Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu
Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos

Antti Kuosmanen

Toimenpiderajojen tarkastelu vilkasliikenteisten teiden uudelleenpäällystyksessä

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 1.6.2011.

Valvoja: Professori Terhi Pellinen

Ohjaajat: Professori Terhi Pellinen ja filosofian maisteri Vesa Männistö

Aalto-yliopisto

AALTO-YLIOPISTO INSINÖÖRITIETEIDEN KORKEAKOULU PL 12100, 00076 Aalto http://www.aalto.fi	DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Antti Kuosmanen

Työn nimi: Toimenpiderajojen tarkastelu vilkasliikenteisten teiden uudelleenpäällystyksessä

Tutkinto-ohjelma: Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka

Pääaine: Liikenne- ja tietekniikka	Pääaineen koodi: R3004

Työn valvoja: Professori Terhi Pellinen
Työn ohjaajat: Professori Terhi Pellinen ja filosofian maisteri Vesa Männistö

Vauriot teiden päällysteisiin syntyvät ilmasto- ja liikennekuormituksesta sekä päällysteen vanhenemisesta. Vaurioitunut päällyste on paikattava tai tie on uudelleenpäällystettävä samalla kun sen rakennetta voidaan joutua parantamaan. Päällysteiden kuntoa arvioidaan erilaisilla kuntomittauksilla ja niiden perusteella ennustetaan tiestön kunnon kehittymistä. Kuntomittausten ja -ennusteiden perusteella toimenpidetarpeessa oleville kohteille laaditaan päällystysohjelma. Järjestelmää, jossa päällysteiden ylläpitoa hallitaan teknisesti ja taloudellisesti, kutsutaan Pavement Management Systemiksi (PMS).

Vilkasliikenteisillä teillä uudelleenpäällystystarve aiheutuu useimmiten tien urautumisesta. Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää urasyvyyden toimenpiderajojen muutosten taloudellisia vaikutuksia vilkasliikenteisten teiden uudelleenpäällystyksessä. Päällystysohjelmien sisältöön vaikuttavia tekijöitä selvitettiin kirjallisuustutkimuksella ja asiantuntijahaastatteluilla. Toimenpiderajojen vaikutusta päällystysohjelmien sisältöön arvioitiin teoreettisilla päällystysohjelmilla, jotka laadittiin kahdella eri tietokoneohjelmalla: Suomessa päällystysohjelmoinnissa yleisesti käytettävällä PMSpro:lla sekä tähän työhön kehitetyllä taulukkolaskentasovelluksella.

Uudenmaan ja Kaakkois-Suomen vilkasliikenteiselle tieverkolle laadittiin teoreettiset päällystysohjelmat vuosiksi 2010-2012 kolmella eri urasyvyyden toimenpiderajoilla. Vilkasliikenteiseksi tieksi määriteltiin tie, jonka KVL on yli 2000 ajon./vrk. Uudenmaan tutkimusaineiston pituudeksi tuli 4374,0 km ja Kaakkois-Suomen 829,0 km. Urasyvyyden toimenpiderajan noston oletettiin laskevan päällystysohjelmien kokonaiskustannuksia ja keskimääräisiä kohdepituuksia, nostavan peittoprosenttia ja lisäävän huonokuntoisten teiden määrää tieverkolla.

Sallimalla 2 mm syvemmät urat Uudenmaan tieverkolla päällystysohjelman kokonaiskustannukset laskivat 42 – 54 %. Keskimääräinen kohdepituus laski alle 10 % verrattuna nykyisillä toimenpiderajoilla tehtyihin päällystysohjelmiin. Huonokuntoisten tieosuuksien määrä kasvoi 49 – 59 % perusasetuksiin verrattuna. Kaakkois-Suomessa vastaavat muutokset laskivat kokonaiskustannuksia 49 – 54 % ja keskimääräistä kohdepituutta 20 – 27 %. Huonokuntoisten tieosuuksien määrä kasvoi noin 55 % nykyisiin toimenpiderajoihin verrattuna.

Tulosten perusteella urasyvyyden toimenpiderajojen nostaminen laskee teoreettisten päällystysohjelmien kokonaiskustannuksia sekä keskimääräisiä kohdepituuksia. Uudellamaalla, jossa huonokuntoisia tieosuuksia on paljon ja urautuminen nopeampaa, tulokset olivat oletusten mukaisia. Kaakkois-Suomessa huonokuntoiset tieosuudet sijaitsevat hajallaan, mikä vaikeuttaa vähimmäiskohdepituuden ylittävien kohteiden muodostumista. Tästä syystä toimenpiderajojen muutosten vaikutukset eivät olleet kaikilta osin oletusten mukaisia. Urasyvyyden toimenpiderajoja nostettaessa on huomioitava, että todellisuudessa urasyvyyden kasvu nopeuttaa muiden vaurioiden syntyä. Tätä ei ole huomioitu työssä laadituissa teoreettisissa päällystysohjelmissa.

Päivämäärä: 1.6.2011	Kieli: suomi	Sivumäärä: 83+16

Avainsanat: Toimenpideraja, uudelleenpäällystys, urasyvyys, PMS, PMSpro, päällysteiden ylläpito

Aalto University

AALTO UNIVERSITY
SCHOOL OF ENGINEERING
PO Box 12100, FI-00076 AALTO
http://www.aalto.fi

ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS

Author: Antti Kuosmanen

Title: Evaluation of rutting threshold limits on resurfacing of high-volume roads

Degree Programme: Civil and Environmental Engineering

Major: Transportation and highway engineering | Code: R3004

Supervisor: Professor Terhi Pellinen
Instructors: Professor Terhi Pellinen and Master of Science Vesa Männistö

Pavement deterioration has two general causes: environmental and structural causes. When pavement conditions are severely deteriorated, resurfacing or rehabilitation measures are needed. Evaluation of pavement conditions requires various measurements of pavement distresses in order to predict changes in pavement condition. Condition results and modeling predictions determine a scenario for applying treatment strategy for the maintenance actions. These activities along with planning, design and construction are part of the Pavement Management System (PMS).

The objective of this thesis is to evaluate the effects of rutting threshold limits to yearly work programs for resurfacing. The need for resurfacing on high-volume roads is mainly caused by rutting. The factors affecting the yearly resurfacing work programs were evaluated using a comprehensive literature research and expert interviews. The effects of threshold limits on the content and scale of resurfacing programs were evaluated by compiling theoretical work programs. These resurfacing programs were compiled with two applications: The regional-level Pavement Management System (PMSpro) and with a spreadsheet application developed specifically for this thesis.

Theoretical resurfacing programs for 2010-2012 were laid out for the high-volume road network. Two Finnish regions, Uusimaa and South-East Finland, were evaluated by using road and condition data and three different threshold limits were used for rut depth. The total road length of the Uusimaa high-volume traffic (AADT > 2000) was 4374,0 km and for South-East Finland 829,0 km, respectively. The total costs were expected to decrease with the increase of rutting threshold limits. In addition, the average length of an individual road section requiring resurfacing was expected to decrease. Moreover, the coverage percentage (the length of poor quality sections divided by the total length of section being resurfaced) and the amount of poor quality roads in the road network were expected to increase.

Significant cost savings were achieved by allowing increased rut depths in the road network. By increasing the rutting threshold limit by 2 mm the total costs of the Uusimaa region work program decreased by 42–54 %. The average length of an individual road section in need of resurfacing decreased below 10 % compared with the current limits. However, the amount of poor quality sections increased by 49-59% compared to sections evaluated from default settings. In South-East Finland the changes were 49-54%, 20-27% and 55%, respectively.

The results indicate that by increasing the rut depth threshold limits, decreases the total costs of theoretical maintenance programs. Additionally, the average length of individual road sections was decreased. In Uusimaa region, where poor quality road sections were abundant and rutting faster, produced expectable results. In South-East Finland, poor quality road sections are scattered, which makes cost-effective work programming difficult. Hence, changes in threshold limits didn't produced fully expectable results. It must be considered, that when increasing the rut depth threshold limits, the formation of other surface distresses may accelerate. This hasn't been taken into account in the theoretical work programs.

Date: 1.6.2011 | Language: Finnish | Number of pages: 83 + 16

Keywords: Threshold limit, resurfacing, rutting, PMS, PMSpro, road maintenance

Alkusanat

Tämä diplomityö on laadittu Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun liikenne- ja tietekniikan tutkimusryhmässä. Työn tilaajana oli Liikennevirasto. Heidän puoleltaan työn ohjaajana toimi filosofian maisteri Vesa Männistö, jolle kuuluvat kiitokset mahdollisuudesta työskennellä tämän aiheen parissa.

