavuttivat 12,5 mm urautumisen jo noin 2 000–6 400 ylityskerralla riippuen käytetystä lisäaineesta. Kun asfalttimassaan lisättiin rouhetta 15 %, saavutettiin maksimi urasyvyys noin 5 600–10 400 ylityskerran jälkeen eli deformaatiokestävyys karkeasti kaksinkertaistui. Parhaimmat tulokset saatiin, kun käytettiin 45 % asfalttirouhetta. Tällöin kuumamassalla ja yhdellä matalalämpöasfaltilla ei saavutettu 12,5 mm urasyvyyttä, vaan testi lopetettiin standardin mukaisesti 20 000 ylityskerran jälkeen. (Behnia et al. 2013, s. 5–6)

Behnia et al. (2013) tutkimuksessa testatuissa massoissa oli keskenään samanlaiset ra-keisuuskäyrät, joten tutkimuksessa havaitut deformaatiokestävyyden erot eivät johdu esimerkiksi maksimiraekoon eroista. Taulukossa 15 on lisäksi esitetty käytettyjen mas-sojen sideaine- ja tyhjättilaprosentit.

**Taulukko 15.** Behnia et al. (2013) tutkimuksessa käytettyjen massojen side-aine- ja tyhjättilaprosentit.

Massatyyppi	Sideaine-%	Tyhjättila-%
Neitseellinen	6,70	4,0
RC-15 %	6,70	4,0
RC-45 %	6,30	4,0

Taulukosta 15 nähdään, että testatut massat olivat tyhjättilaltaan täysin vastaavia, joten tiivistämisen voidaan olettaa onnistuneen. Asfalttirouhetta sisältämättömän massan ja 15 % rouhetta sisältävän massan sideainepitoisuudet olivat täysin samat, mutta rouhetta 45 % sisältävässä massassa sideainetta oli noin 0,4 % vähemmän. Tehdyt tutkimukset ovat osoittaneet, että sideainepitoisuuden laskeminen parantaa päällysteen deformaatiokestävyyttä (Väisänen 2014, s. 21). Sideaineen määrä ei kuitenkaan yksinään selitä deformaatiokestävyydessä havaittua paranemista, sillä käytännössä sideaineen mää-rissä ei ollut suurta eroa. Syitä deformaatiokestävyyden kasvamiseen olivat rouheen vanhentunut sideaine ja sen kiviaineksen muoto. (Behnia et al. 2013) Kuvassa 38 on esitettynä, kuinka päällysteen jäykkyys ja lujuus vaikuttavat esimerkiksi deformaatioon ja pakkasenkestävyyteen.

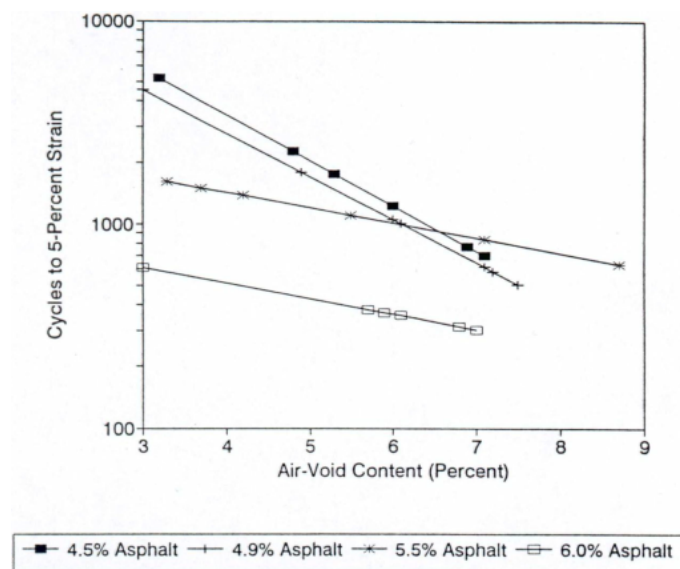


**Kuva 38.** Päällysteen jäykkyyden ja lujuuden vaikutus sen ominaisuuksiin (Ma-kowska & Pellinen 2018, s. 65)

Kuvan 38 esitetyn suomalaisen tutkimusaineiston perusteella päällysteen deformatiomi-nen on pientä, kun jäykkyys ja lujuus ovat suuria. Tällöin sideaineen on oltava kovaa ja päällyste menettää sitkeyttään, mistä johtuen pakkashalkeilun riski kasvaa. Halkeilun

myötä päällyste menettää kantokykyään ja se ei toimi enää halutulla tavalla. (Makowska & Pellinen 2018, s. 64–65)

Garban (2002) mukaan sideaineprosenttia merkittävämpää on käytetyn sideaineen koivuus eli sen luokka. Sideaineprosentin vaikutusta on kuitenkin tutkittu päällysteen muodonmuutokseen eri tyhjätiloilla. Tästä saadut tulokset ovat kuvassa 39. (Garba 2002, s. 31)



**Kuva 39.** Sideainepitoisuuden vaikutus muodonmuutokseen (Garba 2002, s. 32).

Kuvassa 39 on esitetty, kuinka eri sideaineprosenteilla valmistetut massat saavuttavat 5 %:n muodonmuutoksen. Testausmenetelmänä käytettiin Strategic Highway Research Programin kehittämää yksinkertaista leikkaustestiä, jossa näytettä kuormitetaan sekä horisontaalisesti että vertikaalisesti. Saatujen tulosten perusteella näytettä, jonka sideainepitoisuus oli 6 %, kuormitettiin noin 700 sykliä, kunnes saavutettiin tavoiteltu muodonmuutos. Jo 0,5 %:n lasku sideainepitoisuudessa lisäsi syklien määrän yli kaksinkertaiseksi, joten voidaan sanoa, että deformaatiokestävyys parani vähentämällä sideaineen määrää. Tutkimustuloksista voidaan myös todeta, että tyhjätilan vaikutus deformaatiokestävyyteen kasvaa, kun sideainepitoisuus laskee. (Garba 2002, s. 32)

Alatas et al. (2012) tutkivat sideaineiden vaikutusta kuumamassojen deformaatioon ja väsymiskestävyyteen. Tutkimuksessa käytettiin tunkeumuokiltaan sideaineita 70/100 ja 160/220 sekä SBS-polymeerillä modifioitua 160/220 sideainetta. SBS-polymeeri parantaa vanhan sideaineen viskoelastisia ominaisuuksia. Modifioinnin huomattiin vaikuttavan sideaineeseen niin, että sen myötä deformaatiokestävyys suureni ja modifioitu sideaine käyttäytyi enemmän luokan 70/100 bitumin tavoin. Paras tulos dynaamisessa viirumistestissä saavutettiin tunkeumuokiltaan kovimmalla sideaineella eli sen deformaatiokestävyys oli suurin. (Alatas et al. 2012, s. 1 ja 6)

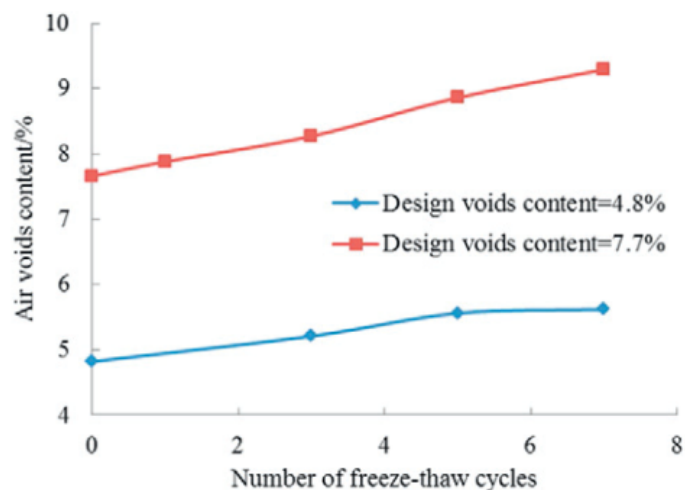


Haastatteluissa nousi esiin, että asfalttirouheissa sideaineet ovat tyypillisesti vanhentuneita, jolloin niiden tunkeuma voi olla jopa 2–3 luokkaa pienempi kuin asfaltissa alun perin käytetyssä sideaineessa. Käytännössä se tarkoittaa, että luokan 70/100 bitumi voi muuttua jopa luokkaan 20/30. Kuuma-asemalla jo massan valmistuksessa sideaine kovenee yleensä yhden luokan eli esimerkiksi luokan 70/100 bitumi muuttuu luokan 50/70 bitumiksi. Asfalttirouheiden käyttäminen päällysteessä antaa uusia mahdollisuuksia vaikuttaa lopputuotteen deformaatiokestävyyteen, sillä käytetyn rouheen määrää muuttamalla voidaan ohjata sideaineen tunkeumaluokkaa. Tällöin voidaan saavuttaa haluttu deformaatiokestävyys. (Asiantuntijahaastattelut 2021)

## 5.4 Jäätymis-sulamiskestävyys

Päällysteen jäätymis-sulamiskestävyyteen vaikuttavat kiviaineksen ominaisuudet, käytetty sideaine ja sen määrä sekä päällysteen tyhjätila. Päällysteessä oleva vesi heikentää kiviaineksen ja sideaineen välistä tartuntaa. Riittämätön jäätymis-sulamiskestävyys irrottaa kiviainesta ja sideainetta toisistaan, jolloin päällysteeseen syntyy purkauksia. (Katajamäki 2013, s. 31)

Päällysteen tyhjätila on merkittävin tekijä jäätymis-sulamiskestävyyden kannalta, sillä suurempi tyhjätila tarjoaa enemmän tilaa myös vedelle. Suurin riski jäätymis-sulamiskausriidien muodostumiselle on 6–13 %:n tyhjätila, koska päällysteeseen jää vettä, eikä se vielä läpäise sitä. Guo et al. (2015) tutkivat AB-päällysteen tyhjätilan vaikutusta jäätymis-sulamiskestävyyteen. Kuvassa 40 on esitettyä saatuja tuloksia. (Guo et al. 2015, s. 8)

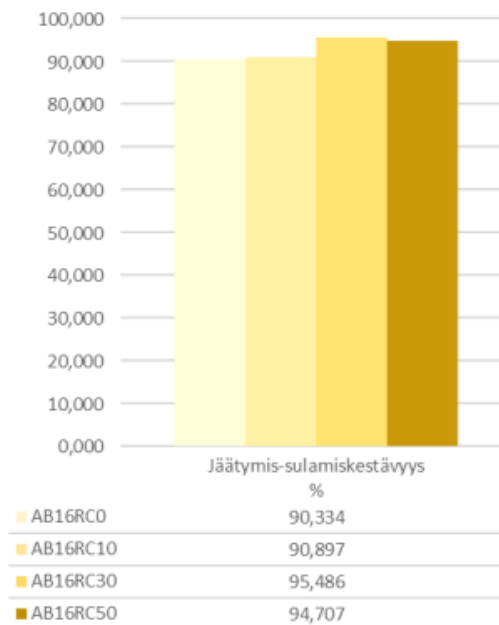


**Kuva 40.** Päällysteen tyhjätilan vaikutus jäätymis-sulamiskestävyyteen (Guo et al. 2015, s. 10).

Kuvassa 40 on esitetty tyhjätilan muutos jäätymis-sulamissykliä funktiona kahdella erilaisella koekappaleella. Koekappaleiden tyhjätilat olivat 4,8 % ja 7,7 %. Suuremman tyh-

jättilan koekappaleen tyhjätila kasvoi jäädytys-sulamissykliä aikana enemmän kuin tiiviimmän koekappaleen. Tyhjätilat kasvoivat 7:n syklin aikana suuremman tyhjätilan koekappaleella 1,7 % ja pienemmän 0,8 %. Lisäksi huomattiin, että tiiviimmällä koekappaleella huokosten yhdistymistä toisiinsa tapahtuu vähemmän. (Guo et al. 2015, s. 8)

Katajamäki (2013) tutki asfalttirouheen käytön vaikutuksia päällysteen jäätymis-sulamiskestävyyskestävyyteen. Jäätymis-sulamissyklejä oli 10. Määritys tehtiin samoille massatyypeille kuin vedenkestävyydestit, joita esiteltiin aiemmassa luvussa 5.2. Jäätymis-sulamiskestävyys tulokset ovat kuvassa 41.



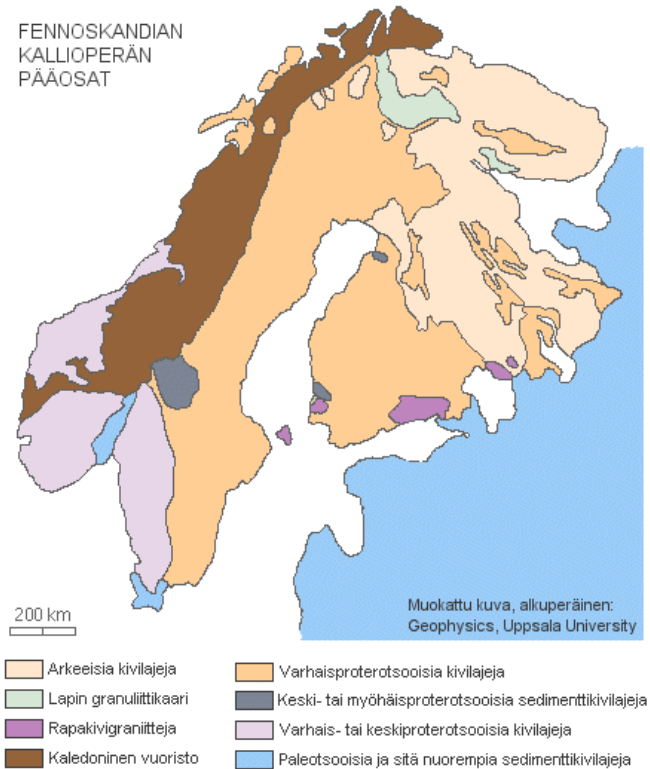
**Kuva 41.** Asfalttirouheen käytön vaikutus päällysteen jäätymis-sulamiskestävyyskestävyyteen (Katajamäki 2013, s. 41).

