

# **Asfalttipäällysteiden urautuminen**

Kuulamylyarvon ja asfalttirouheen vaikutukset päällysteiden urautumisnopeuteen



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Liikenneala, insinööri (AMK)

2023

Martina Pitkänen

Koulutus	Liikenneala	Tiivistelmä
Tekijä	Martina Pitkänen	Vuosi 2023
Työn nimi	Asfalttipäällysteiden urautuminen	
Ohjaajat	Noora Eklöf (HAMK) Eeva Huuskonen-Snicker (Destia) Juho Meriläinen (Destia)	

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten asfalttimassan sisältämän kiviaineksen kuulamylyarvo tai asfalttirouhe vaikutti asfalttipäällysteiden urautumisnopeuteen.

Lähtötietoina käytettiin Väyläviraston ja Destian tiedostoja, raportteja ja maanteiden palvelutasomittausten tuloksia vuosien 2017–2023 ajalta. Tuloksia haluttiin verrata myös Asfalttinormit 2023 taulukkoon 51, jossa esitettiin päällysteille alustavia valintaperusteita nastarengaskulutuskestävyysluokan valintaan. Tavoitteena oli saada vertailupohja sille, onko taulukossa olevat arvot oikein määriteltä.

Työn tilasi Väyläviraston teiden kunnossapidon ohjausosastolta Katri Eskola. Työ tuotetaan Destia Oy:n toimesta. Opinnäytetyön ohjaajina Destialta toimivat Eeva Huuskonen-Snicker ja Hämeen ammattikorkeakoulusta Noora Eklöf. Tarve tutkimukselle lähti Väyläviraston halusta selvittää miten asfalttimassan runkoaineen kuulamylyarvo ja asfalttirouhe vaikuttavat päällysteiden urautumisnopeuteen. Tutkimuksessa ilmeni, että Asfalttinormeissa 2023 päällysteille suositellut kuulamylyluokat ajonopeuden ja liikennemäärän mukaan vastasivat suhteellisen hyvin kohteiden urautumisnopeutta. Suurin urautumisnopeus oli pienemmillä kuulamylyluokilla. Urautumisnopeus laski yleisesti kuulamylyarvon suurentuessa. Tähän vaikutti se, että vilkkaasti liikennöidyillä teillä käytettiin yleisesti arvoltaan pieniä kuulamylyluokituksen saaneita kiviaineksia. Urautumisnopeus oli yleisesti tasaista päällyste ja ajonopeus huomioiden. Asfalttirouhekohteiden urautumisnopeus oli hieman suurempaa kuin uusista kiviaineksista valmistettujen kohteiden urautumisnopeus. Ero ei ollut suuri, ja urautumisnopeuteen todettiin vaikuttavan moni muukin tekijä kuin asfalttirouheen osuus. Asfalttirouheprosentin vaikutusta urautumisnopeuteen oli vaikea tulkita kohteiden hajanaisuuden vuoksi.

Avainsanat	Asfalttirouhe, kuulamylyarvo, päällyste, urautuminen
Sivut	48 sivua ja liitteitä 1 sivu

Traffic and Transport Management

Author Martina Pitkänen

Subject Rutting of Asphalt Pavements

Supervisors Noora Eklöf (HAMK)

Eeva Huuskonen-Snicker (Destia)

Juho Meriläinen (Destia)

Abstract

Year 2023

The aim of this thesis was to investigate how the ball mill value of aggregate or asphalt gravel affects the rutting rate of asphalt pavements. Data such as files, reports and results of road service level measurements collected during the years of 2017-2023 from the Finnish Transport Infrastructure Agency and Destia were used. The intention was to compare the results to the data presented in the table 51 of the Asphalt Standards 2023, in which preliminary selection criteria for wear resistance class for pavements with studded tires are introduced. The objective was to establish a reference point to determine whether the values in the table are correctly defined. The work was commissioned by Katri Eskola from the Road Maintenance Control Unit of the Finnish Transport Infrastructure Agency.

The examination of the data revealed that the ball mill classes recommended for pavements in the Asphalt Standards 2023 correspond well to the rutting rate of the sites based on driving speed and traffic volume. The highest rutting rate was observed with lower ball mill classes. Rutting rate decreases as the ball mill value increases. This was influenced by the common practice of using aggregates with lower ball mill classifications on heavily trafficked roads. Rutting rate is consistent considering the pavement type and driving speed. The rutting rate of asphalt gravel sites is slightly higher than those made from new aggregates. The difference is not significant, and it was observed that many factors, not just the proportion of asphalt gravel influence the rutting rate. It was challenging to interpret the impact of asphalt gravel percentage on the rutting rate due to the variation among sites.

Keywords: Asphalt aggregate, ball mill value, pavement, rutting

# Sisällys

## Sanasto

1	Johdanto .....	1
2	Asfalttipäällysteet.....	2
2.1	Asfalttipäällysteen laatuvaatimukset.....	2
2.2	Asfalttityypit.....	3
2.2.1	Asfalttibetoni (AB).....	3
2.2.2	Pehmeä asfalttibetoni (PAB).....	4
2.2.3	Kivimastikiasfaltti (SMA).....	4
2.2.4	Valuasfaltti (VA).....	4
2.2.5	Avoin asfaltti (AA).....	4
3	Asfalttimassan valmistusmenetelmät .....	5
3.1	Asfalttimassan valmistus asfalttiasemalla .....	5
3.2	Asfaltin kierrätys .....	8
3.3	Asfalttirouhe (RA).....	8
4	Päällystetyön toimenpidetyypit .....	10
5	Kuulamylyarvo .....	12
6	Asfalttipäällysteen urautuminen .....	13
6.1	Päällysteen kestävyysominaisuuksien vaatimukset .....	14
6.1.1	Nastarengaskulutuskestävyysvaatimus .....	14
6.2	Urautumisen luokat asfalttipäällysteisillä pinnoilla.....	16
6.2.1	Urautumistyyppi 0.....	17
6.2.2	Urautumistyyppi 1.....	17
6.2.3	Urautumistyyppi 2.....	18
6.2.4	Urautumistyyppi 3.....	19
6.2.5	Urautumistyyppien yhdistelmät .....	19
6.3	Urasyvyyden seuraaminen ja vaatimuksien asettaminen .....	20
7	Palvelutasomittaukset (PTM) .....	21
7.1	Maanteiden urien mittaus .....	22
8	Tutkittavan datan käsittely.....	23

8.1	Keskimääräisen urautumisen laskenta .....	23
8.1.1	Trendimalli .....	23
8.1.2	Oletusmalli .....	24
8.1.3	Urakehitysmalli.....	24
8.2	Datan suodatus .....	25
9	Tutkittavat kohteet.....	25
9.1	Kohteiden kuulamylyarvojen tekotapa ja määrittäminen .....	26
9.2	Päällysteiden käyttö kohteissa.....	26
10	Tulokset .....	27
10.1	Kuulamylyarvon vaikutus urautumisnopeuteen.....	29
10.1.1	Kuulamylyarvon vaikutus asfalttikonipäällysteen urautumisnopeuteen .....	30
10.1.2	Kuulamylyarvon vaikutus kivimastikiasfaltin (SMA) urautumisnopeuteen .....	32
10.1.3	Kuulamylyarvon vaikutus PAB-päällysteen urautumisnopeuteen....	34
10.2	Asfalttirouheen vaikutus päällysteen urautumisnopeuteen .....	36
10.2.1	Asfalttirouheen vaikutus urautumisnopeuteen asfalttikonipäällysteillä (AB) .....	37
10.2.2	Asfalttirouheen prosenttiosuuden vaikutus asfalttikonipäällysteen urautumiseen .....	41
10.2.3	Asfalttirouheen vaikutus PAB-päällysteen urautumisnopeuteen .....	43
11	Yhteenveto .....	44
	Lähteet.....	47

## **Kuvat, taulukot ja kaavat**

Kuva 1 Kaaviokuva torniasemasta (PANK Ry, 2021b, s. 15). .....6

Kuva 2 Kuva: RC-rumpusekoittimen toiminta (PANK 2021b, s. 15). .....7

Kuva 3 Asfalttiasema, jossa on kuumennusrumpu asfalttirouheelle (PANK, 2021b, s.16).7

Kuva 4 Asfalttirouheen alkuperä ja nimeäminen (PANK Ry, 2022, s. 3). .....	9
Kuva 5 Tien urautumiseen vaikuttavia tekijöitä (Virtala,2019, s. 26). .....	14
Kuva 6 Urautumistyyppi 0 (muokattu kuvasta Virtala, 2019, s. 22).....	17
Kuva 7 Urautumistyyppi 1 (Roadex, 2023) .....	18
Kuva 8 Urautumistyyppi 2, jossa muutos tapahtuu tienrakenteessa (Roadex, 2023). ....	18
Kuva 9 Urautumistyyppi 3. Kulutus kohdistuu vain päällysteeseen tai soratiellä sen kulutuskerrokseen (Roadex 2023).....	19
Kuva 10 Eri urautumistyyppien yhdistelmä (Roadex, 2023).....	20
Kuva 11 Urautumistyyppien synty eri vuodenaikoina (Virtala 2019, s. 22).....	20
Kuva 12 Urien mittauslaite pistelasertekniikalla 2003–2019 (Virtala, 2019, s. 15). .....	22
Kuva 13 Poikkileikkaus tiestä ja siihen muodostuneista urista ja harjanteesta (Virtala, 2019, s. 16).....	22
Kuva 14 Teiden keskimääräinen vuosittainen urautumisnopeus. ....	28
Kuva 15 Teiden urautumisnopeuden keskihajonta.....	28
Kuva 16 Kuulamylyarvon vaikutus päällysteen urautumisnopeuteen. ....	30
Kuva 17 Kuulamylyarvon vaikutus urautumisnopeuteen asfalttibetonipäällysteellä ajonopeuden ollessa yli 80 km/h.....	31
Kuva 18 Kuulamylyarvon vaikutus urautumisnopeuteen asfalttibetonipäällysteellä ajonopeuden ollessa alle 80 km/h.....	32
Kuva 19 Kuulamylyarvon vaikutus SMA-päällysteen urautumiseen yli 80 km/ ajonopeudella. .....	33

Kuva 20 Kuulamylyarvon vaikutus SMA-päällysteen urautumisnopeuteen ajonopeudella alle 80 km/h.....	34
Kuva 21 Kuulamylyarvon vaikutus PAB-päällysteen urautumisnopeuteen ajonopeudella yli 80 km/h.....	35
Kuva 22 Kuulamylyarvon vaikutus PAB-päällysteen urautumisnopeuteen ajonopeudella alle 80 km/h.....	36
Kuva 23 Uusista kiviaineksista valmistettujen päällysteiden ja asfalttirouheesta valmistettujen päällysteiden urautumisnopeus.....	37
Kuva 24 Teiden urautumisnopeus uusista kiviaineksista tehtyjen päällysteiden ja asfalttirouhepäällysteiden kesken.....	38
Kuva 25 Valtateiden urautumisnopeus AB-päällysteellä eroteltu asfalttimassojen perusteella. ....	38
Kuva 26 Seutu- ja yhdysteiden urautumisnopeus AB-päällysteellä. Asfalttimassat on eroteltu toisistaan. ....	39
Kuva 27 Seutu- ja yhdysteiden urautumisnopeus AB-päällysteellä kvl-luokittain. Asfalttimassat on eroteltu toisistaan. ....	40
Kuva 28 Asfalttirouheen prosenttiosuuden vaikutus urautumisnopeuteen. ....	41
Kuva 29 Asfalttirouheen prosenttiosuuden vaikutus AB-päällysteen urautumisnopeuteen kvl-luokittain.....	42
Kuva 30 Asfalttirouheen vaikutus urautumisnopeuteen PAB-päällysteessä. ....	43
Kuva 31 Asfalttirouheen vaikutus urautumisnopeuteen PAB-päällysteessä kvl-luokittain. ....	44

Kaava 1 Oletusmallin laskentakaava. ....24

Kaava 2 Urakehityksen laskentakaava. ....24

## **Liitteet**

Liite 1. Yleistiedot kohteista



## Sanasto

**Asfalttilaji:** Tietyllä maksimiraekooalla merkitty asfalttityyppi, esim. AB16.

**Asfalttimassa:** Seos, joka on valmistettu kivi- side- ja lisäaineista. Suunnitellaan kohdekohtaisesti sopivaksi.

**Asfalttipäällyste:** Asfalttimassa, joka on kohteeseen levitetty ja tiivistetty tai valettu.

**Asfalttirouhe:** Asfalttipäällystettä, joka on poistettu käytöstä jyrsimällä tai murskaamalla. Voidaan käyttää raaka-aineena uuden asfalttimassan valmistuksessa.

**Bitumi:** Valmistetaan maaöljystä tai luonnonasfaltista. Käytetään sideaineena.

**Deformaatio:** Nimitys pysyvälle muodonmuutokselle.

**Elvytin:** Käytetään asfalttirouheen vanhojen sideaineiden pehmentämiseen. Koostuu joko pehmeästä tiebitumista tai jostain muusta öljypohjaisesta tuotteesta.

**Fillerikiviaines:** Kiviaines, jota käyttämällä saadaan asfalttipäällysteeseen haluttuja ominaisuuksia.

**IRI:** Maanteiden palvelutasomittauksissa käytetty tunnusluku, joka kuvaa tien pituussuunnan vaihtelua.

**Kalliomurske:** Kallioulouheen mursketta.

**Karkea kiviaines:** Kiviaines, jonka maksimiraekoko on  $\leq 45$  mm ja minimiraekoko  $\geq 2$  mm.

**Kiviaineen raekoko:** Määritelty kiviaineen koko ylemmän ja alemman seulakoon mukaan.

**Kulumiskestävyys:** Kuvaa päällysteen kykyä kestää nastarenkaista aiheutuvaa kulumista.

**Kuulamylyarvo:** Laboratoriokokeella määritelty arvo, joka kuvaa asfalttipäällysteen nastarengaskulutuskestävyyttä.

**Kvl:** Tien liikennemäärä molempiin suuntiin. Laskettu vuoden keskiarvosta.

**Laatuvaatimukset:** Tuotteelle asetetut vähimmäisominaisuudet ja niiden määrät.

**Laatuvaatimusluokka:** Asfalttipäällysteelle määritelty luokitus, joka annetaan liikenteen määrän ja nopeusrajoituksen perusteella.

**PTM:** Lyhenne päällystettyjen teiden palvelutasomittauksille.

**RIDE:** PTM-mittauksissa tuotettava tunnusluku, joka kuvaa raskaan auton kuljettajaan kohdistuvaa tärinää.

**Trendimalli:** Kohteen mittaushistoriasta laskettu keskimääräinen urautuminen. Voidaan laskea vain kohteelle, jonka yleistiedot täyttävät trendimallin muodostamisen vaatimukset.

**Tyhjätila:** Päällysteen tilavuudesta mitattu prosenttiosuus kiviainesrakeiden väliin jäävästä tyhjästä tilasta.

**Tyypitestaus:** Testi, jossa selvitetään asfalttimassan tuotestandardien mukaan annetut ominaisuudet.

(PANK RY, 2023, ss. 9–15)

## 1 Johdanto

Suomi on pitkien etäisyyksien maa ja toimiva tieverkosto on elinehto ihmisten ja tavaroiden vaivattomalle ja turvalliselle liikkumiselle. Suomen tieverkoston kokonaispituudeksi Väylävirasto ilmoittaa noin 454 000 kilometriä. Tähän lukuun kuuluu myös kaupunkien ja kuntien katuverkostot sekä yksityistiet. Väylävirasto vastaa Suomen maanteistä, joita on noin 78 000 km. Niistä 65 % on päällystetty asfalttipinnoitteella, mikä vastaa noin 50 700 km. (Väylävirasto, 2023) Päällystetty tie nopeuttaa matkustamista sekä luo matkustusmukavuutta ja turvallisuutta. Suurin syy päällysteen urautumiselle on nastarenkaiden käyttö. Päällysteen urautuminen aiheuttaa liikenneturvallisuuteen liittyviä riskejä, joten siksi urautumisen seuranta ja urien korjaaminen on erityisen tärkeää. Kierrättäminen ja kiertotalous ovat nousseet merkittäviksi teemoiksi myös väylärakentamisessa ja väylien kunnossapidossa. Näiden huomioimista teiden rakentamisen ja kunnossapidon yhteydessä on alettu huomioimaan aina vain enemmän. Jyrsityn asfalttirouheen kierrätys uusien asfalttimassojen raaka-aineena on hyvin tärkeä ja ajankohtainen asia.

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena on selvittää asfalttipäällysteisten teiden urautumisnopeutta, asfalttirouhetta sisältävien päällysteiden urautumista sekä kuulamylyllyarvojen vaikutusta urautumisnopeuteen. Tutkimuskysymyksinä oli uusista kiviaineksista tehtyjen päällysteiden ja asfalttirouhetta sisältävien päällysteiden urautumisen erot sekä kuulamylyllyarvon vaikutus urautumisnopeuteen. Lisäksi tarkastellaan miten tutkimuksessa mukana olleille kohteille asetetut kuulamylyluokat vastaavat PANK Ry:n Asfalttinormit 2023 -ohjekirjan suositettamia kuulamylyluokituksia eri päällystetyypeille.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Katri Eskola Väyläviraston teiden kunnossapidon ohjausosastolta. Opinnäytetyön tuottaa Destia Oy. Destialla opinnäytetyön ohjaajina toimivat Eeva Huuskonen-Snicker ja Juho Meriläinen. Raportissa kerrotaan erilaisista asfalttipäällysteistä ja -massoista sekä niiden eri tyypeistä. Sen jälkeen perehdytään asfaltin kierrättämisen mahdollisuuksiin ja tapoihin. Käydään läpi eri päällystetöiden toimenpidemenetelmät sekä kuulamylyllyarvosta, sen tavoitteista ja määrittämisestä. Ennen

tulosten analysointia käydään vielä läpi asfaltin urautuminen tyyppiluokkineen sekä perehdytään päällystettyjen maanteiden palvelutasomittauksiin.

## **2 Asfalttipäällysteet**

Asfaltti on yleisnimi päällysteelle, mikä koostuu kiviaineesta ja bitumista. (PANK, 2021a, s. 1) Asfaltteja suunnitellaan ja lajitellaan kiviainesten maksimiraekoolla, jolloin määräytyy asfaltin laji. Asfalttilajin maksimiraekoko merkitään yleensä lajin lyhenteen perään, esimerkiksi AB16. (PANK Ry 2021a, s. 8)

Asfalttipäällysteet sisältävät kiviainesta, sideainetta, filleriä, ilmaa ja mahdollisia lisäaineita. Jokaiselle kohteelle suunnitellaan sen liikennemäärien, nopeusrajoitusten ja muiden haluttujen ominaisuuksien mukaan kiviaines, jota käytetään asfalttimassan raaka-aineena. Karkea kiviaines sopii kulutuskestävyytensä takia teille, joissa liikennemäärät ovat suuria ja hienorakenteinen kiviaines taas kevyen liikenteen väylille. Kiviaineksen muodolla ja karkean kiviaineksen määrällä voidaan vaikuttaa nastarengaskulutuskestävyyteen ja siten kulumisnopeuteen. (Kuula, 2019, s. 33) Asfalttinormit 2023 mukaan kiviaineksen rakeisuus ja massan sideainepitoisuus ovat asfalttimassan tärkeimmät elementit.