Kiitän ohjaajiani professori Terhi Pellistä, joka toimi myös työn valvojana, sekä Vesa Männistöä neuvoista ja palautteesta työn aikana. Erityiskiitokset myös dosentti Jarkko Valtoselle, joka tarjosi minulle mahdollisuutta tämän työn tekemiseen ja avusti minua työn edetessä. Lämmin kiitos kaikille niille ihmisille, jotka auttoivat minua työni eri vaiheissa.

Perheelleni ja ystävilleni suurimmat kiitokseni kaikesta tuesta ja kannustuksesta, jota olen saanut paitsi opiskeluaikanani, myös aina muulloinkin. Lopuksi haluan kiittää sinua Pauliina, että olit kärsivällinen minua kohtaan tämän työn tekemisen aikana ja jaksoit tukea ja kannustaa.

Helsingissä, toukokuun viimeisenä päivänä 2011

Antti Kuosmanen

Sisällysluettelo

Alkusanat....4
Käytetyt lyhenteet ja käsitteet....6
1 Johdanto....8
1.1 Tutkimuksen tausta....8
1.2 Tutkimusongelma....9
1.3 Tutkimuksen tavoite ja toteutus....10
1.4 Työn rakenne ja rajaus....10
2 Päällystettyjen teiden ylläpito....13
2.1 Yleistä....13
2.2 Päällysteen vaurioituminen....15
2.3 Kuntomittaukset....19
2.4 Ylläpidon suunnittelu....25
2.4.1 Verkkotason ohjaus ja suunnittelu....25
2.4.2 Ylläpidon toimintalinjat....27
3 Päällystysohjelmointi....31
3.1 Yleistä....31
3.2 Päällystysohjelman laadinta....32
3.3 Päällysteiden hankinta....35
3.4 Päällystysohjelmointijärjestelmä PMSpro....37
4 Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmät....44
4.1 Tutkimusaineisto....44
4.1.1 Uudenmaan tieverkko....44
4.1.2 Kaakkois-Suomen tieverkko....45
4.2 Tutkimusmenetelmät....46
4.2.1 Johdanto....46
4.2.2 Päällystysohjelman laadinta PMSpro:lla....48
4.2.3 Päällystysohjelman laadinta taulukkolaskentaohjelmalla 50
5 Tutkimustulokset....52
5.1 Päällystysohjelmat PMSpro:lla....52
5.2 Päällystysohjelmat taulukkolaskentaohjelmalla....56
6 Tutkimustulosten tarkastelu....62
6.1 Uudenmaan tieverkko....62
6.2 Kaakkois-Suomen tieverkko....70
7 Yhteenveto, päätelmät ja suositukset....75
Lähdeluettelo....79
Liitteet....84

Käytetyt lyhenteet ja käsitteet

Aikasarja	havaintoyksiköstä eri aikoina tehtyjen mittausten muodostama aineisto.
AASHO Road Test	Sarja päällysteen kunnon heikkenemistä tutkivia kokeita, joita tehtiin Amerikassa vuosina 1956-1960
ABPIN	Asfalttibetonin pintaus, uudelleenpäällystyksen toimenpide, jota käytetään urien poistamiseen
ABMP	Asfalttibetonin massapintaus, uudelleenpäällystyksen työmenetelmä, jossa tasaamattomalle alustalle tehdään uusi päällyste
APVM	Automaattinen päällystevaurioiden mittaus
Ely-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
HIPS	Highway Investment Programming System, Tiehalllinnossa käyteetyn päällystetyn tiestön ylläpidon verkkotasoinen ohjausjärjestelmä
HJYR	Hienojyrsintä, uudelleenpäällystyksen työmenetelmä, jossa poikittainen epätasaisuus poistetaan jyrsimällä päällyste urien pohjan tasoon
IRI	International Roughness Index, kansainvälinen tien pituussuuntaista tasaisuutta kuvaava indeksi
KKL	Kuormituskertaluku, standardiakselien ylityskertojen lukumäärä kuvaa liikenteen tielle tai kadulle aiheuttamaa rasitusta
Kuntoraja	Ks. toimenpideraja
Kuntojakauma	Jakauma, jossa tiestö on jaettu eri luokkiin päällysteen kunnon mukaan
KURRE	Liikenneviraston hallinnoima teiden kuntotietorekisteri
KVL	Keskimääräinen vuorokausiliikenne, yksikkönä ajoneuvoa/vuorokausi
Peittoprosentti	Prosenttiosuus, joka kertoo kuinka paljon uudelleenpäällystettävästä osuudesta on huonokuntoista osuutta
PMS	Pavement Management System, päällysteiden hallintajärjestelmä
PMSpro	Teiden ylläpitoon tarkoitettu tietokoneohjelma, jolla laaditaan päällystysohjelma
PCI	Pavement Condition Index, päällysteen palvelutasoa kuvaava indeksi

PSI	Present Serviceability Index, päällysteen palvelutasoa kuvaava indeksi
PTM	Palvelutasomittaus, joka suoritetaan ajoneuvoon kiinnitetylllä laitteistolla
PVI	Päällystevaurioinventointi
PVK	Päällystevauriokartoitus
PYRO-malli	Päällysteiden ylläpidon rahoitustarpeen optimointimalli on verkkotasolle kehitetty pitkän tähtäyksen ennuste- ja optimointimalli
REM	Remix-pintaus, työmenetelmä, jossa vanha asfalttipäällyste kuumennetaan, jyrsitään irti, sekoitetaan uuden massan kanssa ja levitetään takaisin tielle
RP	Rakenteen parantaminen, toimenpide, jossa vaurioituneelle tierakenteelle tehdään massanvaihto, lisätään mursketta, stabiloidaan tai tehdään sidottu kantava kerros päällysteen alle
Toimenpideraja	Raja-arvo, jonka ylityttyä päällyste on uusittava
VS	Vauriosumma, yksikkönä m^2/100 m
UREM	Toimenpide asfalttibetonipäällysteille, jossa urat paikataan Remix-pintauksella

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Vauriot teiden päällysteisiin syntyvät ilmasto- ja liikennekuormituksesta sekä päällysteen vanhenemisesta. Lisäksi näiden tekijöiden yhteisvaikutus kiihdyttää vaurioitumista. Merkittävimpiä vaurioita päällysteissä ovat pituussuuntainen epätasaisuus, poikkisuuntainen epätasaisuus eli urautuminen, erilaiset halkeamat sekä päällysteen purkaumat. Vaurioitunut päällyste on paikattava, tie on uudelleenpäällystettävä tai tien rakennetta on parannettava. Jotta uudelleenpäällystystoimenpiteet tehdään oikea-aikaisesti, päällysteiden kuntoa arvioidaan erilaisilla kuntomittauksilla ja niiden perusteella ennustetaan tiestön kunnon kehittymistä. Suomen maantieverkon kuntoa seurataan kuntojakaumilla, joilla tieverkko on jaettuun viiteen luokkaan tien kuntoluokan mukaan. (Tiehallinto 2002; Belt et al. 2006).

Päällysteiden kuntoa on arvioitu niin kauan kuin päällystettyjä teitä on ollut olemassa, mutta Yhdysvalloissa vuosina 1956–1960 tehdyissä AASHO:n tietesteissä kehitettiin ensimmäiset laskennalliset menetelmät tien kunnon arviointiin. Koeteillä mitattiin muun muassa pituus- ja poikkisuuntaista epätasaisuutta, urautumista ja halkeilua Niistä laskettiin tien palvelutasoa kuvaava viisiportainen indeksi Pavement Serviceability Index (PCI). Nykyään kuntomittauksia tehdään lähinnä palvelutasomittausautoilla (PTM-auto), joiden keräämä tieto yhdistetään ajoneuvon paikkatietoon. Kun tien kuntoa voidaan mitata ja arvioida laskennallisesti, voidaan myös päällysteiden ylläpitoa hallinnoida ja kehittää systemaattisesti. Järjestelmää, jossa päällysteiden ylläpitoa hallitaan teknisesti ja taloudellisesti, kutsutaan Pavement Management Systemiksi (PMS). (Haas 2001, Smith et al. 2004).

Päällysteiden ylläpidon hallintaan tarkoitettua järjestelmää tarvittiin, koska uusia teitä rakennettiin kehittyneissä maissa nopeasti toisen maailmansodan jälkeen. Tieverkon laajenemisen jälkeen päällysteiden ylläpitoon käytettiin entistä enemmän rahaa, jolloin tarve järjestelmälliseen ylläpidon hallintaan kasvoi. Ensimmäiset järjestelmät kehitettiin Pohjois-Amerikassa 1960-luvulla ja Suomessa kehitys alkoi 1970-luvun lopulla. Päällysteiden ylläpidon hallinnasta Suomessa vastaa Liikennevirasto. (Haas 2001, Sikow et al. 1994, Tiehallinto 2006a).