Kuvasta 41 voidaan huomata, ettei asfalttirouheen käytöllä ole merkittäviä vaikutuksia päällysteen jäätymis-sulamiskestävyyskestävyyteen. Ilman rouhetta tulokseksi saatiin noin 90,3 % ja rouhemäärän ollessa 50 % tulos parani noin 94,7 %:iin. (Katajamäki 2013, s. 41 ja 44)

## 6. ASFALTTIROUHEEN KIVIAINES

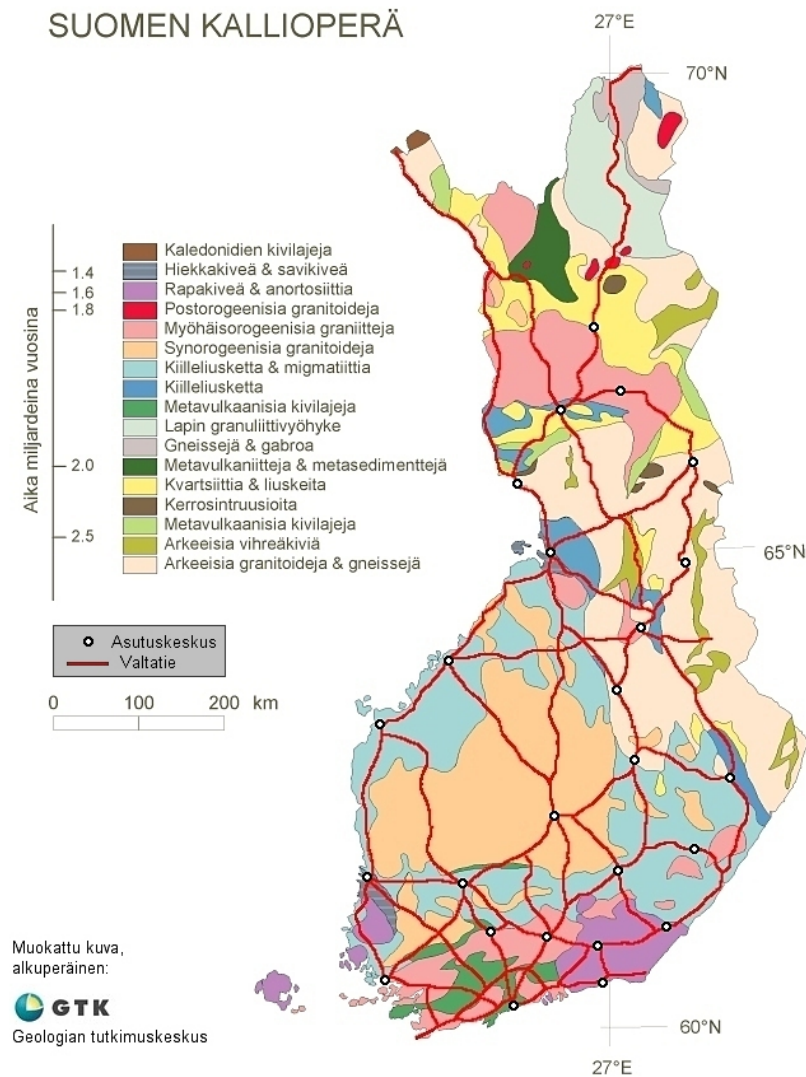
### 6.1 Suomen kallioperä ja kiviainekset

Suomen kallioperä on osa Fennoskandian kilpeä, joka on vanhempaa ja kovempaa kuin muualla Euroopassa olevat sedimenttikivet. Fennoskandian kallioperä voidaan jaotella muutamaankin erilaiseen alueeseen kuvan 42 mukaisesti. (Geologia.fi 2018a)



**Kuva 42.** Fennoskandian kallioperän pääpiirteet (Geologia.fi 2018a).

Suomen alueella kallioperä koostuu pääosin varhaisproterotsooisista ja arkeisista kivilajeista. Arkeinen kallioperä koostuu pääosin gneisseistä ja migmatiiteista. Varhaisproterotsooisella alueella esiintyy muun muassa graniitteja, kvartsiitteja, liuskeita, migmatiitteja ja vulkaniitteja. Lisäksi pieniltä alueilta löytyy rapakivigraniitteja ja granuliittia. Kuvassa 43 on Suomen kallioperäkarta. (Geologia.fi 2018a)



**Kuva 43.** Suomen kallioperäkartta pääpiirteittäin (Geologia.fi 2018a).

Kuvasta 43 voidaan havaita, kuinka kallioperä vaihtelee Suomen alueella. Lisäksi pitää ottaa huomioon, että vaihtelua esiintyy myös louhostasolla. Suomessa graniittiset kivilajit ovat yleisimpiä ja niitä on arvioitu olevan hieman yli 50 % koko kallioperän pinta-alasta. Kivilajeista selvästi yleisin on graniitti. Graniitit koostuvat pääasiassa kvartsista, kali- maasälvästä, plagioklaasista ja erilaisista kiilteistä. Erityisesti Itä-Suomessa esiintyy migmatiitteja eli seoskiviä, joita on noin 22 % Suomen kallioperästä. Muiden kivilajien prosentuaaliset osuudet ovat huomattavasti pienempiä. (Geologia.fi 2018a)

Suomen kivilajit voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: magmakivet, sedimenttikivet ja metamorfiset kivet. Magmakivet jakautuvat syvä- ja pintakiviin eli vulkaniitteihin. Syväkivet ovat muodostuneet maan alla kovassa paineessa ja vulkaniitit maanpinnalla. Graniitit ovat syväkiviä ja niihin kuuluvat graniitti, granodioriitti ja tonaliitti. Syväkivet ovat rakenteeltaan kiteisiä ja niiden raekoko on suuri. Mineraalit ovat niissä hyvin sekoittuneet, eikä suuntauksia ole havaittavissa. Granodioriitti on graniitin ja dioriitin välimuoto.

Mineraalikoostumukseltaan se sisältää kvartssia, kalimaasälpää, plagioklaasia, biotiittia ja amfibolia. Tonalitti on yksi granodioriiteistä. Pintakivien mineraloginen koostumus on samanlainen kuin syväkivillä, mutta niiden rakenteessa on merkittävä ero. Pintakivet ovat muodostuneet nopeammin, koska laava jäähtyy maan pinnalla. Tästä syystä ne ovat perusmassaltaan tiiviitä ja kiteet ovat hyvin pieniä. Rakenteessa voi olla myös yksittäisiä isompia kiteitä, jolloin tiiviin perusmassan ja kiteiden muodostama kokonaisuus on porfyrynen. (Schumann 1972, s. 68–74, 84 ja 90)

Metamorfiset kivilajit ovat muodostuneet kivilajien uudelleen kiteytyessä. Metamorfoitumista voivat aiheuttaa korkeat lämpötilat ja suuret paineet. Kivilajien uudelleen kiteytyminen tapahtuu aina kiinteässä olomuodossa. Metamorfisia kivilajeja on paljon, sillä jokaista magma- ja sedimenttikiveä kohti on useampia metamorfisia kiviä. Nämä voidaan jaotella mineraalikoostumuksen perusteella gneisseihin, liuskeisiin, hornfelseihin ja marmoreihin. Metamorfiset kivilajit ovat yleensä kiteisiä, rakenteeltaan yhdensuuntaisia, tiiviitä ja sisältävät runsaasti kielteitä. Gneissit sisältävät runsaasti maasälpä ja ne ovat liuskeisia. Syväkivistä syntyneet gneissit ovat mineralogialtaan lähes alkuperäistä kivilajia vastaavia, mutta ne ovat muuttuneet rakenteeltaan pilsteisiksi eli yhdensuuntaisiksi. Liuskeissa maasälpä ei juuri esiinny ja ne ovat rakenteeltaan liuskeisia. (Schumann 1972, s. 134–138)

## 6.2 Asfalttikiviainesten mineralogiset ominaisuudet

Kiviainesten mineraalikoostumus on selvitettävä Asfalttinormien (2017) mukaan, mikäli sitä aiotaan käyttää asfalttikiviaineksena. Asfalttimassaan käytettävä kiviaines ei saa olla rapautunutta tai rapautumisaltista. Sulfidimineraalien määrän on oltava vähemmän kuin 5 %. Lisäksi kielteitä ja muita pehmeitä mineraaleja ei saa olla enempää kuin 15 %. Pehmeiden mineraalien osuuden kasvaessa yli 20 %:n, kiviaineksen rapautumattomuus on osoitettava esimerkiksi jäädytys-sulatuskokeilla. Pehmeiksi mineraaleiksi luetaan biotiitti, muskoviitti, kloriitti, talkki, serpentiini, kalsiitti ja magnesiitti. (Asfalttinormit 2017, s. 83–84)

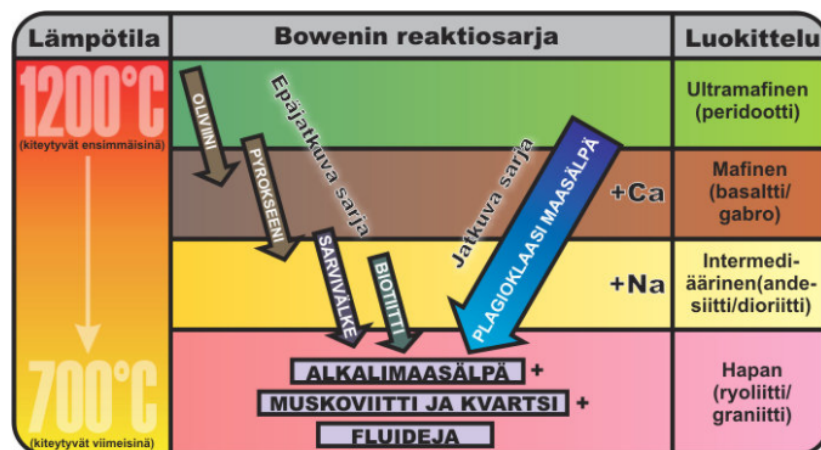
Asfalttikiviaineksen nastarengaskulutuskestävyyteen vaikuttaa sen mineralogia ja rakenne. Kiven mineraalikoostumus, mineraalien raekoko ja -muoto, lohkeavuus, suuntautuneisuus, ryhmittyminen, kiven rikkonaisuus sekä rapautuminen vaikuttavat kiviaineksen nastarengaskulumiseen. Pehmeitä mineraaleja sisältävät kiviainekset kestävät yleensä nastan aiheuttaman iskun, mutta hiertävää kulutusta ne eivät kestä. Kovia mineraaleja sisältävillä kiviaineksilla on sen sijaan hyvä kestävyys hiertävää kulutusta vastaan, mutta nastan iskuja ne eivät kestä yhtä hyvin. (Alkio & Vuorinen 1992)

Eri kiviainekset voivat olla lujuudeltaan erilaisia, vaikka niiden mineraalikoostumus olisi sama. Suuren mineraalikoostumuksen kiviaineksilla mineraalien liittymistavan merkitys pienenee ja lohkeavuuden merkitys suurenee, jolloin myös kiviaineksen lujuus heikkenee. Parhaiten kulutusta kestävätkä sellaiset kiviainekset, joilla on hienorakeinen sisäinen koostumus ja mineraalit ovat tasaisesti jakautuneena. Kulutuskestävyydeltään huonoja kiviaineksia ovat sellaiset, joissa on pehmeitä tai kovia ja hauraita mineraaleja. Tällaisia mineraaleja ovat esimerkiksi kalimaasälpä, plagioklaasi, kvartsi ja erilaiset kielteet. (Alkio & Vuorinen 1992)

### 6.3 Kuumentamisen vaikutus kiviainekseen

Kuumuus vaikuttaa kiven mikrorakenteeseen. Mikrorakenteen muutokset näkyvät kiven pinnan avoimuutena, huokoskoossa, halkeamina sekä mineralogiassa. Kiven mikrorakenteen muuttuessa myös sen lujuus- ja kestävyysominaisuudet voivat muuttua merkittävästi. (Dionísio & Martinho 2018, s. 4) Kivessä tapahtuviin muutoksiin vaikuttaa lämpökäsittelyn maksimi lämpötilan lisäksi myös sen saavuttamiseen käytetty aika. Nopea kuumentaminen saa aikaisiksi merkittävämpiä muutoksia kuin hidas, vaikka maksimi lämpötila ei muuttuisi. On myös havaittu, että fysikaalisilta ominaisuuksiltaan samanlaiset kivet voivat reagoida kuumentamiseen eri tavalla. (Dionísio & Martinho 2018, s. 21)

Erilaiset mineraalit ovat kiteytyneet sulan magman jäähtyessä. Kuvassa 44 on mineraalien kiteytymisen reaktiosarja.



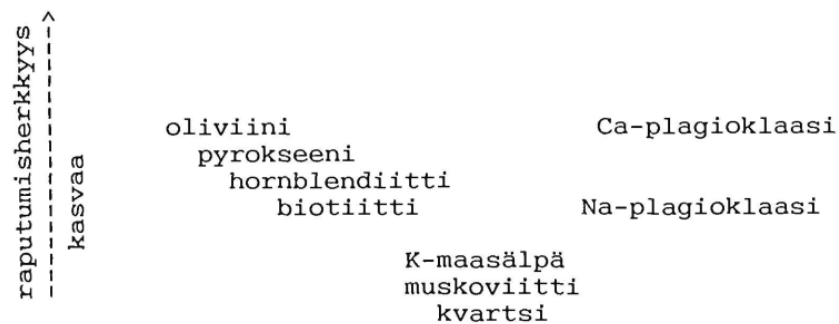
**Kuva 44.** Bowenin reaktiosarja (Geologia.fi 2018b).

Bowenin reaktiosarjan mukaan ensimmäiset mineraalit ovat alkaneet kiteytyä magman lämpötilan ollessa 1 200 °C. Viimeiset mineraalit ovat kiteytyneet noin 700 °C asteessa, jolloin on muodostunut kalimaasälpää, muskoviittia ja kvartsia. Mineraalien rapautuminen tapahtuu päinvastaisessa järjestyksessä kuin niiden kiteytyminen. Kivilajien rapau-

tumiseen vaikuttavat mineraalikoostumuksen lisäksi kiven rakenne, mineraalien yhteenliittymistapa, järjestäytyneisyys ja rakeiden koko. Esimerkiksi karkearakeinen kivi siis rapautuu herkemmin, vaikka sen mineraalikoostumus olisi sama kuin hienorakeisemman kivilajin. Eri kivilajit voidaan luokitella viiteen eri luokkaan niiden rapautumisherkkyden mukaan:

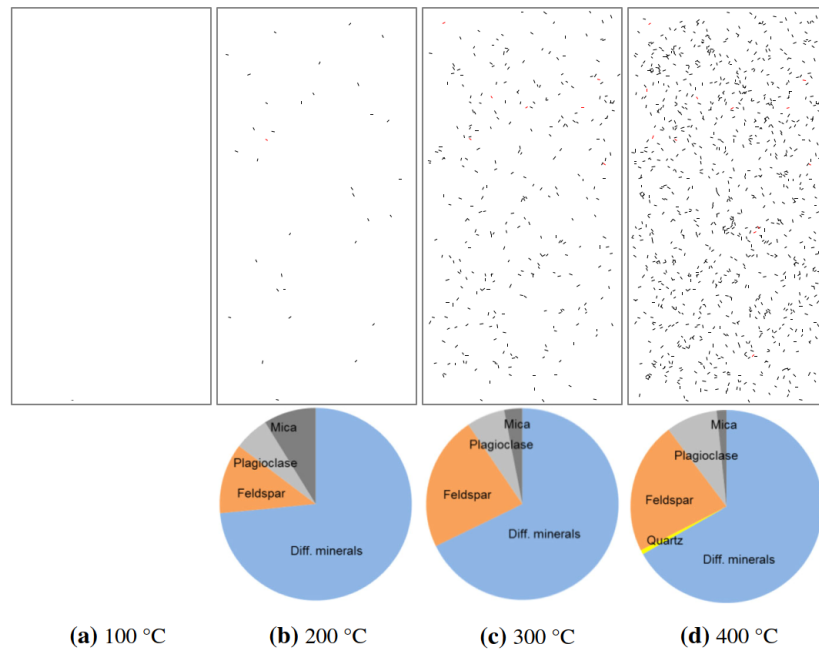
1. Erittäin voimakkaasti rapautuvat: kalkkikivi ja marmori
2. Voimakkaasti rapautuvat: gabrot, diabaasit, dioriitit, basaltit ja amfiboliitit
3. Normaalisti rapautuvat: gneissit, graniitit ja kiilleliuskeet
4. Heikosti rapautuvat: kvartsirikkaat porfyirit
5. Hyvin heikosti rapautuvat: kvartsikivilajit, kuten kvartsihiekkakivi ja kvartsiitti. (Korkka-Niemi 1990, s. 17)

Suomen yleisimmät kivilajit kuuluvat normaalisti ja heikosti rapautuviin. Kuvassa 45 on esitetty kaavio, josta nähdään, kuinka mineraalien rapautumisherkkyys kasvaa.