### **2.1 Asfalttipäällysteen laatuvaatimukset**

Käytettävä asfalttimassa valitaan jokaiselle työmaalle tai kohteelle erikseen ominaisuuksien ja tarpeiden mukaan. Kohdekohtaisesti asetetut laatuvaatimukset esitetään urakkasopimuksissa. Laatuvaatimusten saavuttamiseksi urakoitsijan on hankittava sopivat materiaalit sekä suunniteltava ja toteutettava niistä vaatimukseen sopiva massan koostumus. Lisäksi urakoitsijan on huolehdittava siitä, että työtä tehdään päällystetyölle sopivissa sääolosuhteissa. Kova sade, lammikoituva vesi ja alle viiden celsiusasteen lämpötila heikentävät päällysteen laatua. PANK Ry on määrittänyt laatuvaatimukset massamäärän, tasalaatuisuuden, koostumuksen, tyhjätilan, kitkan, tasaisuuden, kaltevuuden ja korkeusaseman kohdalta. Myös kulumis-, deformaatio-, veden- ja pakkasenkestävyyttä, jäätymis-sulamiskestävyyttä, meluisuutta ja vedenläpäisevyyttä ohjaavia vaatimusluokituksia löytyy tarvittaessa. Joissain tapauksissa riittää, että näyte otetaan valmiista päällysteestä.

Yleisesti laatua seurataan poranäytteillä tai muilla tavoilla, jotka eivät riko asfalttia, esimerkiksi päällystettyjen teiden palvelutasomittauksilla (PTM). (PANK Ry, 2023, s. 17) Taulukossa 1 on esitetty Asfalttinormit 2023 -ohjekirjan mukainen asfalttipäällysteiden laatuvaatimusluokitus. Tätä käytetään kaksikaistaisilla teillä ja kaduilla. Jos tiessä tai kadulla on useampia kaistoja, laatuvaatimusluokka ilmoitetaan tapauskohtaisesti.

Taulukko 1 Asfalttipäällysteen laatuvaatimusluokka kaksikaistaisilla teillä ja kaduilla (muokattu kohteesta PANK Ry, 2023, s. 17).

LAATUVAATIMUSLUOKKA			
Nopeusrajoitus (km/h)			
≥ 80		<80	
KVL (autoa/d)			
A	>5000		>10000
B	2500-5000		5000-10000
C	1500-2500		2500-5000
D	<1500		<2500

## 2.2 Asfalttityypit

Suomessa yleisesti käytettyjä asfalttityyppejä ovat asfalttibetoni (AB), pehmeä asfalttibetoni (PAB), kivimastikiasfaltti (SMA), valuasfaltti (VA) ja avoin asfaltti (AA).

### 2.2.1 Asfalttibetoni (AB)

AB:ta käytetään pääasiassa ajoradoilla, jalkakäytävillä, pihoilla, tierakenteen kantavassa kerroksessa, kuluneiden päällysteiden pintauksissa ja ympäristönsuojusrakenteissa. (Kuula 2019, s. 8). Sen koostumus ja kiviaineksen raekoko riippuvat siitä, mihin tien kerrokseen tai tarkoitukseen sitä käytetään. Näitä ovat yleinen kulutuskerroksen asfalttibetoni (AB), sidekerroksen asfalttibetoni (ABS) ja kantavan kerroksen asfalttibetoni (ABK). Ympäristönsuojusrakenteisiin usein laitetaan tiivistä asfalttibetonia (ABT). (PANK Ry, 2023 ss. 37–38)

### **2.2.2 Pehmeä asfalttibetoni (PAB)**

PAB on sopiva päällyste sellaisille väylille, joissa liikenne on vähäistä, tien routamitoitus ei ole riittävä ja kantavuus on heikko. PAB jaetaan kahteen alaluokkaan sen mukaan mitä sideainetta siinä on käytetty. (PEAB, n.d) Jos sideaineena on käytetty pehmeää tiebitumia, päällysteen lyhenne on PAB-p. Lyhennettä PAB-v käytetään taas, jos päällysteen sideaineena on käytetty viskositeettiluokiteltua bitumia. (PANK, Ry2023, s. 52)

### **2.2.3 Kivimastikiasfaltti (SMA)**

SMA-päällyste valmistetaan murskatusta ja karkeasta kiviaineesta. Kiviaineen on oltava vähintään 85 prosenttisesti kalliomursketta. Stabiloitua mastiksia käytetään täyttämään kiviainesrungon tyhjättilaa. SMA on päällysteenä kallista, joten sitä käytetään pääasiallisesti vain vaativien ajoratojen kulutuskerroksissa. (Kuula, 2019, s. 8)

### **2.2.4 Valuasfaltti (VA)**

VA valmistetaan murskeesta ja hiekasta. Sen täyteaineena käytetään kalkkikivijauhetta. Päällyste valetaan kuumana tielle, eikä sitä välttämättä tarvitse tiivistää. Soveltuu yleisesti korkeilla alueilla tehtäviin päällysteisiin, esimerkiksi siltojen ja kattojen päällystyksen. (Kuula, 2019, s. 25) Murskeen laatu valikoidaan päällystekohteen ominaisuuksista riippuen. (PANK Ry, 2023, s. 63)

### **2.2.5 Avoin asfaltti (AA)**

AA on vettä läpäisevä päällyste, koska siinä on toisiinsa yhteydessä olevia ilmahuokosia. Siksi onkin suositeltavaa, että AA:n yhteydessä käytetään vettä johtavia rakenteita. Lisäaineena käytetään selluloosakuitua tai luonnonasfalttia. AA:lla päällystetään tyypillisesti parkkipaikkoja ja pihvoja. (Kuula, 2019, s. 25)

### 3 Asfalttimassan valmistusmenetelmät

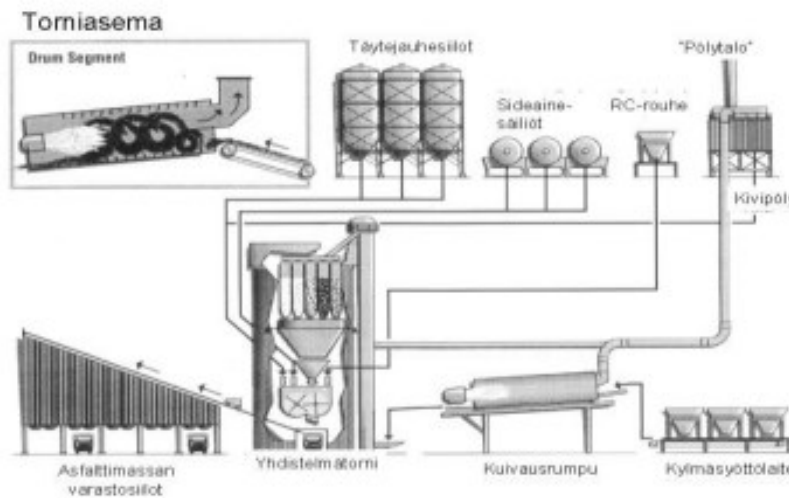
Asfalttinormit 2023 määritelmän mukaan ”asfalttimassa on kiviaineksesta, sideaineesta ja lisäaineista tietyn suunnitelman mukaan valmistettu seos”. Asfalttimassa suunnitellaan aina käyttökohteen mukaan sopivaksi. Koostumus voidaan suunnitella niin sanottuna toiminallisena suunnitelmana, jolloin määritellään massan tilavuussuhteet ja muut ominaisuudet tarkasti ja yksityiskohtaisesti. Asfalttinormit 2023 -ohjekirjassa lukee ” urakkakohtaisissa asiakirjoissa täytyy ilmoittaa mitä toiminnallisia ominaisuuksia vaaditaan ja mitkä ovat niiden vaatimusarvot”. Vähemmän vaativimpiin kohteisiin käy myös ns. kokemuseräinen suunnittelu ja se sisältää ainakin sideainepitoisuuden ja rakeisuuden määrittelyn. Kokemuseräinen suunnittelu sopii mm. pyöräilyn ja jalankulun väylien sekä sellaisten katualueiden päällysteiden suunnitteluun, joissa liikenne on vähäistä. Suunnittelutapa määritetään urakkakohtaisissa asiakirjoissa. (PANK RY, 2023, s. 30)

#### 3.1 Asfalttimassan valmistus asfalttiasemalla

Asfalttimassojen valmistusta määrittää eurooppalaiset tuotestandardit. Asfalttimassojen laatua valvotaan laadunvalvonnan standardien avulla. Samalla tavalla valvotaan raaka-aineiden ja niiden valmistusta. Asfalttimassa tyyppitestataan jokaisen asfalttimassakoostumuksen kohdalla, jolloin voidaan osoittaa, että massa vastaa tuotestandardin vaatimuksia. Tyyppitestaus on uusittava ainakin viiden vuoden välein tai jos raaka-aineissa tapahtuu jokin oleellinen muutos. (PANK Ry, 2023, ss. 30–31)

Asfalttimassat valmistetaan asfalttiasemilla. Ne muodostuvat joko kiinteistä yksiköistä tai siirrettävistä yksiköistä. Lisäksi asemat jaotellaan kahteen erilaiseen pääryhmään, joihin kuuluvat annos- ja jatkuvatoimiset asfalttiasemat. (PANK, 2021a, s. 1) Kuvassa 1 on kaaviokuva torniasemasta, joita asfalttiasemat usein ovat.

Kuva 1 Kaaviokuva torniasemasta (PANK Ry, 2021b, s. 15).



Asfalttimassaa varten tarvitaan käyttökohteesta riippuen erilaisia kiviaineita, joiden raekoko vaihtelee. Kiviaineet varastoidaan asfalttiasemalle tai kuljetetaan siirrettävän asfalttiaseman läheisyyteen. Kiviaines syötetään syöttölaitteeseen, joka on yleensä syöttösiilo, josta haluttu kiviaines kulkeutuu kuivausrumpuun hihnoja pitkin.

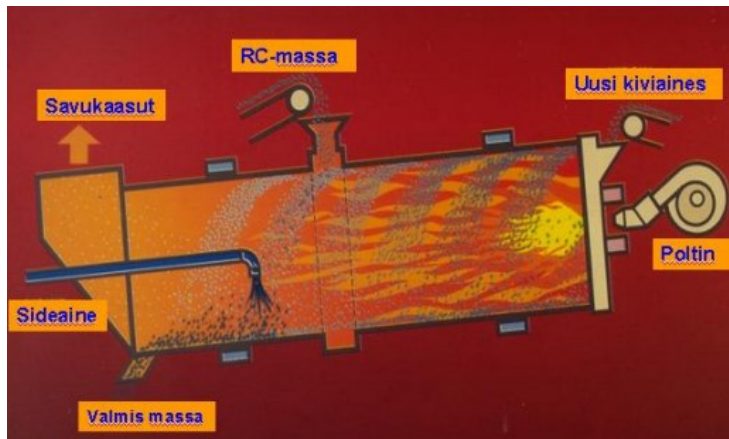
Kuivausrummussa kiviaines kuivatetaan ja sieltä kiviaines siirtyy seulontalaitteille, jossa kiviaines seulotaan raekoon mukaan. Kuumalajikkeena tuotettu massa välivarastoidaan siiloon, josta se siirretään sekoittimeen. Sekoittimessa siihen sekoitetaan side- ja täyteaineita. Näiden koostumus ja määrät riippuvat täysin halutusta lopputuotteesta. Sen jälkeen tuote välivarastoidaan. Mahdollisuus välivarastointiin mahdollistaa sen, ettei asfalttiasemaa tarvitse koko ajan pitää käynnissä. Varastoiminen kuitenkin aiheuttaa jonkun verran hankaluuksia massan koostumukselle, koska se saattaa varastoidessa lajittua. (PANK Ry, 2021b, ss. 4–8)

Jos asfalttimassaa valmistetaan niin sanotulla jatkuvatoimisella asfalttiasemalla, silloin massaa ei varastoida. Massa siirretään suoraan kuljetusautoon ja kuljetetaan työmaalle. Näiden yleisempien asfalttiasemien lisäksi on myös erikoisasemia, joihin lukeutuu uusiomassan valmistukseen käytettävät asemat. Näissä kiviaineet sekoitetaan ja suhteutetaan kylmäsyöttölaitteilla. Suomessa on muutamia uusiomassan käyttöön tarkoitettuja kaksirumpuisia asfalttiasemia, joissa saadaan uusiomateriaali kuumennettua erikseen. Kuvassa 2 on kaaviokuva, mikä havainnollistaa uusiomassan tekotapaa RC-



rumpusekoittimessa. Kuvassa 3 on asfalttiasema, jossa on erillinen kuumennusrumpu asfalttirouheen kuumennusta varten. (PANK Ry, 2021b, ss. 14–19)

Kuva 2 Kuva: RC-rumpusekoittimen toiminta (PANK 2021b, s. 15).



Kuva 3 Asfalttiasema, jossa on kuumennusrumpu asfalttirouheelle (PANK, 2021b, s.16).



Myös uusiomateriaalia voidaan valmistaa liikkuvassa RC-asfalttiasemassa. Silloin tieltä jyrssitty asfalttirouhe saadaan kerättyä ja kierrätettyä samaan kohteeseen. Aseman etuosassa keräilylaite nostaa tielle jyrssityn materiaalin laitteeseen sisään, jossa se kuumennetaan, valmistetaan massaksi ja levitetään tielle saman tien. (PANK 2021b, s. 16)

### 3.2 Asfaltin kierrätys

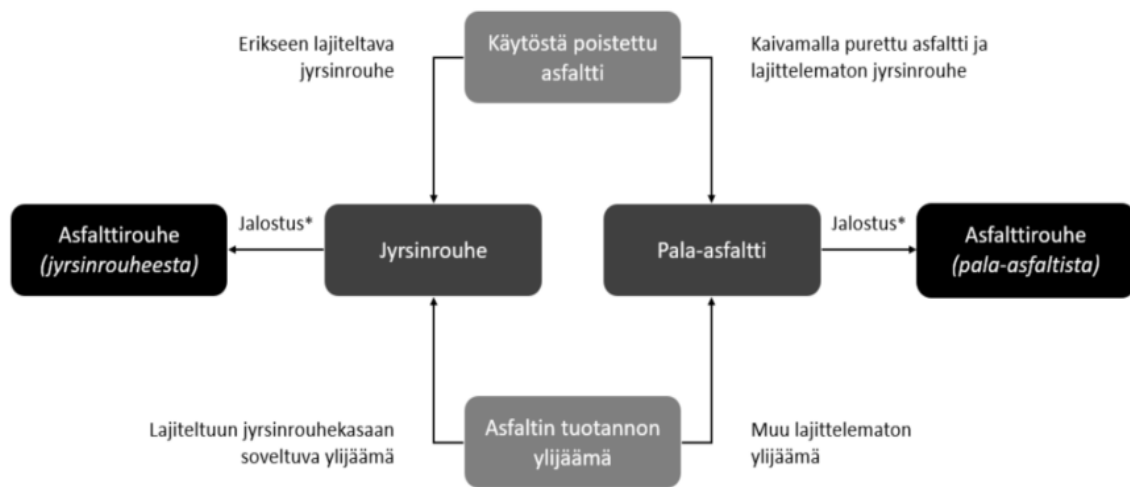
Asfalttipäällysteet voidaan kierrättää. Tämä on tärkeää, koska kierrättämällä päällysteitä voidaan vähentää uusien luonnon raaka-aineiden kulutusta sekä haitallisten päästöjen määrää. Kierrättämällä asfalttipäällysteitä saadaan myös taloudellista säästöä. Asfaltin uusiokäyttöä on hyödynnetty 1970-luvulta asti. Lainsäädäntö ja asetetut laatuvaatimukset ohjaavat asfaltin kierrättämistä. (PANK Ry, 2022, s. 2)

Kierrätettävyyteen voi kuitenkin vaikuttaa päällysteessä käytetyt lisäaineet. Asfalttimassan suunnittelu- ja valmistusvaiheessa urakoitsijan on huolehdittava siitä, ettei käytettävät lisäaineet estä tai rajoita asfaltin myöhempää kierrätystä. (PANK Ry 2023) Jos asfaltti on ollut huoltoasemien tai polttoaineiden jakelualueiden pihalla, haitallisten aineiden tai kemikaalien varastoalueella on asfaltti toimitettava jätteenkäsittelylaitokselle, eikä sitä näin ollen voida kierrättää. (PANK, 2022, s. 3)

### 3.3 Asfalttirouhe (RA)

Asfalttijätettä syntyy, kun puretaan tie-, katu ja aluerakenteita. Jäte toimitetaan asfalttiasemille kierrätykseen ja tavoitteena on käyttää jätettä ensisijaisesti asfaltin raaka-aineena. (Väylävirasto 2022b, s. 20) Kuva 4 kuvaakin hyvin sitä, miten asfalttirouheen nimeäminen tapahtuu sen syntyvän mukaan. Asfaltti poistetaan kohteista jyrsimällä tai paloina ottamalla. Paloiteltu asfaltti joudutaan murskaamaan, jotta siitä saadaan valmistettua asfalttirouhetta. Paloina otettu asfaltti sisältää yleensä monia eri päällystelajeja, koska asfaltin paloittelussa asfaltti irtoaa useamman päällystekerroksen paloina. Jyrsimällä saadaan irti vain päällysteen päällyskerros, jolloin materiaali on kokonaisuudessaan samaa päällystettä ja siinä on jo valmiiksi esim. hyvän nastarengaskulutuksen omaavaa kiviainesta. Pala-asfaltti ja jyrsinrouhe pidetään asfalttiasemilla tästä syystä erillään. Asfalttirouhetta saadaan myös asfaltin tuotannon ylijäämästä. (PANK Ry, 2022, s. 2)

Kuva 4 Asfalttirouheen alkuperä ja nimeäminen (PANK Ry, 2022, s. 3).