Päällysteiden ylläpito voidaan jakaa kolmeen osaan: Verkko-, ohjelma- ja hanketasoon. Ylimmällä tasolla päällysteiden kuntoa

seurataan koko tieverkon osalta, arvioidaan rahoitustarpeita ja asetetaan kuntotavoitteita tieverkon eri osille. Tärkeimmät suuntaviivat on määritelty Tiehallinnon julkaisemissa Päällysteiden ylläpidon toimintalinjoissa. Niissä määritellään muun muassa eri kuntomuuttujille toimenpiderajat, joiden ylityttyä päällyste on korjattava. Nopeusrajoituksen ja keskimääräisen vuorokausiliikenteen perusteella toimenpiderajat on asetettu urasyvyydelle, vaurioille ja pituussuuntaiselle epätasaisuudelle. (Tiehallinto 2005; Tiehallinto 2006a).

Ohjelma- ja hanketason päällystysohjelmointia tehdään Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksissa (Ely-keskukset) päällystysohjelmointijärjestelmä PMSpro:n avulla. Ohjelman avulla tehdään alustava kohdeluettelo uudelleenpäällystys- tai rakenteenparantamistarpeessa olevista tieosuuksista kuntomittaus- ja tiestötiedon perusteella. Lisäksi ohjelma laskee toteutettavan päällystysohjelman perusteella tieverkon kuntoennusteen. Tieosuudet valikoituvat alustavaan kohdeluetteloon kuntomuuttujien voimassa olevien toimenpiderajojen perusteella, mutta lopulliseen päällystysohjelmaan vaikuttavat myös muut tekijät, kuten asiantuntijoiden mielipiteet, asiakaspalautteet ja tuotantotehokkuus. Toimenpiderajan ylittävät tieosat voivat sijaita hajallaan eri puolella tieverkkoa, joten kaikkien kriteerit täyttävien kohteiden uudelleenpäällystys voi olla taloudellisesti tehotonta. Tästä syystä tieverkon eri osille sallitaan tietty määrä toimenpiderajan ylittäviä kohteita eli laatualituksia (Tiehallinto 2006a). Samasta syystä päällystysohjelmiin valikoituu tieosuuksia, jotka eivät ole ylittäneet toimenpiderajoja. Päällystysohjelman peittoprosentilla tarkoitetaan huonokuntoisuuden rajan ylittäneiden päällysteiden osuutta koko päällystysohjelman pituudesta. (Männistö 2009).

1.2 Tutkimusongelma

Tienpitoon kohdistettujen määrärahojen pienentyessä on ylläpitojärjestelmää tarkasteltava myös toimenpiderajojen osalta. Suomessa toimenpiderajat urasyvyydelle vaihtelevat 12 mm:stä 21 mm:iin. Vilkasliikenteisillä teillä toimenpiderajat ovat kaikkein tiukimmat ja ylläpitoon osoitetuista varoista lähes 50 % käytetään näille teille. (Tiehallinto 2006a).

Vilkasliikenteisillä teillä uudelleenpäällystystarve aiheutuu useimmiten tien urautumisesta (Mattila 2008). Kasvattamalla urasyvyyden toimenpiderajoja päällystysohjelmien sisältö ja kokonaiskustannukset muuttuvat. Urasyvyyden toimenpiderajojen vaikutusta teiden

uudelleenpäällystykseen ei aikaisemmin ole tarkasti tutkittu. Näin tämän työn keskeiseksi kysymykseksi muodostui:

- Mitä taloudellisia vaikutuksia urasyvyyden toimenpiderajojen kasvattamisella on vilkasliikenteisten teiden uudelleenpäällystykseen?

Taloudellisia vaikutuksia voidaan arvioida teoreettisesti tutkimalla toimenpiderajojen vaikutusta vuosittaisiin päällystysohjelmiin. Tietokoneohjelmilla laadittuja päällystysohjelmia voidaan helposti vertailla keskenään. Toimenpiderajojen muutosten vaikutukset tien todelliseen vaurioitumiseen ja liikenneturvallisuuteen on huomattavasti vaikeampaa tutkia. Myös näiden tekijöiden taloudellisia vaikutuksia teiden ylläpitoon tulee kuitenkin arvioida.

1.3 Tutkimuksen tavoite ja toteutus

Diplomityön tavoitteena oli selvittää toimenpiderajojen muutosten teoreettisia taloudellisia vaikutuksia vilkasliikenteisten teiden uudelleenpäällystyksessä. Tavoitteen saavuttamiseksi tutkimus jaettiin seuraaviin osatavoitteisiin:

- Selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat päällystysohjelmien sisältöön
- Tutkia urasyvyyden toimenpiderajojen vaikutuksia päällystysohjelmien pituuteen, peittoprosenttiin ja keskimääräisiin vuosikustannuksiin tieverkon eri osilla
- Tutkia toimenpiderajojen muutosten vaikutuksia tieverkon kuntojakaumaan

Päällystysohjelmien sisältöön vaikuttavia tekijöitä selvitettiin kirjallisuustutkimuksella ja asiantuntijahaastatteluilla. Toimenpiderajojen vaikutusta päällystysohjelmien sisältöön arvioitiin tapaustutkimuksena laatimalla teoreettisia päällystysohjelmia kahdelle Ely-keskukselle käyttäen kahta tietokoneohjelmaa. Kolmannen osatavoitteen tulosten perusteella voitiin arvioida toimenpiderajojen muutosten vaikutusta tieverkkoon pidemmällä aikavälillä.

1.4 Työn rakenne ja rajaus

Rakenne

Tämä diplomityö koostuu teoriaosuudesta ja kokeellisista tutkimuksista. Teoriaosuudessa esitellään päällysteiden vaurioitumista

ja ylläpidon hallintaa. Teoriaosuus on tehty kirjallisuustutkimuksena ja sitä on täydennetty ylläpidon sidosryhmien haastatteluilla päällysteiden hankinnasta. Kokeellinen osuus koostuu teoreettisten päällystysohjelmien laadinnasta ja niiden tulosten arvioinnista. Päällystysohjelmien tulokset on esitelty luvussa 5 ja tulosten tarkastelu luvussa 6. Tutkimuksen yhteenveto, päätelmät ja jatkosuositukset esitellään luvussa 7.

Rajaus

Tässä työssä tarkasteltiin vain vilkasliikenteisten teiden uudelleenpäällystystä Uudenmaan ja Kaakkois-Suomen Ely-keskusten alueella. Vilkasliikenteisiksi teiksi on määritelty tiet, joiden keskimääräinen vuorokausiliikenne on yli 2000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Tutkimuksessa tehtävistä päällystysohjelmissa kuntokriteereistä käsitellään vain urautumista, joka on määräävin tekijä udelleenpäällystyskohteiden valinnassa. Todellisuudessa urasyvyyden toimenpiderajan noston taloudelliset vaikutukset eivät kuitenkaan rajoitu ainoastaan yksittäiseen päällystysohjelmaan. Tutkimuksen taloudellisten vaikutusten laskenta perustuu teoreettisiin päällystysohjelmiin ja laskelmiin vuosiksi 2010-2012. Vain urasyvyyden perusteella laadittavien päällystysohjelmien toimenpiteet ovat enimmäkseen kevyitä uusiopintausmenetelmiä, joten huomioimatta jää raskaampien rakenteenparantamistoimenpiteiden tarve ja vaikutus tiestön kuntojakaumaan myöhempinä vuosina.