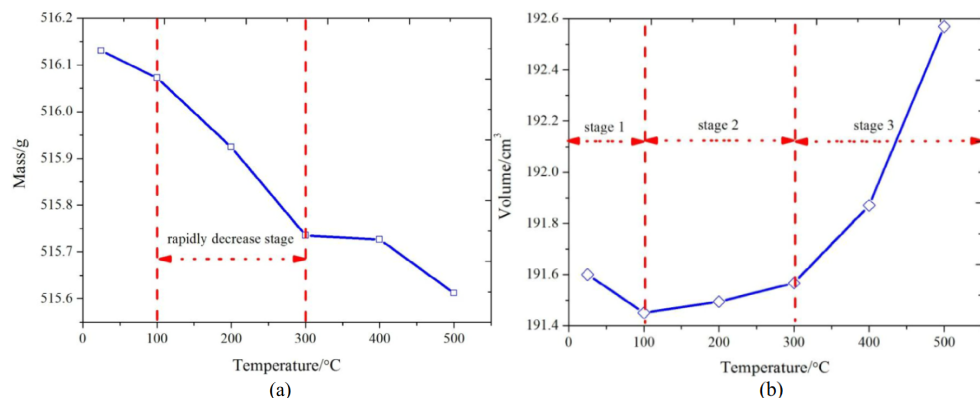
**Kuva 45.** *Mineraalien rapautumisherkkyys (Korkka-Niemi 1990, s. 17).*

Kuvasta 45 voidaan todeta, että mineraalien rapautumisherkkyys kasvaa sitä mukaa, mitä aiemmassa vaiheessa Bowenin reaktiosarjaa ne ovat kiteytyneet. Esimerkiksi graniitissa on pääasiassa kvartsiä, kalimaasälpää ja plagioklaasia, mitkä eivät ole rapautumisherkkiä mineraaleja. Kvartsi ei ole rapautumisherkki mineraali, mutta kuumennettaessa siinä tapahtuu niin kutsuttu  $\alpha$ - $\beta$ -faasimuunnos. Normaalitilanteessa kvartsi on  $\alpha$ -muodossa ja se on kiderakenteeltaan trigoninen. Kuumennettaessa 573 °C asteeseen kvartsin kiderakenne muuttuu heksagoniseksi ja kvartsi on tällöin  $\beta$ -muodossaan. Kiderakenteen muuttuessa kvartsin tilavuus kasvaa, jolloin se rikkoo kiven sisäistä rakennetta. (Antretter et al. 2015, s. 5) Graniittikiven kuumentamista ja siinä tapahtuvia muutoksia on tutkittu hyvin paljon. Kuvassa 46 on esitetty mikrohalkeamien kehittyminen graniittikivessä kuumentamisen vaikutuksesta.



**Kuva 46.** Kuumentamisen aiheuttamia muutoksia graniittikivessä (Zhao 2015, s. 5)

Kuvan 46 yläosassa on esitettyinä näytteiden mikrohalkeamat. Kuvasta voidaan myös havaita, mitkä mineraalit ovat haljenneet. Kaikkien näytteiden kuumentaminen on aloitettu huoneenlämpötilasta ja lopetettu, kun näytteenlämpötila on saavuttanut tavoitelämpötilan. Mikrohalkeamien muodostumisen voidaan sanoa alkavan vasta 300 °C asteen yläpuolella. Halkeamista yli 60 % tapahtui rakeiden välillä, mikä selittyy eri mineraalien eroilla lämpölaajenemisen suhteen. Loput halkeamat syntyivät mineraalirakeiden sisäisistä murtumista, joita muodostui eniten maasälvässä. (Zhao 2015, s. 6) Kuumentaminen aiheuttaa siis vaurioita kiven sisäiseen rakenteeseen. Kuumennuksen vaikutuksesta graniitin massa pienenee ja tilavuus kasvaa hieman. Nämä käyvät ilmi kuvasta 47. (Geng et al. 2016, s. 3)



**Kuva 47.** Graniittinäytteen massan muutos vasemmalla ja tilavuuden muutos oikealla. Molemmat esitettyinä lämpötilan funktiona. (Geng et al. 2016, s. 3)

Kuvan 47 vasemmanpuoleisesta kuvaajasta voidaan todeta, että graniitin massan laskusta suurin osa tapahtui lämpötilavälillä 100–300 °C. Tällä välillä lieriön muotoisesta



näytteestä haihtuu mineraaleihin sitoutunut vesi, joka haihtuessaan aiheuttaa pieniä mikrohalkeamia kasvavan paineen vuoksi. Halkeamien muodostuminen luonnollisesti kasvattaa näytteen tilavuutta, koska rakenteesta tulee aiempaa huokoisempi. Tilavuuden kasvaminen on havaittavissa kuvan 47 oikeanpuoleisesta käyrästä, josta nähdään, että tilavuuden muutokset tapahtuvat vasta 300 °C asteen yläpuolella. Nämä havainnot tukevat kuvassa 46 esitettyä mikrohalkeamien kehittymistä suhteessa näytteen lämpötilaan. Käytännössä graniittisissa kivissä ei tapahdu merkittäviä muutoksia asfaltin valmistamisen aikana.

Kirjallisuudesta ei löytynyt tutkimuksia, joissa kuumennuksen vaikutusta asfalttikiviaineeseen olisi tutkittu standardisoidulla lämpöshokkimenetelmällä sellaisilla kivillä, joita voitaisiin verrata suomalaisiin päällysteissä käytettäviin kiviaineisiin. Menetelmää on käytetty esimerkiksi karbonaattikiviaineiksilla, joita ei Suomessa käytetä asfalttipäällysteiden runkoaineena. Esimerkiksi kalkkikivi on karbonaattikivi ja sitä käytetään asfalttimassassa fillerikiviaineena (Asfalttinormit 2017, s. 86).

## 7. ASFALTTIROUHENÄYTTEET JA -TESTIT

### 7.1 Testausohjelma

Asfalttirouhenäytteitä oli viisi, joista rouheet 3 ja 4 olivat jyrsinrouheita ja loput olivat paloista murskattua rouhetta Etelä-Suomesta. Testejä tehtiin sekä jyrsinrouheelle että paloista murskatulle rouheelle, jotta nähtäisiin asfalttirouheen alkuperän vaikutus kiviaineksen ominaisuuksiin. Taulukkoon 16 on koottu rouheiden kuulamylytestausohjelma. Kuumennustavat on ilmoitettu muodossa K400\_30, jossa 400 on uunin asetustemperatura °C asteina ja 30 kuumennusaika minuuteissa. Tehtyjen sarjakuumennusten kuumennuskertojen lukumäärä on ilmoitettu näytetunnuksen alussa olevalla numerolla.

**Taulukko 16.** *Asfalttirouhenäytteiden kuulamylytestausohjelma.*

	Rouhe 1		Rouhe 2		Rouhe 3		Rouhe 4		Rouhe 5	
	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16
Ei kuumennusta	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
K400_15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
K400_30		x		x		x		x		x
K300_15	x		x							
K300_30		x		x						
K600_15										
5K400_15			x		x					

### 7.2 Testausmenetelmät

#### 7.2.1 Petrografinen tutkimus

Kiviaineksen mineralogia määritettiin standardin SFS-EN 932-3 mukaisesti. Asfalttirouheiden kiviaineksille petrografisen tutkimuksen teki Tampereen yliopiston geologi. Geologille koottiin jokaisesta näytteestä 150 rakeen tutkimusnäyte. Testausselostukseen koostettiin kiviainestyyppi, kivilajit, mineraalikoostumus ja kiviaineksen ominaisuudet.

#### 7.2.2 Kuulamylytesti

Kuulamylyarvo määritettiin standardin SFS-EN 1097-9 (2014) mukaisella menetelmällä. Kuulamylyarvo kuvaa kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyyttä. Aluksi kiviaines seuloittiin 8, 10, 11,2, 14 ja 16 mm seuloilla. Seulotut lajitteet pestiin 2 mm seulalla, jonka

jälkeen ne kuivattiin vakiomassaan  $110 \pm 5$  °C asteessa. Kuivauksen jälkeen yli 11,2 mm rakeista määritettiin ominaispaino verkkokorimenetelmällä standardin SFS-EN 1097-6 liitteen A mukaisesti. Verkkokorimenetelmää varten tehtiin kaksi noin 1 kg näytettä. Näytteet punnittiin sekä kuivana ilmassa että veteen upotettuna. Määritetyn ominaispainon avulla laskettiin kuulamylynäytteen massa fraktioittain. Kuulamylynarvon määrittystä varten tehdään aina kaksi rinnakkaista kuulamylytestiä, joten testinäytteitä valmistettiin kaksi jokaista testattavaa tapausa kohti.

Standardin SFS-EN 1097-6 mukaan yksittäistestinäytteen rakeisuuden tulee olla sellainen, että  $(65 \pm 1)$  % on rakeisuudeltaan 11,2-14 mm ja  $(35 \pm 1)$  % 14–16 mm. Yksittäistestinäytteen massa  $M_1$  saadaan seuraavalla kaavalla

$$M_1 = \frac{1000\rho_p}{2,65} \pm 5, \quad (2)$$

missä  $M_1$  on yksittäistestinäytteen massa grammoina ja  $\rho_p$  on standardin SFS-EN 1097-6 mukaisesti määritetty materiaalin ominaispaino.

Kuulamylytestissä rummun sisään laitetaan  $(7\,000 \pm 10)$  g teräskuulia, yksittäistestinäyte ja  $(2,00 \pm 0,01)$  litraa vettä. Kuvassa 48 on esitetty toinen koesarjassa käytetyistä kuulamylyrummuista.



**Kuva 48.** Kuulamylyrumpu.

Rumpu pyörii  $(5400 \pm 10)$  kierrosta, jonka jälkeen rummun sisältö tyhjennettiin ämpäriin ja rumpuun jäänyt kiviaines huuhdeltiin sekaan. Tämän jälkeen teräskuulat kerättiin pois

ja näyte pestiin 2 mm seulalla. Seulalla pesty näyte kuivattiin vakiomassaan ja kuiva näyte punnittiin. Punnituksen jälkeen laskettiin yksittäistestinäytteiden kuulamylyarvot  $A_N$  yhden desimaalin tarkkuudella seuraavan kaavan mukaan

$$A_N = 100(M_1 - M_2)/M_1, \quad (3)$$

missä  $M_1$  on yksittäistestinäytteen massa grammoina ennen testiä ja  $M_2$  on yli 2 mm kiviainesrakeiden massa grammoina testin jälkeen. Yksittäisnäytteiden tuloksista laskettiin keskiarvo, josta kahden tuloksen erotus ei saanut poiketa kuin 10 %.

Standardi SFS-EN 1097-9 mahdollistaa kuulamylytestin tekemisen myös raekokolajitteelle 8/11,2 mm. Tämä vaihtoehtoinen testi eroaa aiemmin esitellystä testistä ainoastaan kuulien halkaisijan osalta, sillä testinäytteet valmistetaan saman ohjeen mukaisesti niin, että fraktiot 11,2/14 ja 14/16 mm korvataan fraktioilla 8/10 ja 10/11,2 mm. Taulukossa 17 on esitettyä vaihtoehtoisen raekokolajitteen testiparametrit.

**Taulukko 17.** *Vaihtoehtoisen 8/11,2 mm raekokolajitteen testiparametrit. (SFS 1097-9, 2014)*

Kohta	Kohdan sisältö	Raekokolajite 8/11,2 mm	Raekokolajite 11,2/16 mm (referenssi)
5	Laitteet		
<a href="#">5.1.2</a>	Seulat (mm)	2-8-10-11,2	2-11,2-14-16
<a href="#">5.2.4</a>	Kuulat (halkaisija mm)	11,1 +0,1/-0,5	15,0 +0,1/-0,5
<a href="#">5.2.7</a>	Mittalaite, joka mittaa kuulien minimikoon		
	Kahden yhdensuuntaisen tangon etäisyys (mm)	10,7 ± 0,1	14,6 ± 0,1
	Yksittäistestinäytteiden valmistaminen		
6	Välikoon seula (mm)	10,0	14,0
	Välikoon seula läpäisyprosentti (%)	(65 ± 1)	(65 ± 1)

Taulukon 17 perusteella kuulamylytestin voi tehdä kahdesta eri raekokolajitteesta. Testausohjelman mukaisesti testejä tehtiin sekä 8/11,2 mm että 11,2/16 mm raekokolajitteille.

### 7.2.3 Vedenimukyky

Vedenimukyky testattiin standardin SFS-EN 1097-6 (2014) mukaisesti kahden eri asfalttirouheen kiviaineksesta 8/11,2 mm raekokolajitteesta, joita seulottiin kuulamylytestejä varten. Näytteiden vedenimukyky testattiin ensin kuumentamattomasta kiviaineksesta, minkä jälkeen samat näytteet kuumennettiin uunissa. Uunikuumentamiseksi valittiin viiden 15 minuutin kuumennuskerran sarja uunin ollessa 400 asteinen. Tällä menettelyllä haluttiin selvittää kiviaineksen kuumentamisen vaikutusta sen vedenimukykyyn.

Vedenimukyky testattiin pyknometrimenetelmällä ja testinäytteen massa määräytyi sen maksimiraekoon mukaan. Valmistettu testinäyte laitettiin pyknometriin eli testimenetelmää varten valmistettuun lasipulloon. Pyknometriin laitettiin vettä niin, että kiviaines oli kokonaan veden alla, ja lisäksi näytteen seasta poistettiin loukkuun jäänyt ilma pulloa pyörittämällä. Tämän jälkeen pyknometri laitettiin vesihauteeseen, jonka lämpötila oli  $(22\pm 3)$  °C, ja sitä pidettiin siellä  $(24\pm 0,5)$  h ajan.

Näytteen kyllästämisen jälkeen pyknometri täytettiin vedellä merkkiin asti ja se punnittiin. Näin saatiin kiviaineksen, pyknometrin ja veden yhteismassa, joka merkittiin muistiin. Pyknometri tyhjennettiin ja kiviainesnäyte laitettiin vettä imevälle alustalle valumaan hetkeksi. Ennen kiviaineksen pintakuivaamista pyknometri täytettiin vedellä, jotta saatiin myös sen massa. Valunut näyte pintakuivattiin ja punnittiin, minkä jälkeen se laitettiin uuniin kuivumaan  $(110\pm 5)$  °C lämpötilaan. Vakiomassaan kuivattu näyte jäähdytettiin huoneenlämpöiseksi ja punnittiin.

Vedenimukyvyn laskemiseksi pitää ensin laskea kiintotiheydet. Näennäinen kiintotiheys  $\rho_a$ , uunikuivattu kiintotiheys  $\rho_{rd}$  ja pintakuivattu kiintotiheys  $\rho_{ssd}$  lasketaan seuraavilla kaavoilla:

$$\rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \quad (4)$$

$$\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (5)$$

$$\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_4 - (M_2 - M_3)}. \quad (6)$$

Kaavoissa  $\rho_w$  on veden tiheys testilämpötilassa,  $M_1$  kyllästetyn ja pintakuivatun kiviaineksen massa ilmassa,  $M_2$  pyknometrin ja sen sisältämän kyllästetyn kiviainesnäytteen ja veden massa,  $M_3$  vedellä täytetyn pyknometrin massa ja  $M_4$  uunikuivatun näytteen massa ilmassa. Kiintotiheyksien laskemisen jälkeen saadaan laskettua vedenimukyky  $WA_{24}$ :

$$WA_{24} = \frac{100 \cdot (M_1 - M_4)}{M_4}. \quad (7)$$

Vedenimukyky ilmoitetaan prosentteina ja se pyöristetään 0,1 %:n tarkkuuteen.