Asfalttirouheen ja – murskeen koostumus ovat kiviaines ja bitumi. Ne ovat luonnonkiviainekseen verrattuna vähemmän vedenherkempiä ja myös routivuus pienenee, koska hienoaines on jo valmiiksi sitoutunut bitumiin. Näitä voidaan käyttää päällysteen lisäksi myös kantavassa kerroksessa, kulutuskerroksessa sekä stabiloidussa kantavassa kerroksessa. (Väylävirasto, 2022b, liite 2/2) Asfalttirouheen kuulamylyarvo on aina selvitettävä. Kuulamylyarvon on vastattava päällysteen kiviaineen vaatimuksia. (PANK Ry, 2023, s. 94). Asfalttirouhetta on saatavilla Suomen suurimmissa kaupungeissa hyvin ja pääkaupunkiseudulla erittäin hyvin. Muualle Suomeen asfalttirouheen saatavuus on satunnaista. (Kuula, 2021, s. 9) Asfalttirouhetta saa olla asfalttimassassa saa enintään 60 % ja määrä on ilmoitettava asfalttimäärän tyyppitestausraportissa. Tilaajan halutessa on asfalttirouhetta mahdollista käyttää massassa enemmän kuin 60 %. Silloin rouheen määrä on otettava huomioon deformaatiokestävyydessä ja suunnittelussa yleisesti. (PANK Ry, 2023, s. 94)

Väyläviraston julkaisussa Asfalttirouheen laatuvaatimukset (2021, s. 10) haastatellut urakoitsijat kertovat, että keskimääräisesti asfalttirouhetta käytetään noin 10–40 %. Asfalttirouheen laadunvalvonta tehdään yleensä murskauksen aikana, joten sitä ei enää

valvota massan valmistuksen aikana. Haastateltujen urakoitsijoiden mukaan asfalttirouhe on yleisesti hyvin tasalaatuista. Asfalttirouhe soveltuu raaka-aineeksi yleisempiin asfalttityyppeihin kuten eri asfalttibetoneihin, kivimastikiasfalttiin ja valuasfalttiin. Ei sovellu AA ja PAB-v massoihin. Kun kierrätettäväksi tarkoitettua asfalttia joudutaan varastoimaan, tarvitsee vastaanottajalla olla asfalttijätteen vastaanottamista varten erillinen ympäristölupa. (PANK Ry, 2022, s. 4)

#### 4 Päälystetyön toimenpidetyypit

Päälystettä voidaan levittää tielle monella eri tavoin. Varsinkin tien päälysteen korjauspaikkauksissa ja uudelleen päälystyksissä on monenlaisia eri tapoja toteuttaa työ. Jokaisessa tapauksessa kuitenkin tien rakenne-, käyttö- ja ympäristön ominaisuudet määrittävät ja ohjaavat toimenpiteen valintaa. Väyläviraston ohjeluetelun Tienrakenteen suunnittelun (2018, ss. 63–64) mukaan Suomessa suoritetaan päälysteille seuraavia toimenpiteitä:

- *Vakiopaksuisen asfalttipäälysteen levitys (laatta, LTA)* tehdään tasoitetulle pinnalle laattamaisesti. Tällaista asfalttipäälystettä voidaan levittää myös toisen päälysteen päälle. Tällaisessa tapauksessa vanha päälyste täytyy tasoittaa ja puhdistaa hyvin. Ennen kuin päälysteenä toimiva asfalttimassa voidaan levittää vanhan puhdistetun ja tasoitetun päälysteen päälle, täytyy sille levittää bitumiemulsiota. Bitumiemulsio toimii pinnan ja massan liimana.
- *Massapinta (MP)* on toimenpide, joka tehdään tasoittamattomalle alustalle. Toimenpiteessä käytetään liimaavana tekijänä bitumiemulsiota, joka levitetään pintaan ennen päälystemassaa.
- *Massapinta kuumennusjyritylle ja tasatulle alustalle (MPKJ)* on toimenpide, jossa päälyste kuumennetaan ja sen jälkeen jyrityään urien pohjan tasoon asti. Tätä toimenpidettä tehdään urautuneelle päälysteelle. Alusta tasataan, siihen levitetään jyritytty asfalttirouhe ja välittömästi perään lisätään asfalttimassa.
- *REMplus*-menetelmällä massapintauksen teko on toimenpide, jossa vanha päälyste kuumennetaan ja jyrityään irti. Jyrkiminen voidaan suorittaa haluttuun syvyyteen, mutta kuitenkin vähintään niin, että tavoitetaan urien pohjataso. Jyrinrouhe

levitetään takaisin tielle, ja siihen lisätään tarvittaessa elvytintä. Lisämassa lisätään tiivistämättömälle alustalle.

- Uusiopinta *REM*-menetelmässä myös vanha päällyste kuumennetaan ja jyrsitään, mutta tässä tapauksessa jyrситty asfalttirouhe sekoitetaan elvyttimen ja lisämassan kanssa sekaisin ja sekoitettu massa levitetään tielle. Alkuperäisen asfaltin kulumiskestävyys määrittää myös uudelleen levitettävän massan kulumiskestävyyttä. PAB-päällysteelle tehtävä vastaava toimenpide on nimeltään *REMO*-menetelmä.
- *URAREM*-menetelmässä tehdään samat toimenpiteet kuin *REM*-menetelmässä, mutta sitä käytetään päällysteen ylläpitämisen hoitoon. *URAREM*-menetelmällä korjataan yleensä vain urien kohtia tai suuria pituushalkeamia. Toimenpidettä ei tehdä koko tien leveydeltä, vaan yleensä riittää noin 1–1,25 m.
- *Massatasauksessa (TAS)* vanhan päällysteen reiät paikataan ja alusta puhdistetaan. Pinnalle levitetään bitumiemulsio ennen varsinaista tasausmassaa. Menetelmän tarkoituksena on tasata urat, päällysteen painaumat ja muut epätasaisuudet. Tasausmassan täytyy olla deformaatiokestävyydeltään samaa luokkaa kuin päälle tuleva päällyste, mikä tarkoittaa samaa kiviaineksen raekokoa kuin mitä on tulevassa päällysteessäkin. Tämä tuottaa jonkin verran hankaluuksia tasaisuuden saamiseksi koko tien leveyden osalta, joten tätä ei suositella ensisijaiseksi korjaustoimenpiteeksi, jos halutaan tasata uria pitkältä matkalta. Tätä ei suositella tehtäväksi myöskään, jos tietä rakennetaan vaiheittain. Sopii hyvin painautumien ja sivukaltevuuksien korjaamiseen.
- *Laatikkojyrissä (LJYR)* tiehen jyrsitään laatikkomainen alue haluttuun kohtaan. Alue jyrsitään tulevan päällysteen paksuuden syvyydeltä.
- *Tasausjyrissä (TJYR)* jyrsitään kylmäjyršintänä päällyste urien pohjan tasolle. Suoritetaan urautuneelle päällysteelle.
- *Reunajyršinnässä (RJYR)* päällystettä jyršitään vasemman uran kohdalta reunaviivaan asti, samalla voidaan tarvittaessa lisätä tien sivukaltevuutta.
- *Hienojyršintä (HJYR)* tarkoittaa toimenpidettä, jossa päällyste poistetaan urien pohjan tasoon asti. Jyršintä tehdään liikenteen suuntaiseksi ja mahdollisimman ehjäksi ja tasaiseksi, jotta jyršityllä alueella voidaan liikennöidä ilman uutta päällystettä. Tällä toimenpiteellä voidaan poistaa päällysteen poikittainen epätasaisuus. Jyršityllä

alueella voidaan yleensä liikennöidä tarvittaessa kahdesta kuukaudesta jopa kolmeen vuoteen.

Kaikkiin uutta päällystettä vaativiin toimenpiteisiin kuuluu asfalttimassan tasainen levitys sekä vaatimusten mukainen tiivistys. Jyrsintöjä käytetään tien rakenteen parantamiseksi, ja jokaisessa kohteessa tilaajan määriteltävänä on, kuinka kauan kohteessa voidaan liikennöidä ennen varsinaisen päällysteen laittamista. (Väylävirasto 2018, s. 64)

## 5 Kuulamylyarvo

Kuulamylyarvon avulla määritellään asfalttimassan kiviaineksen kulumiskestävyyttä ja eritoten nastarengaskulutuskestävyyttä. Tulos esitetään desimaalin tarkkuudella. Tuotannon aikana päällystyskohteiden karkeista kiviainelajitteista on otettava näytteet kuulamylykoetta varten 3 000 tonnin välein ja koostekiviaineksista 6 000 tonnin välein. (Väylävirasto, 2023, s. 8) Menetelmä sopii murskattujen luonnonkiviainesten ja keinotekkoisten materiaalien testaukseen. (PANK Ry, 1995, s. 1)

Koe suoritetaan laboratoriossa, jossa kiviaineksesta seulotaan tutkittava lajite. Raekokona käytetään Suomessa ensisijaisesti 11.2/16 mm. Se osa, joka murskatusta kiviaineesta menee 2 mm seulan läpi punnitaan ja materiaalin painoprosentti määritetään alkuperäisestä kokonaismäärästä. Tästä syntyy kiviaineelle kuulamylyarvo. (PANK Ry, 1995, s.3) Kuulamylyluokka taas määräytyy kiviaineksen heikoimman kuulamylyluokan mukaan, mitä asfalttimassaan on käytetty. (PANK Ry, 2023. s. 84). Taulukossa 2 on Asfalttinormit 2023 mukainen luokitus nastarengaskulutuskestävyydelle. Mitä pienempi kuulamylyluokka on arvoltaan, sitä paremmin se kestää nastarenkaan kulutusta.

Taulukko 2 : Nastarengaskulutuskestävyyden luokat ja poikkeavan tuloksen enimmäisarvo (PANK Ry 2023)

Kuva

Luokka	Kuulamyllyarvo	Poikkeavan yksittäisen tuloksen enimmäisarvo
A <sub>N</sub> 7	≤ 7,4	8,1
A <sub>N</sub> 10	≤ 10,4	11,5
A <sub>N</sub> 14	≤ 14,4	16,1
A <sub>N</sub> 19	≤ 19,4	21,9
A <sub>N</sub> 30	≤ 30,4	34,5

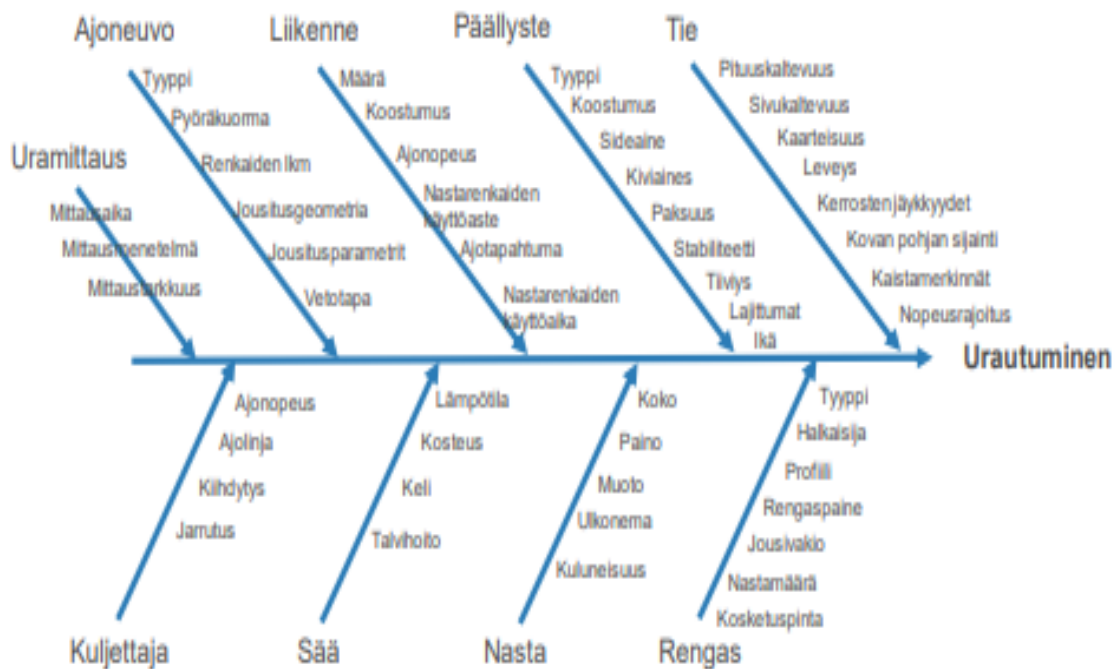
## 6 Asfalttipäällysteen urautuminen

Päällystetyt tiet kärsivät monista erilaisista vaurioista, joita aiheuttavat mm. liikenne, maan routiminen ja virheellinen päällystystyö. Väyläviraston mukaan urautuminen johtuu useimmiten liikenteen kulutuksesta. Nastarenkaat aiheuttavat urautumista eniten ja varsinkin vilkasliikenteisellä päätieverkolla. Vähäliikenteisillä teillä taas rakenteen ja maapohjan heikkous saattaa aiheuttaa urautumista. (Väylävirasto 2020) Merkittävä urautumisen aiheuttaja on myös deformaatio, joka syntyy raskaan liikenteen vaikutuksesta ja uuden asfaltin tiivistymisestä. (Virtala, 2019, s. 12) Teiden urautuminen vaikuttaa liikenneturvallisuuteen aiheuttamalla vesiliirron vaaran. Päällyste ja rakenne vaurioituvat ajan kuluessa, jos urissa on seisovaa vettä. Usein uria pitkin valumalla vesi kerääntyy väärin paikkoihin ja näin ollen myös kuivatuksen toimivuus heikkenee. (Destia 2023)

Niko Väätäinen diplomityössään Asfalttipäällysteiden takuu-aika (2020, s. 33) kertoo, että kiviaineksen maksimirakoko vaikuttaa päällysteen kulumiskestävyyteen. Mitä suurempi on kiviaineen rakoko sitä paremmin se kestää kulutusta. Hän mainitsee myös, että näiden lisäksi tyhjätilan suuruudella, sideaineella ja sen modifioinnilla on merkitystä. Teiden suolauksen vaikutus päällysteeseen näkyy päällysteen kulumisena. Teiden suolaus edesauttaa tien urautumista, koska tie pysyy sulana ja märkänä. Tietä peittävä jääkerros hidastaisi urautumisen syntymistä. (Väätäinen, 2020, s.35) Kulumiskestävyyteen vaikuttavat

tekijät ovat myös päällystetyyppi, massatyyppi ja nastarengaskuluvuuskestävyys. (Väylävirasto, 2019, s. 26) Kuvassa 5 havainnoillistetaan niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat urautumisen syntyyn.

Kuva 5 Tien urautumiseen vaikuttavia tekijöitä (Virtala, 2019, s. 26).



## 6.1 Päällysteen kestävyysominaisuuksien vaatimukset

Päällysteelle voidaan asettaa tiettyjä kestävyysvaatimuksia. Vaatimuksia voidaan asettaa monelta eri kannalta, mutta tätä opinnäytetyötä varten tarkastellaan urautumisen kestävyysvaatimuksia. Niitä ovat lähinnä päällysteen nastarengaskulutuskestävyys ja tierakenteen kestävyys urautumista vastaan.

### 6.1.1 Nastarengaskulutuskestävyysvaatimus

Nastarengaskulutuskestävyysvaatimus voidaan asettaa massatyyppin ja vaihtoehtoisesti joko päällysteen laskennallisen kulumisnopeuden mukaan, kuulamylyarvon mukaan tai Prall-arvon mukaan. Vaihtoehto valitaan massatyyppien lukumäärän, liikenteen määrän ja



massaan käytettyjen lisäaineiden mukaan. Nastarengaskulutusvaatimus asetetaan ylimmälle päällystekerrokselle. (Väylävirasto, 2018, ss. 74–75)

Kuulamylyllyarvoon perustuva laatuvaatimus on haasteellinen siitä syystä, ettei kuulamylylkokeessa saada selville muita päällysteen kestävyysvaatimusten vaikuttavia asioita. Väyläviraston ohjeen (2018, s. 76) mukaan jotkin murskausmenetelmät voivat parantaa kuulamylyllyarvoa enemmän kuin todellinen kulutuskestävyys on. Yleensä kuulamylyllyarvoon perustuvaa laatuvaatimusta täydennetään urasyvyysvaatimuksella takuuajana. Kuulamylyllykoe on kuitenkin edullinen suorittaa ja se on helppo tehdä useista näytteistä, jolloin hajontaa pystytään tutkimaan tarkemmin. (Väylävirasto 2018, s. 76)

Prall-näyte otetaan poraamalla tiestä näytepala ja joissain tapauksissa näyte voidaan valmistaa myös laboratoriossa. Väyläviraston ohjeen (2018, s. 76) mukaan näytteitä täytyisi ottaa ainakin 5 kappaletta kymmenen kilometrin tutkittavalta kaistapituudelta. Prall-testauksen ulkopuolelle jätetään kohteet, jotka sisältävät kumibitumia, polymeerimodifioitua bitumia tai kumirouhetta.

Tierakenteen urasyvyttä ja sen kasvunopeutta tarkkaillaan tienrakennushankkeella asetetun takuuajan puitteissa. Urasyvyys kertoo päällysteen kulumiskestävyysvaatimusten lisäksi myös tierakenteen deformaatiokestävyydestä. Ura mitataan takuuajan loppupuolella, jonka pitäisi olla vähintään 3 vuotta siitä, kun päällyste on ollut normaalin liikennemäärän käytettävissä. Väyläviraston ohjeessa (2018, s. 82) luetellaan syitä, miksi vilkasliikenteisille teille asetetaan urasyvyysvaatimuksia:

- Pyritään siihen, ettei seuraavaa päällystystoimenpidettä tarvitse tehdä liian aikaisin urautumisen takia.
- Varmistetaan, että tulevien REM-käsittelyiden kannalta nastarengaskulutus- ja deformaatiokestävyys sekä käsiteltävyys ovat riittävällä tasolla.
- Tarkkaillaan, ettei päällystekerrokset tai alempien kerrosten materiaalit pääse deformatumaan liikaa.

- Varmistetaan tiivistystyö sitomattomienkerrosten ja päällysteiden osalta niin, ettei pääsisi syntymään suurta alku-uraa.

Kaistakohtaisen keskivuorokausiliikenteen määrän ollessa enemmän kuin 2 500 autoa vuorokaudessa, urasyvyys mitataan 100 metrin mittauspätkissä vuosittain. Tämä suoritetaan heti nastarengaskauden jälkeen. Jos ennustelaskelmat parin vuoden mittauksten jälkeen näyttävät siltä, että urasyvyys menee laatuvaatimuksissa asetetun maksimi urasyvyyden yli, tarvitaan lisämittauksia myös nastarengaskauden alussa. Silloin saadaan tietoa urautumisen laadusta ja sen syntyistä. (Väylävirasto, 2018, s. 82)

## 6.2 Urautumisen luokat asfalttipäällysteisillä pinnoilla

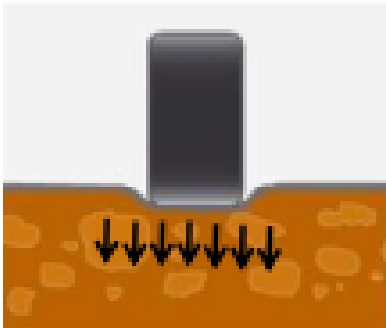
Urautuessaan päällysteen pinta kuluu, sen paksuus ja massa vähenee ajouran kohdalla. Päällysteestä irtoaa kivirakeita ja sideainetta vaurioitumisen syynä. Uusi päällyste kuluu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisen vuoden kuluminen on hyvin nopeaa ja päällysteestä kuluu pääosin sideaineita ja hienorakenteisia kiviaineksia. Tämän jälkeen kulumisvauhti tasoittuu ja siirrytään niin sanottuun normaaliin kulumiseen, jossa kulumisen kohdistuu karkeaan kiviainekseen sekä muihin aineisiin, joita asfalttipäällyste sisältää. (Kuula 2019, s. 26)

Nastarenkaat ovat suurin syy päällysteiden urautumiseen. Nastat iskevät, pistävät, hiertävät ja raapivat asfalttia. Myös vääränlainen rengaspaine ja jarruttaminen nastarenkailla ajettaessa nopeuttaa asfaltin kulumista. Taloudellinen ajotapa, alhainen nopeus ja oikeanlainen rengaspaine taas hidastaa asfaltin kulumista. (Kuula, 2019, s. 27) Urautuminen aiheuttaa myös lisääntyvää polttoaineen kulutusta. (Dawson 2006) Sääolosuhteista kylmä ulkoilma nopeuttaa kulumista, koska se haurastuttaa bitumia. Silloin bitumi murtuu nastarenkaan iskun voimasta. Vesi taas vaurioittaa päällystettä tunkeutumalla rakenteisiin ja päällysteen rakoihin ja huokosiin. Se heikentää päällysteen välisiä sidoksia ja irrottaa rakeita toisistaan. (Kuula, 2019, s. 25)

### 6.2.1 Urautumistyyppi 0

Urautumistyyppi 0 tarkoittaa tien rakennekerroksen tiivistymistä. Kuvassa 6 on esitetty urautumistyyppin 0 mukainen urautuminen. Tätä tyyppiä esiintyy uusien päällysteiden alkuvaiheen syntymisen aikana. Tiivistyminen voi tapahtua tien rakentamisen yhteydessä ja sitä voi ilmentyä mihin kerrokseen vain. Myös suuri määrä kosteutta jossain kerroksessa tai kerroksissa synnyttää tätä ilmiötä. Syntyy yleensä alkukesän ja syksyn välisenä aikana. (Virtala, 2019, s. 22)

