

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikka, Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Ympäristörakentamisen sv

Jussi Liski

# **ASFALTTIPÄÄLLYSTEIDEN PITKÄAIKAIS- KESTÄVYYTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT**

Opinnäytetyö 2010

## TIIVISTELMÄ

Jussi Liski

Asfalttipäällysteiden pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat tekijät,

46 sivua, 3 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikka, Rakennustekniikan koulutusohjelma

Ympäristörakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2010

Ohjaajat: kehityspäällikkö Juha Pohjola, Lemminkäinen Infra Oy, yliopettaja

Jorma Jaakkola, Saimaan ammattikorkeakoulu

Opinnäytetyössäni tavoitteena oli tehdä esikartoitus asfalttipäällysteiden pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavista tekijöistä Lemminkäinen Infra Oy:lle. Työ toimii pohjana laajemmille jatkotutkimuksille.

Pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavista tekijöistä keräsin tietoa eri lähteistä, joista valitsin tähän kartoitukseen muutamia tekijöitä. Tietoa kerätessä keskityin tekijöihin, joilla on konkreettinen vaikutus asfalttipäällysteen kestävyydelle. Tällaisia tekijöitä ovat muun muassa päällysteen ominaisuudet, liikennetekijät, renkaat ja näiden yhteisvaikutus. Päällysteiden kulumisen kannalta talviliikenne (nastarenkaat) rasittaa päällysteitä paljon enemmän kuin kesäliikenne, joten renkasosiossa ja yhteisvaikutuksessa on keskitytty talviliikenteeseen ja talviolosuhteisiin.

Opinnäytetyötä tehdessä selvisi, että selkeää linjausta vaikuttavista tekijöistä on vaikea tehdä. Tekijät muuttuvat vuosittain ja Suomessa liikennesuoritteesta tapahtuu 60 % Etelä-Suomessa, mikä aiheuttaa pitkäaikaiskestävyyden kannalta selkeän eron Etelä- ja Pohjois-Suomen välille.

Etelä-Suomen leudot talvet ja tiesuolaus aiheuttavat sen, että päällyste on talvisin paljas ja märkä, mikä nopeuttaa päällysteen kulumista nastarengasliikenteellä. Liikennesuoritteen kasvu yhdessä em. asioiden kanssa antavat jatkotutkimuksille aiheutta.

Avainsanat: asfalttipäällyste, nastarengas, liikenne

## ABSTRACT

Jussi Liski

Factors that affect asphalt pavement's long-term durability

46 pages, 3 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Degree programme in Civil and Construction Engineering

Thesis 2010

Instructors: development director Juha Pohjola, Lemminkäinen Infra Ltd, senior lecturer Jorma Jaakkola, Saimaa University of Applied Sciences

The aim of the thesis was to make a presurvey to Lemminkäinen Infra Ltd about the factors which affect asphalt pavement's long-term durability. This thesis works as a base to wider follow-on researches.

The information of the factors that affect asphalt pavement's long-term durability was collected from different sources. The work concentrated on the factors, which have concrete effect on asphalt pavement's durability. These factors are among other things pavement's quality, traffic, tyres and all these factors together. Considering pavement's wearing, winter traffic (studded tyres) burdens pavements more than summer traffic, so the tyre part and the interactions are focused on winter traffic and winter circumstances.

While doing the thesis, it was found out, that a clear lining of the affecting factors is hard to do. The factors change yearly and in Finland 60% of the traffic output occurs in South Finland, which makes a clear difference between South and North Finland.

South Finland's mild winters and road salting are causing that the pavement is bare and wet, which accelerates pavement's wearing while using studded tyres. Traffic output's increase together with the above named things give occasion to further researches.

Keywords: Asphalt pavement, studded tyre, traffic

# SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	5
2 PÄÄLLYSTEMUUTTUJAT JA LEVITYSTYÖ .....	6
2.1 Päällyste ominaisuudet .....	7
2.2 Päällysteen väsyminen .....	11
2.3 Plastinen deformaatio ja alusrakenteen muodonmuutokset .....	14
2.4 Asfalttipäällysteiden säänkestävyys .....	17
2.5 Levitystyö ja tiivistys .....	19
3 LIIKENNETEKIJÄT .....	25
3.1 Autokanta .....	25
3.2 Liikennesuorite .....	27
3.3 Liikenteen sijainti poikkileikkauksessa .....	30
4 NASTARENKAIDEN JA AJONEUVOTEKIJÖIDEN VAIKUTUS PÄÄLLYSTEMEN KULUMISEEN .....	31
4.1 Nastaisku ja –hierto .....	32
4.1.1 Nastaisku .....	32
4.1.2 Nastahierto .....	33
4.2 Nastarenkaan ja ajoneuvotekijöiden yhteisvaikutus .....	34
4.2.1 Renkaan profiilisuhde .....	35
4.2.2 Rengaspaine .....	36
4.2.3 Ajoneuvon paino .....	37
4.2.4 Ajonopeus .....	38
5 ILMASTO–OLOSUHTEET JA PÄÄLLYSTEMEN PEITTEISYYS .....	39
5.1 Peitteisyys .....	40
5.2 Lämpötila ja märkyys .....	41
6 POHDINTA .....	42
KUVAT .....	43
TAULUKOT .....	43
LÄHTEET .....	45

## LIITTEET

Liite 1 Nastakulumisen tekijöiden vertailu 1990–2003

Liite 2 Kuukauden keskilämpötilat vuosi- ja aluejaottelun mukaisesti

Liite 3 Kuukauden keskisadannat vuosi- ja aluejaottelun mukaisesti

# 1 JOHDANTO

Asfalttipäällysteiden pitkäaikaiskestävyys on asia, jota on tutkittu ja tullaan tutkimaan tulevaisuudessakin muuttuvien olosuhteiden vuoksi. Ilmaston muutos ja kasvaneet liikennemäärät ja -suoritteet ovat vaikuttaneet tiestömme kuntoon ja heikentäneet sitä huomattavasti viime vuosikymmenien aikana.

Asfalttipäällysteiden pitkäaikaiskestävyydellä on laajat vaikutukset, jotka ulottuvat uudelleenpäällystämistarpeen kasvamiseen ja liikenneturvallisuuteen. Tiestömme kunto huononi huomattavasti 1990-luvun aikana liikenteen voimakkaan kasvun vuoksi. Nyt tilanne on saatu paremmaksi, mutta parannettavaa on vielä paljon. Tämä asettaa rengasteknologialle ja infrarakentajille suuren haasteen, koska liikennemäärät ja liikennesuoritteet jatkavat kasvamistaan.

Pitkäaikaiskestävyyden kannalta päällysteen ominaisuuksilla ja levitystyöllä on iso merkitys lopputulokseen. Pienet virheet tulevat laajempina esiin lopputuloksessa. Suuri kehitysaskel on otettu asfalttipäällysteen kiviaineksen suhteen; ennen käytettiin kiviaineksena hiekkaa ja nykyisin kalliomurskettä. Päällysteelle on nykypäivänä asetettu tiukat laatu- ja rakeisuusvaatimukset, jotka ovat jokaiselle asfalttimassalle omansa.

Rengasteknologian kehitys 1990-luvun jälkeen on ollut nastarenkaiden osalta eduksi tiestöllemme, mutta se ei yksin auta pysäyttämään päällysteiden kulumista. Ajoneuvojen painot ovat nousseet kiristyneiden turvallisuusvaatimusten myötä, mikä kadottaa renkaista tulleen hyödyn lähes aikaisempaa vastaavaan tilaan.

## 2 PÄÄLLYSTEMUUTTUJAT JA LEVITYSTYÖ

Päällysteen kestävyttä on parannettu jo kymmeniä vuosia. Suurin kehitysaskel on otettu kiviaineksen osuuden kasvattamisella asfaltin koostumuksessa ja kiviaineksen raekoon suurentamisella sekä kiviaineksen ominaisuuksien parantamisella. Nykyisin asfaltissa on noin 94–95 painoprosenttia kiveä, kun ennen kiviaines oli hiekkaa. Asfalttipäällysteiden kulumisen kannalta suurin merkitys kiviaineksen osalta on kiven geologisilla ominaisuuksilla. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi kiviaineksen mineraalikoostumus ja kiven mineraalien liittyminen toisiinsa. Toiseksi suurin merkitys on kiviaineksen raekokojakaumalla sekä muoto-ominaisuuksilla. Päällysteen kulumisen tapahtuu kivirakeiden pinnoilla, joten hienorakeisesta kiviaineksesta valmistetut asfalttipäällysteet kestävät kulumista huomattavasti paremmin kuin karkearakeiset päällysteet. (Tervahattu & Nordic Envicon Oy 2006).

Päällysteiden kehityksen myötä ovat yleistyneet myös RC-asfalttimassat. Kyseessä on uusioasfaltti, jossa massan valmistuksen yhteydessä sekoitetaan vanhaa asfaltista murskattua asfalttirouhetta. Ominaisuuksiltaan RC-asfalttimassa on normaalin asfalttibetonimassan veroista, mutta työstettävyydeltään erilaista, varsinkin käsityökohteissa.

Asfalttipäällysteiden levitystyön aikana edellytetään erityistä tarkkaavaisuutta levitystyössä (tarpeeksi vahva kerros), tiivistyksessä (tyhjättila ja tiiveys) sekä kalustovalinnassa, joka edellä mainittujen asioiden kanssa vaikuttaa suuresti päällysteen pitkäaikaiskestävyyteen.

Kulutuskkestävyys on nykypäällysteessä tärkeä ominaisuus liikenteen painon ja nastarenkaiden takia. Lisäksi päällysteiden kehityksessä on kiinnitetty huomiota deformaatiokestävyyteen, jotta päällyste ei menettäisi muotoaan ja urautuisi niin helposti.

Päällyste ja alusrakenteet toimivat kokonaisuutena ja yhdessä vaikuttavat tien rappeutumiseen. Jos tiessä on heikko alusrakenne heijastuvat sen muodon-

muutokset myös pintarakenteeseen. Yksittäinen vaurio nopeuttaa yleensä myös toisen tyyppisten vaurioiden muodostumista. Esimerkiksi halkeama nopeuttaa päällysteen väsymistä, urautumista ja pituussuuntaisen epätasaisuuden kasvua. Halkeaman kautta tierakenteeseen pääsee kosteutta ja jossain määrin myös hienoainesta, mikä nopeuttaa tierakenteen kunnan heikkenemistä (Belt, Kolisoja, Alatyypö & Valtonen 2006).

## 2.1 Päällysteominaisuudet

Asfalttipäällysteet koostuvat pääsääntöisesti kiviaineksesta, sideaineesta ja täytejauheesta. Näiden ainesosien lisäksi päällyste sisältää tyhjättilaa ja mahdollisia lisäaineita, kuten bitumin modifiointiainetta. Päällysteiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon siihen kohdistuvat liikenteestä ja muista olosuhteista aiheutuvat rasitukset. Tavoitteena on luoda sellaisia päällysteitä, jotka kestävät edellä mainituista rasituksista johtuvaa kulumista mahdollisimman hyvin.

Eri lähteiden (Lampinen 1993; Tervahattu ym. 2006) mukaan asfalttipäällysteiden koostumuksessa kulutuskestävyyteen on havaittu vaikuttavan muun muassa seuraavanlaiset muuttujat:

- kiviaineksen kulutuskestävyys, joka vaihtelee eri kivilajeilla suuresti (joillakin kivilajeilla hyvä iskun kestävyys, mutta huono hiertokestävyys)
- kiviaineksen maksimiraekoko; suurempi raekoko → parempi kulutuskestävyys
- tyhjättilan määrä ja kiviaineksen tyhjättilan täyttöasteen määrä vaikuttavat sään- ja kulutuskestävyyteen (vedenläpäisevyys ja imeytyminen)
- bitumin ominaisuuksien muuttuminen (kovettuminen iän myötä)

Bitumin ominaisuuksien muuttuminen, erityisesti kovettuminen, heikentää kiviaineksen ja sideaineen tartuntaa. Tämä aiheuttaa asfalttipäällysteelle huonon vedenkestävyyden, joka nopeuttaa päällysteen vaurioitumista ja kulumista. Pa-

himmillaan päällyste purkaantuu vedenpääsyn johdosta rakenteeseen, mikä vahingoittaa myös alusrakenteita (Kurki 2002).

Asfalttipäällysteiden suhteitustekijöiden vaikutus päällysteen tärkeimpiin ominaisuuksiin on esitetty taulukossa 1. (Lampinen 1993)

Taulukko 1. Asfalttipäällysteiden suhteitustekijöiden vaikutus päällysteen tärkeimpiin ominaisuuksiin. (Lampinen 1993)

Suhteitustekijä	Päällysteen ominaisuus		
	Kulutuskest.	Stabiilisuus	Säänkest.
<i>Maksimiraekoko;</i>			
<i>pieni→ suuri</i>	+	+	-
<i>Rakeisuuskäyrän muoto;</i>			
<i>jatkuva→ epäjatkuva</i>	+	-	+
<i>Hienoainespitoisuus;</i>			
<i>pieni→ suuri</i>	-	-	+
<i>Tyhjätila;</i>			
<i>suuri→ pieni</i>	+	-	+
<i>Sideainepitoisuus;</i>			
<i>pieni → suuri</i>	(+)	-	+
<i>Sideaineen viskositeetti;</i>			
<i>pieni→suuri</i>	(+)	+	-

Muutoksen suunta:

- + = ominaisuus paranee
- = ominaisuus huononee

Asfalttipäällysteen kuluminen voidaan tyypillisesti jakaa kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa (ns. alkukulumisessa) päällysteen pinnalla oleva mastiksikerros kuluu nopeasti (ensimmäisen vuoden aikana) pois, jonka jälkeen kuluminen on tasaista. Verrattain vakiona pysyvä loppukuluminen tapahtuu sekä kiviaineksen, että mastiksin kulumisena. Mastiksi kuluu yleensä nopeammin kuin kiviaines, minkä seurauksena päällyste karkeutuu. Tämä on havaittavissa teillä keväisin talvirengaskauden jälkeen (Lampinen 1993).



## **Kiviaineksen ominaisuudet**

Asfalttipäällysteissä käytettävälle kiviainekselle asetettujen laatuvaatimusten tiukentamisella on parannettu päällysteiden kulutuskestävyyttä. PANK Ry on kehittänyt kiviaineksen laatuvaatimuksia vuosien saatossa ja viimeisimmät kriteerit massoille ja kiviaineksille on esitetty Asfalttinormit 2008 -kirjassa.

Kiviainekselle on asetettu kulutuskestävyys- ja muotovaatimukset. Päällysteet ja kiviaineksen vaatimukset riippuvat käyttökohteesta, johon vaikuttavat muun muassa kohteen liikennemäärä ja nopeusrajoitus. Kuulamylykokeella voidaan mitata kiviaineksen mekaanista kulutuskestävyyttä, jolla mitataan kiviaineksen kykyä vastustaa nastarenkaista aiheutuvaa raapaisua. Los Angeles -kokeella mitataan kiviaineksen iskunkestävyyttä, joka on oleellinen ominaisuus suuremman nopeuden (>80 km/h) tieosuuksilla. Toisin sanoen kaikilla korkealaatuisilla asfaltin kiviaineksilla on hyvä kyky vastustaa nastarenkaista aiheutuvaa raapaisua sekä nastarenkaista aiheutuvaa iskuja.

Osa katupölystä syntyy siten, että renkaan ja tien pinnan välissä oleva hiekka/katupöly kuluttaa asfalttia. Tätä prosessia kutsutaan hiekkapaperi-ilmiöksi ja se ilmenee kaikilla asfalttilaaduilla. Sekä renkaat että hiekoitusmateriaalit kuluttavat asfalttia ja tämä kulumistuote samoin kuin kaikki muukin kova irtain materiaali kuluttaa asfalttia niin kitka- kuin nastarenkaiden alla, muodostaen lisää katupölyä.

Asfaltin kiviaineksen muoto-ominaisuuksia voidaan mitata litteyslukumäärityksen avulla, joka määrittää sen, miten paljon kiviainekset sisältävät litteitä kivirakeita. Muoto-ominaisuuksilla on vaikutusta asfaltin pinnan rakenteeseen, tiivistävyyteen, kulumiseen, deformatiiviseen sekä tarvittavaan sideainepitoisuuteen. Parempimuotoisista kivirakeista (pieni litteysluku) koostuva asfaltti kestää paremmin kulutusta verrattuna huonopimuotoisista rakeista koostuvaan asfalttiin. Suuntautuneilla sekä lujilla kiviaineksilla on taipumus lohjeta litteiksi kivirakeiksi. On huomioitava, että litteiden kivirakeiden kuluminen on voimakkaampaa varsinkin niillä kiviaineksilla, joilla on huono kyky vastustaa nastarenkaiden raa-

pivaa kulutusta. Ei siis ole yksiselitteistä, miten litteyslukuun tulee suhtautua, koska kiviaineksen muoto-ominaisuuksiin liittyy monia tekijöitä. Siihen liittyviin ominaisuuksiin tulisi kuitenkin kiinnittää huomiota erityisesti lujuudeltaan heikompien kiviainesten yhteydessä.

Kiviaineksilla on huomattavia eroja, joten eri kiviainesten kulumisominaisuudet eivät pienene lineaarisesti raekoon pienentyessä. Koska edellä mainitut kulutus-testit (kuulamyllykoe, Los Angeles -koe) toteutetaan useimmiten 10–16 mm kiviaineksilla, ne eivät kuvaa todellisesti hienompirakeisten päällysteiden kiviaineksen kulutuskestävyyttä. Tällaisia päällysteitä ovat muun muassa hiljaiset päällysteet, jotka valmistetaan <8 mm kiviaineksista. Hienorakeisten kiviainesten kulutuskestävyyserot erot voimistuvat eri kiviaineksilla, koska tällöin kiviaineksen mineraalikoostumuksen lisäksi kulutuskestävyyteen vaikuttaa mineraalien yhteenliittyminen eli kiven mikroskooppinen rakenne. Esimerkkinä kivien raekoon vaikutuksesta kulutuskestävyyteen voidaan käyttää kaupunkien nupukiviä, jotka ovat usein keski- tai karkearakaisia graniitteja ja gneissejä. Ne ovat kestäneet satoja vuosia käyttökelpoisina ja jos samoista kivistä valmistettaisiin asfaltin kiviaineksia, ne kuluisivat vilkkaasti liikennöidyillä kaduilla muutamissa vuosissa. Tämän vuoksi on tärkeää ottaa huomioon loppukäyttökohteen kivirakeiden koko sekä kivirakeiden muodostavien mineraalien raekoko ja mineraalien yhteenliittyminen toisiinsa. Tämä tulee korostetusti esille hienorakeisten asfalttien kiviainesten kohdalla.