#### 7.2.4 Lämpöshokki

Kiviaineksen kestoa lämpöshokkia vastaan voidaan testata standardin SFS-EN 1367-5 mukaisella menetelmällä, jota sovellettiin tähän tutkimukseen sopivaksi. Lämpöshokissa uunin asetustemperatuurina oli 700°C ja kuumennusaika kolme minuuttia. Kiviainesta laitettiin uuniin yhden kilogramman näyte, joka oli lajitteesta 11,2/14 mm. Näytteen massa ennen

lämpöshokkia kirjattiin ylös. Lämpöshokin jälkeen näyte seulottiin 5,6 mm seulalla. Lopuksi punnittiin seulalle jäänyt kiviaines sekä alite.

### 7.3 Asfalttirouhenäytteiden käsittely

Asfalttirouhenäytteille tehtiin esiseulonta ennen bitumin uuttamista. Esiseulonnassa käytettiin 8, 10, 11,2, 14 ja 16 mm levyseuloja. Esiseulonnan tarkoituksena oli erottaa alle 8 mm rakeet pois ennen uuttoa, koska niitä ei testausohjelman mukaisissa testeissä tarvittu. Asfalttirouheet olivat rakeisuudeltaan 0/16 mm. Kuvassa 49 on esimerkinäyte käsittelemättömästä rouheesta.



*Kuva 49. Käsittelemätöntä asfalttirouhetta.*

Kuvasta voidaan havaita, että asfalttirouheen rakeisuus painottuu selvästi alle 10 mm rakeisiin. Seulonnassa alite otettiin sivuun ja muut jakeet otettiin bitumin uuttoon. Kuvassa 50 ovat esitettynä esimerkkikuvat alitteesta ja 14/16 mm jakeesta.



**Kuva 50.** Esiseulonnan alite vasemmalla ja oikealla 14/16 mm lajite.

Esiseulonnassa alitetta muodostui noin 50 % alkuperäisestä rouhemäärästä. Oikeanpuoleisessa kuvassa on esiseulonnassa saatu 14/16 mm jae. Kuvasta voidaan havaita, että jakeen kiviainesrakeiden koko ei täysin vastaa seulakokoja, vaan seassa on hyvin paljon pienempien rakeiden yhteenliittymiä.

Esiseulotuista rouhenäytteistä uutettiin bitumi pois Controls Group:in automaattisella asfalttiansalysointilaitteella, joka oli malliltaan Pavelab 50. Liuottimena käytettiin metyleenikloridia.



**Kuva 51.** Uttamisessa käytetty asfalttiansalysointilaitte.

Näyte laitettiin pesurumpuun, joka asetettiin pesukammion sisälle. Pesurummun asennuksen jälkeen laitteen näytöltä valittiin haluttu ohjelma, jonka mukaan laite aloitti uutusuodatuksen. Ohjelman ensimmäisessä vaiheessa pesukammioon suihkutettiin liuotinta

pesurummun samalla pyöriessä. Liennut bitumi, hienoaines ja liuotin siirtyivät poistoputkea pitkin sentrifugille, jossa hienoaines erottui sentrifugikuppiin. Bitumin ja liuottimen seos poistui omaan säiliöönsä. Pesun jälkeen analysaattori huuhteli ja kuivasi näytteen, minkä jälkeen näyte oli valmis. Kuvassa 52 on esitettyä esimerkkinäyte uuton jälkeisestä tilanteesta.



**Kuva 52.** Uutettu näyte.

Kuvan 52 näyte on esiseulonnan 14/16 mm jakeesta, jota oli kuvassa 50. Kuvan 52 perusteella havaitaan, kuinka asfalttirouheessa on ollut pienempien rakeiden yhteenliittymiä ja näin ollen kiviaineksen rakeisuus ei vastaa uuttoon laitettun rouheen rakeisuutta.

Uuttamisen jälkeen sideaineesta pesty kiviaines seulottiin standardin SFS-EN 933-1 mukaisesti. Seulonnan tarkoituksena oli valmistaa kuulamyylilajitteita 8/10, 10/11,2, 11,2/14 ja 14/16 mm. Käytössä olivat 8, 10, 11,2, 14 ja 16 mm levyseulat. Seulonnassa 16 mm seulalle jääneestä kiviaineksesta määritettiin kiintotiheydet jokaiselle kiviainekselle.

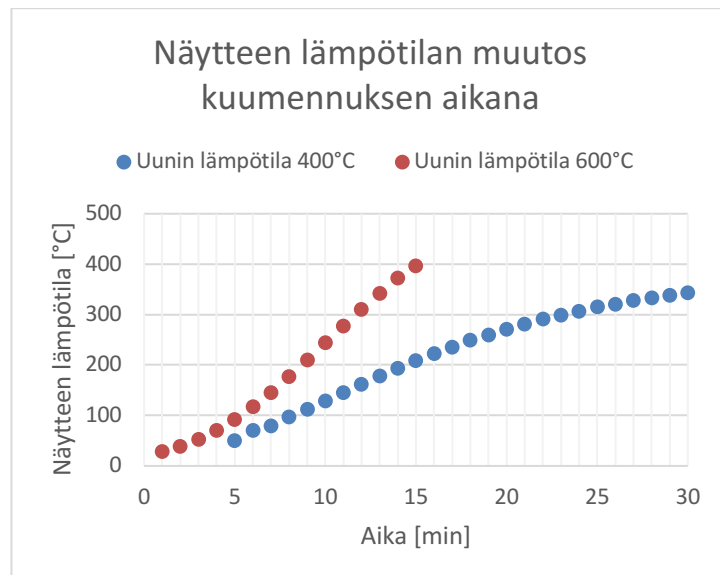
Testausohjelman mukaisesti osalle näytteistä tehtiin kuumennuksia uunissa. Ennen kiviainesnäytteiden kuumentamista uunin lämpötila tarkastettiin kalibroidulla lämpömittarilla. Uuniin laitettiin valmiiksi seulottuja kuulamyylilajitteita niin, että kerrallaan kuumentavana olivat kahden rinnakkaisnäytteen valmistamiseen tarvittavat kiviainekset. Tällä järjestelyllä voitiin varmistua siitä, että rinnakkaisnäytteille tehty kuumennus oli täysin samanlainen kummallekin näytteelle. Kuumennuksessa käytettiin kahta teräsvuokaa, jotta eri lajitteet pysyivät uunissa erillään. Kuvassa 53 on näytetty kuumennuksen järjestelyt.





**Kuva 53.** Kiviaineksen kuumentaminen uunissa.

Kuvasta 53 nähdään, kuinka näytteet olivat uunissa. Teräsvuoat olivat päällekkäin, koska uuniin ei olisi sopinut rinnakkain kahta vuokaa samanaikaisesti. Kiviaineksen lämpenemistä seurattiin lämpömittarilla, jonka anturi oli laitettu toiseen vuokaan kiviaineksen joukkoon. Kiviaineksen lämpötilaa seurattiin kuumennuksen ajan, kun uunin asetustemperatuurit olivat 400°C ja 600°C. Lämpötilamittauksen tulokset ovat esitettyinä kuvassa 54



**Kuva 54.** Lämpötilan kohoaminen kiviainesnäytteessä.

Kuvasta 54 voidaan havaita, että uunin asetustemperatuurin ollessa 400°C puolen tunnin kuumennuksen aikana kiviaineksen lämpötila ei noussut uunin asetustemperatuurin tasolle

vaan kiviaineksen maksimilämpötila oli noin 350°C. Kiviaines oli lämmennyt 15 minuutissa hieman yli 200°C:seen, joka on hieman korkeampi lämpötila kuin asfaltin valmistuksessa käytetään. Uunin asetustemperatuurilla 600°C kiviaines lämpeni 15 minuutin aikana noin 400°C asteeseen.

Osalle näytteistä tehtiin sarjakuuminen niin, että näytettä kuumennettiin useamman kerran uunissa. Sarjakuuminen näyte jäähdytettiin huoneenlämpöiseksi jokaisen kuumennuskerran jälkeen. Käytetty uunin lämpötila ja kuumennusaika valittiin tapauskohtaisesti. Lisäksi tehtiin yksi lämpöshokki 700°C asteessa. Lämpöshokissa kuumennusaika oli kolme minuuttia.

Kuumennuksen jälkeen näytteet jäähdytettiin huoneenlämmössä. Jäähdytyksestä näytteistä koottiin rinnakkaisnäytteet kuulamylytystä varten. Näytteet muodostettiin standardin SFS-EN 1097-9 mukaisesti.

## 7.4 Asfalttirouhetestien tulokset

### 7.4.1 Petrografinen tutkimus

Asfalttirouheiden kiviaineksen petrografian tulokset ovat koostettuna taulukossa 18.

**Taulukko 18.** *Asfalttirouheiden kiviainesten mineraalikoostumukset.*

	Kivilajit	Mineraalit	Pehmeiden mineraalien määrä
Rouhe 1	Graniitti 48,0 % Kiillegneissi 28,7 % Metavulkaniitti 11,3 % Granodioriitti 6,0 % Kvartsi-maasälpagneissi 4,0 % Tonalitti 2,0 %	Kalimaasälpä Plagioklaasi Kvartsi Kiille Sarvivälke	<15 %
Rouhe 2	Graniitti 47,4 % Metavulkaniitti 20,7 % Kiillegneissi 13,3 % Kvartsi-maasälpagneissi 9,3 % Granodioriitti 7,3 % Tonalitti 2,0 %	Kalimaasälpä Plagioklaasi Kvartsi Kiille Sarvivälke	<15 %
Rouhe 3	Graniitti 67,3 % Metavulkaniitti 28,0 % Kiillegneissi 4,7 %	Kalimaasälpä Plagioklaasi Kvartsi Kiille Sarvivälke	<10 %
Rouhe 4	Metavulkaniitti 82,0 % Kiillegneissi 8,7 % Graniitti 6,7 % Kvartsi-maasälpagneissi 2,6 %	Plagioklaasi Sarvivälke Kiille Kalimaasälpä	<5 %
Rouhe 5	Metavulkaniitti 32,6 % Granodioriitti 32,0 % Sarvivälke-kiillegneissi 18,7 % Graniitti 16,0 % Kvartsi-maasälpagneissi 0,7 %	Maasälvät Amfiboli Kiille Plagioklaasi KvartsiSarvivälke	-

Taulukon 18 tulokset ovat tutkittu 150 rakeen näytteestä. Jyrsinrouheet (rouhe 3 ja 4) olivat kiviainekseltaan huomattavasti tasalaatuisempia kuin paloista murskatut rouheet. Jyrsinrouheissa oli havaittavissa vain yksi pääkivilaji (kuvat 57 ja 58), mutta palrouheissa kivilajeja on useampia (kuvat 55, 56 ja 59). Tämä johtuu siitä, että asfalttipalakasaan ajetaan sekalaisia laatuja ja palojen mukana sekaan päätyy myös sitomattomien kerrosten materiaaleja. Alla on esitetty valokuvat tutkituista näytteistä. Kuvissa 55–59 on esitettyinä asfalttirouheiden 1–5 petrografianäytteet lajiteltuina kivilajeittain.



**Kuva 55.** Rouheen 1 petrografianäyte. Lajite 11,2/14 mm.



**Kuva 56.** Rouheen 2 petrografianäyte. Lajite 11,2/14 mm.



**Kuva 57.** Rouheen 3 petrografianäyte. Lajite 14/16 mm.



**Kuva 58.** Rouheen 4 petrografianäyte. Lajite 11,2/14 mm.



Kuva 59. Rouheen 5 petrografianäyte. Lajite 11,2/14 mm.

## 7.4.2 Kuulamylyttesti

Kuulamylyttestiä varten rouheiden kiviaineksille määritettiin kiintotiheydet, jotka ovat esitettyinä taulukossa 19.

Taulukko 19. Rouheiden kiviainesten kiintotiheydet.

	Rouhe 1	Rouhe 2	Rouhe 3	Rouhe 4	Rouhe 5
Kiintotiheys (Mg/m <sup>3</sup> )	2,67	2,67	2,73	2,73	2,72

Näytteet olivat kiintotiheysiltään hyvin samanlaisia. Jyrsinrouheilla kiintotiheys oli hieinan suurempi. Kuulamylyttestejä tehtiin kaikkien rouheiden lajiteille 8/11,2 mm ja 11,2/16 mm. Kuumennuskäsittelyt tehtiin valikoiden eri rouheille. Kuulamylytulokset ovat taulukossa 20.

Taulukko 20. Rouheiden kiviainesten kuulamylyarvot lajitteista 8/11,2 mm ja 11,2/16 mm.

	Rouhe 1		Rouhe 2		Rouhe 3		Rouhe 4		Rouhe 5	
Kuumennustapa	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16
Ei kuumennusta	11,6	12,8	11,4	13,2	6,7	7,0	7,7	7,3	12,3	12,9
K300_15	12,2		11,2							
K300_30		13,7		13,3						
K400_15	12,3	13,4	12,5	14,7	6,6	7,0	8,0	7,8	14,0	
K400_30		15,1		15,4		6,9		7,8		15,7
5K400_15			14,4		6,7					

Taulukossa 20 kuumennustavat on ilmoitettu muodossa K400\_30, jossa 400 on uunin asetustemperatuurina °C asteina ja 30 kuumennusaika minuuteissa. Tehtyjen sarjakuumennusten kuumennuskertojen lukumäärä on ilmoitettu näytetunnuksen alussa olevalla numerolla.

### 7.4.3 Vedenimeytyminen

Vedenimeytyminen määritettiin asfalttirouheiden 2 ja 3 kiviaineksista. Näytteet olivat lajittetta 8/11,2 mm. Rouheet valikoitiin siten, että niiden kuulamylyarvoissa oli huomattava ero. Vedenimeytyminen määritettiin ensin kuumentamattomasta näytteestä. Tämän jälkeen samoille näytteille tehtiin sarjakuumennus niin, että näytettä kuumennettiin viisi kertaa 15 minuutin jakso 400 asteisessa uunissa. Sarjakuumennuksessa näyte jäähdytettiin huoneenlämpöiseksi jokaisen kuumennuskerran jälkeen. Saadut tulokset ovat taulukossa 21.

**Taulukko 21.** *Vedenimeytymisen tulokset rouheille 2 ja 3.*

	Rouhe 2	Rouhe 3
Vedenimeytyminen ennen sarjakuumennusta (WA <sub>24</sub> )	0,27 %	0,24 %
Vedenimeytyminen sarjakuumennuksen jälkeen (WA <sub>24</sub> )	0,29 %	0,4 %

### 7.4.4 Lämpöshokki

Asfalttirouheelle 5 tehtiin yksi lämpöshokki. Kuumennukseen laitettiin 1,0 kg näyte. Kuumennuksen jälkeen seulalle jäi 998,7 g ja alitetta muodostui 1,3 g.

## 8. KIVIAINESNÄYTTEET JA -TESTIT

### 8.1 Testausohjelma

Referenssikiviaineksia oli neljä. Kiviainekset valittiin siten, että ne olivat kivilajeiltaan erilaisia ja lisäksi tavoitteena oli löytää kuulamylyluokaltaan eroavia kiviä. Taulukkoon 22 on koottu näiden kuulamylytestausohjelma. Kuumennustavat on ilmoitettu muodossa K400\_30, jossa 400 on uunin asetustemperatura °C asteina ja 30 kuumennusaika minuuteissa. Tehtyjen sarjakuumennusten kuumennuskertojen lukumäärä on ilmoitettu näytetunnuksen alussa olevalla numerolla.