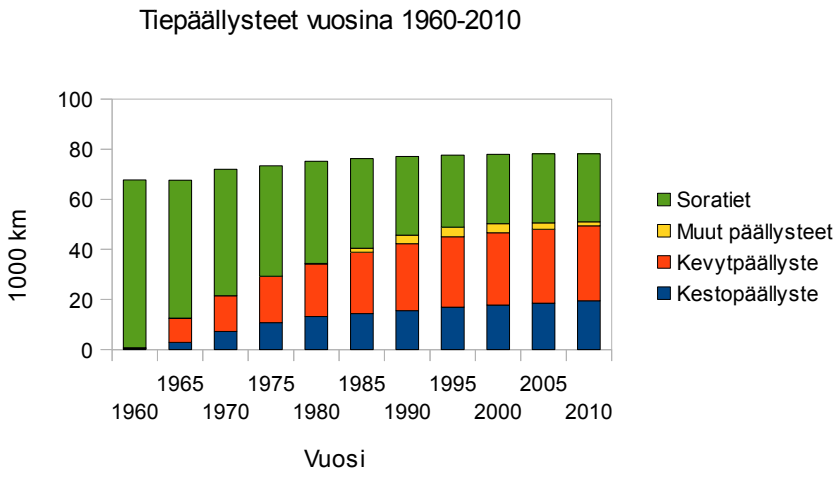
Laskelmissa on oletettu urasyvyyden toimenpiderajojen muutosten vaikuttavan päällystysohjelmiin ainoastaan kohteiden määrän vähenemisenä. On kuitenkin huomioitava, että urasyvyyden kasvu tiestöllä vaikuttaa muiden vaurioiden määrään ja syntyyn. Esimerkiksi päällysteen purkautuminen alkaa usein pyöräurien kohdalla olevista lajittumista, jotka liikenne rikkoo rei'iksi (Hartikainen 2003). Purkaumia voi syntyä myös, kun kerrospaksuus on liian pieni suhteessa päällysteen maksimiraekokoon (Tiehallinto 2009a). Beltin (2002) mukaan tien pinnan väsymisvauriot näkyvät aluksi pituussuuntaisina halkeamina ajourien keskellä. Vaurioitumisen edetessä halkeamat lisääntyvät ja päällysteeseen muodostuu verkkohalkeamia. Ohut päällyste kestää vähemmän päällysteen alapinnan vetomuodonmuutoksia (Ehrola 1996). Syvemmät urat näin ollen heikentävät päällysteen kuormituskestävyyttä. Huonontuneen liikenneturvallisuuden lisäksi myös päällysteen urissa seisova vesi nopeuttaa päällysteen kulumista ja heikentää tierakenteita (Kurki 2002).

Teoreettiset päällystysohjelmat eivät myöskään huomioi urasyvyyden toimenpiderajojen vaikutusta liikenneonnettomuuksiin ja onnettomuuskustannuksiin. Urasyvyyden vaikutusta liikenneonnettomuuksiin on tutkittu muun muassa Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Ihs et al. (2002) ovat tutkineet urasyvyyden ja liikenneonnettomuuksien yhteyttä Ruotsissa. Tutkimuksen perusteella urasyvyyden kasvu vähentää liikenneonnettomuuksia kesäaikana ja lisää niitä talviaikana. Suomessa asiaa ovat tutkineet Lehtonen et al. (2005), joiden mukaan yli 10 mm:n urasyvyydellä liikenneonnettomuuksien määrä väheni kesäaikana 4 % ja talvella 22 % verrattuna tilanteeseen, jossa urasyvyys samoilla teillä oli alle 6 mm. Liikenneturvallisuus siis parani, kun urasyvyys kasvoi. Christensen ja Ragnøy (2006) päätyivät päinvastaiseen tulokseen Norjan maanteillä: Urasyvyyden kasvu näyttäisi lisäävän onnettomuusriskiä, mutta riskin kasvu ei ollut merkittävää. Ristiriitaisista tuloksista päätellen onnettomuusriskin ja urasyvyyden kasvun yhteys on vaikeasti todettavissa. Sen sijaan urasyvyyden kasvun ja pienen sivukaltevuuden yhteys vesiliirtoriskiin ja -onnettomuuksiin on osoitettu useissa tutkimuksissa (Ihs et al 2002; Hoffman & Hunt 1995).

2 Päällystettyjen teiden ylläpito

2.1 Yleistä

Suomen tieverkon pituus vuoden 2009 lopussa oli 78 161 km. Tiestön pääoman laskennallinen arvo vuonna 2005 noin 15 mrd. euroa, joista tierakenteiden osuus on 66 % ja päällysteiden 7 %. Päällystettyjä teitä oli 50 986 km, joista kestopäällysteisten teiden osuus on noin 38 % ja kevytpäällysteisten teiden osuus 62 % tiepituudesta. Päällystettyjen teiden määrä on viime vuosikymmeninä kasvanut huomattavasti nopeammin kuin koko tieverkon pituus (kuva 1). (Liikennevirasto 2010a).



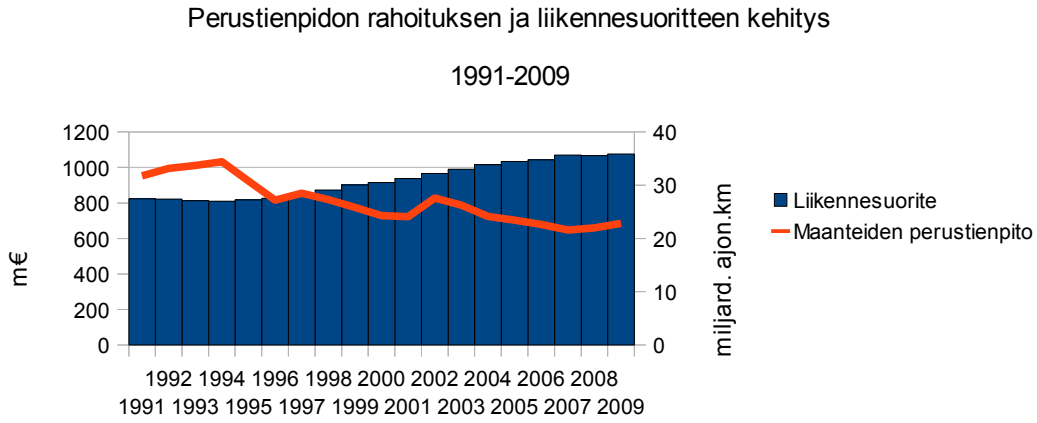
Kuva 1. Suomen tiepäällysteet vuosina 1960-2010 (Liikennevirasto 2010a).

Yleiset tiet jakautuivat vuoden 2010 alussa liikennemääräluokkiin taulukon 1 mukaisesti. Siitä nähdään, että vilkkaasti liikennöityjen teiden, joiden KVL on yli 1500 ajoneuvoa vuorokaudessa, osuus kokonaispituudesta on vain 19 %. Kuitenkin teiden ylläpitomäärärahoista 48 % käytetään näille teille (Tiehallinto 2006a)

Taulukko 1. Yleisten teiden pituus liikennemääräluokittain (Liikennevirasto 2010a).

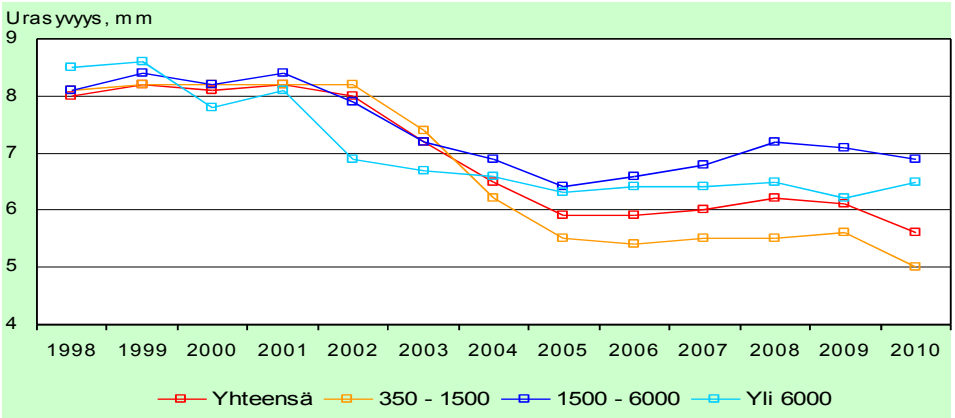
Liikennemäärä (Ajon./vrk)	Alle 350	350-1499	1500-6000	Yli 6000	Yhteensä
Kestopäällyste (km)	679	5069	10371	3411	19530
Kevytpäällyste (km)	15239	15449	768	1	31457
Soratie (km)	26885	290	1	-	27176
Yhteensä (km)	42801	20 807	11 140	3412	78160

Liikennesuoritteen ja tienpidon rahoituksen kehittyminen on esitetty kuvassa 2, josta nähdään, että liikennesuoritteen kasvaessa perustienpidon rahoitus on kuitenkin vähentynyt. Perustienpidon kustannuksista hoidon ja ylläpidon osuus on kaikkein suurin, noin 70 % ja laajennus- ja uusinvestointien osuus noin 10 %. Loppuosuus jakaantuu hallinnon, tuotekehityksen, suunnittelun sekä liikenteen hallinnan kuluihin. (Haveri 2006).



Kuva 2. Liikennesuoritteen ja perustienpidon rahoituksen kehittyminen Suomessa. Rahoituksen määrä on muutettu vastaamaan vuoden 2009 kustannustasoa. (Muokattu lähteestä Liikennevirasto 2010a.)