Kiviaineksen geologiset ominaisuudet vaikuttavat eniten asfaltin kulumiseen. Vertailtaessa eri asfalttilaatuja toisiinsa, on huomioitava kiviaineksen mineralogiset ja tekstuurilliset tekijät. Hienorakeisia ja ns. normaalirakeisia asfaltteja (AB16) vertailtaessa tulee ottaa huomioon se, onko asfaltit valmistettu samasta kiviaineksestä. Yleisesti hienorakeiset päällysteet valmistetaan parhaimmista mahdollisista kiviaineksista. Tällaisia kiviaineksia ovat esimerkiksi Pernajan Koskenkylän ja Hyvinkään Kytäjän metamorfoituneet vulkaniitit, koska ne kestävät kulutusta parhaiten. Hienorakeiset päällysteet, joissa tarvitaan tällaisia ominaisuuksia ovat mm. hiljaiset päällysteet kaupunkialueilla. Normaalit AB-massat puolestaan valmistetaan kiviaineksista, jotka omaavat edellisiin vul-

kaniitteihin verrattuna heikomman kyvyn vastustaa nastarenkaista aiheutuvaa raapivaa kulutusta. AB-massojen kiviainesten valintaa ohjaavat liikennemäärä ja ajonopeus. Jos kaikki AB16-massatkin valmistettaisiin kyseisistä vulkaniiteista, olisi niiden kulutuskestävyys huomattavasti parempi. (Tiehallinto 2004; Belt ym. 2006; Tervahattu ym. 2006; Asfalttinormit 2008).

## **2.2 Päällysteen väsyminen**

Ajoneuvon rengas saa aikaan tierakenteen taipumisen jokaisella ylityskerralla. Rakenteen taipuminen aiheuttaa sidottujen kerrosten alapintaan vetomuodonmuutoksia, jotka aiheutuvat kuormituksen aiheuttamasta vetorasituksesta eli vetojännityksestä ja yläpintaan puristusrasituksen. Kuormituksesta aiheutuvien vetomuodonmuutosten toistuessa riittävästi sidottu kerros alkaa vaurioitua eli väsyä.

Päällysteen väsyminen aiheutuu bitumin ja sitä kautta päällysteen kimmoisista ja viskoosisista ominaisuuksista. Jos päällyste olisi täysin kimmainen, väsymistä ei esiintyisi. Käytännössä väsyminen tarkoittaa bitumin ominaisuuksien muuttumista iän ja kuormituksen myötä, mikä ilmenee sen murtolujuuden ja murtovenymän pienenemisenä.

Sidotun kerroksen alapintaan syntyvät pituussuuntaiset hiushalkeamat ajourissa ovat merkki väsymisen alkuvaiheesta. Kuormituksen jatkuessa hiushalkeamat laajenevat ja muodostavat hiushalkeamaverkkoa. Samalla kuormituksen aiheuttamat palautuvat vetomuodonmuutokset kasvavat ja päällysteen jäykkyys pienenee. Päällysteeseen alkaa muodostua näkyviä vaurioita, kun hiushalkeamien laajeneminen lisääntyy ja ne yhtyvät makrohalkeamiksi edeten samalla tien pinta kohti.

Liikennekuormituksen aiheuttama rasitus päällysteeseen on suurinta ajourissa, joista tien pinnalla näkyvät väsymisvauriot alkavat tien pituussuuntaisina halkeamina. Kuormitusten aiheuttamat päällysteen alapinnan poikittaissuuntaiset vetomuodonmuutokset ovat suurempia kuin pituussuuntaiset. Halkeamien li-

sääntyessä ja vaurioiden lisääntyessä päällysteeseen syntyy monikulmiomaisia repeämiä eli verkkohalkeilua. Vaurioitumista nopeuttaa se, että pituussuuntainen halkeama aiheuttaa tienrakenteeseen epäjatkuvuuskohdan. Tällöin päällyste ei enää toimi yhtenäisenä laattana, eikä jaa kuormituksia tasaisesti alempiin kerroksiin. Päällysteen alapinnan vetomuodonmuutoksia voidaan parhaiten pienentää käyttämällä päällysteen alla olevassa kerroksessa hyvää materiaalia (korkea moduuli) sekä kasvattamalla päällysteen paksuutta ja jäykkyyttä (Taulukko 2.). Kuormituksen aiheuttaman väsymisprosessin seurauksena päällysteen jäykkyys pienenee asteittain. Siinä vaiheessa, kun verkkohalkeilua alkaa esiintyä tien pinnalla, voi päällysteen jäykkyys olla enää vain puolet uuden vastaavan päällysteen jäykkyydestä.

Päällysteen väsymiskestävyyteen vaikuttaa rakennetekijöiden lisäksi myös päällysteen ominaisuudet (Taulukko 3.). Päällysteen paksuuden kasvattaminen lisää väsymiskestävyyttä, koska päällysteen jäykkyys kasvaa.

Verkkohalkeamien muodostuminen ohutpäällysteisillä teillä (<80 mm) poikkeaa edellä mainituista paksumpien päällysteiden väsymisvauriomekanismista. Ero on sitomattomien kerrosten pysyvät muodonmuutokset, jotka muodostuvat suuriksi. Tällaisessa alusrakenteen urautumisessa päällyste joutuu mukautumaan muodonmuutoksiin, jolloin poikkisuuntaiset vetomuodonmuutokset voivat ylittää päällysteen siirtymiensietokyvyn. Päällyste voi revetä ja sen seurauksena liikennekuormituksen aiheuttamat rasitukset kasvavat ja lisäävät päällysteen vaurioitumista, esimerkiksi verkkohalkeilua. (Alkio, Juvankoski, Korkiala-Tanttu, Laaksonen, Laukkanen, Petäjä, Pihlajamäki & Spoof 2001; Belt ym. 2006).

Taulukko 2. Rakennetekijöiden vaikutus päällysteen alapinnan vaakasuoraan vetomuodonmuutokseen. (Belt ym. 2006).

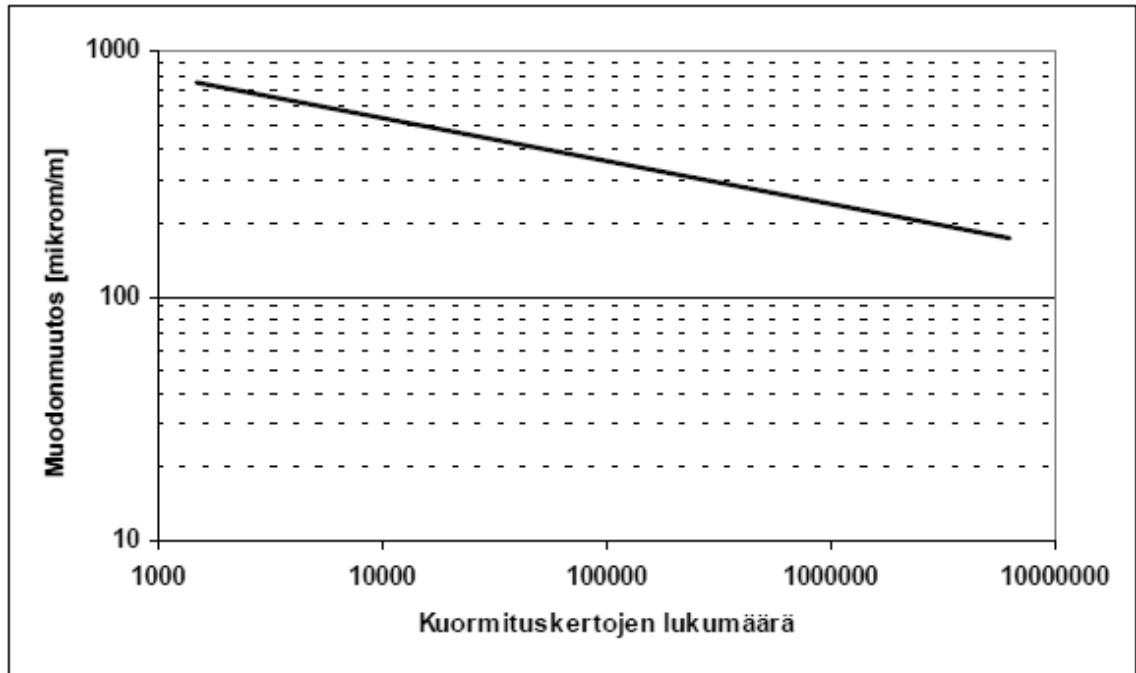
<b>Tekijä</b>	<b>Muutos</b>	<b>Asfalttipäällysteen alapinnan vetomuodonmuutos</b>
<i>Asfalttipäällysteen paksuus</i>	<i>Kasvu</i>	
- <i>luja alusta</i>		<i>Kohtalaisesti laskeva</i>
- <i>heikko alusta</i>		<i>Voimakkaasti laskeva</i>
<i>Asfalttipäällysteen jäykkyys</i>	<i>Kasvu</i>	
- <i>paksu päällyste</i>		<i>Erittäin voimakkaasti laskeva</i>
- <i>ohut päällyste</i>		<i>Vaikutus vähäinen</i>
<i>Kantavan kerroksen paksuus</i>	<i>Kasvu</i>	
- <i>luja alusta</i>		<i>Vaikutus vähäinen</i>
- <i>heikko alusta</i>		<i>Kohtalaisesti laskeva</i>
<i>Kantavan kerroksen jäykkyys (moduuli)</i>	<i>Kasvu</i>	<i>Erittäin voimakkaasti laskeva</i>

Taulukko 3. Paksun asfalttipäällysteen väsymiskestävyyteen vaikuttavia tekijöitä. (Belt ym. 2006).

<b>Tekijä</b>	<b>Muutos</b>	<b>Tekijän muuttamisen vaikutus</b>	
		<b>Jäykkyyteen</b>	<b>Väsymiskestävyyteen</b>
<i>Sideaineen koivuus</i>	<i>Kasvu</i>	<i>Lisäävä</i>	<i>Lisäävä</i>
<i>Sideainepitoisuus</i>	<i>Kasvu</i>	<i>Lisäävä</i>	<i>Lisäävä</i>
<i>Rakeisuuskäyrä</i>	<i>Avoimesta tiiviimpään</i>	<i>Lisäävä</i>	<i>Lisäävä</i>
<i>Kiviainestyyppi</i>	<i>Murskatun materiaalin osuuden kasvu</i>	<i>Lisäävä</i>	<i>Lisäävä</i>
<i>Tyhjätila</i>	<i>Lasku</i>	<i>Lisäävä</i>	<i>Lisäävä</i>
<i>Lämpötila</i>	<i>Lasku</i>	<i>Lisäävä</i>	<i>Lisäävä</i>

Asfalttipäällysteiden väsymistä voidaan tutkia myös laboratorio-olosuhteissa, simuloimalla päällysteeseen kohdistuvia jännityksiä ja muodonmuutoksia. Tulokset voidaan esittää ns. päällysteen väsymissuorana (Kuva 1.).

Kuva 1. AB20 B70/100 päällysteen väsymissuora (Alkio ym. 2001).



### 2.3 Plastinen deformaatio ja alusrakenteen muodonmuutokset

Päällysteen urautuminen johtuu kulumisen lisäksi päällysteen jälkitiivistymisestä ja plastisista muodonmuutoksista. Deformaatioura syntyy, kun raskas liikenne pääsee uudelle päällysteelle liian aikaisin ennen päällysteen jäykistymistä ja kesäisten hellepäivien aikana. Deformoitumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat raskaiden ajoneuvojen lukumäärä ja paino, kuumien kesäpäivien lukumäärä, päällysteen massatyypin ja sideaineen (Alkio ym. 2001).

Raskaan liikenteen vaikutuksesta päällysteeseen aiheutuu plastista deformaatiota ja tiivistymistä synnyttäen pysyviä muodonmuutoksia. Kuormituksesta aiheutuvat leikkausjännitykset synnyttävät plastista deformaatiota, jolle on tunnusomaista materiaalin siirtyminen sivusuunnassa. Jälkitiivistyminen johtuu ras-

kaan liikenteen painosta ja ylityskerroista. Plastista deformaatiota esiintyy tyypillisesti kohteissa, joissa raskaan liikenteen nopeus on alhainen, esimerkiksi linja-autopysäkit ja liittymäalueet. Deformaatiossa suurin syy pysyville muodonmuutoksille on päällysteen viskoelastisuus.

Ulkoiset kuormitus- ja olosuhdetekijät sekä päällysteen ominaisuudet vaikuttavat pysyvien muodonmuutosten suuruuteen. Kuormitus- ja olosuhdetekijöitä ovat muun muassa liikennemäärät, kuormitusten suuruus, kuormitusaika (liikenteen nopeus) ja kuormitusten jakautuminen tien poikkileikkauksessa sekä päällysteen lämpötila (Taulukko 4.). Materiaalien (sideaine, kiviaines, lisäaine) valinnalla, massan suhteituksella ja huolellisella päällysteen valmistamisella voidaan vaikuttaa pysyviin muodonmuutoksiin massan jäykkyydellä.

Päällysteen deformaatiokestävyyttä voidaan arvioida ja määrittää asfalttipäällysteistä sahatuista laatoista tai levitetyn massan valmistuksen yhteydessä tehdyistä koelaatoista pyöräurituskokeella tai valmiista päällysteestä poratuista näytteistä jaksollisella virumiskokeella.

Taulukko 4. Asfalttipäällysteiden deformoitumiseen vaikuttavat ulkoiset tekijät. (Belt ym. 2006).

<b>Ulkoinen tekijä</b>	<b>Vaikuttavat osatekijät</b>
<i>Liikenne</i>	<i>Kuormitusten määrä</i> <i>Kuormitusten frekvenssi</i> <i>Kuormitusten poikittaisjakauma</i>
<i>Kuormitukset</i>	<i>Pystysuora vaikutus (paino, kosketuspaine, kosketuspinta)</i> <i>Tangentiaalinen vaikutus</i> <i>Kuormitusaika</i>
<i>Ilmasto</i>	<i>Lämpötila</i>

Tienpinnalla näkyvässä urautumisessa ovat mukana myös alusrakenteissa (sitomattomat rakennekerrokset) tapahtuvat pysyvät muodonmuutokset. Liikenteen aiheuttaman kuormituksen vuoksi sitomattomien kerrosten rakennemateriaalit pyrkivät siirtymään ajourien kohdalla alaspäin samalla syrjäyttäen vieressä olevaa materiaalia sivuille. Syrjäytyvä materiaali siirtyy sivulle ja ylöspäin pienintä vastusta kohti. Päällysteen alapuolisten rakenteiden pysyvät muodonmuutokset ovat seurausta ajourien kohdalla tapahtuvasta sitomattomien materiaalien painumisesta ja ajourien välissä tapahtuvasta kohoamisesta.

Alusrakenteen sitomattomien materiaalien ominaisuudet riippuvat vallitsevan jännitystilän lisäksi raeominaisuuksista, tiiviyydestä ja kosteustilasta. Sitomattomat kerrokset tulisi rakentaa materiaalista, jonka rakeisuuskäyrä on tasaisesti kaartuva ja maksimirakekoko suuri ja jotka sisältävät vähän savilajitteita. Tällaisella materiaalilla on pääsääntöisesti hyvät muodonmuutosominaisuudet.

Kosteus vaikuttaa merkittävästi sitomattomien materiaalien muodonmuutostähtäytymiseen. Hyvin alhaisen vesipitoisuuden omaavassa materiaalissa hienoaines toimii karkeampien rakeiden välisenä sementoivana aineena. Sementoiva vaikutus lisää materiaalin lujuutta ja samalla kykyä vastustaa palautumattomia muodonmuutoksia. Kosteuspitoisuuden noustessa lujuutta lisäävä vaikutus heikkenee. Veden kyllästämiä tilaa lähestyttäessä voi sitomattomissa rakennekerroksissa tapahtua nopea lujuuden heikkeneminen. Lujuuden heikkeneminen aiheutuu kuormituksen aiheuttamasta huokosvedenpaineesta, joka irrottaa kivirakeet toisistaan, romahduttaen rakeiden välisen tehokkaan jännityksen. Vedestä suurin osa rakennekerrokseen pääsee päällysteen halkeamien ja vaurioiden kautta, tien luiskista ja reunoilta sekä ympäröivästä maasta imeytyen.

Sitomattomien rakennekerrosten pysyvät muodonmuutokset ovat yleensä merkittäviä ohutpäällysteisillä teillä. Tällaisilla alemman luokan teillä on tunnusomaista, että poikkileikkaus on kapea ja päällysrakente ohut. Kapeilla teillä reunan puoleinen osa materiaalista liikkuu pääasiassa vaakasuunnassa, mikä aiheuttaa muodonmuutoksien kehittymistä päällysteen alapuolisissa rakenteissa. Ohut päällyste ottaa liikennekuormia vastaan vähän verrattuna paksuun



päällysteeseen, koska ohuen päällysteen jäykkyys on huomattavasti pienempi kuin paksun päällysteen. Ohutpäällysteisissä kohteissa on siis suuri merkitys sitomattomilla rakennekerroksilla, jotta tierakenne ei vaurioituisi (Belt ym. 2006).

## **2.4 Asfalttipäällysteiden säänkestävyys**

Asfalttipäällysteiden säänkestävyysongelmat näkyvät aiempaa yleisemmin päällysteiden purkautumina ja reikiintymisenä, mikä osittain johtuu muuttuneista ilmastorasituksista. Ilmastoperäiset päällystevauriot aiheuttavat vuosittain suuria korjauskustannuksia ja päällystevaurioiden yleistyminen vaarantaa liikenneturvallisuutta. Pitkäaikaiskestävyyden kannalta asfalttipäällysteiden tärkeitä ominaisuuksia ovat pakkasenkestävyys ja jäätymis-sulamisoiminaisuudet, joita täytyisi kehittää.