**Taulukko 22.** Referenssikiviainesten kuulamylytestausohjelma.

	Referenssikivi 1		Referenssikivi 2		Referenssikivi 3		Referenssikivi 4	
	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16
Ei kuumennusta	x	x	x	x	x	x	x	x
K400_15						x		
K400_30		x		x	x			x
3K400_30		x		x		x		
K300_15								
K300_30								
K600_15		x				x		x

### 8.2 Testausmenetelmät

#### 8.2.1 Petrografinen tutkimus

Kiviaineksien mineralogia määritettiin standardin SFS-EN 932-3 mukaisesti. Referenssikiviaineksille 1–3 petrografisen tutkimuksen teki Tampereen yliopiston geologi. Geologille koottiin jokaisesta näytteestä 150 rakeen tutkimusnäyte. Testauselostukseen koostettiin kiviainestyyppi, kivilajit, mineraalikoostumus ja kiviaineksen ominaisuudet. Referenssikivelle 4 oli tehty tutkimus kiviainesvalmistajan toimesta Mitta Oy:llä.

## 8.2.2 Kuulamylyttesti

Kuulamylyarvo määritettiin standardin SFS-EN 1097-9 (2014) mukaisella menetelmällä. Menetelmäkuvaus on luvussa 5.2.2. Kiviainenäytteistä seulottiin 8/11,2 mm ja 11,2/16 mm kuulamylynäytteisiin tarvittavia lajitteita tarvittava määrä. Seulonnan jälkeen näytteet pestiin 2 mm seulalla, minkä jälkeen ne kuivattiin uunissa vakiomassaan.

Kuivaamisen jälkeen määritettiin kiintotiheydet ja niiden pohjalta muodostettiin tarvittavat kuulamylynäytteet.

## 8.3 Kiviainestestien tulokset

### 8.3.1 Petrografinen tutkimus

Referenssikiviainesten petrografian tulokset ovat koostettuna taulukossa 23.

**Taulukko 23.** Referenssikiviainesten mineraalikoostumukset.

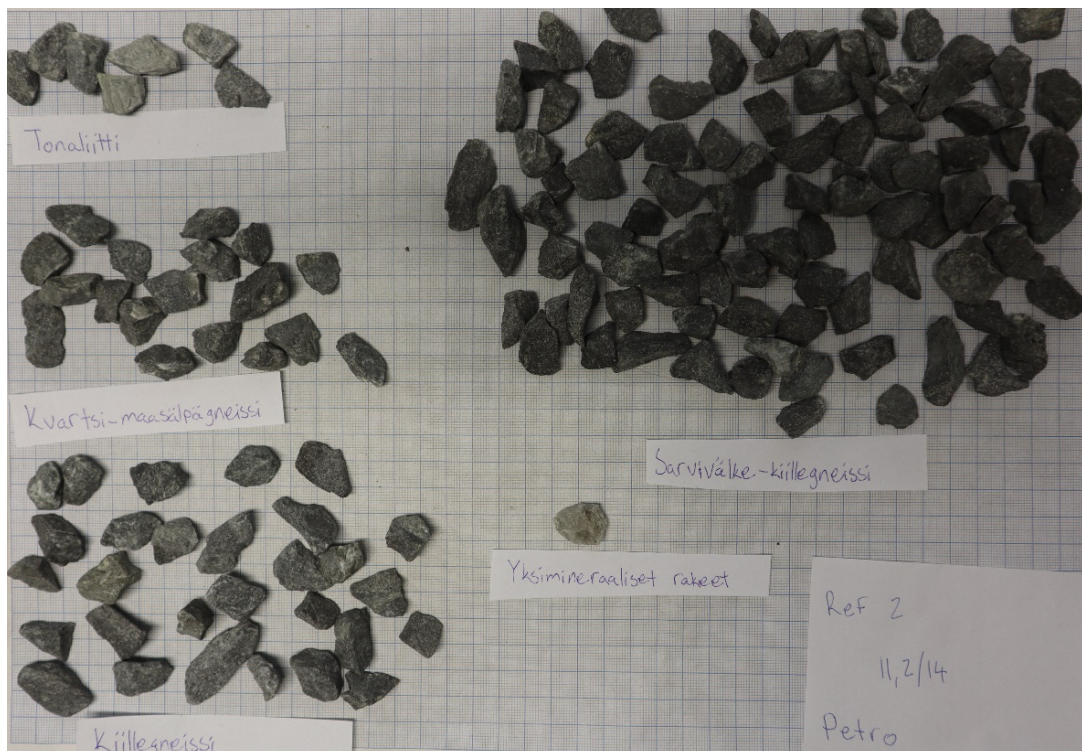
	Kivilajit	Mineraalit	Pehmeiden mineraalien määrä
Referenssikivi 1	Kvartsi-maasälpägneissi 33,3 % Sarvivälke-kiillegneissi 30,7 % Kiillegneissi 30,0 % Tonalitti 2,0 %	Kalimaasälpä Plagioklaasi Kvartsi Kiille Sarvivälke	<15 %
Referenssikivi 2	Metavulkaniitti 62,8 % Kiillegneissi 19,6 % Kvartsi-maasälpägneissi 12,2 % Tonalitti 4,7 % Yksimineraaliset rakeet 0,7 %	Plagioklaasi Sarvivälke Kiille Kvartsi Kalimaasälpä	n. 5 %
Referenssikivi 3	Granodioriitti 95,5 % Kiillegneissi 4,7 %	Plagioklaasi Kalimaasälpä Kvartsi Kiille Sarvivälke	n. 10 %
Referenssikivi 4	Intermediäärinen vulkaniitti	Epidootti Biotiitti Amfiboli Kvartsi Maasälvät	29 %

Alla on esitetty valokuvat (kuvat 60–62) tutkituista näytteistä.





**Kuva 60.** Referenssikiven 1 petrografianäyte. Lajite 11,2/14 mm.



**Kuva 61.** Referenssikiven 2 petrografianäyte. Lajite 11,2/14.



**Kuva 62.** Referenssikiven 3 petrografianäyte. Lajite 14/16 mm.

Referenssikiven 4 petrografianäytteestä ei ole valokuvaa, koska tutkimus on tehty kiviainesvalmistajan toimesta Mitta Oy:llä.

### 8.3.2 Kuulamylyttesti

Kuulamylyttestiä varten referenssikiviaineksille määritettiin kiintotiheydet, jotka ovat esitettyinä taulukossa 24.

**Taulukko 24.** Referenssikiviainesten kiintotiheydet.

	Referenssi- kivi 1	Referenssi- kivi 2	Referenssi- kivi 3	Referenssi- kivi 4
Kiintotiheys (Mg/m <sup>3</sup> )	2,68	2,72	2,71	2,79

Näytteet olivat kiintotiheyksiltään hyvin samanlaisia. Kuulamylyttestejä tehtiin kaikkien kiviainesten lajiteille 8/11,2 mm ja 11,2/16 mm. Kuumennuskäsittelyt tehtiin valikoiden eri referenssikiville. Kuulamylytulokset ovat taulukossa 25.

**Taulukko 25.** Referenssikiviainesten kuulamylyarvot lajitteista 8/11,2 mm ja 11,2/16 mm.

	Referenssi- kivi 1		Referenssi- kivi 2		Referenssi- kivi 3		Referenssi- kivi 4	
Kuumennustapa	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16	8/11,2	11,2/16
Ei kuumennusta	9,6	10,4	7,3	8,5	14,3	14,8	16,1	16,7
K300_15								
K300_30								
K400_15					15,7	16,9		
K400_30		11,9		8,3				16,6
3K400_30		12,2		8,4		17,0		
K600_15		23,2				23,7		16,4

Taulukossa 25 kuumennustavat on ilmoitettu muodossa K400\_30, jossa 400 on uunin asetustempötila °C asteina ja 30 kuumennusaika minuuteissa. Tehtyjen sarjakuumennusten kuumennuskertojen lukumäärä on ilmoitettu näytetunnuksen alussa olevalla numerolla.

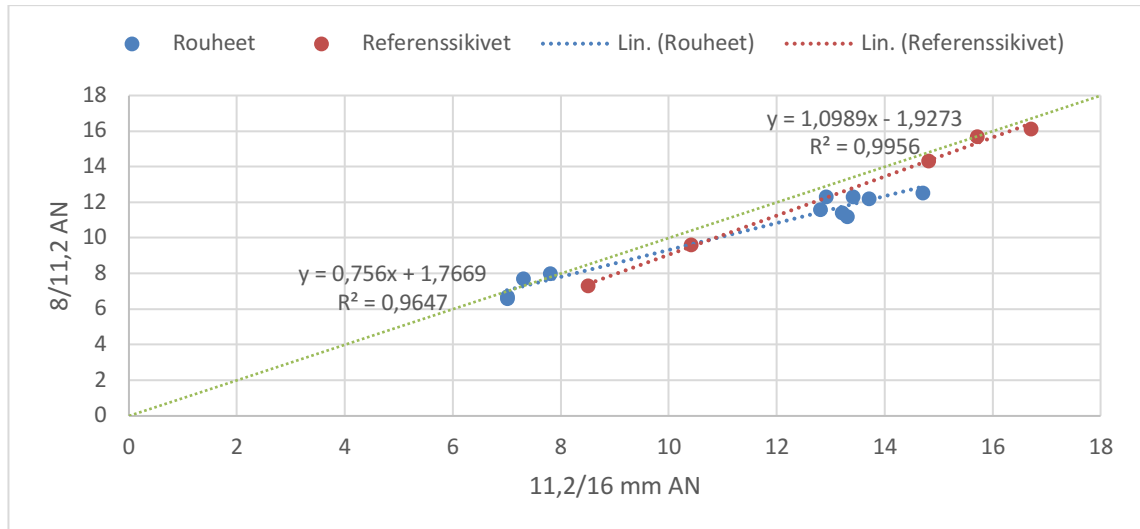
### 8.3.3 Lämpöshokki

Referenssikivelle 4 tehtiin yksi lämpöshokki. Kuumennukseen laitettiin 1,0 kg näyte. Kuumennuksen jälkeen seulalle jäi 997,9 g ja alitetta muodostui 2,1 g.

## 9. TULOSTEN ANALYSOINTI JA VERTAILU

### 9.1 Kuulamylytulosten korrelaatio

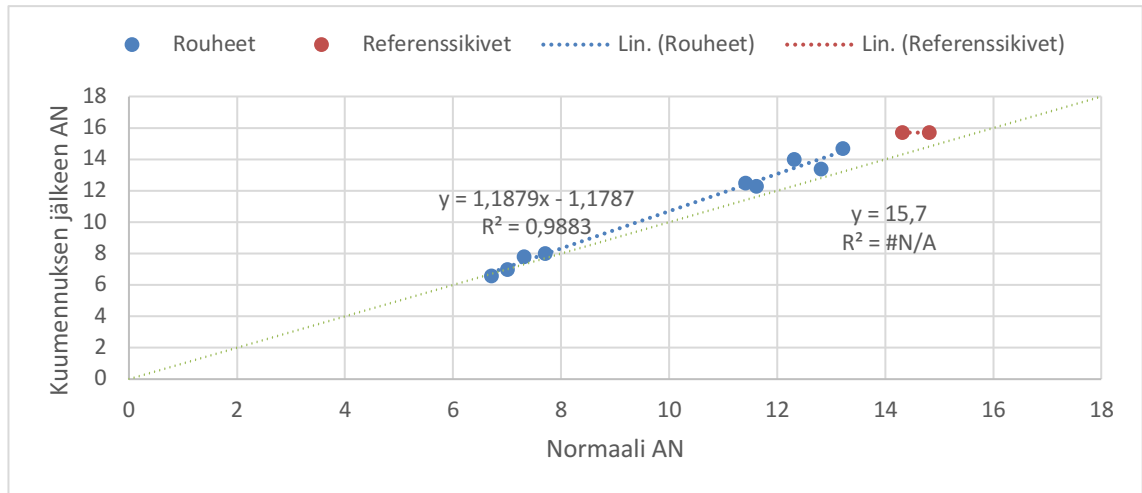
Kuulamylyttestejä tehtiin sekä 8/11,2 mm lajitteelle että 11,2/16 mm lajitteelle. Kuvaan 63 on koottu kuulamylytulokset kaikista niistä tapauksista, joissa testi tehtiin kummallekin lajitteelle.



**Kuva 63.** Erikokoisten lajitteiden tuloksien vastaavuus kaikista kiviaineksista. Katkoviivalla piirretty lävistäjä on tehty helpottamaan tuloksien vastaavuuden arviointia.

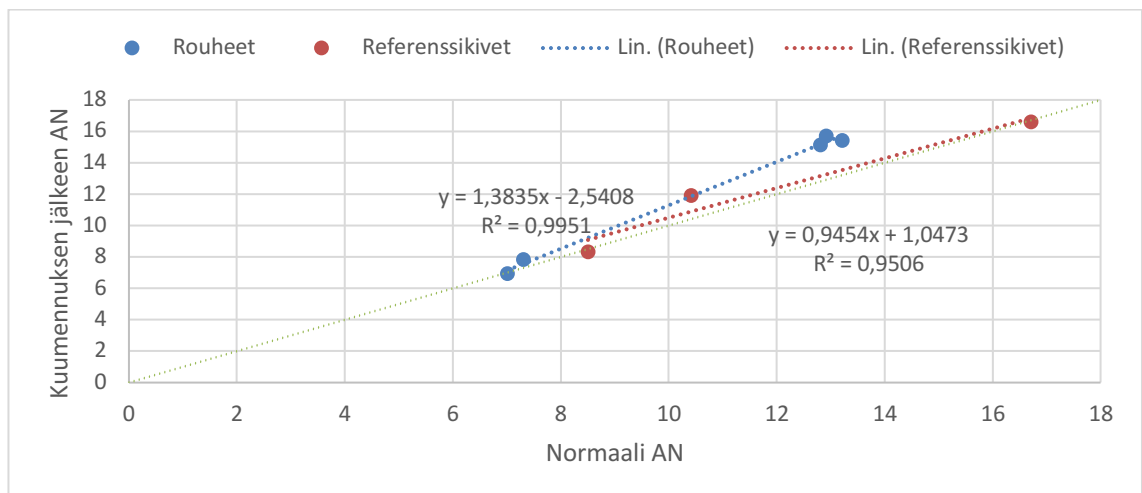
Kuvasta 63 voidaan havaita, että eri lajitteiden kuulamylyarvot vastasivat hyvin toisiaan. Saatujen tulosten perusteella hienomman lajitteen testaamista voidaan pitää yhtä luotettavana kuin karkeamman lajitteen. Karkeamman lajitteen tulokset olivat noin 10 % suurempia. Testattavan lajitteen raekoko saattaa joissakin tapauksissa muuttaa kiviaineksen kuulamylyluokan toiseksi, mikäli ollaan riittävän lähellä eri luokkien rajaa. Asfalttirouheiden kiviaineksista saatujen kuulamylytulosten keskinäinen korrelaatio oli hieman huonompi kuin referenssikivien tulosten. Korrelaatiokertoimen eroon saattaa vaikuttaa asfalttirouheen kiviaineksen epätasalaatuisuus, joka kävi ilmi petrografiassa. Referenssikiviaineksissa oli selvästi yksi pääkivilaji toisin kuin asfalttirouheissa 1,2 ja 3.

Kuvaan 64 on koottuna kuulamylytulokset ennen kuumennusta ja kuumennuksen jälkeen, kun lämpötila oli 400°C ja kuumennusaika 15 minuuttia. Kuvasta 64 ilmenee, että 15 minuutin kuumennuksen jälkeen kuulamylytulosten kasvaminen oli kaikilla asfalttirouheilla prosentuaalisesti lähes samaa tasoa. Referenssikivistä vain yhdelle tehtiin tämä kuumennus eikä sen kuulamylytulos muuttunut lainkaan.