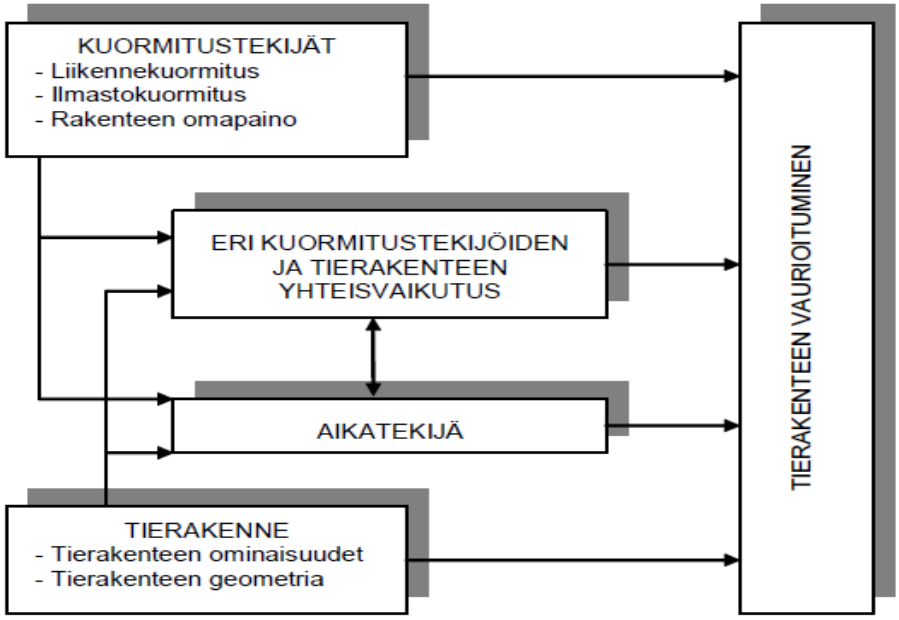
Päällysteiden kunnon nykytilaa arvioidaan urasyvyyden, tasaisuuden ja vaurioiden perusteella. Viime vuosina keskimääräinen urasyvyys on pienentynyt etenkin vähäliikenteisimmillä teillä (kuva 3). Tämän tutkimuksen kannalta merkittävämmissä liikennemääräluokissa keskimääräiset urasyvyydet ovat koko tieverkon keskiarvoa korkeammat, koska päällysteet altistuvat suuremmalle liikennekuormitukselle.



Kuva 3. Urasyvyyden kehittyminen Suomen tieverkolla 1998-2010. (Liikennevirasto 2011a).

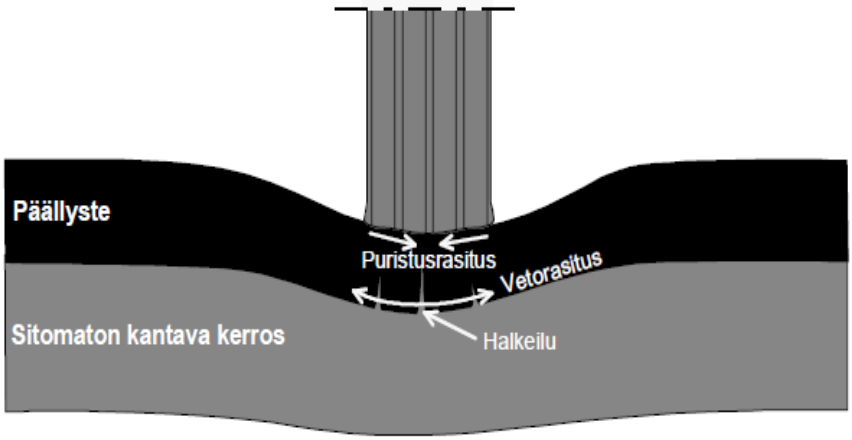
2.2 Päällysteen vaurioituminen

Päällysteet vaurioituvat ilmaston, liikennekuormituksen, vanhenemisen sekä tierakenteen omapainon vaikutuksesta. Näiden rasitusten yhteisvaikutus kiihdyttää päällysteiden vaurioitumista. Koko tierakenteen vaurioitumisen osatekijät on esitetty kuvassa 4. Päällysteen vaurioitumiseen vaikuttavat lisäksi rakentamisenaikaiset työvirheet, jotka aiheuttavat päällysteeseen muun muassa purkaumia, reikiä ja saumojen porrastumista. (Belt et al 2006).

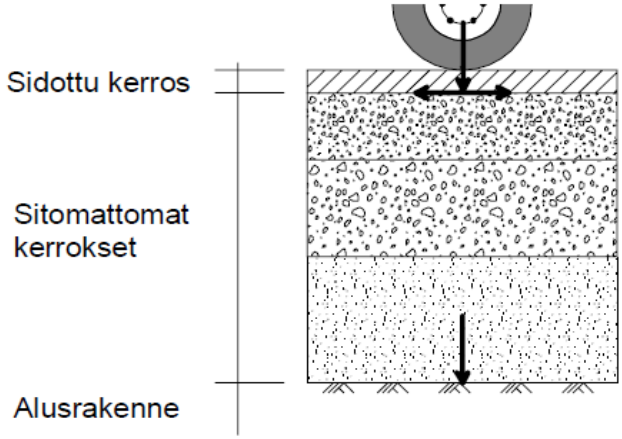


Kuva 4. Tierakenteen vaurioitumisen osatekijät (Belt et al. 2006).

Liikennekuormitus, joka jaetaan raskaan liikenteen ja henkilöautoliikenteen aiheuttamaan kuormitukseen, aiheuttaa päällysteeseen lähinnä poikkisuuntaista epätasaisuutta sekä pituus- ja verkkohalkeamia. Liikennekuormitus on luonteeltaan lyhytaikaista, usein toistuvaa kuormitusta. Ajoneuvon rengas taivuttaa päällystettä pituus- ja poikkisuunnassa ja aiheuttaa puristusjännitystä päällysteen yläpintaan ja vetojännitystä päällysteen alapintaan (kuva 5, kuva 6). Lisäksi sitomattomiin kerroksiin syntyy puristusjännityksiä. Asfalttipäällysteen vetomuodonmuutoksen toistuessa riittävän useasti alkaa päällyste vaurioitua. Vaurioitumisprosessia kutsutaan päällysteen väsymiseksi. Asfalttipäällysteen väsyminen johtuu bitumin viskoelastisista ominaisuuksista: Bitumin murtolujuus ja -venymä pienenevät, kun liikenteen kuormituskerrat lisääntyvät. (Ehrola 1996).



Kuva 5. Liikennekuormituksen aiheuttamat jännitykset tierakenteen poikkisuunnassa. (Ehrola 1996).



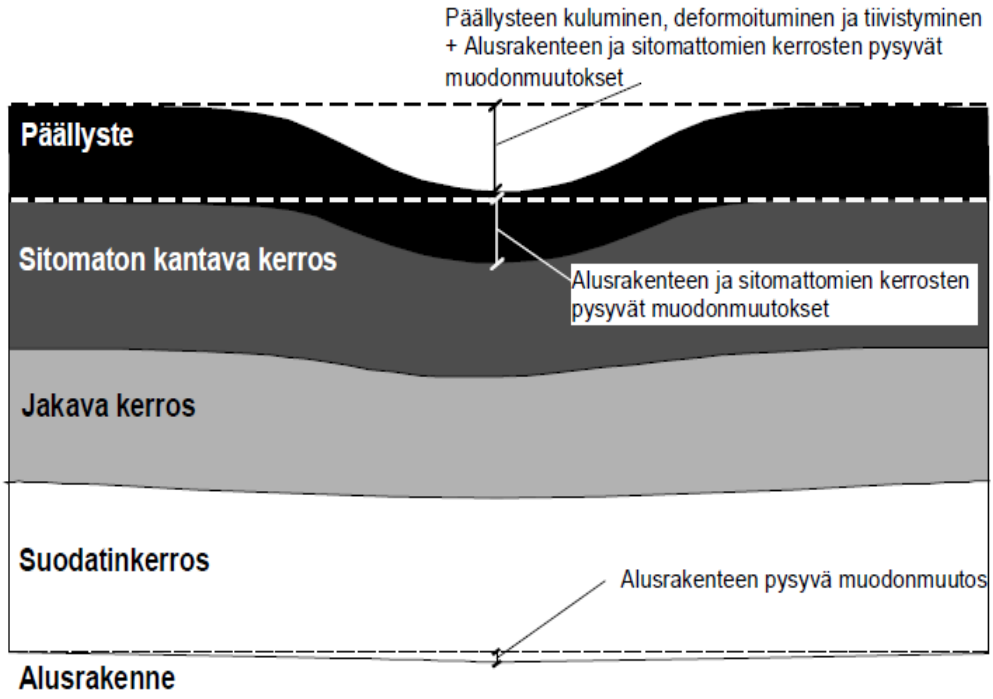
Kuva 6. Liikennekuormituksen aiheuttamat jännitykset tierakenteen pituussuunnassa (Tiehallinto 2002).