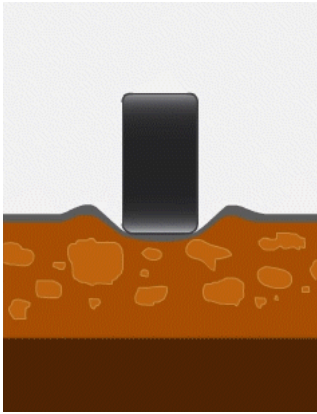
Kuva 6 Urautumistyyppi 0 (muokattu kuvasta Virtala, 2019, s. 22)



### 6.2.2 Urautumistyyppi 1

Tyyppin 1 urautuminen johtuu usein sitomattoman kiviaineksen ja/ tai kantavan kerroksen riittämättömästä leikkauslujuudesta. Kuvassa 7 näkyy muutos mikä tapahtuu urautumistyyppissä 1. Tällöin tien pinta kohoaa ajouran reunoilta, kun rengas osuu siihen. Samalla materiaalissa tapahtuu myös löyhtymistä. (Roadex, 2023) Tämän uratyyppin paras tutkimusaika olisi keväällä, kun pohjamaa on vielä jäässä, mutta sitomattomat kerrokset ovat sulaneet. (Virtala, 2019, s. 23)

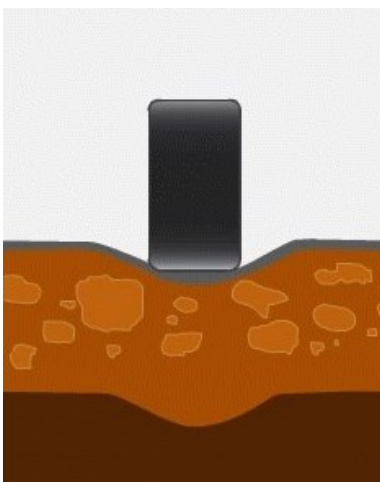
Kuva 7 Urautumistyyppi 1 (Roadex, 2023)



### 6.2.3 Urautumistyyppi 2

Urautumistyyppissä 2 tierakenne urautuu kokonaisuudessaan pohjamaata myöden, jolloin rakenteiden paksuus ei muutu. Kuvassa 8 näkyy, kuinka tiehen muodostuu uratyyppiä 1 leveämpi ura ja pinta nousee vain vähän ajouran laidoilta. (Roadex 2023). Pohjamaa on pehmeä, koska routa on sulanut ja aiheuttanut korkean kosteuspitoisuuden siihen. Myös liian korkeat raskaan liikenteen akselipainot voivat vaikuttaa tämän urautumistyyppin syntyyn. (Virtala, 2019, s. 24)

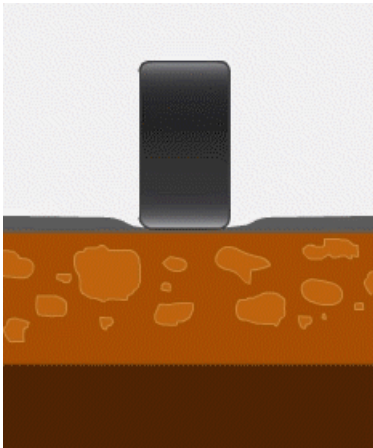
Kuva 8 Urautumistyyppi 2, jossa muutos tapahtuu tienrakenteessa (Roadex, 2023).



### 6.2.4 Urautumistyyppi 3

Urautumistyyppi 3 johtuu suurimmaksi osaksi renkaiden ja pääasiassa nastarenkaiden kulutuksesta päällysteeseen. Urautumistyyppissä 3 ei urautuminen muovaa pohjarakenteita, vaan kuluttaa ainoastaan päällysteeseen uran. Ura muodostuu henkilöauton akselipituudelle ja urat ovat terävämuotoisia. (Roadex, 2023) Kuvassa näkyy selvästi, kuinka urautuminen muodostuu vain päällysteeseen.

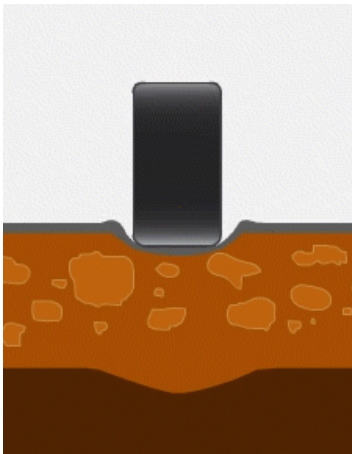
Kuva 9 Uratutumistyyppi 3. Kulutus kohdistuu vain päällysteeseen tai soratiellä sen kulutuskerrokseen (Roadex 2023).



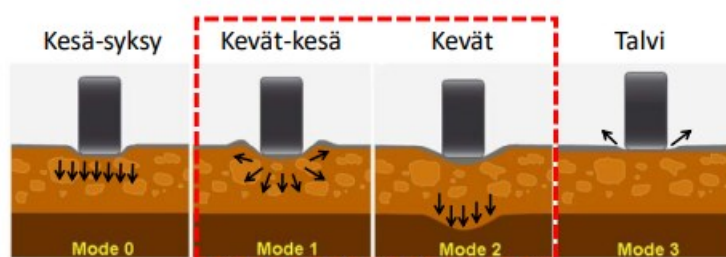
### 6.2.5 Urautumistyyppien yhdistelmät

Kolmen urautumistyyppin lisäksi esiintyy vielä urautumistyyppien yhdistelmiä, joissa yhdistyy kaikkien kolmen tyyppin ominaisuuksia. (Roadex 2023) Kuvassa 10 ilmenee kaikkien uratyyppien yhdistelmä, jolloin urautuminen vaikuttaa rakenteisiin, päällysteeseen ja uran muotoon ja leveyteen. Kuvassa 11 hahmotetaan sitä, kuinka eri vuodenaajat altistavat päällystettä ja tietä erilaisille urautumistyypeille. (Virtala 2019, s. 22)

Kuva 10 Eri uratutumistyyppien yhdistelmä (Roadex, 2023).



Kuva 11 Uratutumistyyppien synty eri vuodenaikoina (Virtala 2019, s. 22).



### 6.3 Urasyvyyden seuraaminen ja vaatimuksien asettaminen

Päällysteen takuu aika on yleensä vähintään 3-vuotta ja se alkaa siitä, kun päällystettä on alettu käyttää liikennöinnissä ja sen käyttömäärä on saavuttanut normaalin liikennemäärän. Urasyvyys mitataan yleensä takuuajan loppupuolella ja se antaa hyvän kuvan siitä, kuinka hyvin päällyste kestää kulumista ja deformaatiota. Mittauksia voidaan suorittaa useamminkin kuin vain kerran takuuajana. Useammilla mittauksilla voidaan seurata uran kehittymistä, varsinkin kun tehdään mittaukset aina nastarengaskauden päätyttyä. Näitä tehdään usein juuri vilkasliikenteisillä teillä, kun keskivuorokausiliikenteen määrä ylittää 2 500 ajoneuvoa vuorokaudessa. (Väylävirasto 2018, s. 80–82)

## 7 Palvelutasomittaukset (PTM)

Teiden urautumista ja yleistä kuntoa seurataan Väyläviraston toimesta mm.

palvelutasomittauksia suorittamalla. Palvelutasomittaukset kertovat päällystettyjen teiden tasaisuudesta ja geometriasta. Tuloksista selviää tien pituus- ja poikkileikkausprofiilia tarkastelemalla urasyvyys, tien pituussuunnan vaihtelu (IRI), raskaan ajoneuvon kuljettajaan kohdistuva tärinä (RIDE), sivukaltevuus, harjanteen korkeus jne. Mittauksessa käytetään lasertekniikkaa käyttäviä PTM-autoja, jotka on varustettu tarvittavalla tekniikalla. Mitattavaa päällystettyä tietä on vuodessa noin 40 000 kaistakilometriä. Mittaukset jakaantuvat kevät- ja kesämittauksiin. Keväällä mitataan pääsääntöisesti nastarengaskulutuksen vuoksi muuta nopeammin urautuvia päätteitä. Kevätmittauksilla halutaan selvittää talven aikana tapahtunut urautuminen ja paikantaa talvella syntyneet liikennettä vaarantavat ylisyvät urat. Kesällä mitataan muut mittauskierron mukaiset kohteet ja sellaiset tiet, jotka ovat jääneet kevätmittausten ulkopuolelle. (Väylävirasto, 2022a, s. 13–14) Taulukossa 3 on esitetty päällystettyjen teiden palvelutasomittausten mittauskierto. Mittausten väliin vaikuttaa ajoratojen määrä ja keskimääräinen vuorokausiliikenne. Syksyllä tehdään vielä mahdollisia lisämittauksia ja ne täydentävät muita mittauksia. Syysmittausten tekeminen riippuu tilaajan tarpeesta. (Virtala, 2019, s. 18)

Taulukko 3 Palvelutasomittausten mittauskierto (Väylävirasto 2022a, s. 14).

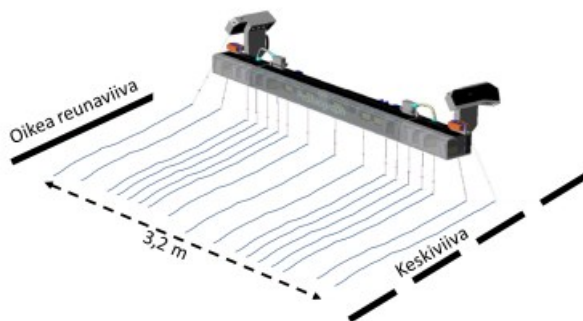
Verkko	Mittaustiheys
2-ajorataiset	Kaikki kaistat joka vuosi
1-ajorataiset: KVL > 6 000	Molemmat kaistat joka vuosi
1-ajorataiset: KVL 3 000 – 6 000	Molemmat kaistat joka toinen vuosi
1-ajorataiset: KVL 350 – 3 000	Molemmat kaistat joka kolmas vuosi
1-ajorataiset: KVL alle 350	Molemmat kaistat joka neljäs vuosi

## 7.1 Maanteiden urien mittaus

Vuodesta 2003 alkaen on Väyläviraston toimesta mitattu päällysteiden kuntoa.

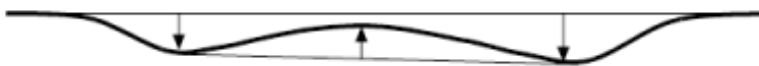
Palvelutasomittaukset suoritettiin Suomessa pistelasertekniikalla (kuva 12) vuoteen 2019 asti. Vuoden 2019 jälkeen on siirrytty käyttämään koko pinnan mittaavaa skannaustekniikkaa. Tekniikalla pystytään mittaamaan päällysteen pinnan poikkiprofiili, perustuen auton heilahtelutietoon. (Virtala, 2019, ss. 15–16)

Kuva 12 Urien mittauslaite pistelasertekniikalla 2003–2019 (Virtala, 2019, s. 15).



Urasyvyysmittauksessa on päällysteen keskimääräisestä poikkileikkausprofiilista mitattu urien syvyys. Mittauksista saadaan selville myös kohteen maksimiurasyvyys ja urien väliin muodostuvan harjanteen korkeus, kuten kuvassa 13 on esitetty. Urasyvyys määritellään vasemmalle ja oikealle uralle erikseen. (Virtala, 2019, s. 15–16)

Kuva 13 Poikkileikkaus tiestä ja siihen muodostuneista urista ja harjanteesta (Virtala, 2019, s. 16).





Urien mittaustarkkuudesta huolehditaan toteuttamalla kolme eri laadunvarmistusta. Niitä ovat mittalaitteiden tulosten vertailu referenssituloksiin. Referenssitulokset tuotetaan Väg- och trafikinstitutin (VTI) taholta. Myös joka vuosi, ennen mittauskauden aloittamista tehdään mittauskalustolle Verkkomittausurakoiden testit ja PANK-testi. Näiden testien avulla testataan mittauslaitteiden toistettavuus ja uusittavuus. Testeihin kuuluu myös miehistön testiajot. Kolmas laadunvarmistus suoritetaan tekemällä tuotantomittauksista erillisiä kontrollimittauksia. Tuotantomittauksista mitataan 5 % uudelleen. Kontrollimittauksia verrataan alkuperäisiin tuotantomittauksituloksiin, jolloin tulosten täytyy kohdata niin, että ne asettuvat niille annettujen raja-arvojen sisälle. Kontrollimittaukset ajetaan eri mittausyksiköllä kuin millä tuotantomittaukset on tehty. (Virtala, 2019, s. 20)

## **8 Tutkittavan datan käsittely**

Käsiteltävä data on syntynyt Destian ja Väyläviraston tiedostoista vuosien 2017–2023 aikana. Mittaustulokset perustuvat Destian tuottamiin palvelutasomittausten tuloksiin näiltä vuosilta. Yleistiedot kohteista saatiin Väylävirastolta. Tutkimusaineistoa saatiin 45 kohteelta, jotka sijaitsivat 35 eri tienumeroalueella. Yhteensä tutkimusaineistoa kertyi 693 kilometriltä.

### **8.1 Keskimääräisen urautumisen laskenta**

Tutkimuksessa laskettiin urautumista kolmella eri tavalla. Lopullisiin tuloksiin valittiin laskentatavaksi trendimalli tai jos kohteen kaikki trendimallin vaatimukset eivät täytyneet, käytettiin oletusmallia. Liitteessä 1 Yleistaulukko on esitetty kohteiden keskiarvoinen urautuminen ja keskihajonta trendimallin ja urakehitysmallin mukaan. Tiedot opinnäytetyössä seuraavaksi kuvattaviin trendimalliin, oletusmalliin ja urakehitykseen on saatu haastattelemalla opinnäytetyön ohjaajia Eeva Huuskonen-Snickersä ja Juho Meriläistä Destia Oy:ltä.

#### **8.1.1 Trendimalli**

Trendimalli tarkoittaa uran keskimääräistä vuosikehitystä, mitatusta ja olemassa olevasta historiasta laskettuna. Mittaustulokset haetaan jokaiselta 100 metriltä erikseen. Jokaiselta

100 metrin mittaustulokselta täytyy löytyä osoite. Jokaisesta 100 metrin mittaustuloksesta kerätään uratiedot ja mittausaika. Datan määrän täytyy olla sopiva ja urautumisen kasvavaa, jotta tietoa voidaan mallinnuksessa käyttää. Dataa pitää olla vähintään kahdelta vuodelta, että tuloksia voidaan laskea. Kun data on käsitelty mallinnuskelpoiseksi, tehdään siitä uramalli lineaarisella regressiolla. Tästä saadaan muodostettua urautumisen kulmakerroin, havaintojen määrä ja selitysaste.

### 8.1.2 Oletusmalli

Oletusmallin käyttö tulee kyseeseen silloin, jos trendimallin laskuun tarvittavat vaatimukset eivät täyty. Oletusmallilla urakehityksen laskenta suoritetaan tieosan yleistietojen perusteella kaava 1 esitetyn kaavan mukaisesti. Siinä tapauksessa, jos yleistiedoista puuttuu oleellisia selittäjien arvoja, käytetään keskivuorokausiliikenteestä riippuvaista oletusmallia.

Kaava 1 Oletusmallin laskentakaava.

$$dURA = -3,34 + 0,57 * \ln(KVL - kaista)$$

Jos ei ole käytettävissä keskimääräisiä vuorokausiliikenne (kvl) määriä, silloin käytetään oletusarvoa 2 500.

### 8.1.3 Urakehitysmalli

Urakehitysmallilla (kaava 2) laskettiin ennen urakehitystä. Trendimallin käyttö on syrjäyttänyt sen käytön.

Kaava 2 Urakehityksen laskentakaava.

$$Uramax - 2mm / (uusimman mittaustuloksen vuosiluku / toimenpidevuosiluku)$$

## 8.2 Datan suodatus

Datan suodattaminen aloitettiin poistamalla ensin mittaustulokset, joilta ei ollut täyttä 100 metrin mittaustulosta. Tämän jälkeen datasta poistettiin kohteet, joissa on tehty toimenpiteitä vuoden 2017 jälkeen. Tällä toimenpiteellä varmistettiin, ettei tutkittavaksi tule kohteita, joiden päällystettä on korjattu tai uusittu vuoden 2017 jälkeen. Dataan huomioitiin myös vain kohteiden ykköskaistat. Datasta poistettiin myös kohteet, joilla oli puuttuvia tai epäselviä päällystetietoja tai jos kiviaineiden tuloksia puuttui tai niissä oli epäselvyyksiä.

Suodatuksen jälkeen mitattuja kilometrejä jäi noin 645 kilometriä, 29 eri tienumerolta ja ne jaoteltiin vielä 32 eri kohteeseen. Tutkimukseen käytettäviä tuloksia jäi 93 % kokonaisuutena.

## 9 Tutkittavat kohteet

Kohteet sijaitsevat Etelä-Pohjanmaalla, Keski-Suomessa, Pirkanmaalla, Uudellamaalla ja Varsinais-Suomessa. Tieluokaltaan kohteet ovat valta-, seutu- ja yhdysteitä. Suurin osa kohteista on mitattu tien molempiin suuntiin. Kohteiden pituus vaihtelee 0,1 ja 85,9 km välillä. Päällysteluokka on joko AB tai PAB ja päällystetyyppinä olo käytetty AB, PAB- ja PAB-v sekä SMA. Kaikkien tutkittavien kohteiden päällysteen maksimirakoko on 16. Asfalttirouhetta sisältäviä kohteita on 245 km (38 %). Niiden rouhepitoisuuden prosentti on 10–50. Päällysteiden massanäytteiden kiviainearvo oli 6,4–19,4 mm välillä. Kohteille määriteltiin kokonaisuutena kiviainearvosta kuulamylyluokka, käyttäen Asfalttinormit 2023 taulukon 45 suosituksia. Luokat ovat An 7–19, kohteesta riippuen. Keskimääräisen vuorokausiliikenteen vaihtelu on tieosuuksien välillä suurta sen ollessa 98–105 auton välillä. Nopeusrajoitukset kohteissa vaihtelevat 40–100 km/h välillä. Keskimääräinen urautuminen trendimallin mukaan on kohteiden välillä 0,3–1,8 mm/ vuosi. Tutkimuksessa käytettävät seurantamittaukset on tehty kesä- ja syyskuun 2023 välisenä aikana. Liitteestä 1 näkyy kohteiden yksityiskohtaisempia tietoja.

## 9.1 Kohteiden kuulamylyarvojen tekotapa ja määrittäminen

Kohteet päällystettiin vuonna 2017. Kaikkien kohteiden asfalttimassoista otettiin näytteet, jotka toimitettiin laboratorioon kuulamylykoetta varten. Kuulamylyarvot määritettiin kiviaineille, asfalttirouheelle sekä lopulliselle massalle. Lisäksi joistain kohteista otettiin näyte jo levitetyltä tiivistämättömältä päällysteeltä. Silloin näyte otettiin koko levityskaistan poikkileikkauksen matkalta. Näytemassa kerättiin kuumana ja jaettiin osanäytteisiin. Kaikkien kohteiden kuulamylykokeet on tehty standardin SFS 1097-9 mukaisesti ja ne on tehty samassa laboratoriossa. (Eskola 2018).