Kehitystarpeen taustalla ovat tie- ja katuverkon päällysteiden leutoina talvina yleistyneet säänkestävyysongelmat, havainnot ilmaston muuttumisesta, aiemmin tehdyt asfaltin säänkestävyytutkimukset sekä kokemukset ja tieto säänkestävyyteen vaikuttavista tekijöistä.

### **Jäätymis-sulamiskestävyys**

Asfaltin jäätymis-sulamisoiminaisuuksiin vaikuttavat muun muassa massan raaka-aineiden ominaisuudet, sideainepitoisuus ja tyhjätila. Jos vesi ei pääse tunkeutumaan päällysteen huokosiin, kestää se suurella todennäköisyydellä hyvin sekä vettä että jäätymis-sulamisrasitusta. Leutoina talvina päällysteen jäätymis-sulamissyklien määrä kasvaa olennaisesti kylmiin talviin verrattuna, joten ilmaston muuttuminen muuttaa asfalttipäällysteiden rasitusolosuhteita toisenlaisiksi.

Jos asfalttipäällysteen jäätymis-sulamiskestävyys on riittämätön, päällyste vaurioituu toistuvien jäätymis-sulamissyklien vaikutuksesta. Tällöin päällystekerros voi muuttua löyhäksi, irtaimeksi ainekseksi, kun päällysteen osa-aineiden välinen tartunta purkautuu. Vauriot näkyvät päällysteen reikiintymisenä tai irtoiluna

alustastaan. Jäätymis-sulamisvaurion voivat aiheuttaa asfaltin huokosissa olevan veden tai suolaliuoksen toistuvat jäätymis-sulamisvaiheet tai päällysteen huokosiin tai halkeamiin kohdistuvat vedenpaineiskut, joita raskaat ajoneuvot aiheuttavat päällysteen huokosissa olevan veden välityksellä (Laukkanen, Halonen & Pyy 2010).

### **Pakkasenkestävyys**

Asfaltin pakkasenkestävyydellä tarkoitetaan useita erilaisia pakkasen aiheuttamia ilmiöitä. Lämpötilan alentuessa asfaltti pyrkii kutistumaan, mikä saattaa aiheuttaa asfalttiin halkeamia (pakkaskatkoja). Myös alempien kerrosten routiminen voi rikkoa päällystettä, kun rakoihin, huokostilaan tai kerrosten väliin pääsee vettä. Tällöin toistuva jäätyminen ja sulaminen voivat aiheuttaa veden jäätymislaajenemisen vuoksi päällysteeseen vaurioita.

Huono pakkasenkestävyys aiheuttaa päällysteeseen poikkisuuntaisia halkeamia. Jos asfalttimassalle on asetettu pakkasenkestävyysvaatimus, sideaine valitaan kohteessa päällysteen käyttöaikana esiintyvän alhaisimman lämpötilan perusteella. Pakkasenkestävän massan sideaineena käytetään pehmeää bitumia. Jos vaaditaan erityisen suurta pakkasenkestävyyttä, käytetään sideaineena kumibitumia. Pakkasenkestävän massan suunnittelussa on aina otettava huomioon myös deformaatiokestävyys. Erityisesti Etelä-Suomessa deformaatiokestävyys on etusijalla pakkasenkestävyyteen verrattuna (Asfalttinormit 2008; Laukkanen ym. 2010).

## 2.5 Levitystyö ja tiivistys

Levitystyö vaikuttaa asfalttipäällysteiden laatuun ja samalla kestävyteen. Oikeilla työmenetelmillä ja kalustovalinnoilla vältetään turhilta laatu alentavilta tekijöiltä, kuten massan halkeilu, lajittumat sekä kerrospaksuuden vaihtelut. Työn laadun varmistus edellyttää levitysryhmän kaikilta jäseniltä tarkkaavaisuutta ja oikeaa asennetta, sekä hyvää ryhmähenkeä. Levityskaluston kehitys on tuonut automatiikkaa levitystyöhön (GPS, paksuudensäätö- ja kallistusautomaatit, ym.), mikä ei kuitenkaan vähennä käsityön osuutta. Käsityö vaikuttaa lopputulokseen ja laatuun samalla tavalla kuin koneellinen levitystyö.

Kohteen toteutus tulee olla levitysryhmällä selvillä ennen työn aloitusta. Kohteen toteutuksessa ratkaisevia asioita ovat muun muassa alueen reunalinjat, saumojen paikat, kaadot ja muut pintakuivausjärjestelyt. Huolellisella vetosuunnitelman tekemisellä on suuri merkitys työntulokseen, ulkonäköön ja toimintaan (jiirit, harjat, ym). Seisahduksien välttämiseksi tulee levityskalusto, massan kuljetuskalusto ja työnsuoritus mitoittaa koneasematehon mukaan. Suuresta koneasematehosta huolimatta levitysnopeutta ei saa nostaa liian suureksi, ettei päällysteen laatu kärsi.

Massan ja laitteiston ominaisuuksiin nähden liian suuri levitysnopeus aiheuttaa päällysteen mikrohalkeilua, joka voi olla silmällä erottamatonta tai näkyä pinnan ”repimisenä”. Mikrohalkeilun estämiseksi ja laadun varmistamiseksi levitysnopeus on pidettävä massalaadulle sopivana. Massalaadusta riippuen, sopiva levitysnopeus on noin 4–9 m/min. Laadun takaava levitysnopeus mitoittaa tuotantoketjun muut osat.

Levittimenkuljettajan ja perämiehen on huolehdittava tietyistä asioista, jotta levitystyö onnistuisi hyvin. Tällaisia levittimen käyttöön liittyviä asioita ovat muun muassa

- levittimen ajaminen tasaisella nopeudella
- liian suuren/repivän nopeuden välttäminen
- pysähdyksien välttäminen
- suppilon (tuutin) tyhjäksi ajamisen välttäminen
- liiallisten paksuuskorjauksien tekeminen
- työn lopettaminen sateella, viimeistään tien/pohjan lätäköityessä
- levittimen valitseminen ja säätäminen levitettävän massan mukaan.

Tiivistyskaluston määrä ja laatu on mitoitettava valmistus- tai levityskapasiteetin mukaan, eikä jyräysnopeutta tai jyräyskaavioita muutteleamalla. Jyräysnopeuden ja jyräyskaavioiden vaihtelu vaikuttaa heikentävästi päällysteen laatuun massan murtumisen ja ylityskertojen muuttumisen takia.

Levitystyö on saatava tasaisella nopeudella eteneväksi ja täysin keskeytymättömäksi. Yhtenä tekijänä tähän vaikuttaa massankuljetus. Massankuljetusautojen täytyy vaihtua ”lennossa”, eli levitin ei saa pysähtyä vaihdon seurauksena. Tämä vähentää selkeästi kuormalajittumia sekä epätasaisuuksia. Kuormalajittumien välttämiseksi on tärkeää myös levittimen syöttösuppilon laitojen käyttö. Syöttösuppiloa ei saa kesken työn ajaa tyhjäksi ja laitojen turhaa nostoa tulee välttää. Levittimen tyhjäksi ajo ja perän täytenä pitäminen vaikuttavat myös laatutapaksuuteen ja pinnan tasaisuuteen (ASKO 2006).

Tarkkaavaisuutta vaaditaan levittimenkuljettajalta, perämieheltä ja massa-auton kuljettajalta. Jos massankuljetusauto peruttaa liian suurella nopeudella levittimen eteen, pysäyttää se levittimen tai mahdollisesti liikauttaa sitä taaksepäin. Taaksepäin liikahdaessa levittimen peräpalkki ”repäisee” päällysteen pinnan rikki, johon syntyy laadullisesti heikompi ja epätasainen kohta.

Massan tulon keskeytyessä työmaalle, esimerkiksi koneaseman rikkoutuessa, tulee levittimen suppiloon jättää massaa. Tällöin levitintä voidaan siirtää ennen kuin massa ehtii jäähtyä liikaa levittimen peräpalkin alla. Jos massa pääsee liikaa jäähtymään, niin levitystyön jatkuessa peräpalkin alla olleeseen kohtaan syntyy epätasaisuus. Massaa ei ole päästy tiivistämään ja sen liaksi jäähtyessä tiivistystä ei pystytä enää tekemään. Massaa ei voi suppiloon kuitenkaan jättää liian pitkäksi aikaa, joten keskeytymisen mittavuuden mukaan ratkaisut tehdään tapauskohtaisesti. Yksi ratkaisu on ajaa levitin tyhjäksi ja tehdä lopetus, mutta toisaalta liiallisilla poikittaissaumoilla heikennetään asfalttilaatan yhtenäisyyttä.

## **Tiivistys**

Asfalttipäällysteen huolellinen tiivistäminen suunniteltuun tiiveyteen parantaa päällysteen kulutus- ja deformaatiokestävyyttä, säänkestävyyttä ja antaa päällysteelle tällä tavalla pidemmän kestoian. Oikean tiiveyden saavuttamiseen vaikuttaa jyräyslämpötila, jyräyskaavio, jyräskertojen lukumäärä sekä tiivistettävän kerroksen paksuus. Jyräysmatka yhteen suuntaan mitoitetaan massan lämpötilan ja jäähtymisnopeuden mukaan siten, että levittimen kulkiessa tasaisella nopeudella jokainen kohta levitettävää kaistaa tulee jyrätyksi yhtä monta kertaa.



Massan tiivistäminen jaetaan kahteen osaan, esijyräykseen ja tiivistysjyräykseen. Esijyräys aloitetaan mahdollisimman pian massan levityksen jälkeen, ajaen vetävä valssi kohti levitintä. Esijyräys tiivistää ja hidastaa päällysteen jäähtymistä. Tiivistysjyräys tulee tehdä asfalttimassan ollessa riittävän kuumaa. Ainakin kolme ylityskertaa täytyy tehdä massan lämpötilan ollessa yli 115 °C ja tiivistys on tehtävä loppuun ennen massan jäähtymistä alle 75 °C. Tällöin massalla on vielä riittävät tiivistymisominaisuudet.

Suhteitus vaikuttaa asfalttimassan tiivistettävyyteen ja tätä kautta kestävyteen. Jokainen massa suhteitetaan vastaamaan käyttökohteen olosuhteita, kuormituksia ja sääolosuhteita. Kulutuskerrosmassat suhteitetaan tavallisesti tiiviiksi ja suhteellisen mastiksirikkaiksi. Tiivistettävyydeltään kulutuskerroksen AB-massat

ovat yleensä suhteellisen helppoja. Osa AB-massoista voi kuitenkin vaatia jopa kaksinkertaisen tiivistyksen koostumuksen takia. Tällaisen koostumuksen voi suhteitustekijöistä aiheuttaa rakeisuuskäyrän muoto (roikkuva käyrä 0,5 mm:n kohdalla). Massan tiivistettävyys on otettava huomioon suhteituksessa ja tiivistyskalustoa mitoitettaessa.

Päällystekerroksen paksuus ja sen vaihtelut vaikuttavat massan tiivistettävyyteen. Päällysteen paksuuden vaihtelut vaikeuttavat tiivistystä, koska ohut päällyste jäähtyy nopeammin kuin paksu päällyste. Nopeasti jäähtyvistä kohdista päällysteen tyhjätila jää helposti normaalia korkeammaksi. Jyräkaluston väärin mitoittamisella voidaan aiheuttaa ohuilla päällysteillä kivirakeiden murtumista ja täryjyrän käytöllä voidaan heikentää kerroksen tarttumista. Käytännön tiivistystehot on esitetty taulukossa 5. ja olosuhteiden vaikutus massan jäähtymiseen taulukossa 6.

Taulukko 5. Käytännön tiivistystehot (ASKO 2006).

Machine type	Operat. weight	Volumetric output Operation capacity (t/h) with a mat thickness		
		2 - 4 cm	6 - 8 cm	10 - 14 cm
	1,5 - 2,5	10 - 40	25 - 60	40 - 100
	3,0 - 4,5	20 - 60	40 - 90	70 - 160
	7 - 9	40 - 100	70 - 160	120 - 220
	10 - 12	70 - 120	100 - 200	180 - 280

Taulukko 6. Olosuhteiden vaikutus massan jäähtymiseen (ASKO 2006).

Ilman lämpötilä	Tuulen nopeus	Jäähtymisaika (155 °C – 75 °C) min		
		Kerrospaksuus (kg/m <sup>2</sup> )		
°C	m/s	50	80	100
5	0	7,5	18	28
5	10	5	12	19
15	0	8,5	20	30
15	10	6	14	21
25	0	9,5	23	34
25	10	6,5	15	22

Liikenteen päästäminen uudelle päällysteelle liian aikaisin aiheuttaa urautumista, joka vaikuttaa lyhentävästi uudelleenpäällystysväliin. Liikennettä ei saa päästää uudelle päällysteelle massan ollessa yli 60 °C . Tarvittaessa esimerkiksi kesähelteellä voidaan jäähtymistä nopeuttaa vesikastelulla.

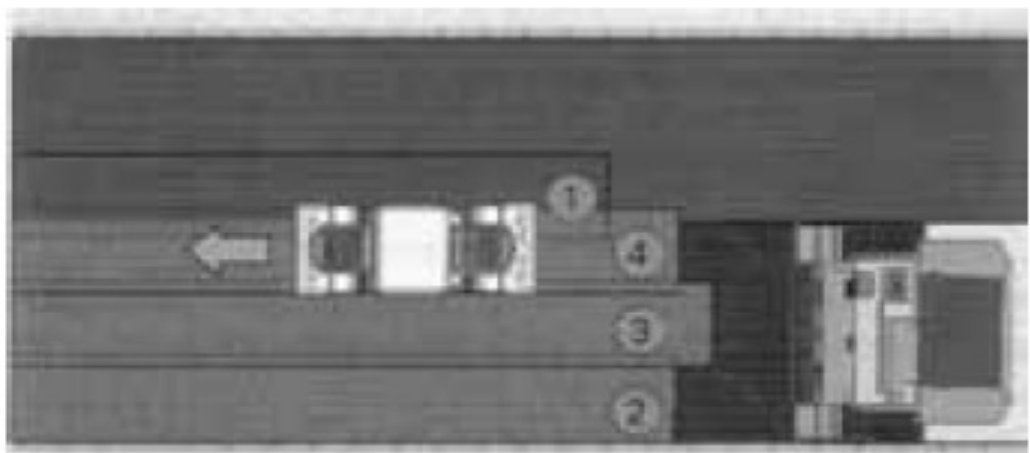
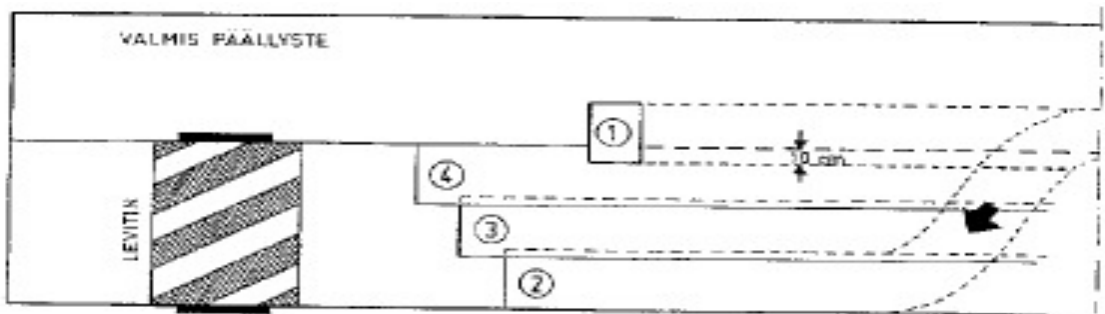
Päällyste tulee jyrätä oikeassa järjestyksessä. Jyräyskaavion noudattaminen antaa tiivistykselle parhaan lopputuloksen. Jyräyskaavio on esitetty kuvassa 2.

Ensimmäistä kaistaa tehtäessä jyräys aloitetaan tien alemmasta reunasta. Kaarteen jyräys aloitetaan aina sisäreunalta. Poikittaissauma jyrätään sauman suuntaan, kohtisuoraan levityskaistaan nähden. Jyräys aloitetaan samalla tavalla kuin pituussauman teko, jyrän valssi korkeintaan 10–20 cm tiivistämättömällä päällysteellä. Keskisauma tiivistetään siten, että valssi on vain 10–20 cm juuri levitetyn massan päällä. Liikenteestä johtuvan tilan puutteen vuoksi voidaan sauma tiivistää ajamalla jyrä pääosin juuri levitetyn massan päällä ja valssista 10–20 cm aiemmin tehdyn päällysteen päällä. Valssista täytyy aina olla aiemmin päällystetyllä pinnalla, jotta ei synny leikkaussaumaa.

Keskisauman jyräyksen jälkeen tiivistämistä jatketaan ulkoreunasta käsin. Ulkoreunaa jyrättäessä valssi ulottuu 5–10 cm massan reunan yli. Jos ulkoreuna pursuaa, jätetään reunasta jyräämättä 30–40 cm ja jyrätään tämä alue viimeiseksi, kun massan jäykkyys kasvaa jäähtyessä. Ulkoreunan jyräyksen jälkeen edetään yhdensuuntaisin kaistoin saumaa kohti, noin puoli valssin leveyttä kerrallaan.

Jyräysnopeuden on oltava riittävän alhainen, noin 3–5 km/h. Mitä paksumpi on levitetty kerros, sitä hitaammin tulee jyrää kuljettaa, jotta saadaan haluttu tiiveys. Ohuita ja kuumia massakerroksia tiivistettäessä voidaan jyräysnopeus nostaa noin 10 km:iin/h. Jos jyräämisnopeutta joudutaan muuttamaan, tulee sen tapahtua pehmeästi. Ajosuunnan vaihtaminen tulee tehdä aina eri kohdassa kuin viereisellä tiivistyskaistalla, joten suunnanvaihto tulee tapahtua porrastetusti. Täry on kytkettävä aina pois päältä ennen suunnanvaihtoa eikä jyrää saa koskaan seisottaa täry päällä uudella päällysteellä (ASKO 2006).

Kuva 2. Päällysteen jyräyskaavio ja pitkittäissauman jyräys (ASKO 2006).





### 3 LIIKENNETEKIJÄT

Ajoneuvoliikenne Suomessa on lisääntynyt viime aikoina runsaasti ja jatkaa kasvuaan koko ajan. Liikennemäärien nousuun ovat vaikuttaneet kasvanut vienti- ja tuontiteollisuus sekä matkailu- ja työmatkaliikenne.