Päällysteen väsyminen aiheuttaa aluksi päällysteen alapintaan pituussuuntaisia hiushalkeamia ajourien kohdalle. Kuormituskertojen kasvaessa halkeamat laajenevat ja muodostavat hiushalkeamaverkkoja. Samaan aikaan asfalttipäällysteen jäykkyys pienenee ja vetomuodonmuutokset kasvavat. Hiushalkeamat yhtyvät makrohalkeamiksi ja etenevät samalla päällysteen pintaa kohti aiheuttaen päällysteeseen näkyviä vaurioita. (Ehrola 1996).

Urautuminen eli päällysteen poikkisuuntainen epätasaisuus johtuu nastarenkaiden aiheuttamasta päällysteen kulumisesta sekä raskaan liikenteen aiheuttamasta päällysteen ja muiden rakennekerrosten deformaatiosta (kuva 7). Nastarengaskulutus aiheuttaa urautumista erityisesti vilkasliikenteisillä teillä. Urautumisen nopeuteen vaikuttavat erityisesti liikennemäärä, ajonopeus, sekä nastarenkaiden käyttöaika.

Lisäksi tien pinnan kosteus lisää päällysteen nastarengaskulumista voimakkaasti (Ehrola 1996). Nastarenkaat aiheuttavat päällysteisiin nastaiskun ja nastahierron. Näiden voimakkuuteen vaikuttavat mm. ajoneuvon paino, nopeus, rengasprofiili ja rengaspaine. Kehittynyt rengasteknologia on pienentänyt yksittäisen renkaan kulutusvaikutusta, mutta kasvanut liikennesuorite on lisännyt nastarenkaiden aiheuttamaa kokonaiskulutusta. (Liski 2010.)

Raskaan liikenteen kuormitus aiheuttaa päällysteeseen ja alempiin rakennekerroksiin plastista deformaatiota eli palautumatonta muodonmuutosta ja tiivistymistä. Kuormituksen vaikutuksesta asfalttimassa tiivistyy ja massaa siirtyy sivuille. Plastisen deformaation suuruus riippuu päällysteen ominaisuuksista ja ulkoisista tekijöistä. Asfalttipäällysteen muodonmuutosvastus eli jäykkyysmoduuli riippuu ratkaisevasti sideaineen kovuudesta ja lisäksi massan suhteituksesta sekä tyhjätilan määrästä. Plastisen deformaation suuruuteen vaikuttavia ulkoisia tekijöitä ovat liikenteen määrä, kuormitusaika ja kuormitusten suuruus sekä päällysteen lämpötila. Hidas ajo ja pysähtyminen lisäävät deformoitumista, mistä syystä deformoitumista esiintyy erityisesti linja-autopysäkeillä ja raskaasti liikennöityjen katujen liittymissä. Lämpötilan kasvaessa asfalttipäällyste pehmenee ja deformoitumisen määrä kasvaa. Myös sitomattomissa kerroksissa tapahtuu deformaatiota, kun sitomaton materiaali pyrkii siirtymään ajourien kohdalla alaspäin syrjäyttäen samalla vieressä olevaa materiaalia sivuille. Sitomattomien materiaalien kosteudella on suuri merkitys pysyvien muodonmuutosten syntymiseen, mistä syystä deformaatiota tapahtuu erityisesti roudan sulamisen aikaan. (Lehtipuu 1983; Tiehallinto 2002; Belt et al 2006).



Kuva 7. Päällysteen poikkisuuntaisen epätasaisuuden osatekijät (Tiehallinto 2002).

Ilmastokuormitus sisältää veden, lämpötilan ja roudan vaikutukset. Niistä lämpötila vaikuttaa suoraan päällysteisiin, ja roudan sekä veden vaikutus syntyy pääasiassa alusrakenteen ja sitomattomien kerrosten kautta. Routiminen aiheuttaa päällysteeseen halkeamia ja tien pituussuuntaisen epätasaisuuden kasvamista. Halkeamat syntyvät, kun routimisen seurauksena tapahtuva routanousu aiheuttaa päällysteeseen vetorasituksia, jotka ylittäessään päällysteen vetolujuuden aiheuttavat syvälle tierakenteeseen ulottuvia pituushalkeamia. Lisäksi roudan sulaminen alentaa tien kantavuutta. Tien kantavuuden vaihtelut voivat lisätä routimishalkeamien syntyä. Alusrakenteiden erilaiset routimisominaisuudet ja epäjatkuvuuskohdat, kuten rummut ja vaihteleva päällysrakennepaksuus, aiheuttavat epätasaisia routanousuja, mikä näkyy tien pituussuuntaisena epätasaisuutena. (Ehrola 1996).

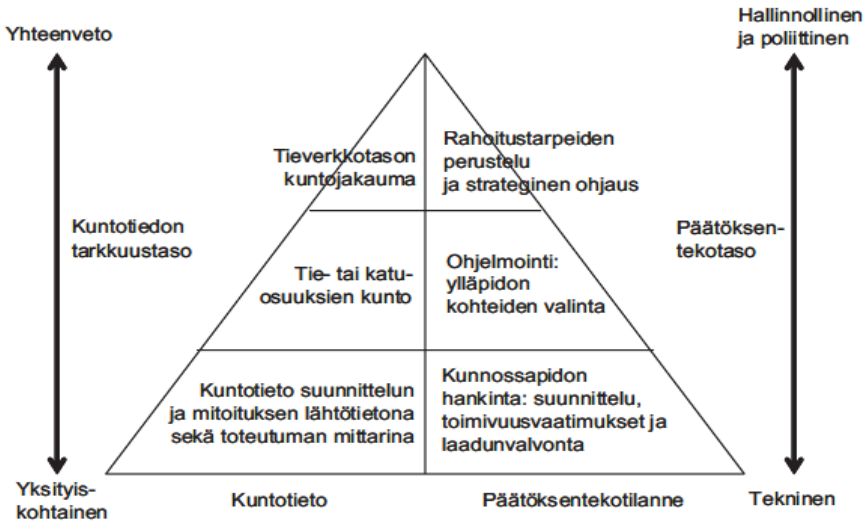
Lämpötilan vaihtelut aiheuttavat päällysteeseen tien poikkisuuntaisia pakkashalkeamia ja väsymishalkeamia. Pakkashalkeamat syntyvät talvella, kun asfalttipäällysteen lämpötilan alenemisesta syntyvät vetojännitykset ylittävät päällysteen vetolujuuden. Väsymishalkeamat syntyvät, kun päivittäiset ja kausittaiset lämpötilan muutokset aiheuttavat päällysteen väsymistä. Suomen ilmastossa pakkashalkeamat ovat väsymishalkeamia huomattavasti suurempi

ongelma. (Ehrola 1996).

Tierakenteen omapaino aiheuttaa päällysteen pituussuuntaista epätasaisuutta ja asfalttipäällysteen halkeilua. Heikosti kantavat alusrakennemateriaalit, kuten turve ja savi, aiheuttavat alusrakenteen kokoonpuristumista, mikä voidaan havaita pituussuuntaisena epätasaisuutena. Työvirheet voivat aiheuttaa päällysteeseen purkaumia, reikiä ja saumahalkeamia. Sideaineen ja kiviaineksen huono tartunta aiheuttaa kiviaineksen purkautumista päällysteestä. Myös ohueksi kulunut päällyste aiheuttaa reikiintymistä. (Tiehallinto 2002; Belt et al 2006).