## 9.2 Päällysteiden käyttö kohteissa

Kohteissa käytettiin massatyyppeinä AB, SMA ja PAB. Päällysteinä näiden lisäksi oli tarkemmin eriteltynä PAB-b ja PAB-v.

AB:ta käytettiin 502 kilometrillä, eli 78 % tutkimuksen kohteista. Asfalttirouhetta oli käytetty 215 kilometrillä AB:lla päällystetyissä kohteissa, eli 43 prosenttia. Puhtaasta kiviaineesta tehtyjen kohteiden kuulamylyluokka oli 10–19 ja asfalttirouhekohteille asetettu kuulamylyluokka 7–19. Kvl näillä kohteilla oli 245–6 330 auton välillä. Uusista kiviaineista tehtyjen An, eli kuulamylyluokka oli yhdessä kohteessa 7, kuudessa 14 ja kolmessa 19. Kvl liikkui karkeasti 400–6 000 ajoneuvon vuorokausi määrän mukaan. Kaikissa kohteissa käytettiin maksimiraekokoa 16 ja nopeusluokat 40–80 km/h välillä.

PAB-asfalttityyppiä käytettiin yhteensä 89 kilometrillä, mikä oli noin 14 % kokonaisuudesta. Maksimiraekoko oli 16 kaikissa kohteissa. Kvl oli 98–1681 auton välillä. Kaikille kohteille oli asetettu kuulamylyluokat 10, 14 tai 19. Asfalttirouhekohteiden pituus oli 30 km.

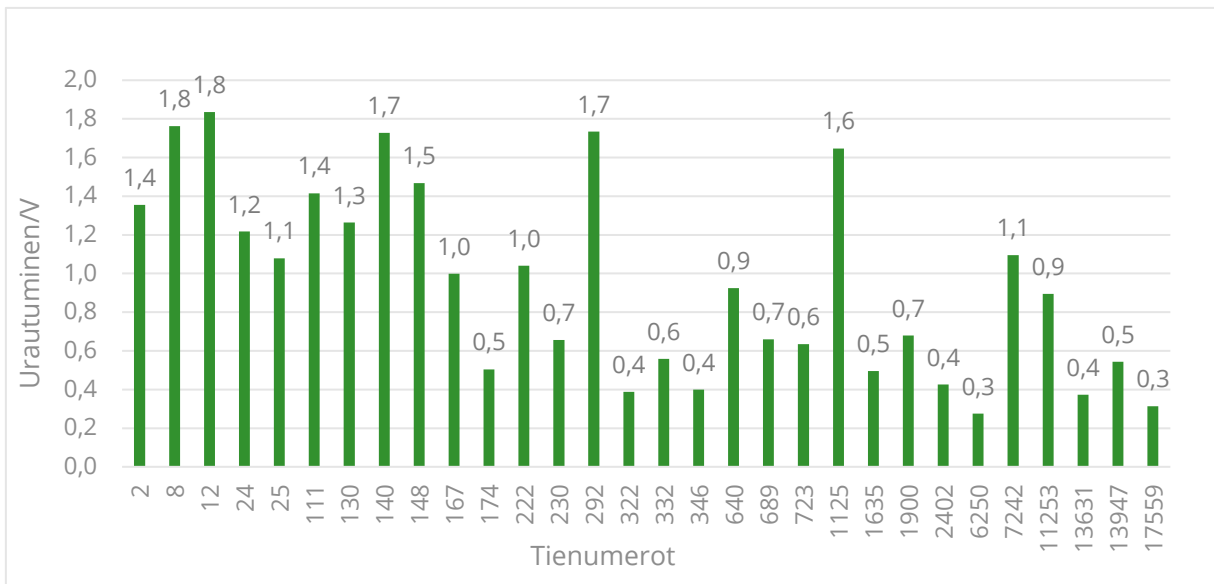
SMA päällystettä on käytetty 54 kilometrillä, mikä on vain 8 % kokonaisuudesta. Näissä kohteissa ei ollut yhtään rouhekohdetta. Kuulamylyarvo oli joko 7 tai 10 ja liikennemäärä 4 739–10 105 autoa vuorokaudessa. Maksimiraekoko oli 16.

## 10 Tulokset

Kaikki urautumisnopeutta koskevat tulokset on laskettu trendi- tai oletusmallin keskiarvon mukaan. Laskelmat on tehty täysistä 100 metrin pätkistä. Laskelmissa käytetyissä luvuissa on mukana vain kohteita, joille ei ole tehty vuoden 2017 jälkeen korjaustoimenpiteitä päällysteeseen. Tuloksissa on laskettu vain ykköskaistat. Keskivuorokausiliikennettä (kvl) kuvatessa, luvussa on tien keskimääräinen vuorokausiliikennemäärä, molemmat suunnat yhteen laskettuna.

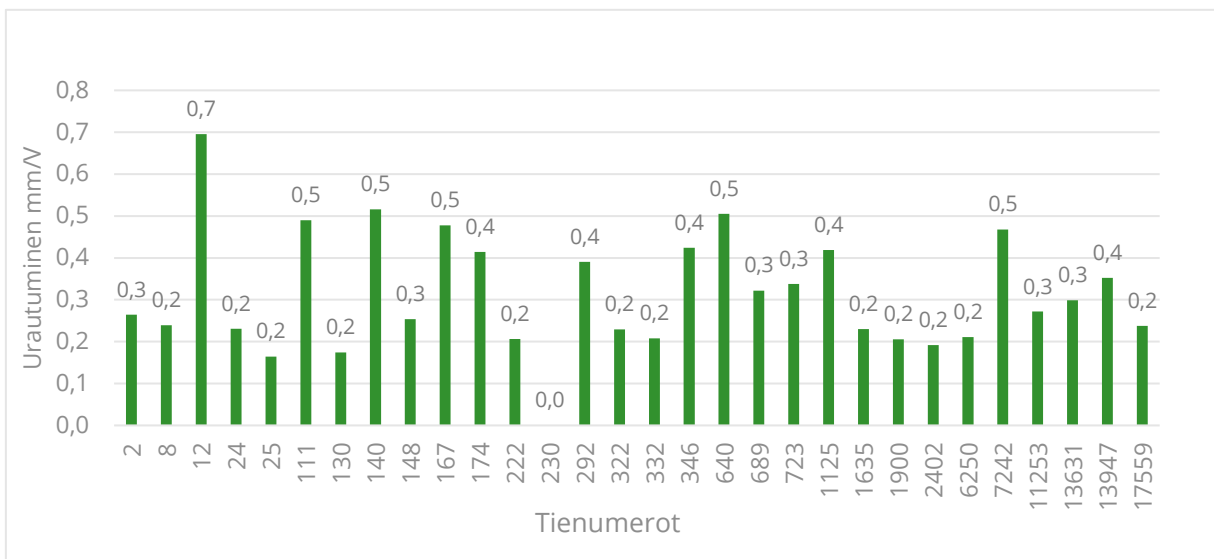
Kaikkia kohteita yhdessä tarkastellessa (kuva 14) urautumisen vaihteluväli on 0,3–1,8 mm välillä, eli eroa hitaimmin urautuneen ja nopeimmin urautuneen kohteen välillä on 1,5 mm. Keskimääräinen urautuminen yhteensä on 0,8 mm/v. Nopein urautuminen on tapahtunut valtateillä 8 ja 12 (1,8 mm). Tiellä 8 on päällysteenä käytetty 20 prosenttia asfalttirouhetta sisältävää uusioasfalttibetonia. Seututiet 140 ja 292 ovat urautuneet 1,7 mm/v. Tiellä 140 on käytetty päällysteenä uusioasfalttibetonia, 50 % asfalttirouhemäärällä. Tiennumero 292 on päällystetty SMA:lla. Näitä teitä yhdistää suurehko liikennemäärät, kvl:n ollessa yhteensä 3 200–5 881 autoa vuorokaudessa tien molempiin suuntiin. Hitain vuosittainen urautuminen on tapahtunut seutu- ja yhdysteillä, joilla oli rauhallinen vuorokausiliikennemäärä, 282–790 autoa vuorokaudessa. Nopeudet ovat pääosin 40–60 km/h välillä, mutta 80 km/h alueitakin oli. Kohteissa AB ja PAB-päällysteitä on saman verran. Kuuden hitaimmin urautuneen kohteen joukossa on yksi asfalttirouhekohte. Urautumisnopeus kasvaa loogisesti liikennemäärän kasvaessa.

Kuva 14 Teiden keskimääräinen vuosittainen urautumisnopeus.



Kuvasta 15 nähdään teiden urautumisen keskihajonta, miten vuosittaisen urautumisen keskihajonta ilmenee. Tien 12 erottuminen muista selittyy otoskoon pienuudella ja suhteutettuna se liikennemäärään. Tien 230 alhaiselle tulokselle ei löydetty selittävää syytä.

Kuva 15 Teiden urautumisnopeuden keskihajonta.



## 10.1 Kuulamylyarvon vaikutus urautumisnopeuteen

Päällystealan neuvottelukunta PANK ry esittää Asfalttinormit 2023 -ohjekirjassa kiviaineksille suositeltavat nastarengaskulutuskestävyysluokat. Luokitukset on jaettu kahteen nopeusrajoitusryhmään: alle 80 km/h ja yli 80 km/h, sekä kvl-määriin. Tämän luokituksen arvoja on käytetty kuulamylyarvon vaikutusta kuvaavissa tutkimustuloksissa. Taulukon arvot on annettu yksiajorataisen tien tai kadun kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyysluokan alustavaksi valintaperusteeksi. Taulukkoa ja tuloksia vertaillaessa ja tulkittaessa täytyy huomioida, että kaksiajorataisten teiden kaistakohtaiset vaatimukset määritellään aina tapaus- ja urakkakohtaisesti. (PANK Ry 2023, s. 93) Opinnäytetyössä ei ole eritelty kohteita ajoratojen määrien mukaan, vaan analysoinnit taulukkoon verraten on tehty kaikille kohteille ajoratojen määrästä riippumatta.

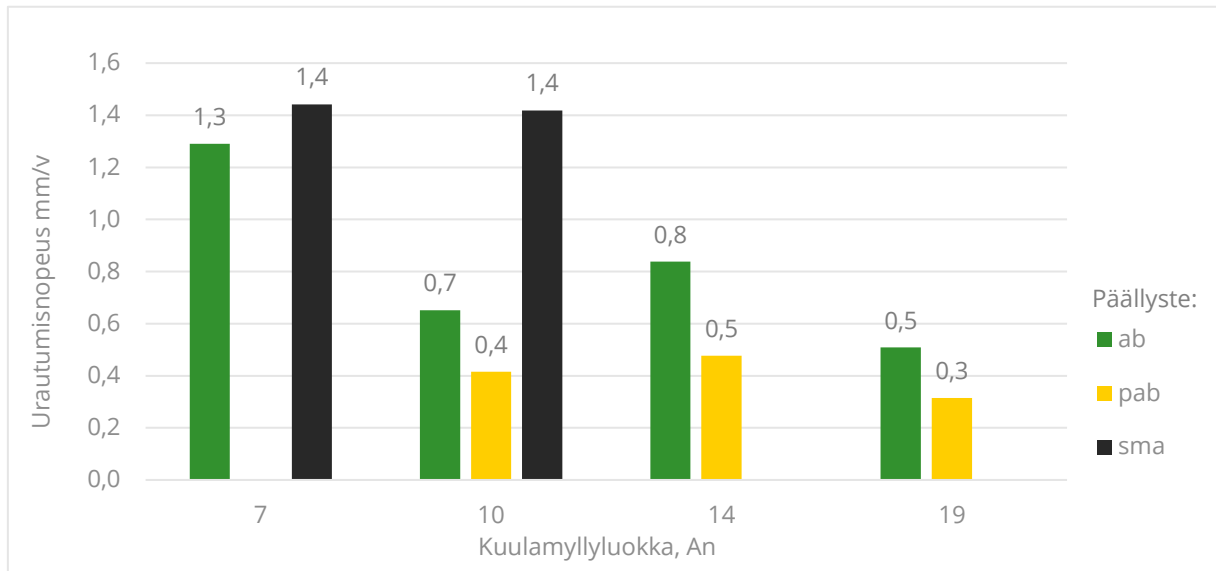
Taulukko 4 Nastarengaskulutuskestävyysluokan valintaperusteita liikennemäärän perusteella (muokattu PANK Ry, 2023, s. 93).

Nopeusrajoitus km/h	Liikennemäärä KVL (autoa/vrk)			
≥ 80	500–2 000	2000–5 000	5 000–10 000	>10 000*
< 80	500–3 000	3000–6 000	6 000–12 000	>12 000*
Asfalttityyppi	Kiviaineksen kuulamylyarvon luokka			
SMA	-	An10	An10	An7
AB, kulutuskerros	An19	An14	An10	An7
AB, muut kerrokset	An19	An19	An19	An19
PAB	An19			
Jos KVL on alle 500 autoa/vrk, luokan An30 kiviainesta voidaan käyttää				
* Kiviaineksen valinnan ratkaisee valittu asfaltin kulumisluokka				

Kaikista mittaustuloksista tehdyssä yhteenvedossa (kuva 16), jossa päällystetyypin ja kuulamylyarvon mukaan vertailtavat kohteet on jaettu, huomattiin SMA- ja PAB-päällysteiden kohdalla urautumisen olleen tasaista jokaisessa kuulamylyluokassa, missä näitä päällysteitä esiintyi. AB:n kohdalla vaihtelevuus oli suurempaa. Kuulamylyluokassa 7 urautumisnopeus on paljon suurempaa, kuin muissa luokissa. Kaikilla An7-teillä on vilkas

vuorokausiliikenne ja nopeudet suurimmaksi osaksi 80–100 km/h ja kaikkien kohteiden päällysteet sisältävät asfalttirouhetta. Muissa kuulamylyluokissa nopeudet ovat pääasiassa alle 80 km/h ja liikennemäärät kohtuullisemmat.

Kuva 16 Kuulamylyarvon vaikutus päällysteen urautumisnopeuteen.



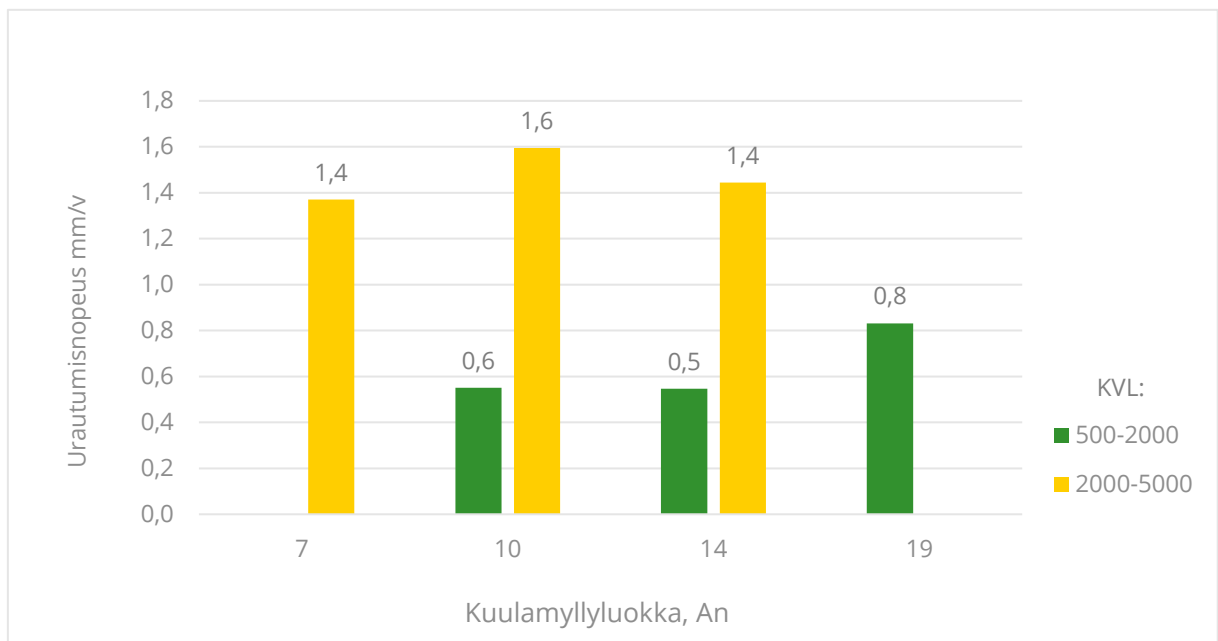
### 10.1.1 Kuulamylyarvon vaikutus asfalttibetonipäällysteen urautumisnopeuteen

Kvl-luokassa 500–2 000 autoa vuorokaudessa ja ajonopeudella yli 80 km/h, suurin urautumisnopeus on An-luokassa 19 (0,8 mm/v). Kuvasta 17 käy ilmi, että luokissa An10 (0,6 mm/v) ja An14 (0,5 mm/v) urautuminen on tasaisempaa. Ero ei kuitenkaan An10 ja An19-luokkien välillä ole kuin 0,3 mm. An19-luokasta tehtyjen havaintojen vähyyys voi selittää hieman tätä eroa. Tie 7242 on An19-luokassa ja sen urautuminen on keskimäärin 1,1 mm/v. Urautumisnopeus on huomattavasti suurempi kuin toisen An19-luokan tulos, mikä oli 0,5 mm. Tämä suurempi tulos nostaa An19-luokan keskiarvoa ylöspäin. Kuulamylyarvolla ei ollut tässä ajonopeusryhmässä vaikutusta urautumisnopeuteen, mikä on looginen tulos, koska vähäliikenteisillä teillä nastarengaskulumisen osuus urautumisesta on pientä verrattuna muista syistä syntyvään urautumiseen.



AB:n urautumisnopeus yli 80 km/h ajonopeudessa liikennemäärät huomioiden, on tasaista (kaavio 4). Kvl:n ollessa 2 000–5 000 autoa vuorokaudessa urautumisnopeus vaihtelee vain 0,2 mm luokkien välillä. An7 ja An14-luokissa urautuminen on 1,4 mm/v ja luokassa An10 se on 1,6 mm/v. An10-luokan kohteita on mitattu 12 km, An7-luokan 28 km ja An 14-luokassa 29 km. Urautumisen vuosittainen ero kuulamylyluokissa on niin pieni, ettei sillä ole opinnäytetyön tutkimuksen kannalta merkittävää merkitystä. Kuulamylyarvolla ei katsottu olevan urautumisnopeuteen juurikaan vaikutusta.

Kuva 17 Kuulamylyarvon vaikutus urautumisnopeuteen asfalttikonipäällysteellä ajonopeuden ollessa yli 80 km/h.