Autokannan lisääntyminen ja sitä kautta liikennesuoritteiden kasvu yhdessä nastarenkaiden ja kasvaneiden ajoneuvopainojen kanssa aiheuttavat teillemme suuren rasituksen. Nastarengaskehitys oli huikeaa 1990-luvulla sekä 2000-luvun alussa ja saikin hetkellisesti teiden kulumisen hidastumaan, mutta vastaaviin muutoksiin rengaskehityksessä tuskin enää päästään. Rengaskehityksen hidastumisen ja liikennesuoritteiden tasaisen kasvun takia tiemme ovat alkaneet jälleen kulua aikaisempaa enemmän.

#### 3.1 Autokanta

Tiehallinnon tilastojen mukaan vuodesta 1995 vuoteen 2008 Suomen autokanta on kasvanut 44,4 %. Vuonna 1995 henkilöautojen määrä oli 1 900 855 kpl ja vuonna 2008 määrä oli 2 700 492 kpl. Vastaavasti kuorma-autojen määrä 1995 oli 48 556 kpl ja vuonna 2008 kuorma-autoja oli 105 701 kpl. Taulukossa 7. on esitetty autokanta, eriteltynä ajoneuvoluokittain ja lukumääräisesti vuosina 1995-2008 (Tiehallinto tilastot 1995-2009).

Selitteet taulukko 7:ssa ja taulukko 8:ssa käytetyille lyhenteille:

- HA = henkilöauto
- KA = kuorma-auto
- PA = pakettiauto
- LA = linja-auto
- EA = erikoisajoneuvot

Taulukko 7. Suomen autokanta ajoneuvoluokittain (Tiehallinto tilastot 1995 - 2009).

<b>VUOSI</b>	<b>HA</b>	<b>KA</b>	<b>PA</b>	<b>LA</b>	<b>EA</b>	<b>YHT.</b>
1995	1 900 855	48 556	203 476	8 083	20 269	<b>2 181 239</b>
1996	1 942 752	50 833	207 864	8 233	19 540	<b>2 229 222</b>
1997	1 948 126	54 217	212 727	8 450	18 798	<b>2 242 318</b>
1998	2 021 116	57 461	223 149	9 040	18 224	<b>2 328 990</b>
1999	2 082 580	61 027	232 680	9 487	17 553	<b>2 403 327</b>
2000	2 134 728	65 223	239 095	9 852	16 924	<b>2 465 822</b>
2001	2 160 603	68 569	243 988	9 769	16 225	<b>2 499 154</b>
2002	2 194 683	72 469	247 230	10 005	15 566	<b>2 539 953</b>
2003	2 274 577	77 015	250 107	10 358	14 942	<b>2 626 999</b>
2004	2 346 726	82 492	272 672	10 716	14 536	<b>2 727 142</b>
2005	2 430 345	87 191	276 453	10 921	14 055	<b>2 818 965</b>
2006	2 505 543	91 465	284 627	11 189	13 591	<b>2 906 415</b>
2007	2 570 356	97 187	297 531	11 543	13 264	<b>2 989 881</b>
2008	2 700 492	105 701	318 797	12 276	13 030	<b>3 150 296</b>

Autokannassa suurin ajoneuvoluokkakohtainen muutos on tapahtunut raskaiden ajoneuvojen kohdalla. Kuorma- ja linja-autokanta on muuttunut vuosina 1995-2008 kasvaen 108,3 %. Vastaavien vuosien muutos henkilö- ja pakettiautokannassa on ollut 43,5 %. Erikoisajoneuvojen kohdalla muutos on ollut päin vastainen eli -35,7 %. Sillä ei ole kuitenkaan teiden kulumisen kannalta vähentävää vaikutusta, koska erikoisajoneuvojen osuuden muutos koko autokannasta on niin pieni, että se ei vaikuta merkittävästi koko autokannasta aiheutuvaan liikennesuoritteeseen (Tiehallinto tilastot 1995-2009).

Autokannan prosentuaalinen muutos ajoneuvoluokittain edellisvuoteen verrattuna on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Suomen autokannan kasvu prosentteina (Tiehallinto tilastot 1995 - 2009).

<b>VUOSI</b>	<b>HA+PA</b>	<b>KA+LA</b>	<b>EA</b>	<b>YHT.</b>
1995-1996	2,2	4,3	-3,6	<b>2,2</b>
1996-1997	0,5	6,1	-3,8	<b>0,6</b>
1997-1998	3,9	6,1	-3,1	<b>3,9</b>
1998-1999	3,2	6,0	-3,7	<b>3,2</b>
1999-2000	2,5	6,5	-3,6	<b>2,6</b>
2000-2001	1,3	4,3	-4,1	<b>1,4</b>
2001-2002	1,6	5,3	-4,1	<b>1,6</b>
2002-2003	3,4	5,9	-4,0	<b>3,4</b>
2003-2004	3,8	6,7	-2,7	<b>3,8</b>
2004-2005	3,3	5,3	-3,3	<b>3,4</b>
2005-2006	3,1	4,6	-3,3	<b>3,1</b>
2006-2007	2,8	5,9	-2,4	<b>2,9</b>
2007-2008	5,3	8,5	-1,8	<b>5,4</b>
<b>1995-2008</b>	<b>43,5</b>	<b>108,3</b>	<b>-35,7</b>	<b>44,4</b>

### 3.2 Liikennesuorite

Autokannan kasvu on aiheuttanut liikennesuoritteen nousun. Liikennesuorite ilmoitetaan ajoneuvokilometreinä ajoneuvoluokittain, täten se kuvaa paremmin liikenteestä aiheutuvaa kulutusvaikutusta teillemme. Autokannan kasvun mukaan tiestömme liikennesuoritteen voitaisiin olettaa kasvaneen 44,4 % (Taulukko 8.), mutta todellinen liikennesuoritteen kasvu vuosina 1995-2008 on ollut 25,6 % . Eli autokannan muutos (kasvu tai pieneneminen) ei välttämättä vaikuta liikennesuoritteen muuttumiseen samassa suhteessa ja liikennesuoritteen kasvu on myös mahdollista, vaikka autokanta pienenee. Taulukossa 9. on esitetty liikennesuoritteet ajoneuvoluokittain vuosina 1995–2008 ja niiden muutos prosentteina edellisvuoteen verrattuna on esitetty taulukossa 10.(Tiehallinto tilastot 1995-2009).

Selitteet taulukko 9:ssä ja taulukko 10:ssä käytetyille lyhenteille ovat;

- HA = henkilöauto
- KA = kuorma-auto
- PA = pakettiauto
- LA = linja-auto
- MT = maantiet
- KYT = kadut ja yksityiset tiet

Taulukko 9. Liikennesuorite (milj.autokm) ajoneuvoluokittain 1995-2008 (Tiehallinto tilastot 1995-2009).

<b>VUOSI</b>	<b>HA</b>	<b>KA</b>	<b>PA</b>	<b>LA</b>	<b>YHT.</b>
	<b>MT+KYT</b>	<b>MT+KYT</b>	<b>MT+KYT</b>	<b>MT+KYT</b>	<b>MT+KYT</b>
1995	35760	2640	3150	620	<b>42170</b>
1996	36000	2730	3170	620	<b>42520</b>
1997	36790	2890	3230	620	<b>43530</b>
1998	38080	2760	3360	600	<b>44800</b>
1999	39190	2770	3460	590	<b>46010</b>
2000	39815	2775	3530	590	<b>46710</b>
2001	40680	2790	3585	595	<b>47650</b>
2002	41675	2860	3620	595	<b>48750</b>
2003	42565	2970	3665	590	<b>49790</b>
2004	43530	3060	3715	585	<b>50890</b>
2005	44220	3115	3760	580	<b>51675</b>
2006	44610	3170	3790	580	<b>52150</b>
2007	45560	3270	3840	580	<b>53250</b>
2008	45285	3290	3825	580	<b>52980</b>

Taulukko 10. Liikennesuoritteiden muutos prosentteina edellisvuoteen verrattuna 1995-2008 (Tiehallinto tilastot 1995-2009).

<b>VUOSI</b>	<b>HA</b>	<b>KA</b>	<b>PA</b>	<b>LA</b>	<b>YHT.</b>
	<b>MT+KYT</b>	<b>MT+KYT</b>	<b>MT+KYT</b>	<b>MT+KYT</b>	<b>MT+KYT</b>
<i>1995-1996</i>	<i>0,7</i>	<i>3,4</i>	<i>0,6</i>	<i>0,0</i>	<b><i>0,8</i></b>
<i>1996-1997</i>	<i>2,2</i>	<i>5,9</i>	<i>1,9</i>	<i>0,0</i>	<b><i>2,4</i></b>
<i>1997-1998</i>	<i>3,5</i>	<i>-4,5</i>	<i>4,0</i>	<i>-3,2</i>	<b><i>2,9</i></b>
<i>1998-1999</i>	<i>2,9</i>	<i>0,4</i>	<i>3,0</i>	<i>-1,7</i>	<b><i>2,7</i></b>
<i>1999-2000</i>	<i>1,6</i>	<i>0,2</i>	<i>2,0</i>	<i>0,0</i>	<b><i>1,5</i></b>
<i>2000-2001</i>	<i>2,2</i>	<i>0,5</i>	<i>1,6</i>	<i>0,8</i>	<b><i>2,0</i></b>
<i>2001-2002</i>	<i>2,4</i>	<i>2,5</i>	<i>1,0</i>	<i>0,0</i>	<b><i>2,3</i></b>
<i>2002-2003</i>	<i>2,1</i>	<i>3,8</i>	<i>1,2</i>	<i>-0,8</i>	<b><i>2,1</i></b>
<i>2003-2004</i>	<i>2,3</i>	<i>3,0</i>	<i>1,4</i>	<i>-0,8</i>	<b><i>2,2</i></b>
<i>2004-2005</i>	<i>1,6</i>	<i>1,8</i>	<i>1,2</i>	<i>-0,9</i>	<b><i>1,5</i></b>
<i>2005-2006</i>	<i>0,9</i>	<i>1,8</i>	<i>0,8</i>	<i>0,0</i>	<b><i>0,9</i></b>
<i>2006-2007</i>	<i>2,1</i>	<i>3,2</i>	<i>1,3</i>	<i>0,0</i>	<b><i>2,1</i></b>
<i>2007-2008</i>	<i>-0,6</i>	<i>0,6</i>	<i>-0,4</i>	<i>0,0</i>	<b><i>-0,5</i></b>
<b><i>1995-2008</i></b>	<b><i>26,6</i></b>	<b><i>24,6</i></b>	<b><i>21,4</i></b>	<b><i>-6,6</i></b>	<b><i>25,6</i></b>

Liikennesuorite vuonna 2008 maanteillä oli 35 560 milj. autokm. Tiehallinto on tilastoinut liikennesuoritteiden jakautumisen tieluokittain ja tiepiireittäin (Taulukko 11.). Tilastosta huomaa hyvin Etelä-Suomen teiden rasiuksen eron Pohjois-Suomen teihin verrattuna.

Etelä-Suomeen sijoittuu noin 60 % koko liikennesuoritteesta, ja ilmastolliset tekijät mukaan lukien ero Etelä- ja Pohjois-Suomen teiden kulumisessa lisääntyy. Pohjois-Suomessa nastarengaskausi ajetaan pääsääntöisesti peitteisellä tai kuivalla tienpinnalla ja nastarengaskauden kulutusvaikutus on pienempi kuin Etelä-Suomessa, jossa suurin osa talvesta ajetaan märällä tienpinnalla. Pahin tilanne kulumisen kannalta on Uudellamaalla, jonne koko maan liikennesuoritteesta sijoittuu noin 21 % (Tiehallinto tilastot 1995-2009).

Taulukko 11. Maanteiden liikennesuorite tiepiireittäin 2008, milj.autokm (Tiehallinto Tiefakta 2009).

<b>Maanteiden liikenne- suorite tiepiireittäin 2008, milj.autokm</b>	<b>Valtatiet</b>	<b>Kantatiet</b>	<b>Seututiet</b>	<b>Yhdystiet</b>	<b>Yhteensä</b>
<i>Uusimaa</i>	3 278	1 503	1 514	1 084	<b>7 379</b>
<i>Turku</i>	1 816	559	969	1 029	<b>4 374</b>
<i>Kaakkois-Suomi</i>	2 185	223	589	557	<b>3 554</b>
<i>Häme</i>	3 715	563	1 033	913	<b>6 224</b>
<i>Savo-Karjala</i>	1 478	434	600	541	<b>3 053</b>
<i>Keski-Suomi</i>	1 328	165	357	381	<b>2 230</b>
<i>Vaasa</i>	1 384	460	667	720	<b>3 232</b>
<i>Oulu</i>	1 939	391	671	757	<b>3 758</b>
<i>Lappi</i>	823	354	319	258	<b>1 754</b>
<i>Koko maa</i>	17 946	4 652	6 720	6 239	<b>35 557</b>

### 3.3 Liikenteen sijainti poikkileikkauksessa

Liikenteen sijainti poikkileikkauksessa vaikuttaa teiden kulumiseen. Kulutusvaikeus esiintyy pääosin urautumisena, koska teiden leveys ns. pakottaa ajoneuvoliikenteen ajamaan samaa linjaa pitkin. Kevyt liikenne (henkilö- ja pakettiautot) pystyy kapeampana valitsemaan sijaintinsa leveyssuunnassa paremmin kuin raskas liikenne.

Raskas liikenne sijoittuu käytännössä keskelle ajokaistaa. Tien kaistaleveys ja ajoneuvon leveys yhdessä aiheuttavat sen, että raskas liikenne ei voi vapaasti valita ajolinjojaan. Kaista- ja piennarleveyden kasvaessa raskas liikenne sijoittuu lähemmäs kaistan oikeaa reunaa. Kevyt liikenne kulkee tien poikkileikkauksessa raskaan liikenteen vasempien pyörien ajolinjaa pitkin. Tästä syystä vasemman uran syntymiseen vaikuttaa koko liikenne, kun taas oikeanpuoleisen uran syntymisen aiheuttaa pääosin kevyt liikenne. Oikeanpuoleinen ajoura on

edellä mainituista asioista huolimatta uramittauksissa useimmiten syvempi kuin vasen ajoura. Kevyen liikenteen vaikutus on suurempi oikeanpuoleisen uran syntymiseen, koska liikennesuoritteeltaan se on noin 13-kertainen verrattuna raskaaseen liikenteeseen. Raskaan liikenteen aiheuttamaa kulutusvaikutusta kaistan oikealla reunalla lisää ajoneuvon massa ja kesällä plastinen deformaatio (Lampinen 1993; Tiehallinto tilasto 2009).

## **4 NASTARENKAIDEN JA AJONEUVOTEKIJÖIDEN VAIKUTUS PÄÄLLYSTEEN KULUMISEEN**

Nastarenkaiden kulutusvaikutus päällysteisiin aiheutuu nastaiskusta ja nastahierrosta. Nastaiskun ja nastahierron voimakkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. ajoneuvon paino, nopeus, rengasprofiili ja rengaspaine. Rengasteknologian kehityksen myötä renkaiden kulutusvaikutus on pienentynyt, mutta kasvaneiden liikennesuoritteiden takia kokonaiskulutusvaikutus on lisääntynyt. Etelä-Suomen leudot talvet lisäävät nastarenkaiden kulutusvaikutusta, koska tienpinnat ovat paljaita ja märkiä (suolauksesta johtuen). Pohjois-Suomessa teiden kulumisen on vähäisempää kuin Etelä-Suomessa, koska tiet ovat talvisin kuivia ja peitteisiä ja liikennesuoritteet pienempiä.

Suurin askel renkaiden kehityksessä otettiin 1990-luvulla sekä 2000-luvun alussa. Nastojen koko ja massa pienenevät, mutta turvallisuusvaatimusten tiukentamisen myötä ajoneuvojen massat ovat sen sijaan kasvaneet. Rengaskehityksessä ei enää odoteta tapahtuvan edellisen kaltaisia suuria muutoksia, kun taas liikennesuorite jatkaa kasvuaan. Tämän seurauksena tiestömme kulumisen voidaan olettaa lisääntyvän lähivuosina.

Rengasteknologian kehityksen myötä ovat markkinoille tulleet kitkarenkaat. Kitkarenkaiden myyntiosuus Suomen talvirengasmarkkinoista on tällä hetkellä noin 20 %, jossa se on pysynyt jo useamman vuoden ajan. Myyntiosuudessa täytyisi tapahtua valtava nousu, jotta kitkarenkailla olisi teiden kulumisen kannalta merkittävä vaikutus.

## 4.1 Nastaisku ja –hierto

Nastan ja päällysteen kosketus voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin;

- alkuisku
- pistovoima
- hierto (ja raapaisu kosketuksen irrotessa).

Suurin vaikutus kulumiseen on alkuiskulla ja pistovoimalla. Niiden suuruuteen vaikuttaa muun muassa ajonopeus ja ajoneuvon massa. Nykypäivän nastoilla on pienempi alkuisku ja pistovoima kuin vanhoilla painavammilla nastoilla. Tähän on vaikuttanut nastojen massan ja ulkoneman pienentäminen. Kosketusvaiheen irrotessa nastan, kumin ja päällysteen väliset jännitykset on havaittu pieniksi, joten ne voidaan jättää kulutusvaikutus tarkasteluissa huomiotta. Tämän vuoksi raapaisuvaihe voidaan sisällyttää osaksi hierontekomponenttia (Lampinen 1993).

### 4.1.1 Nastaisku

Nastaisku on liike-energiaa, joka syntyy nastan kohdatessa päällysteen pinnan. Päällysteen kulumisen ja iskun voimakkuuden kannalta vaikuttavimmat tekijät ovat nastan massa, ajoneuvon nopeus, rengaspaine ja ajoneuvon massa. Renkaan kokoonpuristuminen vaikuttaa iskun voimakkuuteen ja päällysteen kulumiseen. Mitä suurempi on ajoneuvon massa, sitä suurempi on renkaan kokoonpuristuminen ja iskun voimakkuus. Täten alipaineisella renkaalla ajaminen lisää päällysteen kulumista verrattuna normaali- tai ylipaineiseen renkaaseen.