2.3 Kuntomittaukset

Tien kunnosta, kuten pituus- ja poikkiprofiilista, kantavuudesta ja vaurioista kerätään tietoa erilaisilla mittausmenetelmillä. Päällystettyjen teiden kuntotietoa tarvitaan ylläpidon eri päätöksentekovaiheissa: verkko-, ohjelmointi- sekä hanketasolla. Kuvassa 8 on esitetty päätöksenteon ja kuntomuuttujien yhteys. Verkkotason ohjauksessa kuntotietoa käytetään lähinnä rahoitustarpeen perusteluun sekä ylläpidon strategiseen ohjaukseen, jossa määritetään tienpidon tavoitteet ja niiden saavuttamiseksi tarvittavat resurssit. Ohjelmoinnissa ylläpitokohteet valitaan 1-3 vuoden päähän. Tällöin kuntotiedon on oltava niin tarkkaa, että tarvittavien toimien kustannustaso ja eri toimenpideohjelmilla saavutettava hyöty voidaan arvioida. Hanketasolla kuntotietoa tarvitaan kohteiden yksityiskohtaiseen suunnitteluun sekä ylläpitokohteiden seurantaan. (Tiehallinto 2005a)



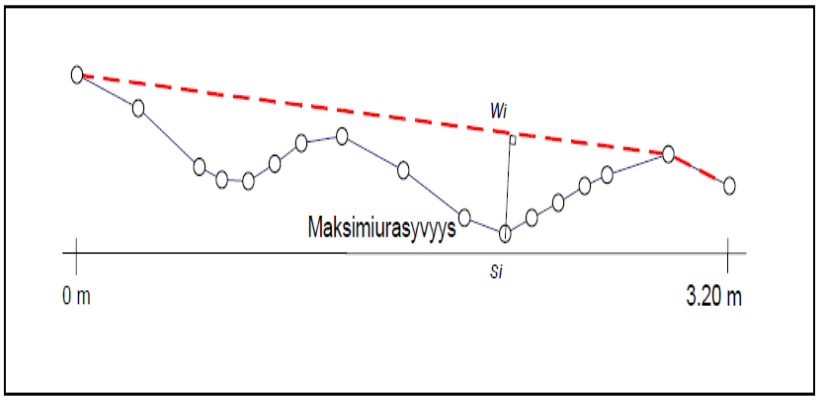
Kuva 8. Päätöksentekotasojen ja kuntotiedon yhteys (Tiehallinto 2005a).

Suomessa tien kuntoa arvioidaan mittaamalla tien pituus- ja poikkiprofiilia, tien vaurioituneisuutta sekä tierakenteen kantavuutta. Pituus- ja poikkiprofiili voidaan mitata vaaitsemalla, profilometrillä, profiilipalkilla, ajoneuvon vasteeseen perustuvilla mittareilla tai palvelutasomittausautolla (PTM-auto), jota kuntomittauksissa käytetään kaikkein yleisimmin. (Tiehallinto 2005a).

Palvelutasomittausautot mittaavat pituusprofiilin yleisimmin yhdistämällä tiedot ajoneuvon korin ja tienpinnan etäisyydestä, korin pystyliikkeestä sekä ajonopeudesta. Poikkiprofiilin mittaukseen käytetään Suomessa kahdentyyppisiä PTM-autoja. Ensimmäisessä mallissa tien poikkiprofiili mitataan keulassa olevan palkin 17:lla etäisyyslaserilla. Laserit on asennettu poikkisuunnassa 10–30 cm:n välein siten, että pyöräurien kohdalla laserit ovat tiheämmässä. Tien poikkiprofiili tallennetaan useimmiten noin 10 cm:n välein. Tämä todellisuudessa vastaa noin 80 mittauspisteen keskiarvoa, sillä etäisyyslaserin näytteenottoväli on noin 1,2 mm. Toisessa mallissa etäisyyslaserin säde hajotetaan prisman avulla viivaksi, jolloin poikkiprofiili saadaan mitattua lähes jatkuvana. Profiilipisteiden tallennusväli on tuolloin parhaimmillaan jopa 2 cm ja pituussuunnassa tallennusväli on yksi metri. Tärkeimpiä pituusprofiilista mitattavia tunnuslukuja ovat tasaisuus ja päällysteen karkeus. Poikkiprofiilista voidaan mitata muun muassa sivukaltevuus ja urasyvyys. (Tiehallinto 2005a).

Urasyvyys kuvaa tien poikkisuuntaista epätasaisuutta. Mitattavana tunnuslukuna urasyvyys kuvaa tien liikennöitävyyttä, liikenneturvallisuutta, tien kuntoa ja kulumista sekä deformaatiota (Rantanen 2005). Urasyvyys määritetään molemmista rengasurista lanka-periaatteella, eli poikkiprofiilin yli kiristetään kuvitteellinen lanka, josta suurin etäisyys päällysteen pintaan on maksimiurasyvyys (kaava 1). Kuvassa 9 on esitetty urasyvyyden laskenta 3,2 metriä leveästä poikkiprofiilista, jossa on 17 lasermittauspistettä.

Urasyvyyden arvo on aina positiivinen ja useimmiten maksimiurasyvyyden arvo on sama kuin urasyvyyden arvo jommas-sakummassa urassa. Huonokuntoisella tiellä maksimiurasyvyys voi olla kuitenkin suurempi kuin ajourien vastaavat arvot, jos ajoradan reunat ovat korkeammalla kuin ajoradan keskiosa Urasyvyydelle ei ole laadittu kansainvälistä standardisoitua määritelmää, vaan se lasketaan eri maissa eri tavoin. Suomessa urasyvyys lasketaan lasermittaustuloksien 10 cm:n keskiarvona. Näistä arvoista urasyvyys lasketaan halutun tarkastelujakson keskiarvona. Yleensä tarkastelujakson pituus on 100 metriä. (Tiehallinto 2007a).



Kuva 9. Urasyvyyden määritys lankamallilla (Tiehallinto 2007a).

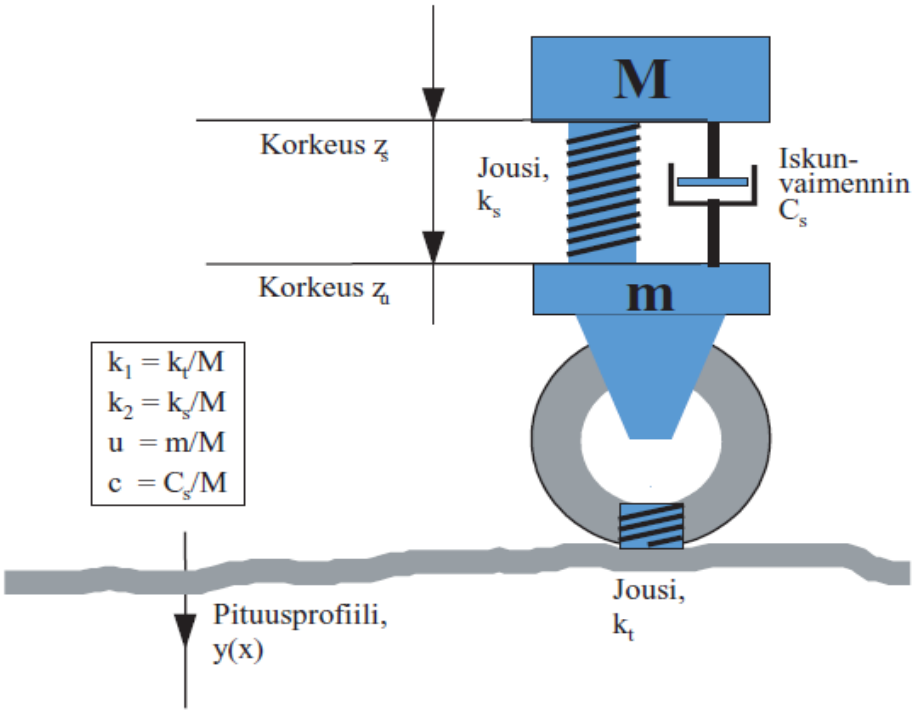
Urasyvyyden laskentakaavaksi saadaan (Tiehallinto 2007a):

$$Maksimiurasyvyys = max(w_i - s_i), i = 1-17 \qquad (1)$$

missä w_i *on langan korkeus mittauspisteessä i*
s_i *on tien pinnan korkeus mittauspisteessä i*
i on poikkisuuntaisten mittauspisteiden lukumäärä

Tien tasaisuus riippuu tien ominaisuuksien lisäksi tiellä kulkevan ajoneuvon ominaisuuksista, joten jokainen tienkäyttäjä kokee tasaisuuden eri tavalla. Pituussuuntaisen epätasaisuuden kuvaamiseksi on kehitetty kansainvälinen tasaisuusindeksi International Roughness Index (IRI), joka syntyi Maailmanpankin teettämän tutkimusprojektin tuloksena vuona 1982. IRI kuvaa pystysuuntaista liikettä suhteessa kuljettuun matkaan. Yksikkönä käytetään yleensä mm/m. (Sayer et al. 1986).