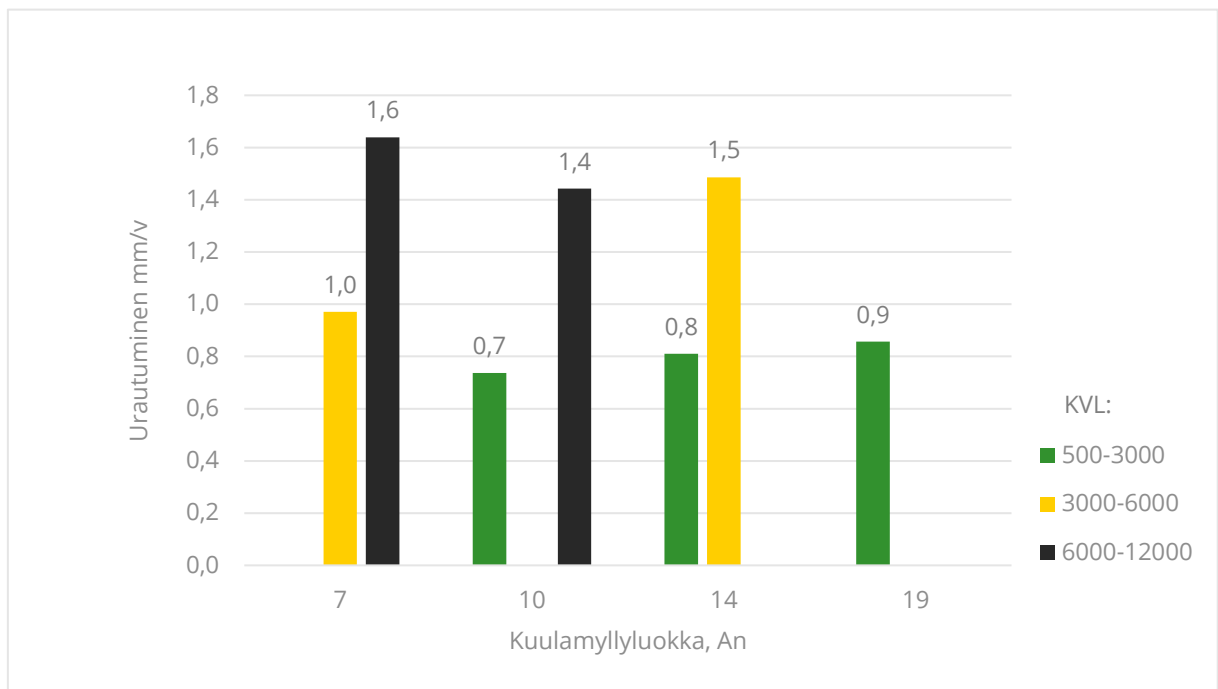


Kuvassa 18 käsitellään AB:n urautumisnopeutta ja kuulamylyluokan vaikutusta ajonopeuden ollessa alle 80 km/h. Kvl:n ollessa 500–3 000 autoa vuorokaudessa urautuminen on maltillista eikä kuulamylyluokkien välillä ole suurta vaihtelua (0,2 mm).

Seuraavassa kvl-luokassa 3 000–6 000 autoa vuorokaudessa luokassa An7 keskimääräinen urautumisnopeus on 1 mm/v. Toinen tulos saatiin vain An14-luokasta, keskimääräisen urautumisnopeuden ollessa 1,5 mm. Tässä kvl-luokassa urakehitys nousee loogisesti

kuulamylyluokan arvon mukaan. Kvl-luokassa 6 000–12 000 autoa vuorokaudessa urautumisnopeuden ero An7 ja An10 luokkien välillä oli noin 0,2 mm. Tässä kvl-luokassa An10-luokan urautumisnopeus oli hitaampaa kuin An7-luokassa. Nopeusluokassa alle 80 km/h urautumiset olivat omissa kvl-luokissaan hyvin samanlaisia, eikä suuri eroja syntynyt.

Kuva 18 Kuulamylyarvon vaikutus urautumisnopeuteen asfalttikonipäällysteellä ajonopeuden ollessa alle 80 km/h.



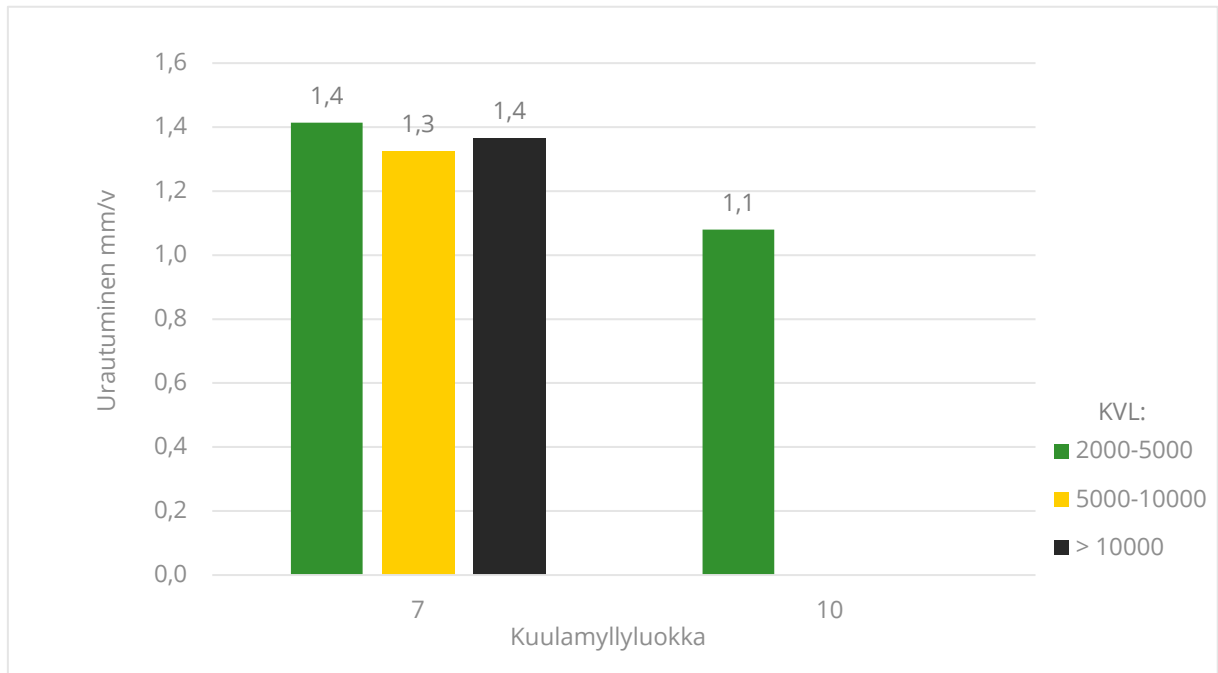
AB:n urautumisnopeuden kokonaistuloksia taulukkoon 4 verrattaessa todettiin, että kvl-luokittain urautuminen on yleisesti maltillisesti kasvavaa kuulamylyluokkien arvon kasvaessa. Kvl-luokittain oleva urautumisnopeuden maltillinen kasvu tai An-luokkien lähellä tosiaan olevat urautumisnopeudet kertovat siitä, että kohteille asetetut An-luokat taulukossa 4 ovat kohteille keskimääräisesti sopivat.

### 10.1.2 Kuulamylyarvon vaikutus kivimastikiasfaltin (SMA) urautumisnopeuteen

SMA-päällysteen mittausten yhteispituus oli 54 km. SMA:n urautuminen ajonopeudella yli 80 km/h, oli hyvin tasaista liikennemäärästä tai kuulamylyluokasta huolimatta (kuva 19). Kvl-

luokittain vertailtavia kohteita ei ollut kuin kvL-luokassa 2 000–5 000 autoa vuorokaudessa. Tässä kvL-luokassa An10:n urautumisnopeus oli pienempää kuin An7:n. Kohteet olivat hyvin samantyyppisiä, eikä erolle löytynyt tarkasteluista huolimatta selitystä.

Kuva 19 Kuulamylyarvon vaikutus SMA-päällysteen urautumiseen yli 80 km/ ajonopeudella.

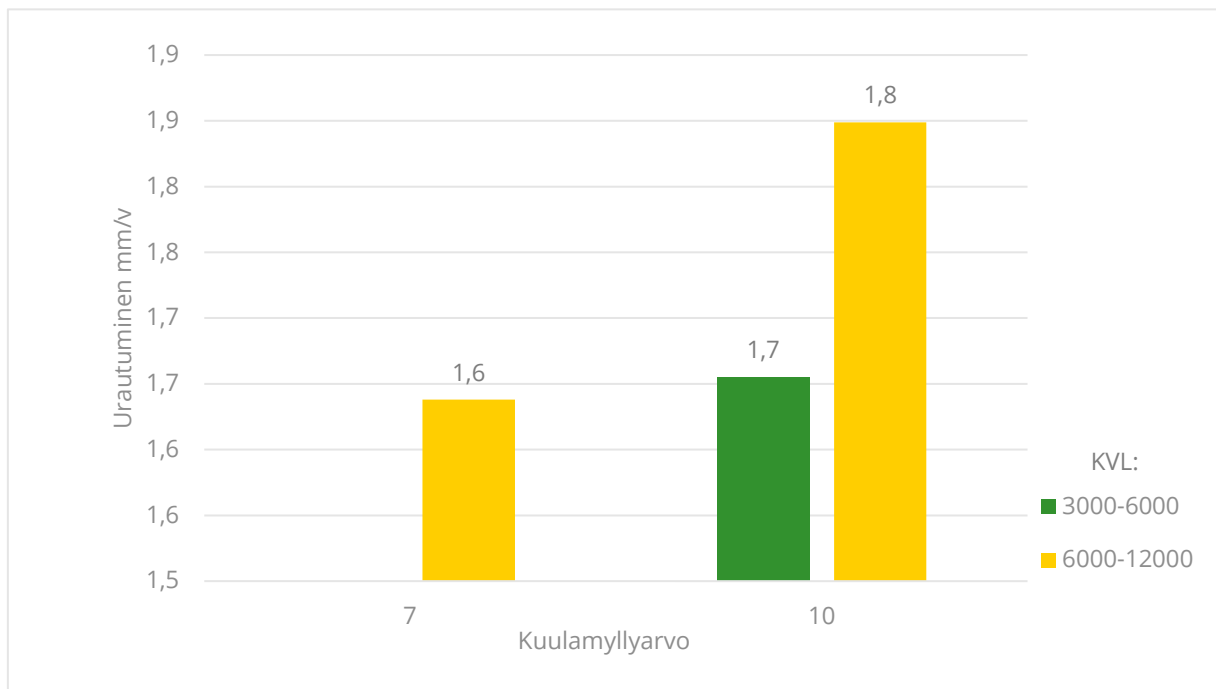


Ajonopeudelle yli 80 km/h, kvL-luokan ollessa 2 000–5 000 autoa vuorokaudessa taulukko 4 on suositellut An10-luokkaa SMA-päällysteelle. An10-luokassa oli pienempi urautumisnopeus kuin An7-luokassa, joten tämän tutkimuksen perusteella kohteille asetettu An10-luokka on riittävä. Muista kuulamylyluokista ei ollut tarpeeksi vertailtavia kohteita, jotta tuloksia kuulamylyarvon vaikutuksesta SMA-päällysteen urautumisnopeuteen olisi voitu esittää.

Alle 80 km/h ajonopeudella SMA:ssa näkyi hieman eroa kuulamylyluokkien 7 ja 10 välillä (0,2 mm/v) kvL-luokassa 6 000–12 000 autoa vuorokaudessa. Kuvassa 20 nähdään, että ero on kvL-luokkaan nähden kuitenkin hyvin pieni ja tässäkin voi vaikuttaa havaintojen määrän suuri eroavuus. Urautumisnopeus on kuitenkin An10-luokassa suurta, mittauskohteilla urautuminen oli 1,5–2,1 mm/v välillä. Taulukkoon 4 tuloksia verraten näiden tulosten perusteella olisi kohteilla voinut olla päällysteessä käytetty kiviainesta, jonka kuulamylyarvo olisi oikeuttanut An7-luokkaan. Tulosten perusteella voisi tällä kvL-luokalla harkita siirtymistä

käyttämään An7-luokan kiviainesta. Havaintoja oli kuitenkin vain 12, joten havaintojen vähyyden vuoksi ei kuitenkaan voida vetää johtopäätöstä siitä, että urautumisnopeus olisi yleisesti suurehkoa SMA-päällysteellä An-luokassa 10.

Kuva 20 Kuulamylyarvon vaikutus SMA-päällysteen urautumisnopeuteen ajonopeudella alle 80 km/h.



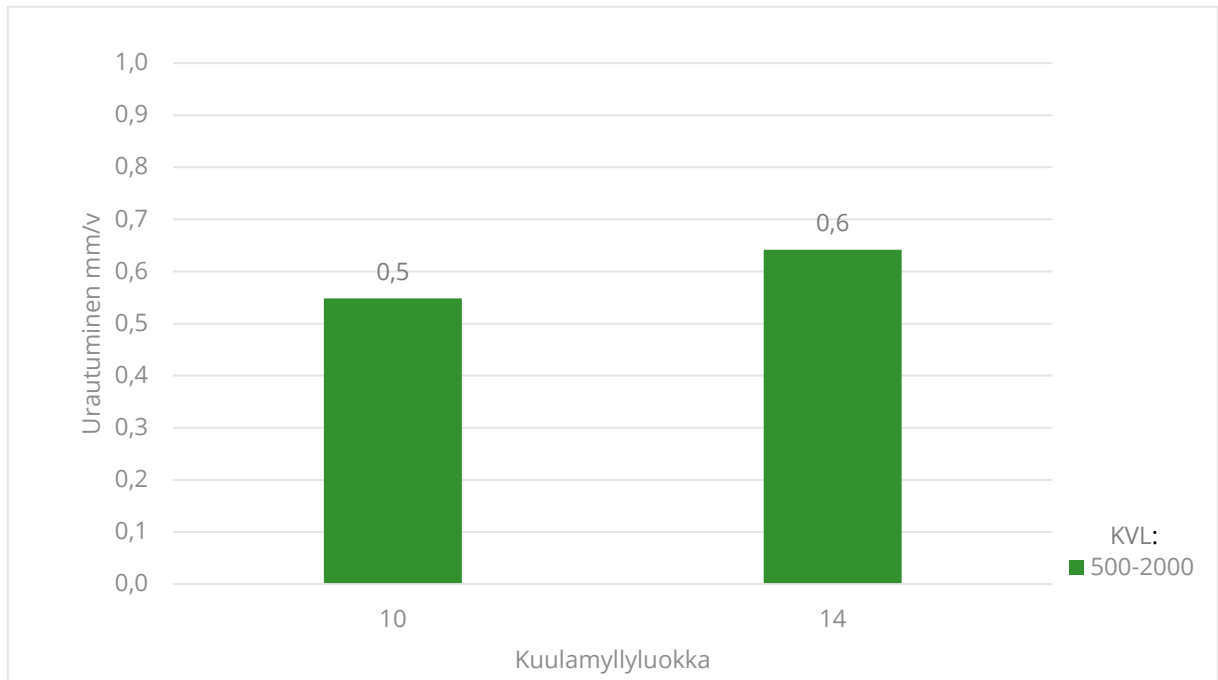
Taulukossa 4 suositellaan alle 80 km/h ajonopeudelle ja kvl-luokalle 6 000–12 000 autoa vuorokaudessa käytettäväksi SMA-päällysteellä kuulamylyluokkaa An10. Opinnäytetyön mittaustulosten vähyyden vuoksi An10-luokassa ei kuitenkaan pysty antamaan vastausta sille onko tutkittujen kohteiden An-luokitus sopiva.

### 10.1.3 Kuulamylyarvon vaikutus PAB-päällysteen urautumisnopeuteen

PAB-päällystettä on ajonopeusluokassa yli 80 km/h yhteensä 35 km. Urautumisnopeutta on mitattu PAB-päällysteellä ainoastaan kvl-luokassa 500–2 000 autoa vuorokaudessa. Kuvassa 21 huomataan, että eroa kuulamylyluokkien välillä ei ollut kuin 0,1 mm. Urautumisnopeus on nouseva kuulamylyluokan arvon noustessa. Taulukossa 4, PAB-päällysteelle 500–2 000

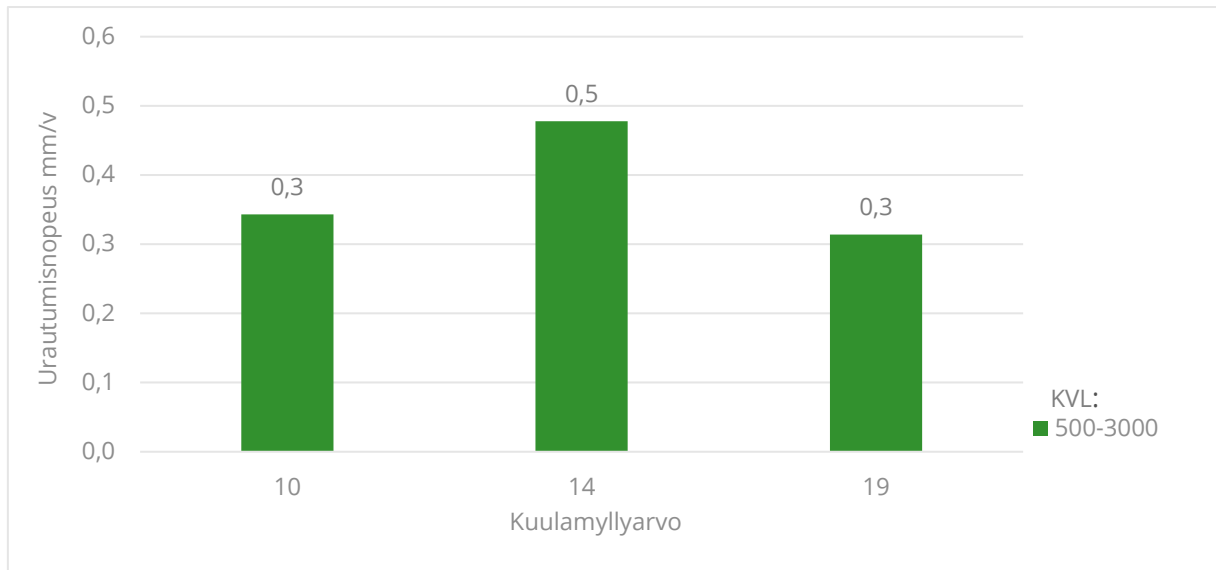
kvl-määrällä on asetettu raja-arvoksi An19. Tässä tutkimuksessa ei ollut kohteita sillä An-arvolla, joten ei voitu ottaa kantaa raja-arvon sopivuuteen.

Kuva 21 Kuulamyllyarvon vaikutus PAB-päällysteen urautumisnopeuteen ajonopeudella yli 80 km/h.



Ajonopeudella alle 80 km/h ei myöskään PAB-päällysteissä ollut tutkittavassa aineistossa kuin yksi kvl-luokka, joka oli 500–3 000 autoa vuorokaudessa. Urautumisnopeus An14-luokassa oli kuitenkin 0,2 mm vuodessa enemmän kuin muissa luokissa (kuva 22). Tämän eron selittää An14 liikenteen suurempi määrä.

Kuva 22 Kuulamylyarvon vaikutus PAB-päällysteen urautumisnopeuteen ajonopeudella alle 80 km/h.



PAB päällysteenä näyttää urautuvan hitaasti, eikä vaihtelevuutta juuri kohteiden välilläkään ole. Urautumisnopeuden perusteella voidaan päätellä, että PAB sopii liikennemääriltään hiljaisille tieosuuksille. Tälle kvl-luokalle on asetettu An19 raja-arvoksi taulukossa 4. Näiden kohteiden urautumisnopeuden perusteella asetetut An-luokat ovat riittäviä.

## 10.2 Asfalttirouheen vaikutus päällysteen urautumisnopeuteen

Asfalttirouheen osuutta päällysteen urautumisnopeuteen tarkasteltiin tutkimuksessa ainoastaan AB:n ja PAB-päällysteen osalta. SMA-päällyste jäi vertailusta kokonaan pois, koska tutkimuksissa käytettävillä SMA-kohteilla ei ollut käytetty asfalttirouhetta. AB ja PAB ovat myös eroteltu tulosten vääristymisen vähentämiseksi, koska päällysteiden käyttökohteet ja muut olosuhteet poikkeavat toisistaan.