Hienorakeisen päällysteen kulumisen iskun johdosta on vähäisempää (suhteellisesti) kuin karkearakeisen päällysteen. Karkeassa päällysteessä esiin työntyviin kivrakeisiin kohdistuu suurempi iskuenergia kuin tasaisella päällysteellä. Talvirengas kauden alkaessa päällyste on tasaisempaa, koska kesällä päällysteen kiviaines ja asfalttimastiksi ”liikkuvat” ja päällyste silottuu. Talven aikana päällysteen pinta karkeutuu, joten nastaiskusta aiheutuva kulutusvaikutus on talvirengaskauden lopulla suurimmillaan (Lampinen 1993).



#### 4.1.2 Nastahierro

Nastaiskun jälkeen alkaa hierontovaihe. Hierrotovaiheen alussa nasta painaa päällystettä pistovoimalla ja lopussa nasta raapaisee päällysteen pintaa. Vaikutusajaltaan hierontovaihe on pisin, joka nastasta aiheutuu päällysteeseen. Päällysteen kulumisen kannalta hierro on se vaihe, jossa päällysteen pinta rikkoutuu ja vähäinen materiaalmäärä irtautuu päällysteen pinnasta.

Hierrotovaiheen pituuteen vaikuttavat tekijät;

- aurasukulma, sivukallistuma
- kaarresäde
- tien sivukaltevuus
- luisto (jarrutus, kiihdytys).

Hierrotovaiheen pistovoimaan vaikuttavat tekijät;

- rengastyyppi
- nastatyyppi
- nastaulkonema
- iskunopeus ( ajonopeus).

Hierrotovaiheessa päällysteen kulumisen kannalta kriittisiä vaiheita ovat liikkeellelähtö (renkaiden pito), kiihdytys (voiman käyttö) sekä kaarreaajossa ja jarrutuksessa syntyvien sivu- ja pituusvoimien kulutusvaikutus. Myös olosuhteilla on vaikutus hierontovaiheen kulutukseen. Laskelmien mukaan 80 km/h ajonopeudella hierrosta aiheutuva päällysteen märkäkuluminen on noin kaksinertainen kiihdytyksen päällysteeseen verrattuna, eli sääolosuhteilla on suuri vaikutus (Lampinen 1993).

## 4.2 Nastarenkaan ja ajoneuvotekijöiden yhteisvaikutus

Päällysteen nastarengaskulumisen kannalta oleellisia muutoksia ovat renkaan-profiilisuhteiden, rengaspaineiden, ajoneuvon massojen ja nastojen muuttumiset. Viime vuosina autojen omapainoa ovat kasvattaneet tiukentuneet henkilöautojen turvallisuusvaatimukset. Vuodesta 1990 vuoteen 2003 kolmenkymmenen eniten rekisteröidyn henkilöautomallin keskimassa on noussut 18 % (omapaino 1078 → 1271 kg). Painon lisääntymisen myötä ovat myös autojen tehot lisääntyneet, mikä lisää kiihdyttäessä nastarenkaiden kulutusvaikutusta (hiero). Rengaspainesuosituksetkin ovat kasvaneet em. muutoksien seurauksena 12 % (Unhola, Solla & Vesala 2004).

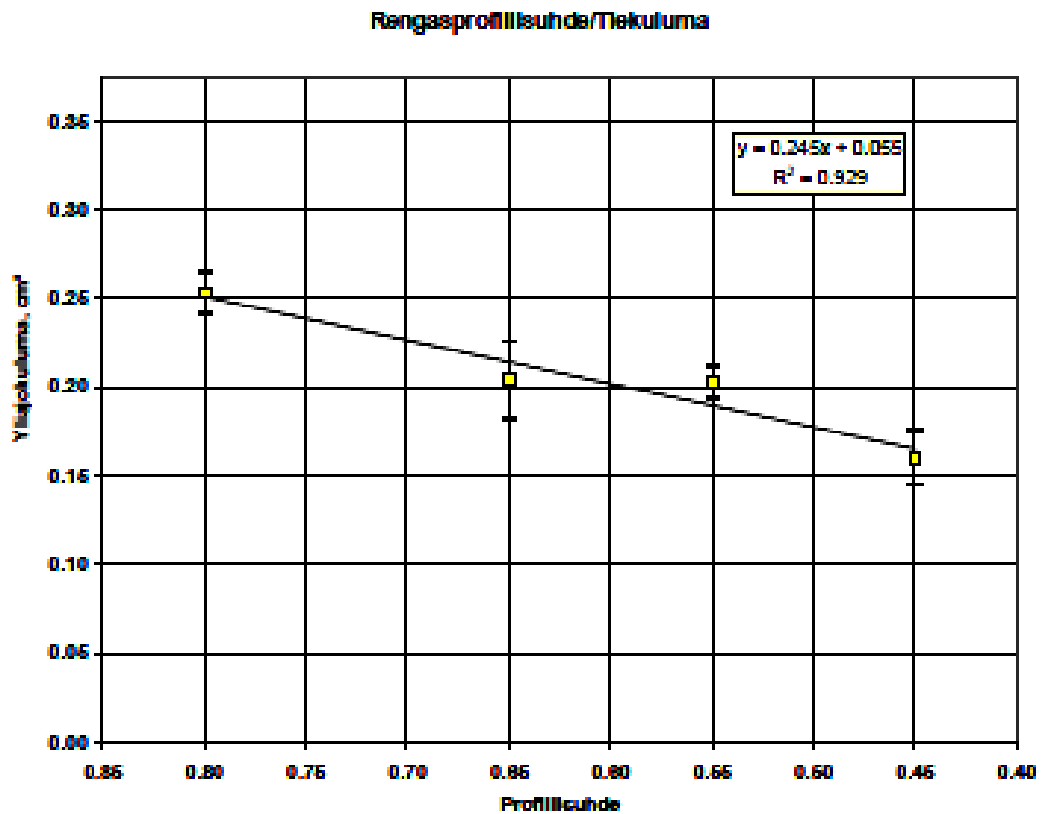
Renkaiden profiilisuhte (korkeus/leveys) on vuodesta 1990 vuoteen 2003 alentunut 16 %, vannekoko on kasvanut 12 %, leveys 15 % ja halkaisija (ja vierintäkehä) 5 %. Vannekoon kasvu sallii suuremman nastamäärän rengasta kohti, minkä seurauksena nastamäärä samalla tarkastelu välillä on kasvanut 17 %. Osa nastakulumisen tekijöiden vertailusta 1990→2003 on esitetty taulukossa 12. Nastaiskujen määrän voidaan kaikista vaikuttavista tekijöistä johtuen laskea nousseen peräti 32 % (Liite 1.)(Unhola 2004; Unhola & VTT/Roadlux 2008).

Taulukko 12. Nastakulumisen tekijöiden vertailu 1990-2003. (Unhola ym. 2008)

<b>Tekijä</b>	<b>Yksikkö</b>	<b>1990</b>	<b>2003</b>	<b>Muutos</b>	<b>Muutos-%</b>
<i>Autojen omamassa</i>	<i>kg</i>	<i>1078</i>	<i>1276</i>	<i>198</i>	<b>18</b>
<i>Rengaspainesuositus</i>	<i>kPa</i>	<i>193</i>	<i>215</i>	<i>23</i>	<b>12</b>
<i>Profiilisuhte</i>		<i>74,3</i>	<i>62,2</i>	<i>-12,1</i>	<b>-16</b>
<i>Vannekoko</i>	<i>"</i>	<i>13,4</i>	<i>15,0</i>	<i>1,6</i>	<b>12</b>
<i>Nastamäärä/rengas</i>	<i>kpl</i>	<i>96,7</i>	<i>113,3</i>	<i>16,7</i>	<b>17</b>
<i>Nastaisku</i>	<i>mrd.kpl</i>	<i>1095</i>	<i>1443</i>	<i>348</i>	<b>32</b>

#### 4.2.1 Renkaan profiilisuhde

Profiilisuhteen aletessa kulutusvaikutus pienenee selvästi. Profiilin muuttuessa 10 yksikköä matalampaan (esim. 75→65) suuntaan, laskee kulutusvaikutus samalla noin 10 %. Rengasprofiilin madaltuessa muuttuvat myös renkaan ominaisuudet. Renkaiden kyljistä tulee sitä jäykempiä, mitä matalampi profiili on, ja sitä pienemmiksi tulevat painuma ja muodonmuutokset renkaan ja tien kosketuskohdassa. Renkaan pinnan ja nastan jännitykset ja siirrokset tien pintaan nähden ovat pienemmät matalamman profiilin renkaissa, vaikka kosketus on lyhyempi ja nopeampi. Suuremmilla nopeuksilla ajettaessa (esimerkiksi 100 km/h) isku on merkittävin tekijä päällysteiden kulumisessa. Nastan kosketusaika tiehen on lyhyempi, mutta isku saattaa olla pienempi matalamman profiilin renkaissa kulutuspinnan jäykkyyden takia (Unhola 2004).



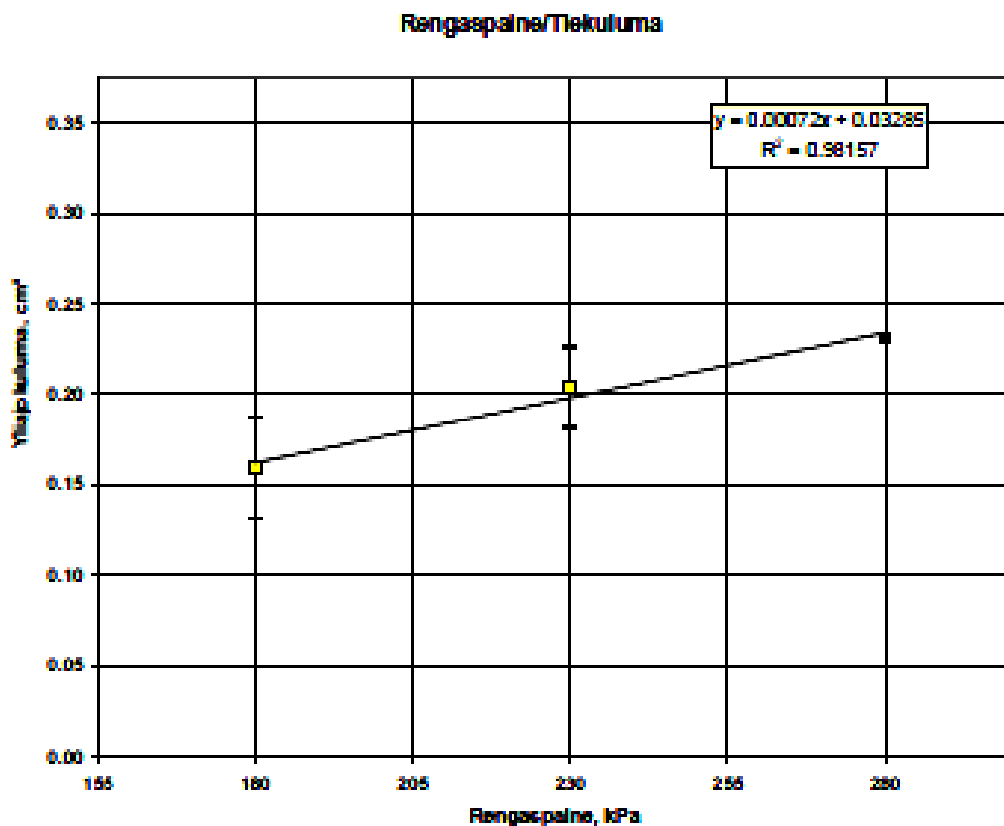
Kuva 3. Renkaan profiilisuhteen vaikutus tiekulumaan (Unhola 2004).

- pystyrivillä ylijokuluma (cm<sup>3</sup>)
- vaakarivillä rengasprofiilisuhde

## 4.2.2 Rengaspaine

Henkilöautojen painon lisääntyminen on aiheuttanut rengaspaineiden nousun. Auton- ja rengasvalmistajien nykypäivän rengaspainesuositukset ovat maksimissaan uusissa henkilöautoissa lähellä 300 kPa, aikaisemmin niiden ollessa alle 200 kPa. Rengaspaineen nousun vaikutus päällysteen kulumiseen on havaittu olevan selkeä ja suoraviivainen, paineen nosto esim. 220:sta 230:een kPa lisää päällysteen kulutusta 3,6 %.

Tämän hetken yleisimpiin rengaskokoihin kuuluu 195/65R15 ja rengaspainesuositus kyseiselle renkaalle on noin 250 kPa. Kuvassa 4. on esitetty kyseisellä rengaskoolla tehdyn kokeen tulos, jossa rengaspaineina on käytetty 180 kPa, 230 kPa ja 280 kPa, nopeuden ollessa 100 km/h (Unhola 2004).



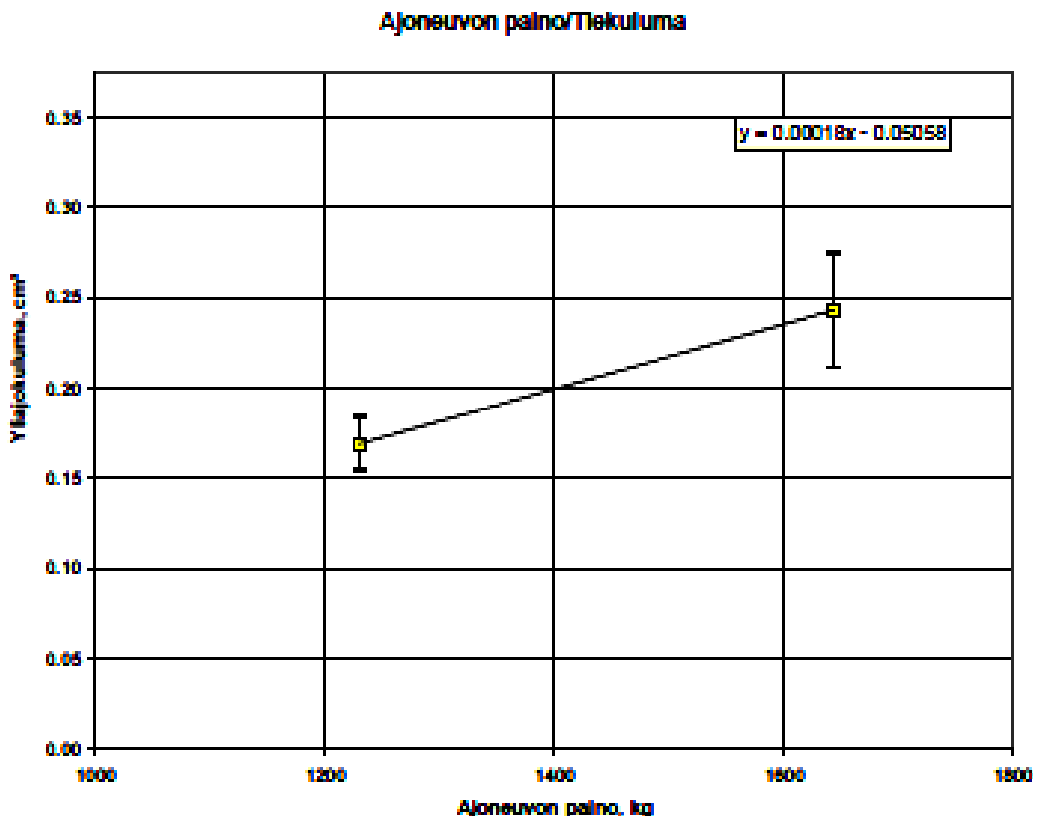
Kuva 4. Rengaspaineen vaikutus tiekulumaan (Unhola 2004).

- pystyivillä yliajokuluma (cm<sup>3</sup>)
- vaakarivillä rengaspaine (kPa)

### 4.2.3 Ajoneuvon paino

Henkilöautojen painon kasvuun liittyy siirtyminen uusiin, tavallisesta sedanmallista poikkeaviin autotyyppeihin, kuten nelivetoisiin niin sanottuihin citymaastureihin ja tila-autoihin. Tavallisistakin autoista on niiden mallisarjassa farmarimallit saaneet kasvavaa suosiota. Lisäksi moottoria valitessaan yhä useampi ostaja päätyy diesel-ajoneuvoon. Kaikki nämä suuntauokset ovat omiaan kasvattamaan ajoneuvopainoa, joka edellä mainittujen lisäksi kasvaa lisääntyneiden turvallisuus- ja ylellisyysvarusteiden myötä.

Ajoneuvon painon vaikutusta päällysteen kulumiseen on havainnollistettu kuvassa 5. Kokeessa muuttujana on ollut ainoastaan ajoneuvon massa. Renkaat ja rengaspaineet sekä ajonopeus pidettiin samana. Renkaina olivat 195/65R15 nastarenkaat, rengaspaineena 230 kPa ja ajonopeutena 80 km/h (Unhola 2004).

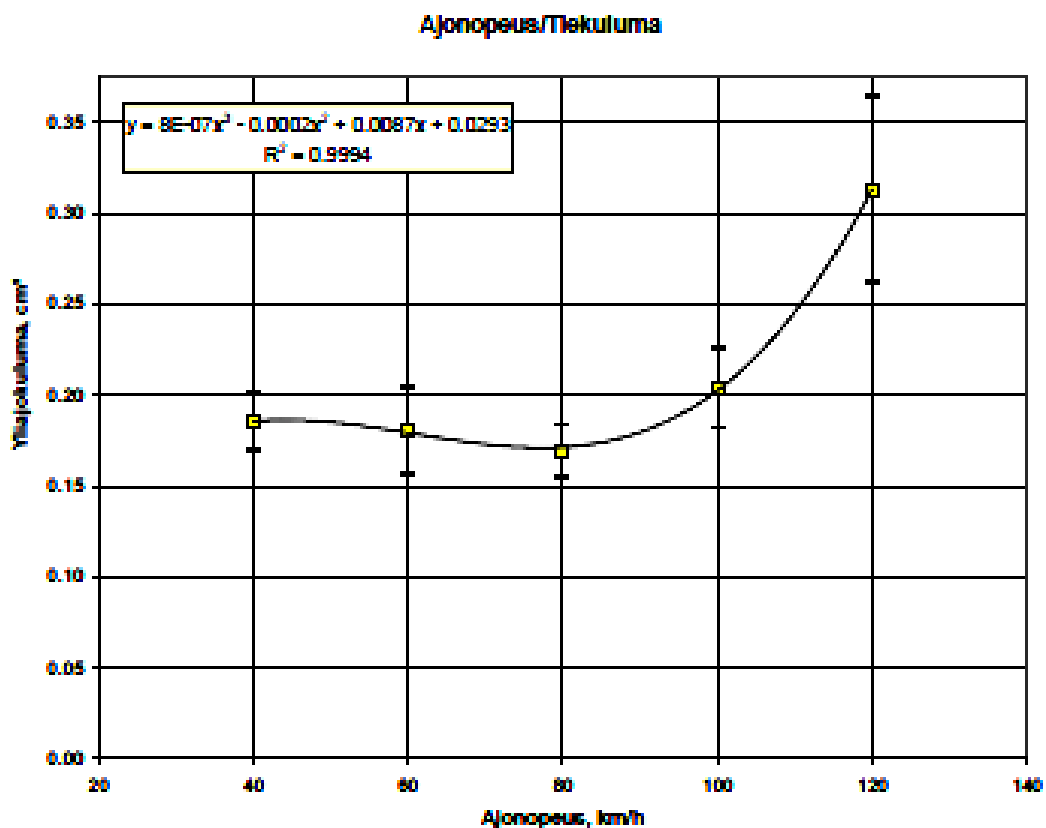


Kuva 5. Henkilöauton painon vaikutus tiekulumaan (Unhola 2004).