**Kuva 64.** Kuumennuksen vaikutus kuulamylyarvoon (lämpötila 400°, kuumennusaika 15 min). Katkoviivalla piirretty lävistäjä on tehty helpottamaan tuloksien vastaavuuden arviointia.

Kuvaan 65 on koottuna kuulamylytulokset ennen kuumennusta ja kuumennuksen jälkeen, kun lämpötila oli 400°C ja kuumennusaika 30 minuuttia. Kuvasta 65 nähdään, että kuumennusajan pidentäminen aiheuttaa suurempaa tulosten kasvua normaali kuulamylytuloksen ollessa yli 10. Kiviaineksilla, joiden kuulamylytulos oli 7–10, ei ollut eroa eri kuumennusaikojen välillä.



**Kuva 65.** Kuumennuksen vaikutus kuulamylyarvoon (lämpötila 400°, kuumennusaika 30 min). Katkoviivalla piirretty lävistäjä on tehty helpottamaan tuloksien vastaavuuden arviointia.

## 9.2 Kuumennuksen vaikutus asfalttirouheiden kiviainesten kuulamylyarvoon

Tarkastellaan kuumennuksen vaikutusta asfalttirouheista 1–5 talteen otetun kiviaineksen kuulamylyarvoon. Kuvassa 66 on esitetty eri asfalttirouheiden kiviainesten kuulamylytulokset lajitteesta 8/11,2 mm.



**Kuva 66.** Asfalttirouheiden kiviainesten lajitteen 8/11,2 kuulamylytulokset.

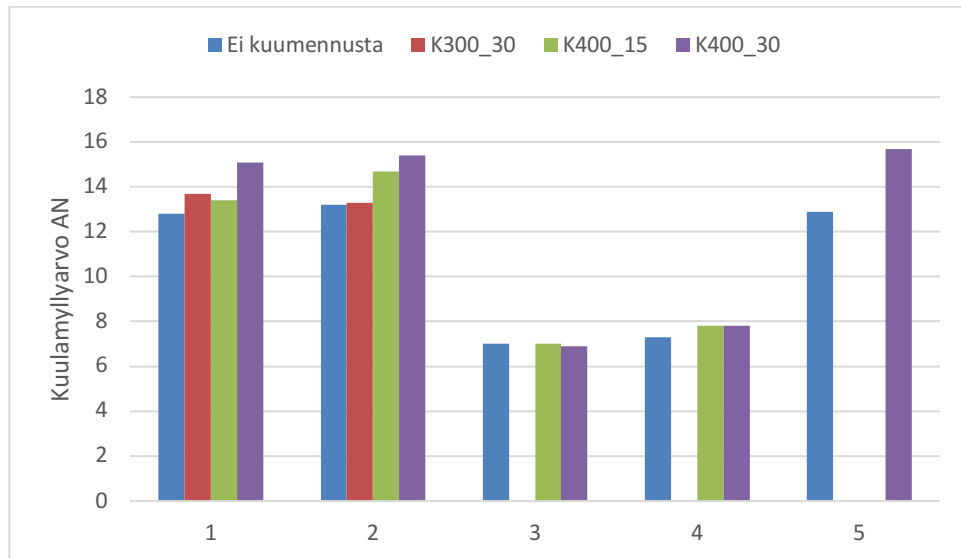
Kuvasta 66 voidaan havaita, että jyrsinrouheiden (rouheet 3 ja 4) kiviaineksen kuulamylytulokset eivät muuttuneet kuumennuksen myötä. Asfalttipaloista murskattujen rouheiden kiviaineksissa kuumennuksen vaikutukset olivat suurempia kuin jyrsinrouheiden. Muutoksia ei tapahtunut uunin lämpötilan ollessa 300°C. Asfalttirouheen 5 kiviaineksen kuulamylytulos kasvoi lähes 15 %, kun uunin lämpötila oli 400°C ja kuumennusaika 15 minuuttia. Rouheilla 1 ja 2 vastaavien kuumennusparametrien aiheuttamat muutokset olivat alle 10 %. Rouheille 2 ja 3 tehtiin myös viiden kuumennuskerran sarjakuumennus, jossa lämpötilana oli 400°C ja aikana 15 minuuttia. Rouheella 3 ei tapahtunut mitään muutosta, mutta rouheella 2 kuulamylytulos nousi kolme yksikköä. Kolmen yksikön tuloksen kasvu vastaa lähes yhtä kuulamylyluokkaa. Kuvassa 67 on rouheen 2 sarjakuumennettu näyte ja normaali näyte kuulamylytestin jälkeen.



**Kuva 67.** Vasemmalla asfalttirouheen 2 sarjakuumennettu ja oikealla normaali kuulamylynäyte testauksen jälkeen (lajite 8/11,2 mm).

Kuvan 67 vasemmanpuoleinen kiviainenäyte on sarjakuumennettu ennen kuulamylytestiä ja oikeanpuoleinen on normaali kuulamylynäyte. Sarjakuumennetun näytteen kuu-

lamyllytulokseksi saatiin 14,4 ja normaalitulos oli 11,4. Kuulamylytulos kasvoi kolme yksikköä. Kuvasta nähdään, että sarjakuumennetun näytteen kiviainesrakeet ovat pyörityneet hieman enemmän. Sarjakuumennettu kiviaines on hienontunut testauksen aikana hieman enemmän kuin normaali näyte. Hienontumisen kasvu johtuu kuumennuksen vaikutuksesta kivien sisäiseen rakenteeseen. Kuvassa 68 on esitetty eri asfalttirouheiden kiviainesten kuulamylytulokset lajitteesta 11,2/16 mm.



**Kuva 68.** Asfalttirouheiden kiviainesten lajitteen 11,2/16 kuulamylytulokset.

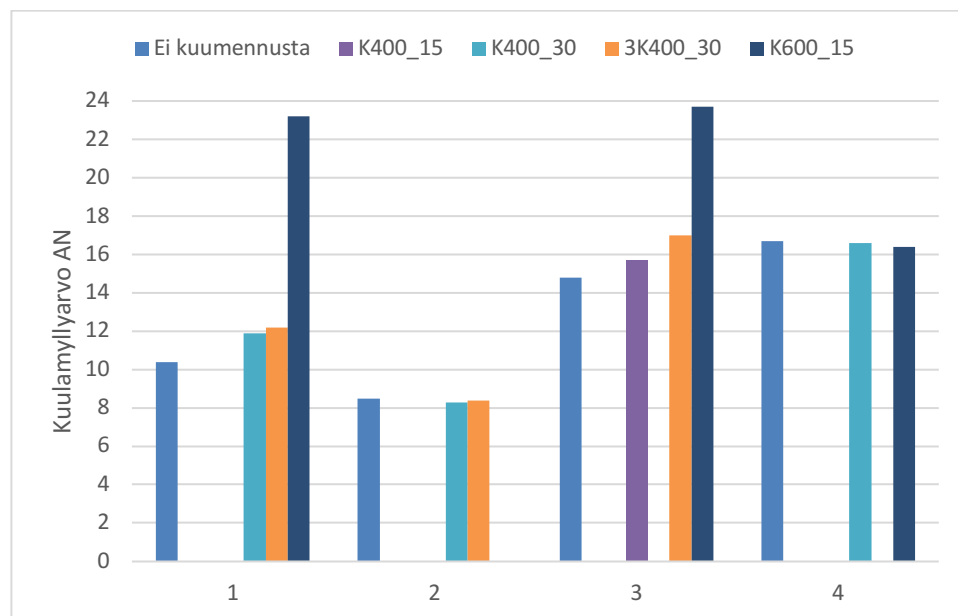
Kuvasta 68 nähdään, että jyrsinrouheiden kiviaineksen tulokset eivät muuttuneet myöskään lajitteella 11,2/16 mm. Kuumennusajaksi niille valittiin 15 ja 30 minuuttia lämpötilan ollessa 400°C, mutta kuulamylytuloksissa ei havaittu mitään muutosta. Rouheiden 1 ja 2 kiviaineksille tehtiin 30 minuutin kuumennus 300°C asteessa, mutta tämä ei vaikuttanut juurikaan tuloksiin. Rouheen 2 kiviaineksella muutos oli 1,5 yksikköä, kun lämpötila oli 400°C ja aika 15 minuuttia. Kun aikaa pidennettiin 30 minuuttiin, kuulamylyarvo kasvoi hieman yli kaksi yksikköä ja sama oli havaittavissa rouheen 1 kiviaineksella. Suurin muutos tapahtui rouheen 5 kiviaineksella, jonka tulos kasvoi lähes kolme yksikköä, kun kuumennusaika oli 30 minuuttia ja lämpötila 400°C.

Saaduista tuloksista voidaan päätellä, että pienemmän kuulamylyarvon omaavilla kiviaineksilla kuumennuksen vaikutukset ovat pienempiä kuin suuremman kuulamylyarvon kiviaineksilla. Kuumennuksen vaikutusta kuulamylyarvoon ei pysty selittämään petrografisen tutkimuksen tulosten eroilla, sillä esimerkiksi asfalttirouheiden 3 ja 5 kiviaineksissa oli lähes samat mineraalit. Lisäksi rouheen 5 kiviaines vastasi kivilajeiltaan 50 %:sesti rouheen 3 kiviainesta. Tästä huolimatta kuumennuksen vaikutus oli täysin erilainen. Petrografisen tutkimuksen perusteella paloista murskattujen asfalttirouheiden kiviaineksissa on enemmän pehmeitä mineraaleja.

Vedenimeytyminen testattiin kahden eri asfalttirouheen kiviaineksesta. Testattavaksi valittiin asfalttirouheet 2 ja 3, jotta testiin saatiin sekä jyrsinrouhe että asfalttipaloista murskattu rouhe. Kuumennuskäsittelyä oli viiden kuumennuskerran sarjakuumennus, jossa lämpötilana oli 400°C ja kuumennusaikana 15 minuuttia. Kuumennus ei vaikuttanut merkittävästi vedenimeytymiseen. Rouheella 2 vedenimeytyminen kasvoi 0,27 %:sta 0,29 %:iin. Rouheella 3 tulos ennen kuumennusta oli 0,24 % ja kuumennuksen jälkeen 0,4 %. Kaikki tulokset olivat kuitenkin selvästi alle vaatimuksena olevan 1 %:n.

### 9.3 Kuumennuksen vaikutus referenssikivien kuulamylyarvoon

Tarkastellaan kuumennuksen vaikutusta referenssikivien 1–4 kuulamylyarvoon. Kuvassa 69 on esitetty referenssikivien kuulamylytulokset lajitteesta 11,2/16 mm.



**Kuva 69.** Referenssikivien lajitteen 11,2/16 kuulamylytulokset.

Kuvasta 69 nähdään, että referenssikivien 2 ja 4 tuloksissa ei tapahtunut mitään muutosta. Referenssikiven 4 tulosten perusteella voidaan todeta, ettei normaali kuulamylyarvo tarkoita suoraan sitä, että kuumennuskäsittely kasvattaisi kuulamylyarvoa. Referenssikiville 1, 3 ja 4 tehtiin 15 minuutin kuumennus 600°C asteessa. Referenssikivellä 1 tulos nousi noin 13 yksikköä ja referenssikivellä 3 se nousi noin 9 yksikköä. Kuumennuksen jälkeen molempien kuulamylytulokset olivat hieman yli 23, vaikka kiviainekset olivat alun perin eri kuulamylyluokista. Referenssikiville 1–3 tehtiin kolmen kuumennuskerran sarjakuumennus, jossa lämpötilana oli 400°C ja kuumennusaikana käytettiin 30 minuuttia. Referenssikivellä 2 ei havaittu mitään muutosta sarjakuumennuksen vuoksi,



mutta kivillä 1 ja 3 tulokset kasvoivat noin kaksi yksikköä. Kuvassa 70 on referenssikiven 4 normaali ja 600°C asteessa kuumennetut kuulamylynäytteet.



**Kuva 70.** Vasemmalla referenssikiven 4 normaali ja oikealla 600°C kuumennettu kuulamylynäyte testin jälkeen (lajite 11,2/16 mm).

Kuvasta 70 nähdään, että näytteet näyttivät hyvin samanlaisilta testin jälkeen. Kuulamyllytulos ei eronnut näiden kahden välillä. Kuvassa 71 on esitetty vastaavat näytteet referenssikivestä 1.



**Kuva 71.** Vasemmalla referenssikiviaineksen 1 normaali ja oikealla 600°C kuumennettu kuulamylynäyte testin jälkeen (lajite 11,2/16 mm).

Kuvan 71 perusteella ei ole havaittavissa eroa siinä, että kumpaa näytteistä on kuumennettu. Vasemmalla on normaali ja oikealla 600°C asteessa kuumennettu näyte. Kuumennetussa näytteessä ei ollut kuulamylytestin jälkeen havaittavissa rikkoutuneita kiviainesarakeita normaalia näytettä enempää.

Referenssikiviaineksien lajitteen 11,2/16 mm saaduista tuloksista voidaan päätellä, että kuumennuksen vaikutukset ovat kivilajikohtaisia. Tästä hyvänä esimerkkinä toimivat referenssikivet 3 ja 4, jotka olivat samasta kuulamylyluokasta. Toinen kivistä ei kuitenkaan reagoinut kuumennuskäsittelyihin millään tavalla.

Kaikilla referenssikiviaineksilla ei testattu kuumennuksen vaikutusta lajitteesta 8/11,2 mm. Vain referenssikivelle 3 tehtiin tästä lajitteesta kuumennus. Kuumennuslämpötilaksi

valittiin 400°C ja ajaksi 15 minuuttia. Kuulamylytulos kasvoi kuumennuksen myötä noin 1,5 yksikköä ja tuloksen kuulamylyluokka vaihtui luokasta A<sub>N</sub>14 luokkaan A<sub>N</sub>19. Kuumennuksen vaikutus kuulamylyarvoon ei ollut kuitenkaan merkittävä.

## **9.4 Lämpöshokki**

Lämpöshokin vaikutusta tutkittiin yhdellä asfalttirouheen kiviaineksella sekä yhdellä referenssikivellä. Lämpöshokin jälkeen tehdyssä seulonnassa alitetta muodostui 1–2 promillea. Testattujen näytteiden perusteella voidaan sanoa, että sovellettu lämpöshokkimenetelmä ei sovellu suomalaisten asfalttikiviainesten testaamiseen.

## 10. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämä tutkimus koostui kirjallisuusselvityksestä ja kokeellisesta osuudesta. Lisäksi tehtiin asiantuntijahaastatteluita ja käytiin katselmoimassa kolme vuonna 2016 tehtyä PAB-päällystekohdetta, joissa oli käytetty asfalttirouhetta. Kirjallisuusselvityksessä koottiin tietoa asfalttirouheen käytön vaikutuksista asfalttipäällysteen ominaisuuksiin ja kuumennuksen vaikutusta kiviainekseen. Asfalttipäällysteen ominaisuuksissa keskityttiin kulumis-, deformaatio-, veden- ja jäätymis-sulamiskestävyyteen.

Kirjallisuusselvityksen perusteella todettiin, että asfalttirouheen käyttäminen voi vaikuttaa valmiin päällysteen ominaisuuksiin. Yleisimmin vaikutusten todettiin olevan positiivisia. Useimmissa tutkimuksissa päällysteen kulumis-, deformaatio-, veden- ja jäädytys-sulatuskestävyys paranivat asfalttirouheen määrän kasvaessa päällysteessä. Kirjallisuudesta ei löydetty tietoa päällysteen pitkäaikaiskestävyydestä ja asfalttirouheen käytön vaikutuksista siihen. Kirjallisuuden perusteella voidaan todeta, että kiviaineksen kuumentamisen vaikutus näkyy kiven rakenteessa vasta sen lämpötilan noustessa yli 300°C asteen. Suomalaiset asfaltin runkoaineiksena käytettävät kivilajit ovat rapautumattomia, joten kuumennuksen vaikutukset eivät ole niissä yhtä suuria kuin esimerkiksi kalkkikivessä. Asiantuntijahaastatteluissa nousi esille asfalttirouheen käytön puutteellinen ohjeistus koskien PAB-päällysteitä. Haastattelujen perusteella asfalttirouheen käytön kuumapäällysteissä katsottiin olevan hyvin hallinnassa ja se tuo lisämahdollisuuksia esimerkiksi päällysteiden deformaatiokestävyyden huomioimiseksi.