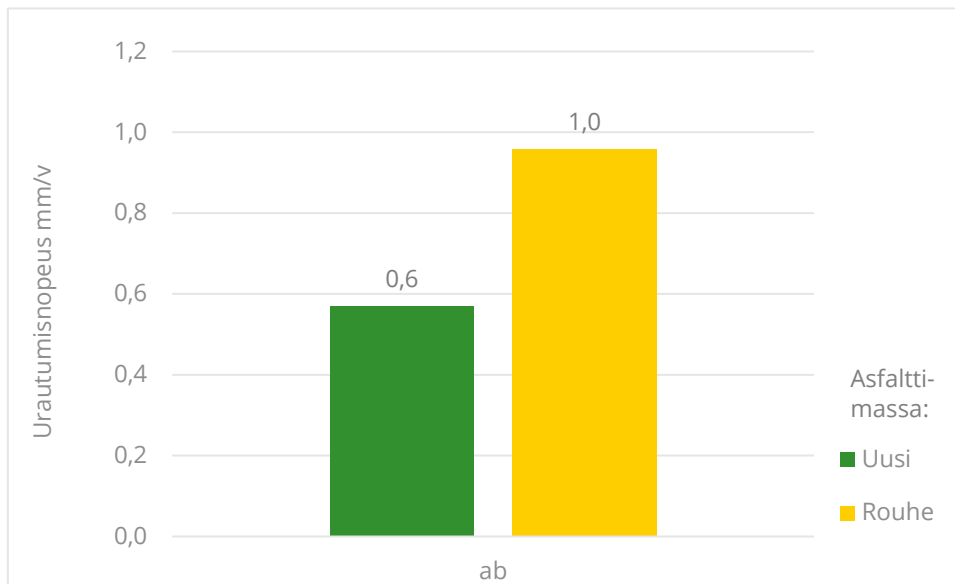
### 10.2.1 Asfalttirouheen vaikutus urautumisnopeuteen asfalttibetonipäällysteillä (AB)

AB-päällysteitä verrattiin kokonaisuutena, jolloin eroteltiin kohteet ainoastaan päällysteen koostumuksen mukaan, oliko siinä käytetty asfalttirouhetta vai ei. Uusista kiviaineksista tehtyjen kohteiden pituus oli yhteensä 287 km ja asfalttirouhekohteiden 215 km.

Tarkastellessa kuvaa 23, erottui asfalttirouhekohteiden selvästi suurempi urautumisnopeus, joka on noin 0,4 mm/v enemmän kuin kohteissa, joissa ei ollut asfalttirouhetta käytetty.

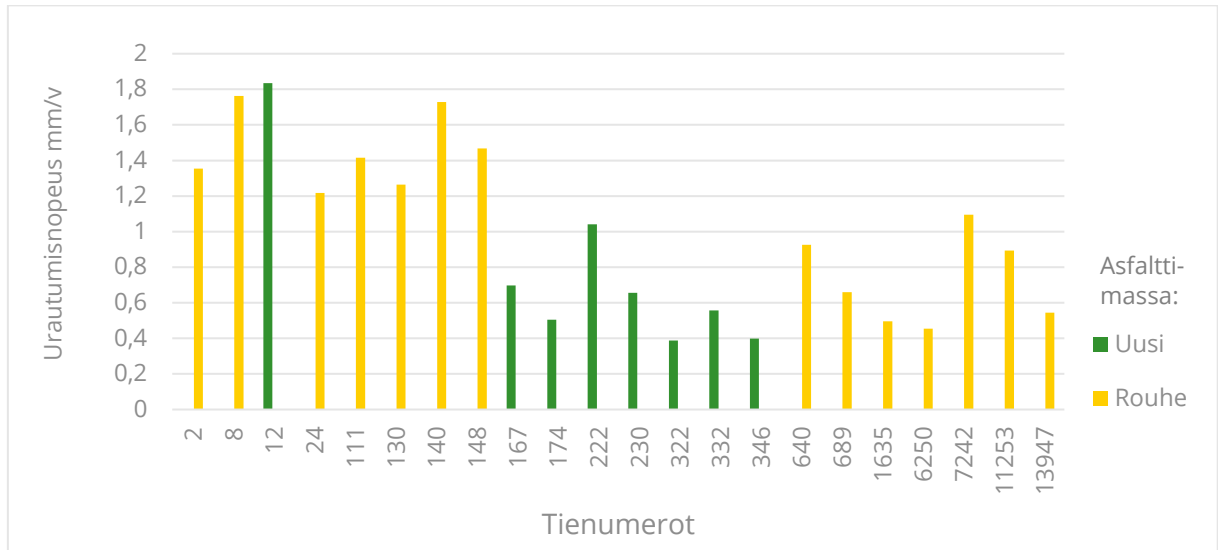
Uusista kiviaineksista tehtyjen massojen urautumisnopeus on keskimäärin noin 0,6 mm/v ja uusiomassojen urautumisnopeus noin 1 mm/v.

Kuva 23 Uusista kiviaineksista valmistettujen päällysteiden ja asfalttirouheesta valmistettujen päällysteiden urautumisnopeus.



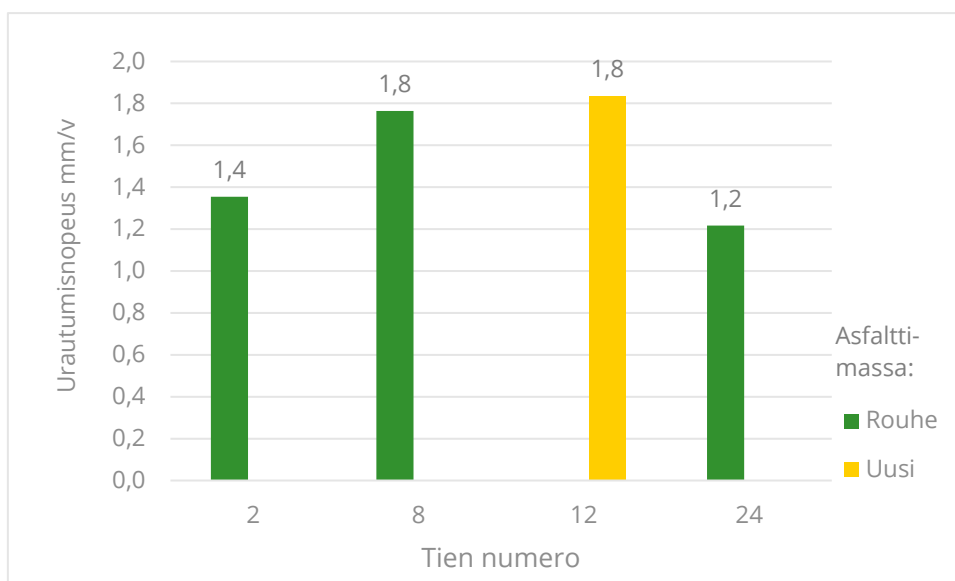
Tienumeroitain eroteltuna (kuva 24) saatiin näkökulma siihen, miten asfalttirouheen vaikutus ilmeni. Urautuminen asfalttirouhekohteilla oli hyvin samanlaista kuin mitä kaikkien teiden yleinen urautuminen oli. Suuria eroja ei tieluokkien sisällä havaittu.

Kuva 24 Teiden urautumisnopeus uusista kiviaineksista tehtyjen päällysteiden ja asfalttirouhepäällysteiden kesken.



Kuvassa 25 näkyy, että valtateiltä ei juuri saada eroa tilastollisesti esiin, koska vain tiellä 12 (6,9 km) on käytetty uusia kiviaineita ja muissa kohteissa (47 km) asfalttirouhetta.

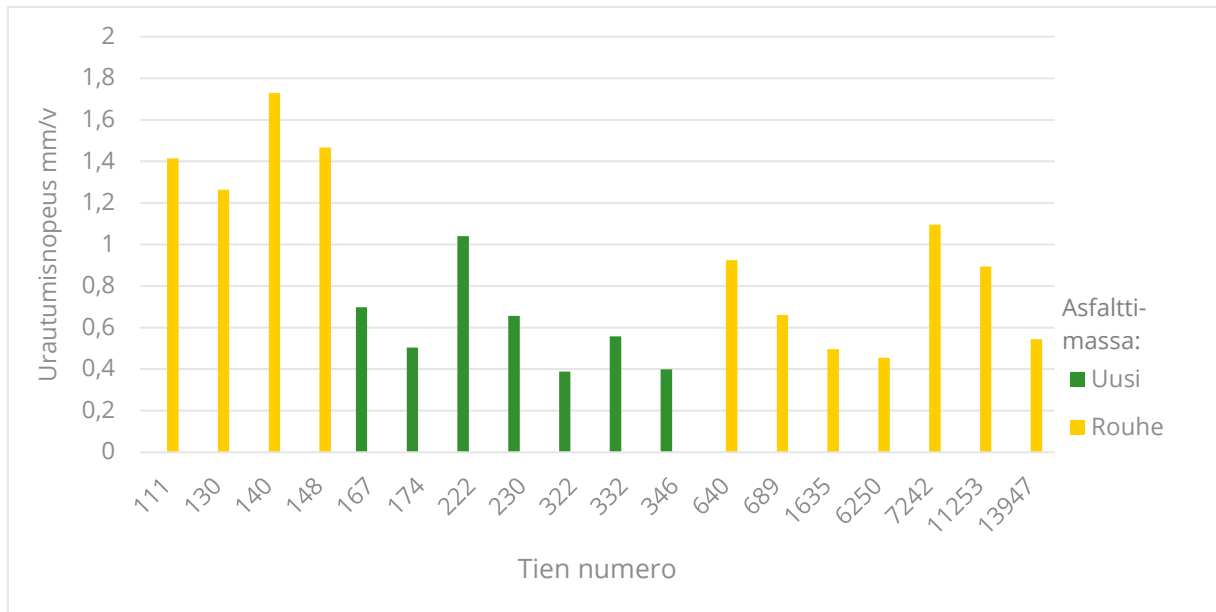
Kuva 25 Valtateiden urautumisnopeus AB-päällysteellä eroteltu asfalttimassojen perusteella.





Eroa pystytään paremmin käsittelemään seutu- ja yhdysteiden osalta kuten kuvassa 26 esitetään. Teiden 111–148 suurempi urautuminen muihin näiden tieluokkien teihin verrattuna selittyy suurimmaksi osaksi sillä, että niillä on vilkas liikenne, keskimäärin 4 475 autoa vuorokaudessa koko tiellä.

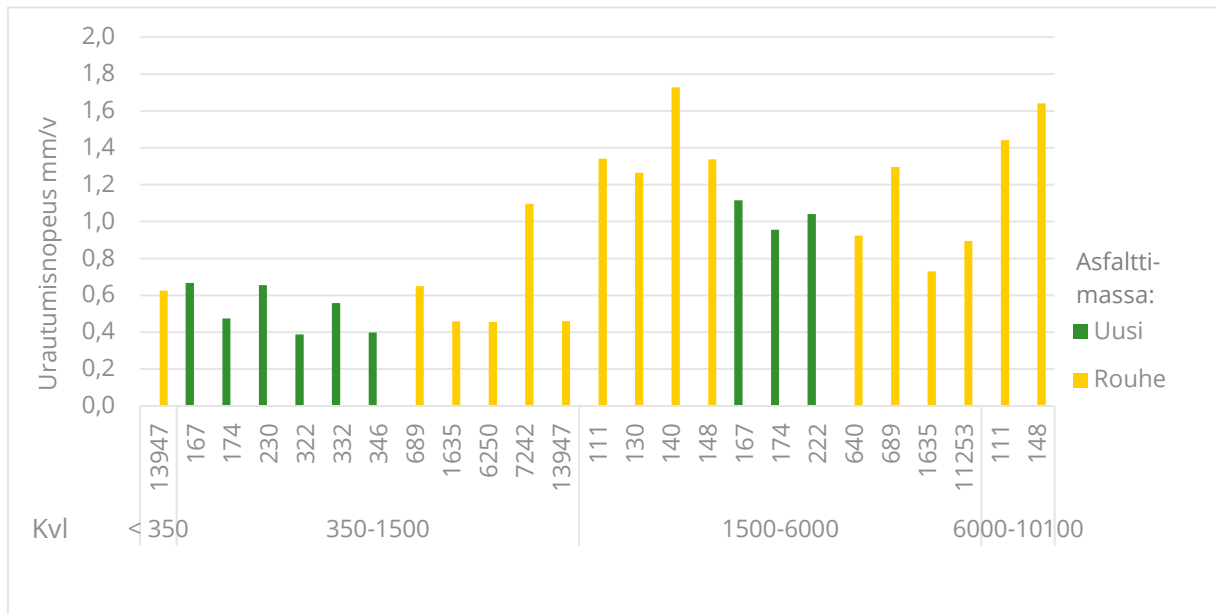
Kuva 26 Seutu- ja yhdysteiden urautumisnopeus AB-päällysteellä. Asfalttimassat on eroteltu toisistaan.



Liikenteen ollessa noin 350–1 500 autoa vuorokaudessa urautumisnopeus on suhteellisen tasaista kohteiden välillä riippumatta siitä mitä päällystemassa sisältää (kuva 27). Laskemalla näiden kohteiden urautumisnopeuden keskiarvon kvl-luokan mukaan, saadaan asfalttirouhepäällysteille 0,6 mm ja uusien kiviainesten päällysteille 0,5 mm urautumisnopeudet. Myös kvl-luokassa 1 500–6 000 autoa vuorokaudessa asfalttirouhepäällysteiden yhteinen keskimääräinen urautumisnopeus on 1,1 mm ja uusien kiviainesten päällysteillä 1,0 mm, eli eroa on vain 0,1 mm/v.

Kuva 27 Seutu- ja yhdysteiden urautumisnopeus AB-päällysteellä kvl-luokittain.

Asfalttimassat on eroteltu toisistaan.

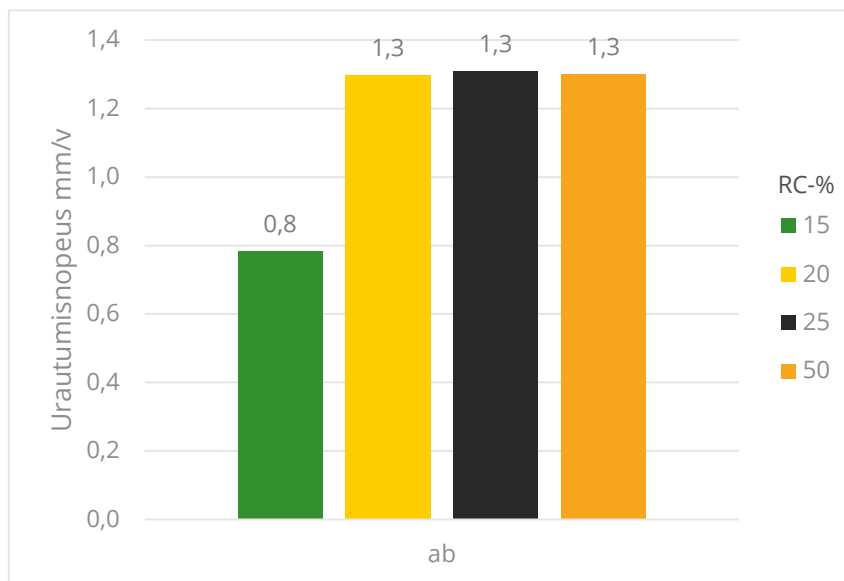


Kokonaisuutta tarkastellessa ei saatu selville, miten asfalttirouhe vaikuttaa urautumisnopeuteen, koska uusien kiviainesten kohteiden havaintomäärät varsinkin nopeimmin urautuneiden kohteiden kohdalla oli riittämätön vertailun suorittamiseen. Kun kohteet lajiteltiin pienempiin otoksiin tieluokan ja kvl-luokan mukaan, saatiin hieman näkemystä sille, miten asfalttirouhe vaikuttaa AB:n urautumiseen. Seutu- ja yhdysteiden kvl-luokissa alle 350 ja 350–1 500 autoa vuorokaudessa urautumisnopeus oli tasaista asfalttimassan koostumuksesta riippumatta. Samanlainen tulos tuli 1 500–6 000 autoa vuorokaudessa kvl-luokassa, jossa tosin havaintojen määrän epäsuhta voi vaikuttaa tuloksiin.

### 10.2.2 Asfalttirouheen prosenttiosuuden vaikutus asfalttibetonipäällysteen urautumiseen

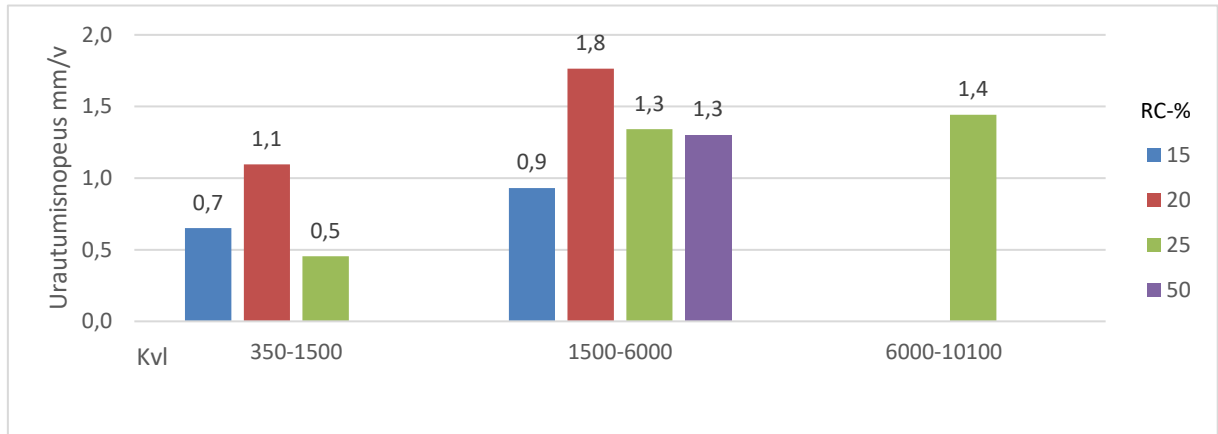
Eroteltuna AB-päällysteiden asfalttirouhekohteiden rouheprosentit, tulokset näyttivät (kuva 28), että asfalttirouheprosentin vaikutus prosenttiosuuskien 20–50 välillä ei ollut eroa. Mukana tarkastelussa ei olleet ne kohteet, joiden prosenttiosuutta ei tiedetty.

Kuva 28 Asfalttirouheen prosenttiosuuden vaikutus urautumisnopeuteen.



Kun tutkittiin asfalttirouheen prosenttiosuuden vaikutusta AB-päällysteen urautumisnopeuteen kvl-luokittain, huomattiin että rouheprosenttiosuudella 15 oli maltillinen urautumisnopeuden nousu liikennemäärän lisääntyessä (kuva 29). Asfalttirouheen prosenttiosuuden ollessa 20–25 erot urautumisnopeudessa kvl-luokkien välillä oli suuria. 20 % osuus urautui molemmissa kvl-luokissa nopeimmin, missä sitä esiintyi. Eroja selittää havaintojen määrien vaihtelu. Rouheprosentteilla 20–25 havaintomäärä oli paljon pienempi kuin muilla verrokkikohteilla.

Kuva 29 Asfalttirouheen prosenttiosuuden vaikutus AB-päällysteen urautumisnopeuteen kvl-luokittain.