- pystyrivillä yliajokuluma (cm<sup>3</sup>)
- vaakarivillä ajoneuvon paino (kg)

#### 4.2.4 Ajonopeus

Liikenteen nopeus vaikuttaa asfalttipäällysteiden kulumiseen erityisesti nastojen iskuenergiana suuremmilla ajonopeuksilla. Ajonopeuden noustessa normaalista talvinopeudesta (80 km/h) moottoritie nopeuksiin (120 km/h), nousee nastojen iskuista aiheutuva kulutusvaikutus lähes kaksin kertaiseksi. Alemmilla ajonopeuksilla iskun merkitys on vähäisempi, mutta kulutusvaikutuksessa esille nousee silloin raapaisu. Seurattaessa ainoastaan ajonopeuden muutoksen vaikutusta päällysteen kulumiseen, voidaan havaita kulutusvaikutuksen olevan pienimmillään noin 80 km/h ajonopeudella. Ajoneuvoliikenteen keskinopeuden muutos kahden vuosikymmenen aikana on ollut vähäinen, joten voidaan tätä tutkimustulosta nykypäivän liikenteeseenkin pitää riittävän tarkkana. Liikenteen nopeuden vaikutus korostuu kulumisessa kasvaneina liikennesuoritteina. Kuvassa 6. on esitetty ajonopeuden vaikutus päällysteen kulumiseen, muiden muuttujien pysyessä samoina (Unhola 2004).



Kuva 6. Ajonopeuden vaikutus tiekulumaan (Unhola 2004).

- pystyrivillä yliajokuluma (cm<sup>3</sup>)
- vaakarivillä ajonopeus (km/h)

## 5 ILMASTO—OLOSUHTEET JA PÄÄLLYSTEEN PEITTEISYYS

Lämpötilojen ja sademäärien yhteisvaikutus päällysteiden kulumiseen on merkittävä. Suuria muutoksia lämpötiloissa ei ole havaittavissa vuosien 2000—2008 välisenä aikana. Heilahduksia suuntaan ja toiseen on, mutta talvien niin sanottua leutoontumista ei ole havaittavissa Ilmatieteenlaitoksen lämpötilatilastojen mukaan.

Myös sademäärät vaihtelevat vuosittain jonkin verran, mikä vaikuttaa päällysteiden kulumiseen. Yhtenä talvena voi Etelä-Suomessa olla päällysteen pinta kuukausia paljas ja märkä, kun taas seuraavana talvena yhtä pitkän jakson paljas ja kuiva. Paljas ja märkä päällysteen pinta on kulumisen kannalta huonoin, koska märkä päällyste kuluu noin kaksin kertaisesti kuivaan verrattuna. Vesi ja tiesuolat irrottavat bitumia kiviaineksen pinnalta, mikä heikentää päällystettä.

Suomessa vallitsevien lämpötilaerojen seurauksena Pohjois- ja Etelä-Suomen talviolosuhteet poikkeavat toisistaan. Pohjois-Suomen peitteiset ja suolaamatomat tiet antavat päällysteille paremmat lähtökohdat pitkäaikaiskestävyyden suhteen kuin Etelä-Suomen suolatut ja vilkkaasti liikennöidyt tiet.

Vuosien 2000—2008 talvilämpötilat on esitetty liitteessä 2 ja talvisademäärät liitteessä 3.

## 5.1 Peitteisyys

Tapaan, jolla nastarengas pääsee kuluttamaan päällysteen pintaa vaikuttaa päällysteen lumi- ja jääpeitteisyys. Pinnan pitää luonnollisesti olla paljas, jotta nastaisku ja nastahierto kuluttaisivat päällystettä.

Päällysteen kulumisen kannalta olosuhteet voidaan jakaa kolmeen luokkaan: kuiva, märkä ja peitteinen. Päällysteen pinnan ollessa peitteinen kulumista ei tapahdu, joten kuiva ja märkä päällysteen pinta tarjoavat ainoastaan mahdollisuuden päällysteen kulumiseen. Pinnan peitteisyyteen vaikuttavat eri puolilla maata erilaiset ilmastolliset olosuhteet ja liikennemäärät (Pohjois-Suomessa huomattavasti Etelä-Suomea pienemmät), jotka vaikuttavat tien kunnossapitotasoon.

Eri puolilla maata lämpötilat vaihtelevat huomattavasti, mikä aiheuttaa suuria eroja päällysteiden kulumiseen, kunnossapitotoimenpiteisiin ja kunnossapitotarpeisiin. Talviaikana Pohjois-Suomessa ajetaan peitteisellä tai kuivalla päällysteen pinnalla, kun taas Etelä-Suomessa päällysteen pinta on usein märkä tiesuolauksen vuoksi. Etelä-Suomessa tiesuolauksen mahdollistavat alhaiset talvi-kuukausien lämpötilat ( Liite 2. ) (Lampinen 1993, Ilmatieteenlaitos tilastot 2000-2009).



Kuva 7. Peitteinen maantie Pohjois-Suomessa (Tiehallinto)



## 5.2 Lämpötila ja märkyys

Päällysteen lämpötila vaikuttaa kulumisnopeuteen, mutta vain paljaalla sekä märällä päällysteen pinnalla, jolloin nastarenkaan kulutus pääsee vaikuttamaan siihen. Kylmimmillään märän päällysteen pinnan lämpötila voi olla silloin, kun se on suolattu eli noin -5 °C:n lämpötilaan asti.

Päällysteen lämpötilan vaikutus kulumiseen korostuu erityisesti siksi, että päällysteen ainesosien ominaisuudet muuttuvat. Merkittävin on asfalttimastiksin bitumi, jonka ominaisuudet muuttuvat voimakkaasti lämpötilamuutosten mukana. Alhaisissa lämpötiloissa bitumi muuttuu hauraaksi ja korkeissa lämpötiloissa pehmeäksi, jolloin se nousee päällysteen pintaan ja näkyy pinnan kiiltävyyteenä.

Päällysteen märkyys lisää päällysteen kulumista nastarengasliikenteessä. Päällysteen ollessa pitkään veden vaikutuksen alaisena on nastarenkaan kulumisvaikutus suurempi, koska päällysteen rakenne heikkenee. Veden kulutusvaikutus korostuu, mitä enemmän päällysteessä on tyhjää tilaa (huokosia). Tällöin vesi pääsee vaikuttamaan päällysteen eri osiin kulkeutumalla huokosia pitkin. Kivirakeiden ympärille kulkeutuneena vesi kostuttaa ja irrottaa vähitellen bitumikalvoa rakeiden ympäriltä. Suolattu päällysteen pinta on kulumisen kannalta vastaava kuin märkä päällysteen pinta. Kiven pH-arvolla on myös vaikutusta bitumin ja kiviaineksen väliseen tartuntaan.

Veden vaikutus asfalttipäällysteen kulumiskestävyyteen voidaan jakaa seuraaviin osiin:

1. Tartunta sideaineen ja kiviaineksen välillä heikkenee
2. Kiviaineksen lujuus märkänä on pienempi kuin kuivana
3. Mastiksiosa asfaltissa absorboi vettä, jolloin sen lujuus heikkenee

(Lampinen 1993; Alatyppö, Jauhiainen & Valtonen 2005).

## 6 POHDINTA

Tutkimustulosten perusteella on vaikea eritellä yhtä merkittävää tekijää asfalttipäällysteiden pitkäaikaiskestävyyden parantajaksi. Suurimmat uhat päällysteiden kestävyydelle löytyvät kasvavista liikennemääristä ja liikennesuoritteista. Yksistään liikenteen kasvu ei kuitenkaan kulumisvaikutusta lisää rajattomasti, vaan olosuhteiden ja liikenteen yhteisvaikutus.

Etelä-Suomessa suurena rasitteena on lauha ilmasto, jonka seurauksena ties-töämme suolataan talvisin. Tällöin liikenne kulkee pääsääntöisesti paljaalla asfalttipinnalla, jolloin nastarenkaiden kulutusvaikutus kasvaa. Renkaiden kulutusvaikutusta on alentanut kitkarenkaiden myynti ja nastarenkaiden kehitys. Rengasteknologia ei kuitenkaan ole pystynyt vastaamaan riittävästi kulutusvaikutuksen vähentämiseksi, koska liikennemäärien kasvu on palauttanut renkaiden kehityksestä saadun kulutushyödyn samaan tilanteeseen kuin ennen rengaskehityksen huippua. Ajoneuvojen kasvaneet massat ovat edesauttaneet kulutuksen lisääntymistä ja luistonestoteknologian tuleminen nykyautoihin taas vähentänyt sitä.

Asfalttipäällysteiden kestävyysparantamiseksi ei ole selkeää reseptiä, mutta kiviaineksen ja bitumin ominaisuuksiin kannattaa kiinnittää erityistä huomiota etenkin suolattavilla tieosuuksilla. Kehitystarvetta on juuri asfaltin säänkestävyydessä, mihin vaikuttavat raaka-aineiden ominaisuudet, sideaine ja tyhjätila. Säänkestävyysoongelmat näkyvät teiden reikiintymisenä ja halkeiluna. Jäätymis-sulamissykliin määrä kasvaa leutoina talvina kylmiin talviin verrattuna. Yhtenä säänkestävyyden parannusvaihtoehtona on käyttää pehmeämpää bitumia, mutta silloin täytyy ottaa huomioon deformaatiokestävyys.

Työvirhe (massan valmistuksessa/levityksessä) heijastuu lopputulokseen aina laadun heikkenemisenä. Yksi yleisimmistä työvirheistä on massan päästäminen liian kylmäksi ennen tiivistystä. Se aiheuttaa päällysteeseen suuren tyhjätilan, minkä seurauksena siihen pääse kulkeutumaan vettä ja tiesuoloja. Tähän auttaa myös oikeanlainen tiivistys- ja levityskaluston valinta.

## **KUVAT**

Kuva 1. AB20 B70/100 päällysteen väsymissuora (Alkio ym. 2001), s.12

Kuva 2. Päällysteen jyräyskaavio ja pitkittäissauman jyräys (ASKO 2006), s.20

Kuva 3. Renkaan profiilisuhteen vaikutus tiekulumaan (Unhola 2004), s.31

Kuva 4. Rengaspaineen vaikutus tiekulumaan (Unhola 2004), s.32

Kuva 5. Henkilöauton painon vaikutus tiekulumaan (Unhola 2004), s.33

Kuva 6. Ajonopeuden vaikutus tiekulumaan (Unhola 2004), s.34

Kuva 7. Peitteinen maantie Pohjois-Suomessa (Tiehallinto), s.36

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Asfalttipäällysteiden suhteitustekijöiden vaikutus päällysteen tärkeimpiin ominaisuuksiin. (Lampinen 1993), s.8

Taulukko 2. Rakennetekijöiden vaikutus päällysteen alapinnan vaakasuoraan vetomuodonmuutokseen. (Belt ym. 2006), s.13

Taulukko 3. Paksun asfalttipäällysteen väsymiskestävyyteen vaikuttavia tekijöitä. (Belt ym. 2006), s.13

Taulukko 4. Asfalttipäällysteiden deformoitumiseen vaikuttavat ulkoiset tekijät. (Belt ym. 2006), s.15

Taulukko 5. Käytännön tiivistystehot (ASKO 2006), s.22

Taulukko 6. Olosuhteiden vaikutus massan jäähtymiseen (ASKO 2006), s.23

Taulukko 7. Suomen autokanta ajoneuvoluokittain (Tiehallinto tilastot 1995 – 2009), s.26

Taulukko 8. Suomen autokannan kasvu prosentteina (Tiehallinto tilastot 1995 - 2009), s.27

Taulukko 9. Liikennesuorite (milj.autokm) ajoneuvoluokittain 1995-2008 (Tiehallinto tilastot 1995 - 2009), s.28

Taulukko 10. Liikennesuoritteiden muutos prosentteina edellisvuoteen verrattuna 1995-2008 (Tiehallinto tilastot 1995 - 2009), s.29

Taulukko 11. Maanteiden liikennesuorite tiepiireittäin 2008, milj.autokm (Tiehallinto tilastot 1995 - 2009), s.30

Taulukko 12. Nastakulumisen tekijöiden vertailu 1990-2003. (Unhola ym. 2008), s.34

## LÄHTEET

Alatyypö, V., Jauhiainen, P. & Valtonen, J. 2005. Jäänsulatusaineita kestävänpäällysteiden kehittäminen. Teknillisen korkeakoulun tielaboratorion julkaisuja. TKK-TIE-A58. Espoo: Otamedia Oy.

Alkio, R., Juvankoski, M., Korkiala-Tanttu, L., Laaksonen, R., Laukkanen, K., Petäjä, S., Pihlajamäki, J. & Spoof, H. 2001. Tien rakennekerrosten materiaalit. Tiehallinnon selvityksiä 66/2001. Helsinki: Tiehallinto.

ASKO, asfalttialan koulutusohjelma. 2006.

Belt, J., Kolisoja, P., Alatyypö, V. & Valtonen, J. 2006. Tierakenteen rappeutuminen ja kunnan ennustaminen. Oulun yliopiston rakentamisteknologian tutkimusryhmän julkaisuja 2. Oulu: Oulun yliopisto.

Ilmatieteenlaitos tilastot 2000-2008. <http://www.ilmatieteenlaitos.fi> ( Luettu 2.4.2010 )

Kurki, T. 2002. Teiden ja katujen ylläpidon hankinta. Nykytila ja tulevaisuus. Tiehallinnon selvityksiä 29/2002. Helsinki: Tiehallinto.

Lampinen, A. 1993. Kestopäällysteiden urautuminen. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) julkaisuja. Espoo: VTT.

Laukkanen, K., Halonen, P. & Pyy, E. 2010. Asfalttipäällysteiden jäätymis-sulamiskestävyys. Väliraportti. VTT-R-07945-10. Espoo: VTT:

Pank Ry 2008. Asfalttinormit 2008. Helsinki: Pank Ry.

Tervahattu, H. & Nordic Envicon Oy. 2006. Vierintämelun vähentäminen. VIEME-tutkimus- ja kehittämisprojektin esiselvitys. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 12/2006. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö.

Tiehallinto 2004. Päällysteet TIEH2200004-02. Tiehallinnon julkaisu. Helsinki: Tiehallinto.

Tiehallinto 2009. Tiefakta 2009. Tiehallinnon julkaisu. Helsinki: Tiehallinto.

Tiehallinto tilastot 1995-2009. <http://tiehallinto.fi> ( Luettu 9.3.2010 )

Unhola, T. 2004. Nastarenkaiden kuluttavuus. Ajoneuvotekijöiden vaikutus. Yli-ajokoe 2004. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 72/2004. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö.

Unhola, T. & VTT/Roadlux Oy. 2008. Nastojen ja nastarenkaiden hyväksymisvaatimusten muutostarpeet. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 51/2008. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö.

Unhola, T, Solla, A. & Vesala, H. 2004. Nastareenkaan kuluttavuus yliajokokeessa ja imurimenetelmällä. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 12/2004. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö.