Katselmoituissa PAB-B-kohteissa havaittiin joitakin päällystevaurioita, kuten esimerkiksi purkaumia sekä pituus- ja poikkisuuntaisia halkeamia. Kohteet olivat katselmointihetkellä noin viisi vuotta vanhoja. Kohteissa oli käytetty asfalttirouhetta 10 %. Tehdyn vertailun perusteella kohteiden kunto oli vastaavan ikäisten PAB-B-päällysteiden keskiarvotasolla, joten asfalttirouheen käytön nähtiin olevan toimivaa myös pehmeissä asfalttibetoneissa. Vertailu tehtiin Väyläviraston korjaustarvetaulukon pohjalta. Vuosien 2012–2020 aikana tehdyissä Väyläviraston PAB-B-kohteissa oli käytetty kohteesta riippuen asfalttirouhetta 0–50 %, mutta suurin osa kohteista oli tehty kokonaan ilman asfalttirouhetta. Katselmoituista kohteista tehdyt havainnot vaatisivat pitkäaikaisseurantaa, jotta voitaisiin tehdä johtopäätöksiä asfalttirouheen käytöstä. Käytetty asfalttirouheen määrä vastasi hyvin asiantuntijahaastatteluissa saatuja tuloksia. Saatujen tulosten perusteella asfalttirouhetta voisi käyttää 10–20 % kaikissa PAB-B-kohteissa.

Asfalttirouheen käyttöä PAB-päällysteissä rajoittaa asfalttirouheelle tyypillinen kova sideaine. Lisäksi asfalttirouheet ovat usein peräisin AB-päällysteistä, jolloin niiden sideainepitoisuus on varsin korkea verrattuna PAB-päällysteiden sideaineprosenttiin. PAB-rouhetta ei käytännössä muodostu, sillä usein vanhat PAB-päällysteet joko sekoi tusjyrsitään tierakenteeseen tai ne jäävät uuden päällysteen alle. Päällyste ei toimi enää PAB-päällysteen tavoin, kun käytetty rouhemäärä on yli 40 %. Tällainen asfalttimassa vaatisi kuitenkin lisäsideainetta, jotta se täyttäisi AB-massan sideainepitoisuuden. Tällöin päällysteen joustavuus heikkenee ja se ei sovellu yhtä huonoille alustoille kuin ilman asfalttirouhetta tehdyt PAB-päällysteet. PAB-päällysteiden tekeminen on vähentynyt, koska talvihoitoluokkien muutoksen myötä myös alempiluokkaisia teitä on alettu suolaamaan. Pehmeän asfalttibetonin vedenkestävyys on kuitenkin niin heikko, että suo laamisen on epäilty nopeuttavan purkaumien muodostumista. Asiantuntijahaastatteluis sa nousi esille, että suuren asfalttirouheprosentin omaava PAB-päällyste voisi ke stää suo laamista paremmin ja yksi tällainen seurantako hde on jo tehty. Suuren asfalttirouhepro sentin käyttäminen PAB-B-päällysteissä vaatii tarkempaa suunnittelua ja päällystysko hteen tuntemista.

Tutkimuksen kokeellisessa osuudessa tavoitteena oli selvittää, mitä kuumentaminen vai kuttaa kiviaineksen kuulamylyarvoon. Tämän selvittämiseksi tehtiin kuumennuskäsitte lyjä ja kuulamylyttestejä viiden asfalttirouheen kiviaineksille ja neljälle referenssikivi ai nekselle. Lisäksi kaikille kiviaineksille tehtiin petrografinen tutkimus. Kaikkiaan kuulamy lyttestejä tehtiin 49 kappaletta, joista 30 tehtiin asfalttirouheille ja loput 19 referenssiki viaineksille. Kuulamylyttestejä tehtiin lajitteista 8/11,2 mm ja 11,2/16 mm. Kaikille testat taville kiviaineksille tehtiin normaali kuulamylytesti ilman näytteen kuumentamista ja li säksi testattiin 400°C ja 600°C uunissa kuumennettuja näytteitä.

Tehtyjen kuulamylytestien perusteella todettiin, että kuumennuksen vaikutus on hyvin kivilajikohtaista. Tulosten perusteella ei voitu todeta, että suurempi kuulamylyarvo tar koittaisi suoraan huonoa kiviaineksen kuumuudenkestoa. Kuulamylyttestejä tehtiin kah desta eri lajitteesta ja näiden keskinäinen korrelaatio havaittiin hyväksi. Asfalttirouheiden kiviainesten ja referenssikiviainesten kuulamylyarvot olivat hieman pienempiä, kun ne määritettiin lajitteesta 8/11,2 mm. Kuitenkin pienemmän lajitteen tuloksia voidaan pitää luotettavina ja lajitetta voidaan käyttää testaamiseen, mikäli lajitetta 11,2/16 mm ei ole saatavilla.

Tutkituilla kiviaineksilla kuumentaminen 300°C tai 400°C uunissa ei vaikuttanut kuula mylyarvoon merkittävästi, kun kuumennusaikana käytettiin 15 ja 30 minuuttia. Kiviainek sen lämpötila kohosi 200°C lämpötilaan, kun uunin asetustemperatuurana oli 400°C ja kuu mennusaikana 15 minuuttia. Tehdyillä sarjakuumennuksilla ei myöskään havaittu olevan

merkittäviä vaikutuksia kuulamylyarvoon. Merkittävä kuulamylyarvon kasvaminen saavutettiin, kun kuumennuslämpötilana käytettiin 600°C ja kuumennusaikana oli 15 minuuttia, minkä aikana kiviaineksen lämpötila kasvoi noin 400°C asteeseen. Tämä ääritilanne ei kuitenkaan vastaa käytännön asfaltin valmistuksen olosuhteita.

Petrografisten tutkimusten perusteella todettiin, että asfalttipaloista murskatun asfalttirouheen kiviaineksen mineraloginen koostumus vaihtelee. Lisäksi nämä asfalttirouheet sisälsivät jyrsinrouheita enemmän pehmeitä mineraaleja, mutta pehmeiden mineraalien määrä oli Asfalttinormien (2017) sallimissa rajoissa. Jyrsinrouheiden kiviaines oli huomattavasti tasalaatuisempaa, sillä niissä oli havaittavissa yksi pääkivilaji. Asfalttipaloista murskattujen asfalttirouheiden kiviaineksista ei havaittu yhtä selvästi yhtä pääkivilajia.

Kiviaineksen kuumentamisen vaikutukset ovat vaikeita ennustaa pelkän petrografisen tutkimuksen perusteella, mutta kuumentamisen riskit on hyvä tiedostaa. Kuumennuksen vaikutusta voisikin tutkia tien päällä esimerkiksi Remix-kohteissa, kun vanhaa päällystettä lämmitetään liekillä. Kuulamylyarvo tulisi tällöin määrittää ennen tehtäviä toimenpiteitä sekä Remixer-koneesta talteen otetusta jyritystä asfalttirouheesta.

Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että asfalttikiviaineksille tehtäviä koekuumennuksia ei ole järkevää ottaa rutiininomaiseksi toimenpiteeksi, koska kuulamylytulokset eivät muuttuneet merkittävästi uunin lämpötilan ollessa 400°C eli kiviaineksen lämpötilan noustessa noin 200°C. Jatkotutkimuksena voitaisiin mitata asfalttiasemalla saavutettavia kiviaineksen lämpötiloja, kun käytetään asfalttirouhetta ja kiviainesta joudutaan ylikuumentamaan asfalttirouheessa olevan veden vuoksi. Saatujen lämpötilojen perusteella voisi tehdä koekuumennuksia muutamille asfalttirouheille ja kiviaineksille. Asfalttirouheen varastointiin olisi hyvä ottaa käytännöksi varastokasojen peittäminen etenkin talven ajaksi, jotta asfalttirouheen vesipitoisuus ei kasvaisi niin suureksi ja lämmittämisen tarve asfalttiasemalla pienenis.

# LÄHTEET

Asiantuntijahaastattelut (2021).

Alatas, T., Koral, A., Kök, B. & Yilmaz, M. (2012). Comparison of permanent deformation and fatigue resistance of hot mix asphalts prepared with the same performance grade binders.

Alkio, R. & Vuorinen, J. (1992). Päällystekiviaineksen valinta.

Antretter, T., Hartlieb, P., Kuchar, F., Meisels, R. & Toifl, M. (2015). Thermo-physical properties of selected hard rocks and their relation to microwave-assisted comminution.

Arambula, E., Bhasin, A., Branco, V., Howson, J., Little, D., Lytton, R. & Masad, E. (2007). System for the evaluation of moisture damage using fundamental material properties.

Asfalttikallio (2021). Yrityksen verkkosivut. Saatavissa (viitattu 9.3.2021): [https://asfalttikallio.fi/palvelut/tilaa\\_meilta/jyrsintatyot/](https://asfalttikallio.fi/palvelut/tilaa_meilta/jyrsintatyot/).

Asfalttinormit 2017 (2017). Päällystealan Neuvottelukunta (PANK ry).

Bajmukhametov, G., Gayfutdinov, G. & Hafizov, E. (2008). Pavement wear process and abrasive wear resistance of asphalt concrete.

Behnia, B., Buttlar, W., Hill, B. & Reis, H. (2013). Evaluating of warm mix asphalt mixtures containing reclaimed asphalt pavement through mechanical performance tests and an acoustic emission approach.

Blomberg, T. 1990. Bitumit. Gummers kirjapaino Oy.

Dionísio, A. & Martinho, E. (2018). Assessment techniques for studying the effects of fire on stone materials: A literature review.

EAPA (2019). Asphalt in figures 2019.

Ekblad, J. & Lundström, R. (2016). Soft bitumen asphalt produced using RAP. Artikkel.

El-Korchi, T. & Mallick, R. (2018). Pavement engineering: principles and practice.

Garba, R. (2002). Permanent deformation properties of asphalt concrete mixtures.

Geng, J., Hao, S., Lv, C., Sun, Q. & Zhang, W. (2016). Experimental study on the variation of physical and mechanical properties of rock after high temperature treatment.

Geologia.fi (2018a). Suomen kallioperä. Saatavissa (viitattu 14.10.2021): <https://www.geologia.fi/2018/04/25/suomen-kalliopera/>.

Geologia.fi (2018b). Mitä ovat magmakivet? Saatavissa (viitattu 19.10.2021): <https://www.geologia.fi/2018/06/19/mita-ovat-magmakivet/>.

Guo, W., Tan, Y. & Xu, H. (2015). Internal structure evolution of asphalt mixtures during freeze-thaw cycles.

- Halonen, P., Laukkanen, K. & Pyy, E. (2012). Asfalttimassan kestävyys jäätymis-sulamista sekä veden ja kuormien yhteisvaikutusta vastaan.
- Heikkinen, H. (2012). Nastarenkaiden vaikutus päällysteiden kulumiseen taajamanopeuksissa. Lisensiaatintyö.
- Hugener, M. & Kawakami, A. (2017). Simulating repeated recycling of hot mix asphalt. *InfraRYL 2020/2* (2020). Rakennustieto.
- Jacobson, T. (1994). Undersökning av asfaltbelägningars resistens mot dubbade däck. Försök med provplattor I vägen och VTI:s provvägsmaskin.
- Jesus, C., Oliveira, J. & Silva, H. (2011). Are totally recycled hot mix asphalts a sustainable alternative for road paving? Artikkel.
- Karlsson, R. & Isacsson, U. (2006). Material-Related aspects of Asphalt Recycling—State-of-the-Art. Artikkel.
- Katajamäki, H. (2013). Asfalttirouheen määrän vaikutus AB16-päällysteen ominaisuuksiin. Opinnäytetyö.
- Korkka-Niemi, K. (1990). Kaivovesien happamoituminen Suomessa.
- Laurila, J. (2020). Asfaltin massatilastot 2020.
- Lehtimäki, H. (2012). Asfalttirouheen elvyttäminen keveillä öljytuotteilla. Diplomityö.
- Lerfald, B. (2007). Miljøvennlige vegdekker. Testing av deformasjonsegenskaper (wheel-track) og slitasjeregenskaper (Prall) av forsøksdekker lagt i Trolle i 2005.
- Liikennevirasto (2018). Liikenneviraston ohjeita 38/2018. Tierakenteen suunnittelu.
- Makowska, M. & Pellinen, T. (2018). Tutkimus asfalttipäällysteen uusiokäytöstä REMIX-tekniikalla.
- Opara, K., Skakuj, M. & Stöckner, M. (2016). Factors affecting raveling of motorway pavements – A field experiment with new additives to the deicing brine.
- PANK-4306 (2011). Asfalttimassan jäätymis-sulamis-kestävyys.
- PANK (2018a). PANK Oppimateriaali C2. Raaka-aineet. Saatavissa (viitattu 14.6.2021): <https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2021/01/c2-raaka-aineet.pdf>.
- PANK (2018b). PANK Oppimateriaali C8. Tiivistys. Saatavissa (viitattu: 22.6.2021): <https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2021/01/c8-tiivisty-a.pdf>.
- PANK (2018c). PANK Oppimateriaali C4. Asfalttimassan valmistus. Saatavissa (viitattu 10.11.2021): <https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2021/01/c4-asfalttimassan-valmistus.pdf>.
- Schumann, W. (1972). Kivet ja mineraalit värikuvina.
- SFS-EN 1097-6 (2014). Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 6: Kiintotiheyden ja vedenimukyvyn määrittäminen.

- SFS-EN 1097-9 (2014). Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 9: Nastarengaskulutuskestävyyden määrittäminen. Pohjoismainen testi (kuulamylymenetelmä).
- SFS-EN 12697-12 (2009). Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 12: Asfalttinäytteen vedenkestävyyden määrittäminen.
- SFS-EN 12697-16 (2016). Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 16: Nastarengaskuluminen.
- SFS-EN 12697-25 (2005). Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 25: jaksollinen viirumiskoe.
- SFS-EN 13108-8 (2016). Bituminous mixtures. Material specifications. Part 8: Reclaimed asphalt.
- SFS-EN 1367-5 (2011). Test for thermal and weathering properties of aggregates. Part 5: Determination of resistance to thermal shock.
- SFS-EN 1427 (2000). Bitumi ja bitumiset sideaineet. Pehmenemispisteen määrittäminen. Rengas-kuula menetelmä.
- Tiehallinto (2002). Tiehallinnon selvityksiä 15/2002. Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto.
- Tiehallinto (2004). Tiehallinnon selvityksiä 57/2004. Deformaation hallinta tien rakennekerroksissa.
- Tiehallinto (2005). Asfaltin uusiokäyttö tierakentamisessa. Helsinki.
- Tiehallinto (2007). Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki.
- Tiehallinto (2008). Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 46/2008. Päällysteen laadun testaus- ja mittausmenetelmien tarkkuus.
- Tie- ja katurakenteen suunnittelu (2018). Kurssin luentomateriaali.
- Trafikverket (2020). Bitumenbundna lager.
- Tuomala, A. (2020). Kiviaineksen laadun vaikutus asfalttipäällysteen nastarengaskulutuskestävyyteen.
- Valtioneuvoston asetus 846/2012 (2012). Valtioneuvoston asetus asfalttiasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista.
- Väisänen, H. (2014). Kierrätysasfaltin tekninen hyödyntäminen.
- Väylävirasto (2020). Väyläviraston ohjeita 6/2020. Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa.
- Väylävirasto (2021a). Väyläviraston julkaisuja 39/2021. Asfalttirouheen laatuvaatimusten kehittäminen.
- Väylävirasto (2021b). PAB-B päällysteiden toimenpiteet ja kuntotiedot. Excel-taulukko.