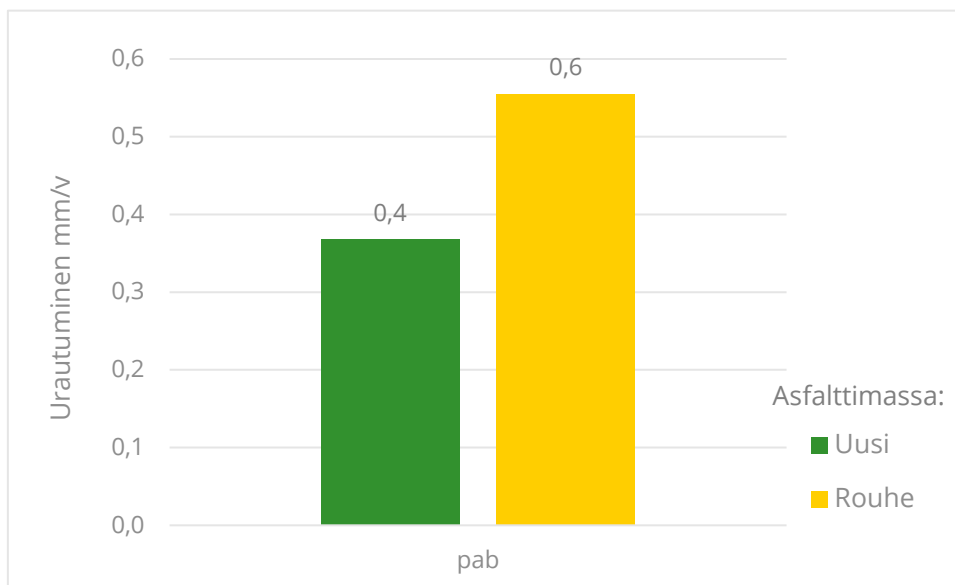


Asfalttirouheen prosenttiosuuden osuutta urautumisnopeuteen AB-päällysteillä ei voitu tarkemmin määrittää mittaustulosten vajaavaisuuksien ja havaintojen määrien erojen vuoksi. Tulokset antavat vain vähän suuntaa sille mitkä vaikutukset voisivat olla, jos data olisi tasalaatuista.

### 10.2.3 Asfalttirouheen vaikutus PAB-päällysteen urautumisnopeuteen

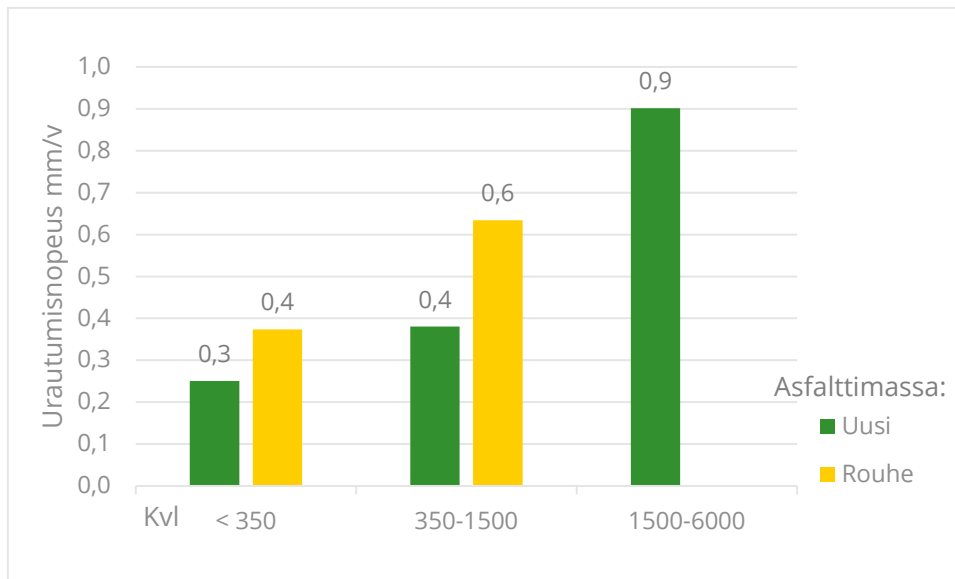
PAB-kohteita oli kaiken kaikkiaan 89 kilometriä. Uusista kiviaineista tehtyjen kohteiden pituus oli 59 km ja asfalttirouhekohteiden pituus oli 30 km. Havaintojen epäsuhta täytyy ottaa huomioon tätä tulosta tarkastellessa. Kokonaisuutta tarkastellessa kuvasta 30, ero massojen välillä oli vain 0,2 mm. Kokonaisuudessa ei ole huomioitu minkään muun asian vaikutusta urautumisnopeuteen.

Kuva 30 Asfalttirouheen vaikutus urautumisnopeuteen PAB-päällysteessä.



PAB-kohteita tarkastellessa kvl-luokittain huomataan, että erot asfalttimassojen välillä on pienet (Kuva 31). Kvl-luokassa alle 300 autoa vuorokaudessa asfalttirouhepäällysteet ovat urautuneet 0,1 mm enemmän vuodessa ja 350–1 500 autoa vuorokaudessa eroa tulee 0,2 mm uusista kiviaineksista tehtyjen päällysteiden ja asfalttirouhepäällysteiden välille.

Kuva 31 Asfalttirouheen vaikutus urautumisnopeuteen PAB-päällysteessä kvl-luokittain.



Asfalttirouheen prosenttiosuuden vaikutusta urautumisnopeuteen ei voitu PAB-päällysteen kohdalla vertailla riittämättömien vertailukohteiden vuoksi.

## 11 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää miten kiviaineksen kuulamylyarvo tai asfalttirouhe vaikuttaa päällysteiden urautumisnopeuteen. Tutkimuksessa käytettiin 93 % kaikesta opinnäytetyötä varten kerätystä kokonaisdatasta, mikä tarkoittaa 645 kilometriä, 29 eri tienumerolta, viideltä eri ELY-alueelta. Mittaustulokset muodostettiin 100 metrin kokonaisilta osuuksilta, eikä kohteiden päällysteisiin ollut tehty korjaavia toimenpiteitä vuoden 2017 jälkeen. Asfalttirouhetta käytettiin 38 prosentilla mittauskohteista. Tulokset laskettiin vain ykköskaistoilta. Kohteiden seurantamittaukset on tehty kesän ja syksyn 2023 aikana. Kohteiden urautumisnopeutta laskiessa käytettiin trendimalli-laskentatapaa tai vaihtoehtoisesti oletusmallia, jos kohteesta ei ole ollut saatavilla kaikkia trendimallin laskentaan vaadittavia tietoja. Kohteiden asfalttimassoista määriteltiin laboratorionkoikeissa massan kiviaineelle kuulamylyarvo. Opinnäytetyössä määritettiin itse Asfalttinormit 2023 - ohjekirjan taulukon 45 mukaisesti kokonaisuksen runkoaineen arvosta kuulamylyluokka jokaiselle kohteelle erikseen.

Urautumisnopeus kuulamylyluokissa oli looginen, koska yleisesti vilkkailla teillä käytetään karkeampaa kiviainesta, jolloin kuulamylyluokka on arvoltaan matala. AB-päällysteisillä kohteilla urautumisnopeus oli kohteiden kesken suhteellisen tasaista. Kvl-luokkien keskenkään ei tullut juurikaan eroja esille. Havaintojen vähyyks joiltakin kohteilta voi vaikuttaa tutkimustuloksiin. Kohteiden kuulamylyarvot vastasivat PANK Ry:n suosittelemia valintaperusteita päällysteen nastarengaskulutuskestävyydelle.

SMA-päällysteen tuloksia tarkastellessa huomattiin, ettei kuulamylyarvolla ollut suurta vaikutusta urautumisnopeuteen ajonopeudesta huolimatta. Tulokset olivat kauttaaltaan hyvin tasaisia. Alle 80 km/h ajonopeudella ja An10-luokassa oli urautumisnopeus verran nopeaa, että siirtyminen tässä tapauksessa An7-luokan suositukseen voisi vähentää urautumisen nopeutta. Päätelmä perustuu taulukossa 4 esitettyihin PANK Ry:n suosittelemiin valintaperusteisiin päällysteen nastarengaskulutuskestävyydelle. Tuloksia tulkittaessa pitää huomioida havaintomäärien suurehkot erot kohteiden välillä.

PAB-päällysteessä urautuminen on erittäin vähäistä ja tasaista. Urautumisnopeus on hyvin suhteessa kuulamylyarvoon. PAB-päällyste on osattu laittaa juuri oikeanlaisiin, sille sopiviin kohteisiin, jolloin urautuminen on suhteessa vähäistä.

AB:n asfalttirouhekohteet urautuvat muita kohteita enemmän, keskimäärin 0,4 mm/v. Asfalttirouheen vaikutusta urautumiseen AB-päällysteillä ei voida kovin pitkälle tulkita, koska uusista kiviaineksista tehtyjen kohteiden painottuminen hiljaisille teille vaikuttaa tuloksiin. Seutu- ja yhdysteitä, sekä niiden kvl-luokkia verrattaessa huomattiin, että urautumisnopeus oli alle 1 500 auton vuorokausimäärällä tasaista asfalttimassan koostumuksesta huolimatta. Sama ilmiö toistui 1 500–6 000 autoa vuorokaudessa luokituksessa, mutta siellä havaintojen epäsuhta voi vaikuttaa tuloksiin.

PAB-päällysteiden kohdalla asfalttirouhekohteet urautuivat 0,2 mm enemmän kuin muut kohteet. PAB-päällysteen kohdalla tuloksiin saattaa vaikuttaa enemmän liikenteen määrä ja muut olosuhteen, kuin asfalttirouhe tai sen prosenttiosuus.

Tietyissä tapauksissa näyttäisi siltä, että asfalttirouhepäällysteet urautuvat nopeammin kuin uusista kiviaineista tehdyt päällysteet, mutta erot ovat pieniä ja niissäkin ne johtuvat

todennäköisesti muista tekijöistä, kuten liikennemääristä. Asfalttirouheen prosenttiosuuden vaikutuksesta asfalttipäällysteen urautumiseen ei voitu ottaa kantaa havaintojen vähyyden ja hajanaisuuden vuoksi. Opinnäytetyön aihetta voisi tutkia lisää, varsinkin asfalttirouheen prosenttiosuuden vaikutus urautumisnopeuteen olisi mielenkiintoinen saada tarkemmin selville. Liikennemäärän ja ajonopeuden vaikutus päällysteiden urautumisnopeuteen olisi myös erittäin mielenkiintoinen jatkotutkimuksen aihe.

Opinnäytetyötä tehdessä, tiedot päällystealasta lisääntyivät paljon. Tiedot teoriaosuuteen haettiin itsenäisesti alan kirjoista ja Internetistä. Aikaa opinnäytetyön tekemiseen meni arvioitu 3 kuukautta. Oppimiskokemuksena opinnäytetyön teko oli mahtava ja opetti paljon päällystealasta, tiedon hakemisesta ja sen hyödyntämisestä. Taulukkolaskennan ja isojen massadatojen käsittelyn osaaminen syventyi. Oppi lisääntyi paljon tilastollisen tutkimuksen teosta ja analysoinnista. Itseluottamus omiin kykyihin ja tapoihin tehdä tutkimusta ja tuottaa kirjallisia raportteja nousi tämän opinnäytetyön teon myötä.



## Lähteet

- Aho, S., Saarenketo, T., Berntsen, G., Dawson, A., Kolisoja, P., Munro, R. (2005) *Structural innovations*. A summary of Roadnex II project phases II reports. Northern Periphery.  
[https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/3\\_3-Structural-Innovations\\_I.pdf](https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/3_3-Structural-Innovations_I.pdf)
- Destia. (2023). *Teiden kuntodataa päätöksenteon tueksi*.  
<https://www.destia.fi/palvelut/infraomaisuuden-hallinta/>
- Kuula, P (2019) *Asfalttikiviaineksen raemuodon ja murskaustavan vaikutus kuulamylyarvoon*. [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/172718/vt\\_2019-15\\_978-952-317-724-6.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/172718/vt_2019-15_978-952-317-724-6.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Kuula, P., Makowska, M. & Similä, S. (2021) *Asfalttirouheen laatuvaatimusten kehittäminen*. Väylävirasto.  
[https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/181249/vj\\_2021-39\\_978-952-317-877-9.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/181249/vj_2021-39_978-952-317-877-9.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- PANK Ry. (1995). *Kuulamylykoe, raaka-ainetestit*. [https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2020/12/234\\_pank2207.pdf](https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2020/12/234_pank2207.pdf)
- PANK Ry. (2021 a). *Asfaltit, niiden suunnittelu, valmistus ja laatuvaatimukset*. Asfalttialan oppimateriaali. [https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2021/01/c3-asfaltit-suunnittelu-valmistus-laatuvaatim.asd\\_.pdf](https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2021/01/c3-asfaltit-suunnittelu-valmistus-laatuvaatim.asd_.pdf)
- PANK Ry. (2021 b). *Asfalttimassan valmistus*. Asfalttialan oppimateriaali.  
<https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2021/01/c4-asfalttimassan-valmistus.pdf>
- PANK Ry. (2022) *Asfalttirouheen käytön parhaat käytännöt*. <https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2022/02/Asfalttirouheen-kayton-parhaat-kaytannot-opas-1.pdf>
- PANK Ry. (2023) *Asfalttinormit 2023*.
- PEAB. (2023). *Yleisimmät asfalttityypit*. <https://peabasfalt.fi/asfalttituotteet/yleisimmat-asfalttityypit/>
- ROADEX. (2023). *Pysyvät muodonmuutokset, urautumisen luokittelu*.  
<https://www.roadex.org/fi/e-learning/kurssit/pysyvat-muodonmuutokset/3-pysyvat-muodonmuutokset-urautumisen-luokittelu/>
- Tielaitos. (1999). *Kuulamyly- ja Micro-Deval -kokeiden tulosten vastaavuus*. Tielaitoksen selvityksiä. <https://www.doria.fi/handle/10024/138904>

- Tuomala, A. (2020). *Kiviaineksen laadun vaikutus asfalttipäällysteen nastarengaskulumiskestävyyteen*. Opinnäytetyö. Tampereen yliopisto. Väylävirasto. [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/178144/opin%206-2020\\_978-952-317-810-6.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/178144/opin%206-2020_978-952-317-810-6.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Virtala, P., Huuskonen-Snicker, E., Alanaatu, P. *Tien urautuminen kesällä ja talvella 2017–2019*. Väliraportti 1. Väyläviraston tutkimuksia 23/2019. Väylävirasto [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/176830/vt\\_2019-23\\_978-952-317-747-5.pdf?sequence=5](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/176830/vt_2019-23_978-952-317-747-5.pdf?sequence=5)
- Väylävirasto. (2018). *Tierakenteen suunnittelu*. Liikenneviraston ohjeita 38/2018. Väylävirasto. [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2018-38\\_tierakenteen\\_suunnittelu\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-38_tierakenteen_suunnittelu_web.pdf)
- Väylävirasto. (2020). *Päällysteiden kunto ja vauriot*. <https://vayla.fi/kunnossapito/tieverkon-kunnossapito/paallysteiden-kunto>
- Väylävirasto. (2022a). *Päällystettyjen teiden korjauksen toimenpidesuunnittelu*. Väyläviraston oppaita 3/2022. [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/Opas\\_2022-3\\_paallystettyjen\\_teiden\\_korjaus.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/Opas_2022-3_paallystettyjen_teiden_korjaus.pdf)
- Väylävirasto. (2022b). *Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa*. Väyläviraston ohjeita 20/2022. [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2022-20\\_uusiomateriaalien\\_kaytto\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-20_uusiomateriaalien_kaytto_web.pdf)
- Väylävirasto. (2023). *Uusien päällysteiden laadunosoitusmittaukset*. Väyläviraston ohjeita 4/2023. Väylävirasto. [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2023-4\\_uusien\\_paallysteiden\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-4_uusien_paallysteiden_web.pdf)
- Väätäinen, N. (2020). *Asfalttipäällysteiden takuu-aika- Urautumisen ja vaurioitumisen seuranta*. Diplomityö. Tampereen yliopisto. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/122593>

## Liite 1 Yleistiedot kohteista.

Tienro	Suunta	Pituus	Päällyste	Raekoko	RC %	Massanäyte	AN	Nopeus	KVL	Ka_urautuminen	Havainnot
2	1-2	22400	AB	16	50	6,6	7	80-100	4249	1,4	224
2	1	200	AB	16	50	6,6	7	80-100	4249	1,3	2
2	2	200	AB	16	50	6,6	7	80-100	4249	1,1	2
8	1-2	6000	AB	16	20	11,8	14	100	3248	1,8	60
12	1-2	6900	AB	16		8,3	10	80	5336	1,8	69
24	1-2	17700	AB	16	50	13,4	14	80-100	2164	1,2	177
25	1-2	11400	SMA	16		7,5	10	80-100	5065	1,1	114
111	1-2	7400	AB	16	25	10,385	10	50-60	5501	1,4	74
130	1-2	5000	AB	16	50	9,15	10	80	3232	1,3	50
140	1-2	7600	AB	16	50	12,5	14	60-80	3549	1,7	76
148	1-2	7000	AB	16	Ei tietoa	6,6	7	70-80	5619	1,5	70
167	1-2	27100	SMA	16		7,2	7	50-80	8114	1,4	271
167	1-2	39600	AB	16		10,6	14	50-70	1091	0,7	396
174	1-2	63100	AB	16		8,3	10	40-80	686	0,5	631
222	1-2	5900	AB	16		12,5	14	50-60	2570	1,0	59
230	1-2	14100	AB	16		14,1	14	50-80	1108	0,7	141
292	1-2	3400	SMA	16		8,5	10	40-50	5881	1,8	34
292	1	300	SMA	16		8,5	10	40	5881	1,5	3
292	2	300	SMA	16		8,5	10	40	5881	1,7	3
322	1-2	30100	AB	16	30	15,2	19	40-80	677	0,39	301
332	1-2	85900	AB	16	30	10,4	10	50-80	927	0,56	859
346	1-2	41000	AB	16	30	16,2	19	50-80	483	0,4	410
640	1-2	19200	AB	16	15	11,9	10	40-80	1756	0,7	192
640	1-2	15400	AB	16	15	11,9	10	50-60	1756	1,2	154
689	1-2	40000	AB	16	15	9,5	10	50-80	948	0,7	400
723	1-2	20600	PAB-b	16	10	10	10	80	675	0,6	206
1125	1-2	11200	SMA	16		9,6	10	60	4739	1,7	112
1125	1	100	SMA	16		9,6	10	50	4739	1,5	1
1125	2	100	SMA	16		9,6	10	50	4739	1,3	1
1635	1-2	38900	AB	16	Ei tietoa	12,9	14	40-80	1032	0,5	389
1900	1-2	8200	PAB-b	16		12,4	14	40-80	1239	0,7	82
2402	1-2	14000	PAB-b	16		11,9	14	40-60	790	0,4	140
6250	1-2	30800	PAB-b	16		10,4	10	40-80	390	0,3	308
6250	1-2	900	AB	16		16,6	19	40	656	0,5	9
7242	1-2	13900	AB	16	20	18	19	50-80	1400	1,1	139
11253	1-2	6800	AB	16	50	6,4	7	40-60	3467	0,9	68
13631	1-2	9000	PAB-v	16	Ei tietoa	11,6	14	50-60	282	0,4	90
13947	1-2	6400	AB	16	Ei tietoa	13,8	14	60	392,8235	0,5	64
17559	1-2	6400	PAB-b	16		19,4	19	40-60	521	0,3	64