## Nastakulumisen tekijöiden vertailu 1990 -&gt; 2003

Tekijä	Yksikkö	1990	2003	muutos	muutos-%
Autojen omamassa, ka <sup>1)</sup>	kg	1078	1276	198	<b>18 %</b>
Rengaspainesuositus, ka <sup>2)</sup>	kPa	193	215	23	<b>12 %</b>
Renkaan leveys, ka <sup>1)</sup>	mm	168	193	25	15 %
Profiilisuhde, ka <sup>1)</sup>		74.3	62.2	-12.2	-16 %
Vannekoko, ka <sup>1)</sup>	"	13.4	15.0	1.6	12 %
Nastamäärä/rengas, ka	kpl	96.7	113.3	16.7	17 %
Vierintäkehä, ka <sup>3)</sup>	mm	1803	1889	86	5 %
Nastoja/rengas-m, ka	kpl	54	60	6.4	<b>12 %</b>
Liikennesuorite, Vt+Kt <sup>4)</sup>	milj.ajon.km	15818	20509	4691	30 %
Nastojen käyttö <sup>5)</sup>	%	97	88	-9	-9 %
Nastallinen suorite, Vt+Kt <sup>6)</sup>	milj.ajon.km	5109	6010	901	<b>18 %</b>
Nastaiskuja Vt+Kt:lle	mrd.kpl	1095	1443	348	<b>32 %</b>

1) 30 myydyintä mallia, Lähteet: Autoalan tiedotuskeskus, AKE (Ajoneuvohallintokeskus), TM (Tekniikan Maailma)

2) 30 myydyintä mallia, Lähteet: TM (Tekniikan Maailma), STRO (Scandinavian Tyre and Rim Organization), Normal Load, Front Tyre

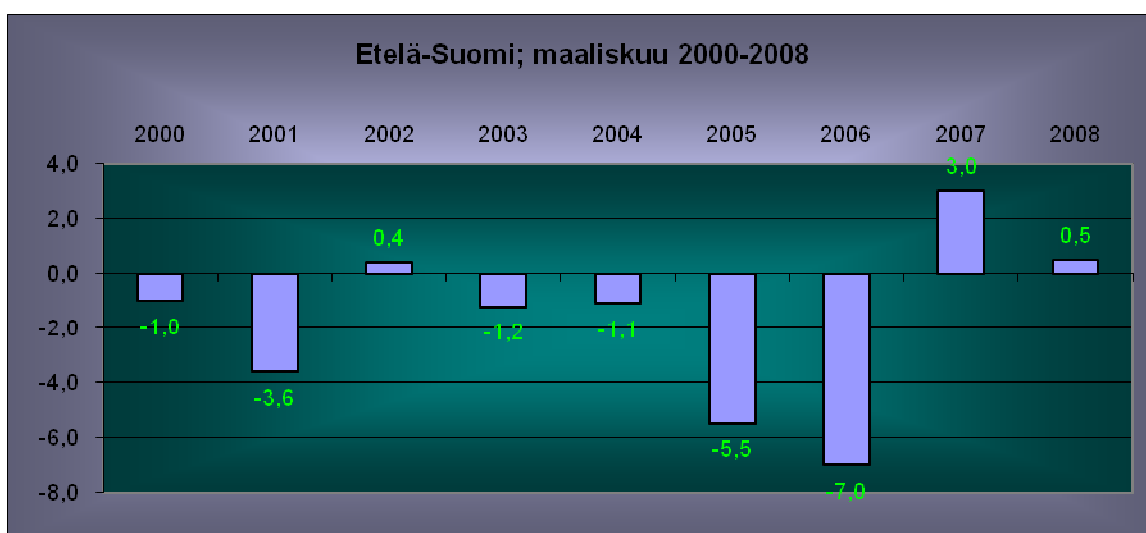
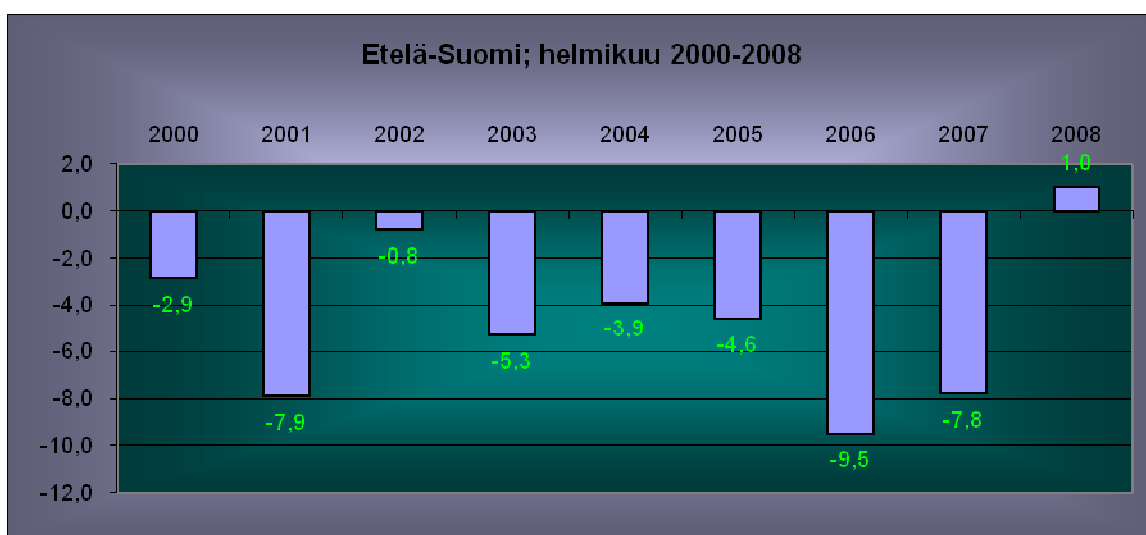
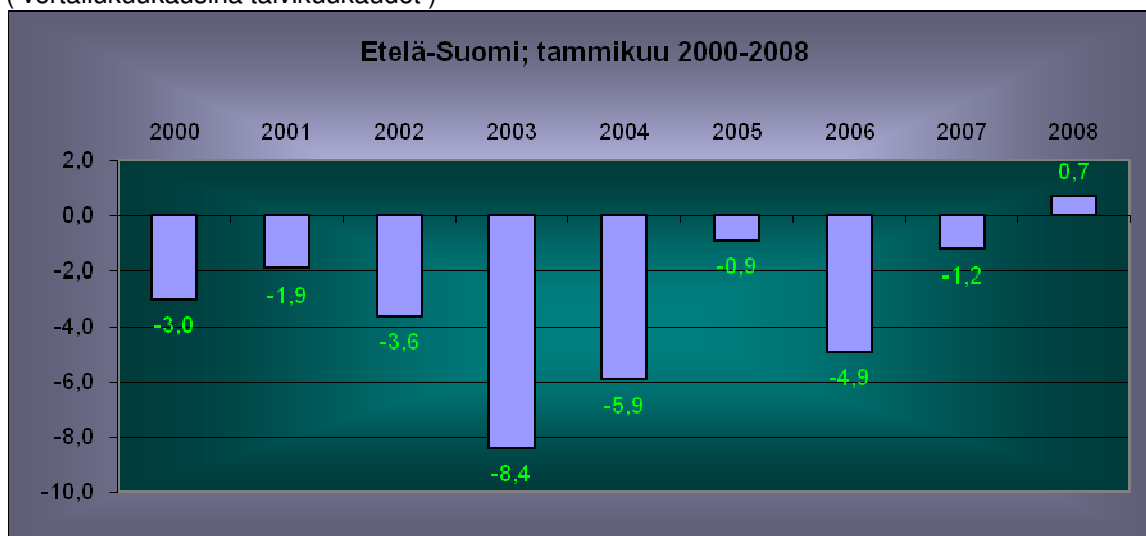
3) Lähde: STRO

4) Lähde: Tiehallinto, (valta- ja kantatiet, 2003 suorite ekstrapoloitu vv. 1994-2002 datasta)

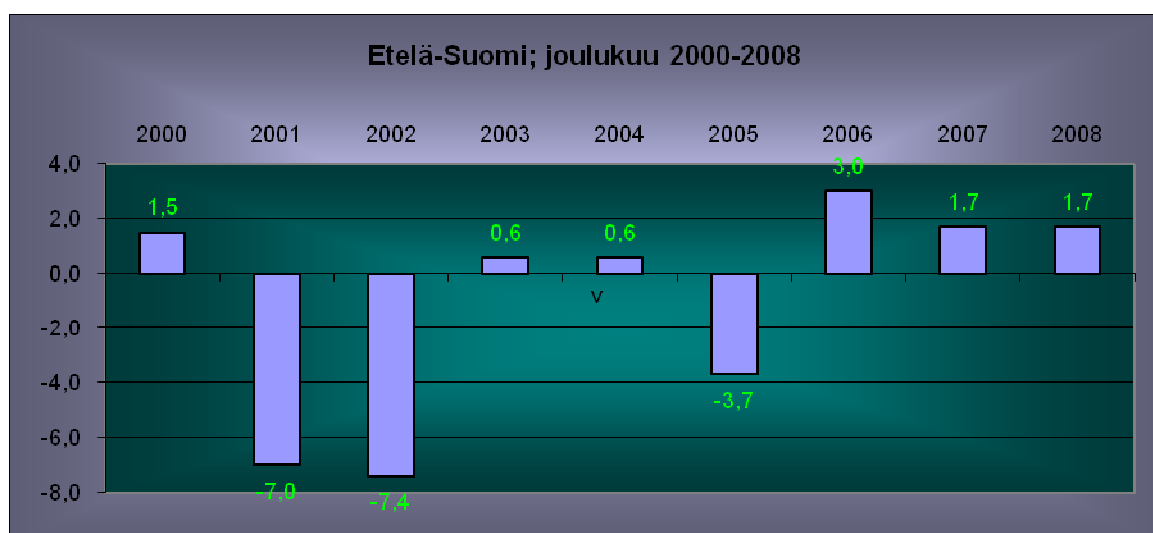
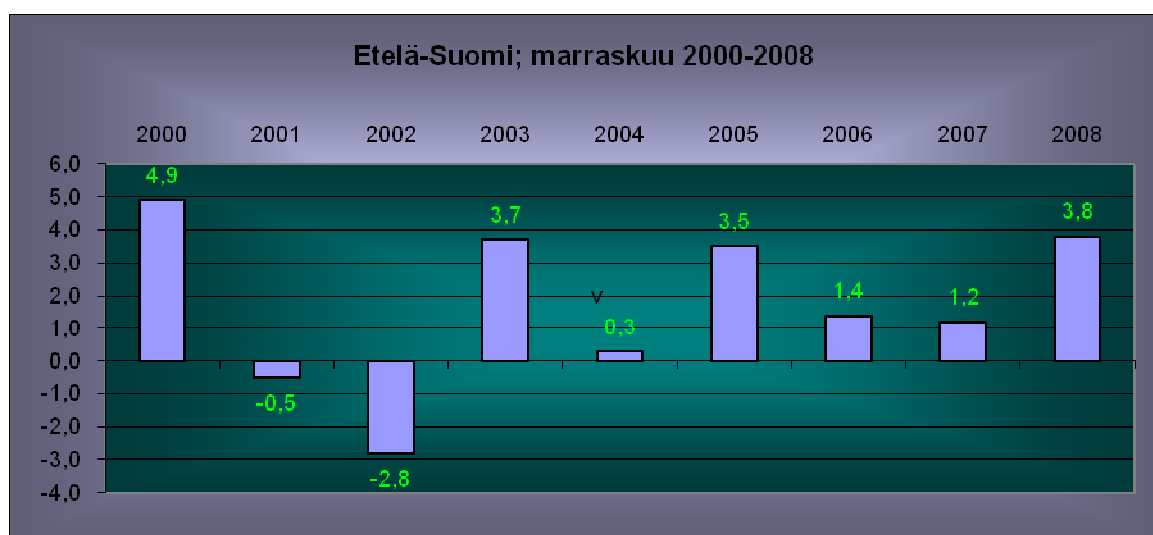
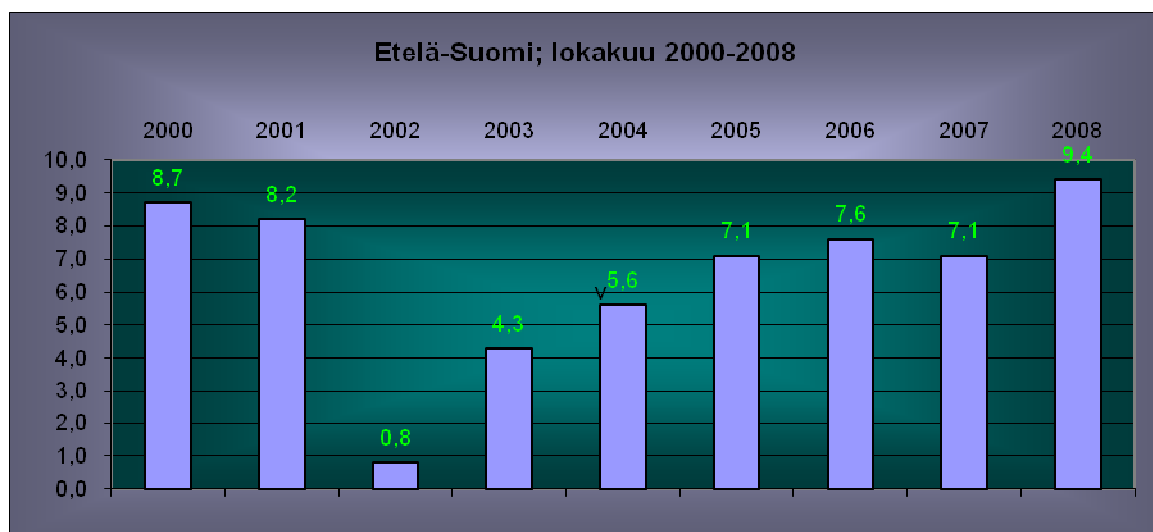
5) eri lähteitä, mm. VTT/RTE Malmivuo & Mäkinen, Talvirengasutkimus 2000 – 2001, Tiehallinnon selvityksiä 34/2001

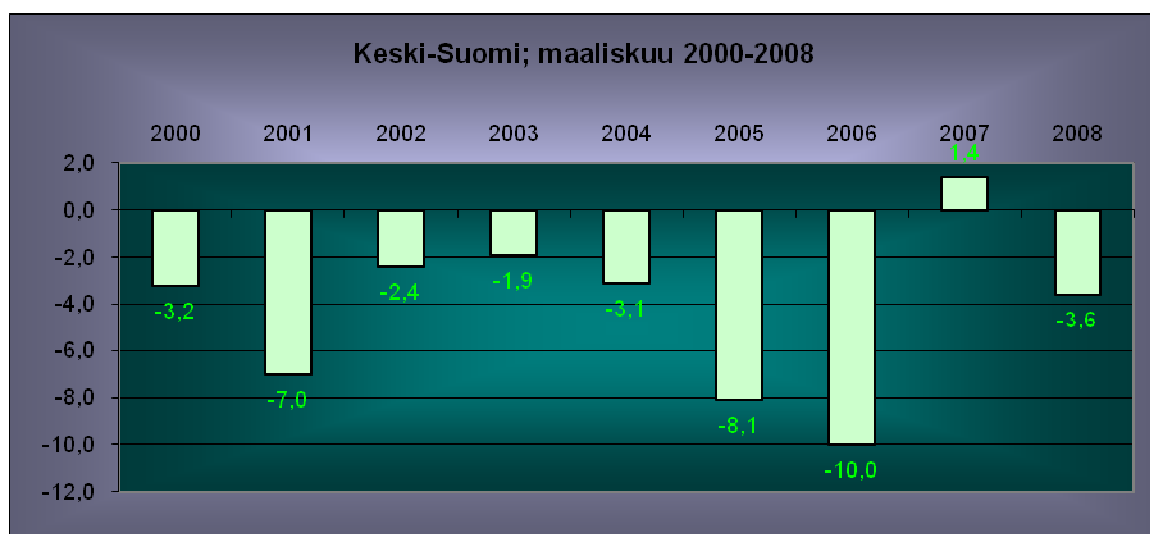
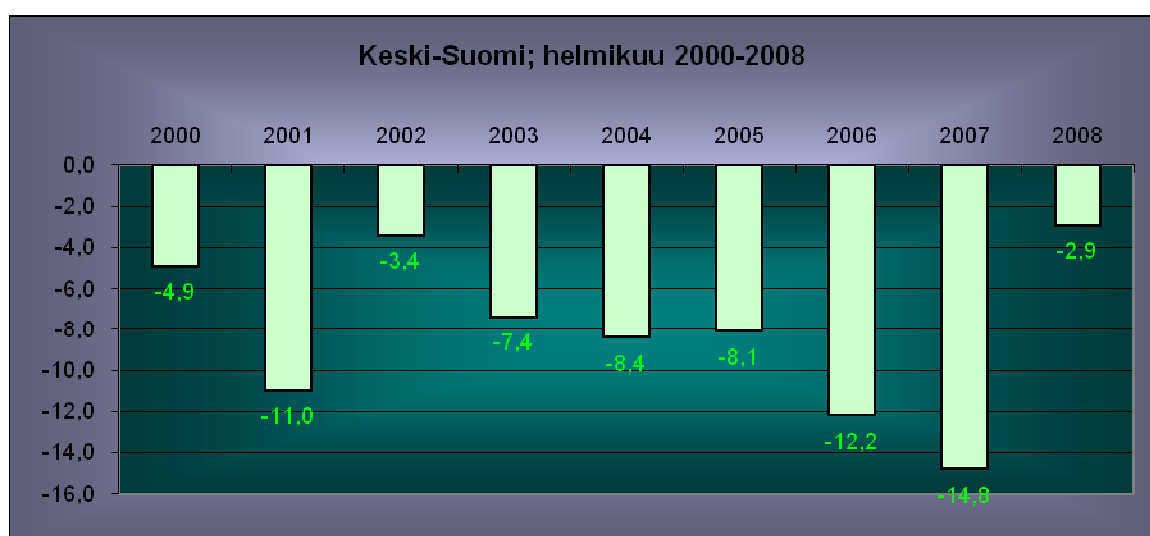
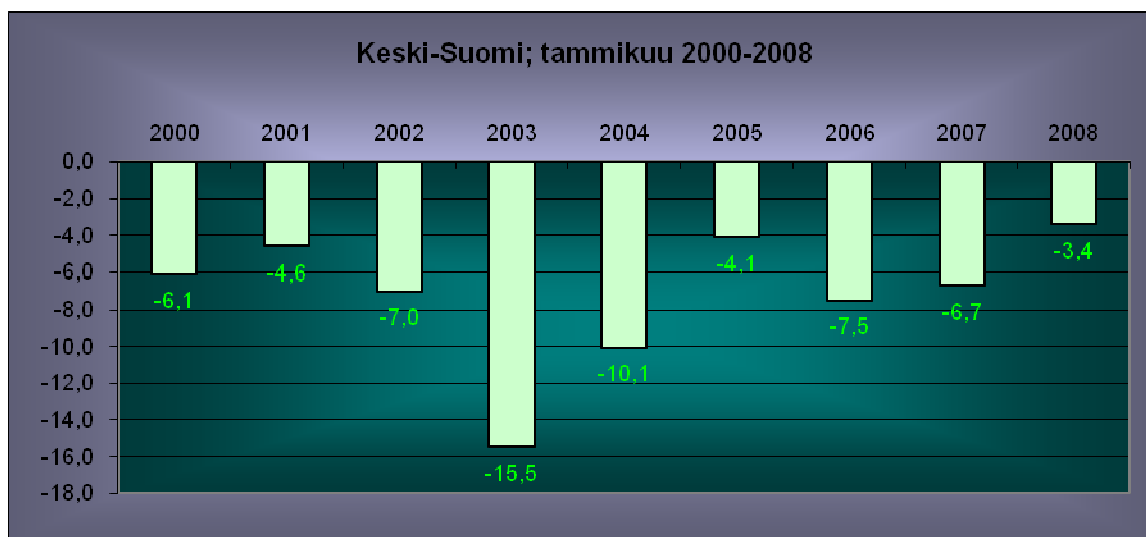
6) oletus: nastoilla ajetaan 1/3 suoritteesta