Väylävirasto (2021c). Väyläviraston ohjeita 10/2021. Päällystettyjen teiden korjauksen toimintalinjat.

Väätäinen, N. (2020). Asfalttipäällysteiden takuu aika.

Zaumanis, M. & Mallick, R.B. (2015). Review of very high-content reclaimed asphalt use in plant-produced pavements: state of the art. Artikkel.

Zhao, Z. (2015). Thermal influence on mechanical properties of granite: A microcracking perspective.

# LIITE A: ASIANTUNTIJAHAASTATTELUIDEN KYSYMYKSET JA VASTAUSTEN YHTEENVETO

Haastattelututkimus tehtiin kesä-syyskuussa 2021. Asiantuntijoita haastateltiin 12 kpl yhdeksästä eri organisaatiosta. Haastateltaviksi valittiin sellaisia asiantuntijoita, joilla on pitkä kokemus asfalttirouheen käyttämisestä ja PAB-päällysteistä. Haastateltavilla oli mahdollisuus vastata kirjallisena lähetettyihin kysymyksiin tai osallistua Teams-haastatteluun. Kysymykset jaoteltiin haastateltavien aseman mukaan joko tilaajille tai urakoitsijoille. Haastattelujen tulokset ovat koottuna anonyymisti.

## Onko havaintoja asfalttirouheen kiviaineksen heikkenemisestä?

Tilaajat:

- Ei voida sanoa, että kiviaines olisi heikentynyt. Rouheen käyttö on sallittua kuitenkin sellaisissa kohteissa, joissa kiviaineksen lujuus ei ole niinkään ratkaisevassa asemassa. Ei tarvitse huomioida, kun rouhetta käytetään oikein ja oikeassa paikassa. Asian tutkiminen kuitenkin vaikeaa, koska lopputuotteiden tulee kestää pitkään ja rouheen erot neutseellisiin materiaaleihin ovat hyvin pieniä.
- Todennäköisesti heikkenee sitä enemmän, mitä huonompaa kiveä on. Päällysteiden laatu heikentynyt viime vuosina ja yhdeksi vaikuttavaksi syyksi on epäilty rouheen käyttöä.
- Rouheen kiviaines hienonee, kun käyttökerrat lisääntyvät. Rouheen kiviaines voi olla kuitenkin jopa neutseellistä kiviainesta parempaa, koska rouheen kiviaineksen voidaan katsoa kubisoituvan murskausprosessissa.
- Ei ole tämänkaltaisia havaintoja.

Urakoitsijat:

- Ei ole havaintoja kiviaineksen heikkenemisestä, jos katsotaan asiaa kuulamylytulosten näkökulmasta. Rouheiden kiviainekset ovat lähtökohtaisesti luokiteltuja materiaaleja, joten huonoa kiveä ei ole. Rouheen kiviaineksessa kiihteet saattavat kuitenkin rikastua hienoimpiin fraktioihin.
- Todella hankala arvioida. Uunikumennusten perusteella heikkeneminen on todella kivilajikohtaista ja osa heikkenee. Ei ole kuitenkaan havaittu, että huono kuulamylytulos tarkoittaisi automaattisesti sitä, että kuumentaminen heikentää kiveä entisestään.

## Onko asfalttirouheen käytöllä havaittu olevan vaikutuksia veden-, deformaatio- tai kulutuskestävyyteen?

**Vedenkestävyys**

**Tilajaat:**

- Rouheella ei ole havaittu olevan vaikutusta tähän.
- AB-massoilla saadaan rouheen kanssa yhtä laadukasta päällystettä kuin ilmankin, koska prosessi osataan hallita jo niin hyvin.
- Ei voi sanoa, että olisi vaikutusta.

**Urakoitsijat:**

- Ei ole havaittu negatiivisia vaikutuksia.
- Vedenkestävyyteen liittyvää vertailua ei ole juurikaan tehty.

**Deformaatiokestävyys****Tilajaat:**

- Kierrätyspäällysteiltä ei haeta deformaatiokestävyyttä silloin, kun rouhetta käytetään oikealuokkaisissa teissä.
- Yleisesti alueellamme ei ole ongelmia deformaatiokestävyyden kanssa.

**Urakoitsijat:**

- Saattaa olla vaikutusta, koska rouheen kiviaines on hieman pyörästynyt. Tästä ei ole kuitenkaan havaittu olevan haittaa.
- Rouheen käyttäminen tuo deformaatiokestävyyden huomioimiseen uusia mahdollisuuksia. Rouheen määrän avulla voidaan ohjata sideaineen koivuutta, jotta saavutetaan haluttu deformaatiokestävyys.

**Kulutuskestävyys****Tilajaat:**

- Ei vaikuta.
- Kuulamylyarvon pientä laskua tapahtuu heikoimmilla kiviaineksilla.
- Näkemyksen mukaan kulutuskestävyys ei ainakaan parane, mutta tämä väite ei perustu tutkimustuloksiin. Merkitys korostuu silloin, kun käytettyä rouhetta ei tarvitse tutkia.
- Kulutuskestävyyden voidaan katsoa parantuvan, sillä monilla tieosuuksilla rouheen kiviaineksen kulutuskestävyys on ollut parempaa kuin vaatimuksissa on asetettu. Tämä johtuu hyvälaatuisen rouheen hyvästä saatavuudesta.

- Ei ole havaintoja, että vaikuttaisi. Tehdyt kohteet ovat kuitenkin vähäliikenteisiä teitä, jotka uusitaan yleensä muista syistä kuin liiallisen kuluminen vuoksi.

Urakoitsijat:

- Ei negatiivisia vaikutuksia. Vanha asfaltti on lajiteltava asfalttiasemalla, jotta esimerkiksi AN7 ja AN14 luokat pysyvät erillään ja uusia massoja voidaan suunnitella kulutuskestävyyden kannalta järkevästi.

### **Mikä on sopiva rouhemäärä PAB-massoissa?**

Tilajaat:

- Normaali hyvä rouhemäärä PAB-B-massoissa on tällä hetkellä 20–30 %. Kesäajan lämpenemisen vuoksi on mietitty, että voisiko PAB-päällysteissä siirtyä kovempiin bitumeihin, jotta saavutettaisiin parempi deformaatiokestävyys ja samalla rouheen käyttöä olisi mahdollista lisätä. Esimerkiksi rouhemäärän ollessa 30-40 % päällyste muistuttaa ominaisuuksiltaan enemmän AB:ta (paremmat kestävyys- ja deformaatio-ominaisuudet). Muodonmuutoskyky vähenee rouhemäärän kasvaessa kovan sideaineen vuoksi.
- Riippuu lopputuotteen vaatimuksista, mutta PAB-päällysteen on oltava kuitenkin joustava.
- PAB-päällysteiden tekeminen on lopetettu, koska hoitoluokkia korotettiin ja isoa osaa verkosta alettiin suolaamaan ja PAB-päällysteiden vedenkestävyys ei ole riittävä.
- Tyypillinen rouhemäärä on 20 %, mutta on tehty yksittäisiä kohteita jopa 30–35 %. Suurilla rouhemäärillä lopputuotteen sideaineluokka on ollut kuitenkin eri. Rouheen käyttöä PAB-päällysteissä voitaisiin lisätä.

Urakoitsijat:

- Kuuma-asemalla valmistettaessa 30 %. Rouhemäärää ei voida kasvattaa ilman, että päällysteeltä haettava joustavuus kärsisi. PAB-V massoissa ei saisi käyttää rouhetta lainkaan.
- Rouhetta käytetty PAB-massoissa yleensä noin 40 %. Tätä suuremmilla määrillä rouheen käyttöä rajoittaa lopputuotteelle määrätty sideaineen tunkeumaluokka. Lisäksi päällysteestä tulee enemmän AB-päällysteen tyyppinen, jos rouhetta käytetään enemmän.

### **Kuinka tartukkeet ja asfalttirouhe toimivat PAB-massassa?**

Urakoitsijat:

- Tartukkeita on käytetty aina sekä turboasemilla että kuuma-asemilla. Tartukkeiden käyttäminen jakaa kuitenkin mielipiteitä, koska se on huomattava lisäkustannus.
- Tartukkeita ei juurikaan käytetä PAB-B-massoissa. Käytetään ainoastaan turboasemilla.

### **Minkälaisille teille PAB+rouhe soveltuu?**

Tilaajat:

- Samoille kuin ilman rouhetta tehdyt.
- Samoille kuin neitseellinenkin PAB.

Urakoitsijat:

- PAB+rouhe soveltuu liikennemääriltään samankaltaisille teille kuin neitseellinen PAB. Pitää kuitenkin huomioida, että isolla rouheprosentilla ei tehdä päällysteitä huonolle alusrakenteelle.
- PAB+rouhe kestää liikenteen rasitusta paremmin kuin neitseellinen PAB, koska rouheen kanssa sideaineesta tulee kovempaa. PAB-päällysteitä tehdään usein alueille, joilla liikkuu verrattain paljon raskasta liikennettä, joten tämän puolesta rouheen käyttäminen on järkevää.

### **Miten varmistetaan rouheen sekoittuminen PAB-massaan?**

Urakoitsijat:

- Rouhe lämmitetään ja sekoitusaikaa tarkkaillaan
- Tarkkaillaan ulkonäköä, kuten muidenkin massojen valmistuksessa. Ei ole mitään testausmenetelmää, jolla asian voisi todentaa.

### **Onko PAB+rouhe tehtävä aina kuuma-asemalla?**

Urakoitsijat:

- Turboasemilla ei rouhetta kannata käyttää, koska saattaa aiheuttaa ongelmia tartunnan ja vedenkestävyyden kanssa. Kiviaines ja rouhe ovat kosteita ja lisäksi ne lämmitetään turboasemalla vesihöyryllä, joten valmiissa massassa on huomattava määrä kosteutta.

**Kuinka paljon rouhetta kannattaa maksimissaan käyttää PAB-B-massoissa, jotta sideaineiden yhdistelmä saadaan järkevällä sideaineprosentilla riittävän pehmeäksi?**

Urakoitsijat:

- PAB-massoja tehty jopa 50 % rouheesta eteläisessä Suomessa. Näistä saatu positiivisia kokemuksia, sillä niillä on saavutettu parempi kestävyys hyvillä routimattomilla alusrakenteilla.

**Aiheuttaako PAB-rouheen käyttäminen jotakin erityispiirteitä? Vai onko PAB-rouhetta käytettävissä?**

Urakoitsijat:

- PAB-rouhetta ei synny, vaan vanhat päällysteet sekoitusjyrsitään.
- PAB-rouhetta ei erotella. Vanha päällyste yleensä sekoitusjyrsitään. Lisäksi PAB-päällysteet ovat usein suoraan murskeen päällä, joten jyrsiminen ei ole mahdollista.

**Onko PAB-massoissa vielä alhaisempi valmistuslämpötila?**

Urakoitsijat:

- Valmistuslämpötilat ovat alhaisempia pehmeiden sideaineiden vuoksi, koska ne eivät kestä korkeita lämpötiloja.
- On.

**Kuinka hyvin mekaaniset ominaisuudet voidaan ennustaa PABista, jossa käytetty rouhetta?**

Urakoitsijat:

- Käytettävän rouheen sideaine on tutkittava etukäteen. Mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttaa eniten käytettävän rouheen määrä.
- PAB-päällysteiden mekaanisia ominaisuuksia ei juuri tutkita. Tavoitteena vain haluttu sideaineen pehmeys.

**Mitä kriteerejä rouheen käytölle on asetettu PABissa?**

Tilajaat:

- Rouheen käyttöä rajataan vain lopputuotteen sideaineluokalla.

- Viimeisiä PAB-kohteita tehdessä vaatimuksena oli, että lopputuotteen tunkeuman piti pysyä pehmeiden bitumeiden tunkeuma-alueella. Tämä mahdollisti rouheen käytön lisäämistä.
- Asfalttinormien vaatimukset.

Urakoitsijat:

- Rouheen käyttäminen PAB:issa vaatisi ohjeistusta. Tällä hetkellä tilaajat ohjaavat käyttöä ilmoittamalla maksimi rouhe-%:n.
- Suoria vaatimuksia/ rajoituksia rouheenkäytölle ei yleensä anneta, mutta tilaajat voivat vaatia lopputuotteen sideaineluokaksi 650/900. Tämä estää rouheen käyttämisen isommissa määrin.

### **Mitä riskejä ja epävarmuustekijöitä tulee mieleen rouheen käyttöön liittyen PAB-massoissa?**

Tilaajat:

- Riskejä hyvin vähän silloin, kun rouhekasat tutkitaan riittävällä tarkkuudella. Huonosti tutkitun rouheen vuoksi riskinä väärä sideaineluokka.
- PAB-päällysteillä on tyypillisesti korkea tavoitteellinen kestoikä, joten sideaineen vanhenemista tapahtuu käytön aikana. Miten rouheen vanha sideaine toimii?
- Lopputuotteen sideaineen riittävä pehmeys.
- Riskejä on enemmän kuin esimerkiksi AB+RC-kohteissa. MM. sää, levityslämpötila jne.
- Samat epävarmuustekijät kuin muillakin massatyypeillä eli rouheen heterogeenisuus ja niiden varastointi.

Urakoitsijat:

- Rouheen käyttömäärä on suurin riski, sillä liian suuri käyttömäärä aiheuttaa ongelmia mm. päällysteen joustavuuden suhteen. Lisäksi turboasemilla tehdyt PAB-massat rouheen kanssa ovat itsessään riski.

### **Onko tehdyissä kohteissa (PAB+rouhe) ollut normaalia enemmän korjattavaa?**

Tilaajat:

- Ei ole havaittu mitään sellaista, josta voisi rouheen käyttöä syyttää. PAB-päällysteitä suolattaessa vesi pääsee helpommin tyhjätilaan ja jäätyessään päällyste vaurioituu. Rouheen kanssa PABista tulee hieman tiiviimpi ja tyhjätila on pienempi, joten tällöin päällyste voi kestää hieman paremmin talvea.

- Suuntana PABin väheneminen, koska muuttuneiden talviolosuhteiden myötä PAB-päällysteiden vedenkestävyys ei ole riittävä.
- Epäonnistuneita kohteita on tullut, mutta varsinaista syytä ei ole saatu kiinni. Ongelmia on ollut enemmän kuin AB-päällysteillä. Havaitut ongelmat ovat liittyneet vedenkestävyyteen ja päällysteisiin on tullut purkaumia ja reikiä jopa takuuajana. Näistä kohteista ei ole kuitenkaan voitu varmuudella sanoa, että onko niitä suolattu.
- Suolauksen myötä todettu, että PAB-päällysteiden vedenkestävyys ei ole riittävä. Yksi seurannassa oleva PAB kohde, jossa on käytetty rouhetta ja tällä hetkellä seurataan, että kestääkö se muita PAB-kohteita paremmin suolausta.

Urakoitsijat:

- Ei ole havaittu takuuajaisia ongelmia.
- Kokemukset varsin hyviä. Ongelmia ollut lähinnä routivilla alustoilla, joissa kovempi PAB-päällyste ei kestä aivan yhtä hyvin kuin neitseellinen PAB.