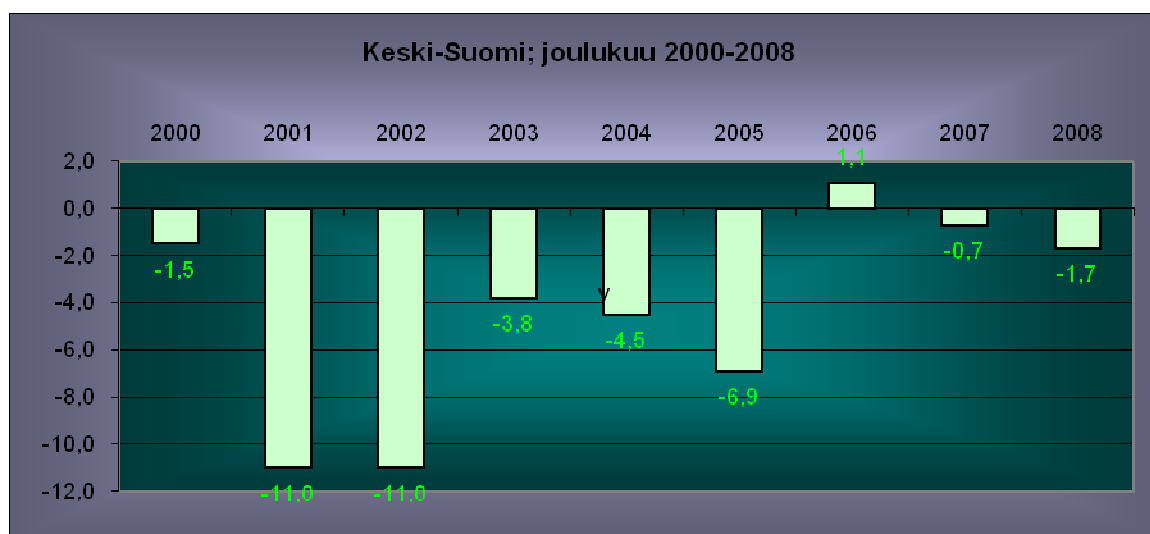
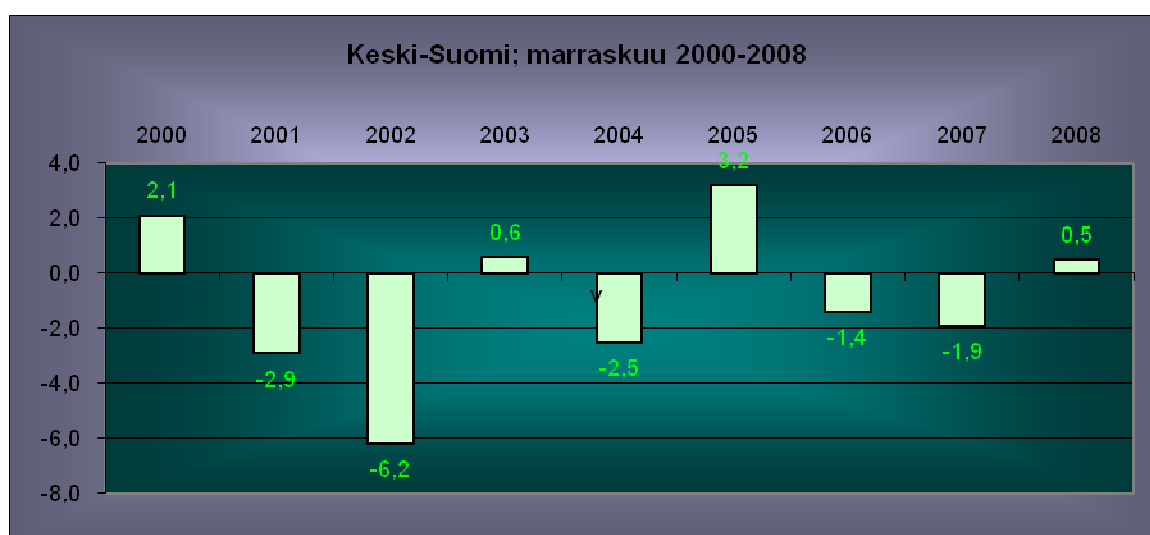
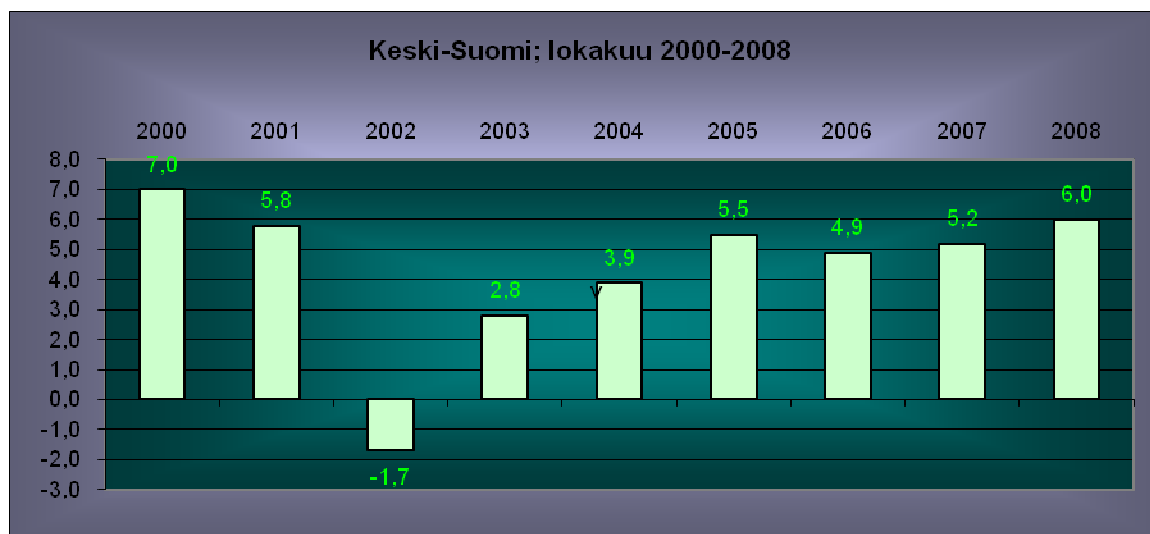
**Kuukauden keskilämpötilat vuosi- ja aluejaottelun mukaisesti**  
(vertailukuukausina talvikuukaudet)

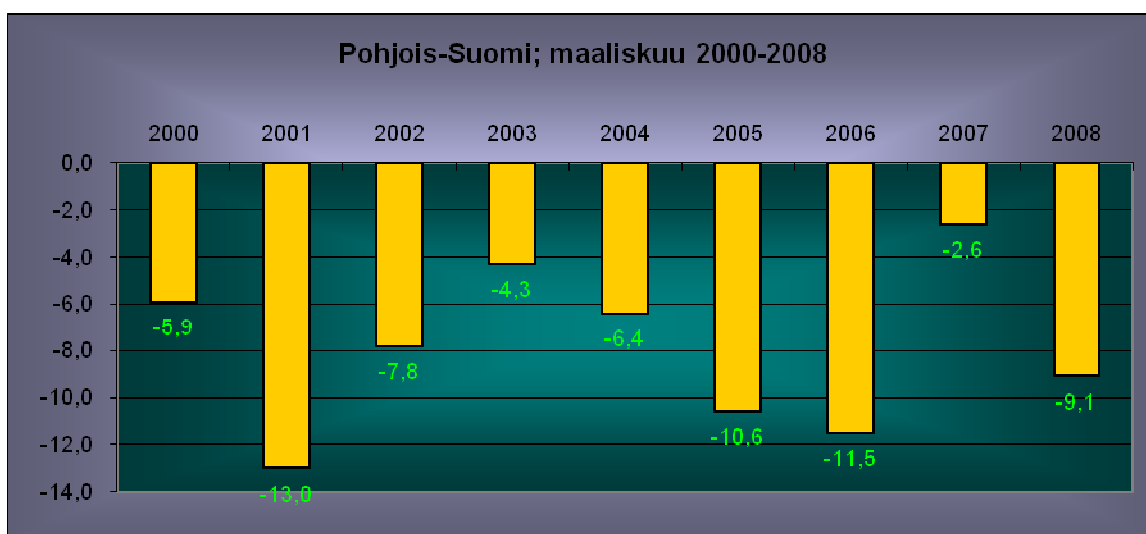
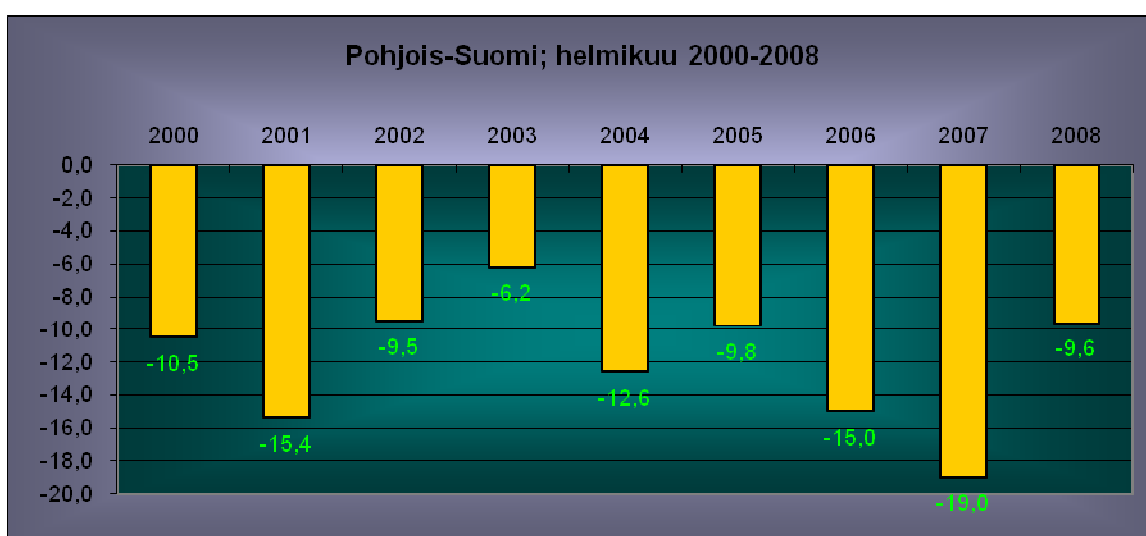
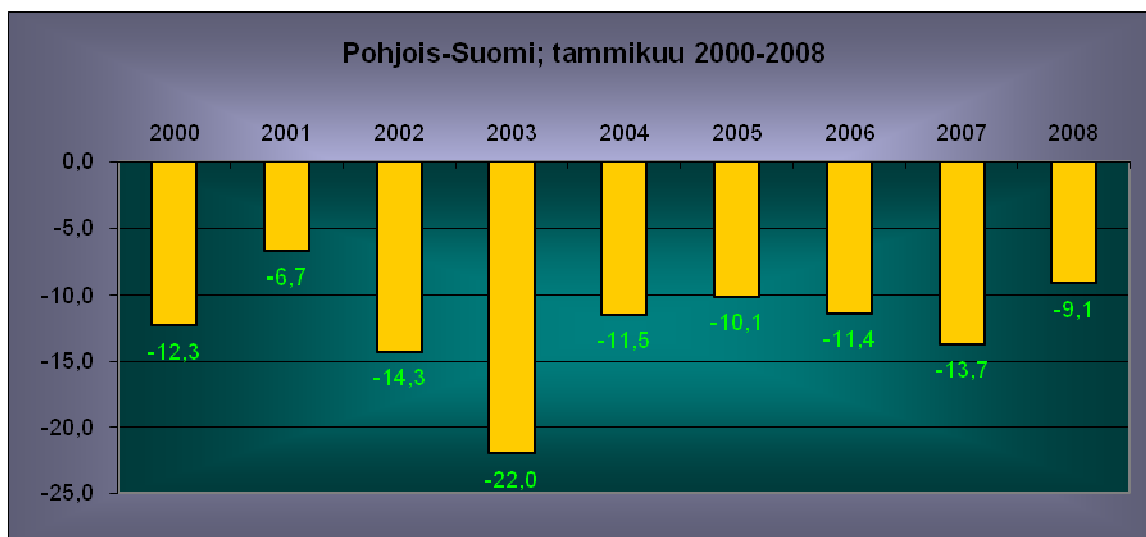


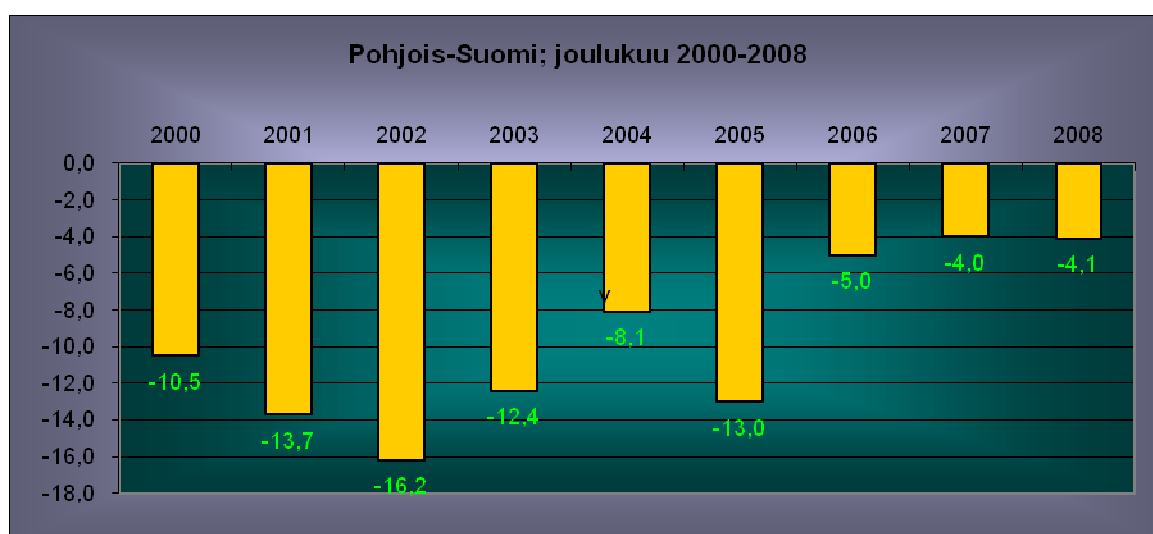
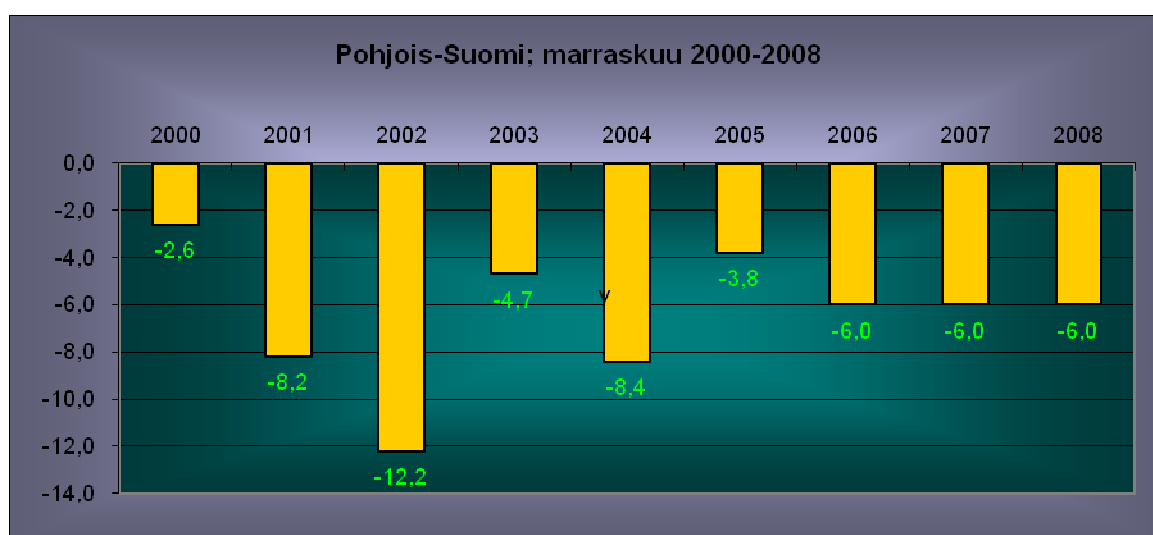
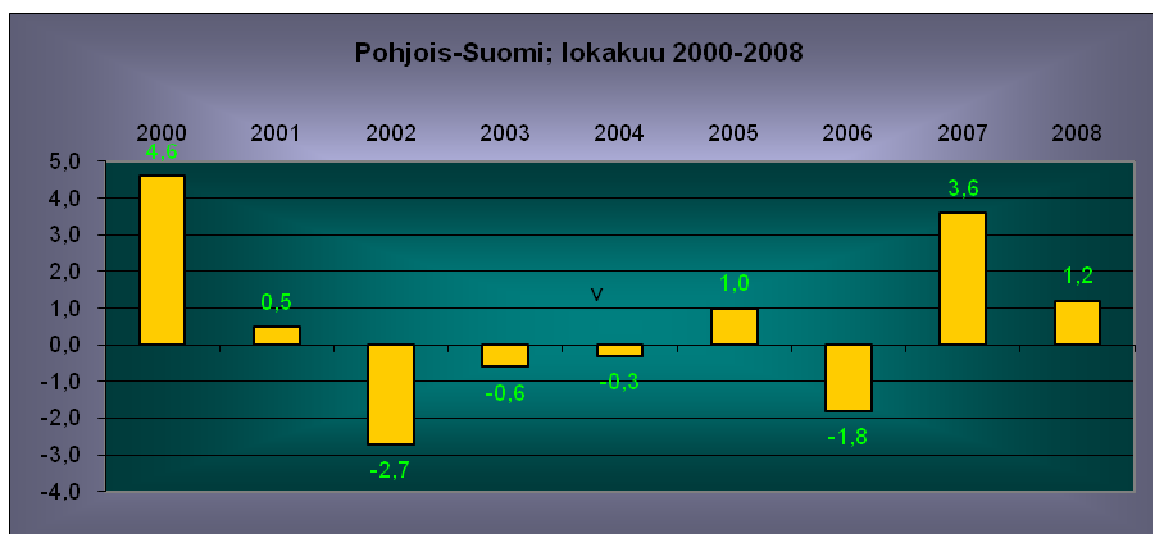












## Kuukauden keskisadannat vuosi- ja aluejaottelun mukaisesti