IRI lasketaan neljännesautomallilla (kuva 10), jonka parametrit kuvaavat vakionopeudella 80 km/h kulkevaa, autokannan keskimääräisiä ominaisuuksia vastaava autoa. Jousitettu massa (M) on kytketty jousella ja iskunvaimentimella jousittamattomaan akselimassaan (m), joka on renkaan välityksellä kosketuksissa tien pintaan. IRI saadaan laskemalla jousitetun ja jousittamattoman massan välinen kumuloitu suhteellinen liike ja jakamalla se laskentajakson pituudella. Suomessa IRI ilmoitetaan keskiarvona sadan metrin matkalta, mutta myös muut tulostusvälit ovat mahdollisia. (Tiehallinto 2005a).



Kuva 10. Neljännesautomallin toimintaperiaate. (Tiehallinto 2005a).

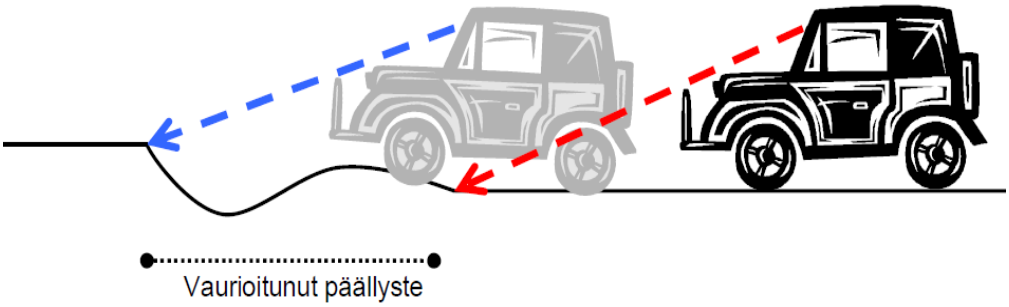
Pituus- ja poikkiprofiilin lisäksi päällysteistä mitataan vaurioiden määrää. Suomessa on ollut käytössä päällystevaurioinventointi (PVI), joka korvattiin automaattisella päällystevauriomittauksella (APVM) vuonna 2006. Vuoden 2011 aikana siirrytään päällystevauriokartoitukseen (PVK). Päällystevaurioinventoinnissa hitaasti ajavan ajoneuvon kuljettaja luettelee havaitsemansa päällystevauriot työtoverilleen, joka tallentaa havainnot tietokoneelle. PVI:ssä mitattavia vaurioita ovat olleet:

- Pituushalkeamat
- Poikkihalkeamat
- Saumahalkeamat
- Verkkohalkeamat
- Reiät
- Purkaumat
- Reunapainumat ja muut ajoradalla olevat pituussuuntaiset painumat.

Vauriotyypeille on määritetty painokertoimet, jotka kuvaavat kunkin vaurion vaikutusalaa. Tielle määritetään vauriosumma (VS, m2) sadan metrin jaksoissa laskemalla painotetut vauriomäärät yhteen. (Tiehallinto 2005a). Vaurioiden visuaalinen inventointi riippuu arvioijasta ja oloista, joten saadut tulokset ovat epätarkkoja

(Tiehallinto 2004). Tästä syystä siirryttiin automaattiseen päällystevauriomittaukseen, jossa tien pinta kuvataan neljällä mittausauton takaosaan sijoitetulla analogisella videokameralla. Kuva-aineisto käsitellään automaattisesti kuvantulkintajärjestelmällä ja tuloksena saadaan vauriokartat. (Tiehallinto 2007b). Tulokset eivät kaikilta osin ole luotettavia: jos esimerkiksi vaurioita on paljon, tulosten epätarkkuus kasvaa. (Tiehallinto 2008).

Automaattisen päällystevauriokartoituksen epätarkkuuden vuoksi vuoden 2011 aikana siirrytään päällystevauriokartoitukseen (PVK), jossa vaurioita inventoidaan jälleen visuaalisesti. Päällystevauriokartoituksessa arvioidaan toimenpidetarvetta yhtenä kokonaisuutena ajoradan koko päällysteen leveydeltä, eikä yksittäisiä vauriotyyppejä eritellä. Vauriot inventoidaan sähköisellä tiedonkeruulaitteella ajoneuvosta, jonka nopeus on noin 30–40 km/h. Inventoinnissa hyödynnetään GPS-järjestelmää, jolloin vaurioituneisuus linkittyy tieosoitteeseen ja päällystevauriolla on arvo "vaurioitunut" tai "ei vaurioitunut". Päällystevaurio merkitään, kun vaurioituneen jakson alkuosuus katoaa ajoneuvon keulan alle ja merkintä lopetetaan, kun vauriota ei enää havaita (kuva 11). (Pöyry 2010).



Kuva 11. Päällystevaurioiden kartoitus. (Pöyry 2010).

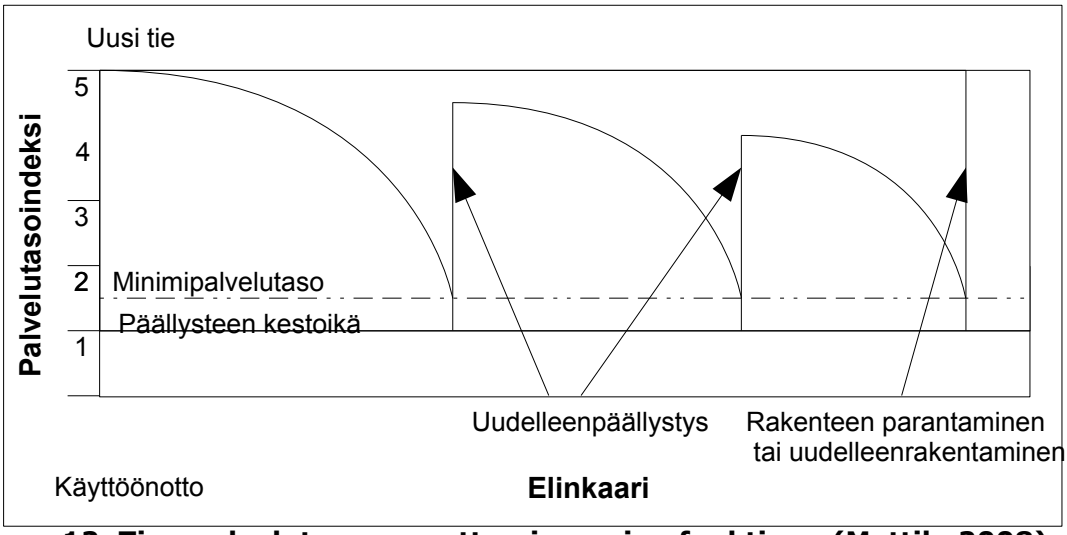
Urasyvyyden, pituussuuntaisen epätasaisuuden ja vaurioiden lisäksi tien pintakuntoa arvioidaan päällysteen karkeudella ja rakenteellista kuntoa kantavuusasteella. Päällysteen karkeus voidaan edelleen jakaa mikro-, makro- ja megakarkeuteen. Mikrokarkeus kuvaa kivimateriaalin pinnan karkeutta. Sen aallonpituus on 0,001–0,5 mm. Se vaikuttaa päällysteen kitkaan, erityisesti ajettaessa alle 50 km/h nopeudella. Makrokarkeus, jonka aallonpituus on 0,5–50 mm, kuvaa päällysteen pinnan epätasaisuutta. Suuri makrokarkeus saa aikaan hyvän kitkan myös suurella ajonopeudella ja vähentää vesiliirtoriskiä, kun vesikalvo peittää kivirakeita ja mikrokarkeuden vaikutus pienenee. Megakarkeus kuvaa pinnan epätasaisuutta, aallonpituuden

ollessa 50 - 500 mm. Megakarkeus koetaan epätasaisuuden aiheuttamana täristyksenä ajoneuvossa. Lisäksi sillä on vaikutusta meluun, kitkaan, renkaiden ja polttoaineen kulumiseen sekä vierintävastukseen. (Rantanen 2005).

Tien rakenteellista kuntoa arvioidaan kantavuusmittauksilla. Tienpinnan taipuma mitataan pudotuspainolaitteella, jolla mitataan tiehen kohdistuva voima ja sen aiheuttama taipuma. Tästä saadaan laskettua tien kantavuusaste. Kantavuusmittauksilla saadaan tarkkoja tuloksia yksittäisen mittauspisteen kunnosta, mutta tunnusluvun käytettävyyttä huonontaa kantavuusmittausten riippuvuus tierakenteiden kosteudesta ja lämpötilasta. Kantavuusastetta kuntomuuttujana ei kuitenkaan enää käytetä Liikenneviraston strategisessa päätöksenteossa. (Tiehallinto 2005a; Haveri 2006; Männistö 2011).

Palvelutaso

Palvelutaso kuvaa tien kuntoa ja sitä arvioidaan edellä kuvattujen kuntomuuttujien avulla. Palvelutaso heikkenee ajan kuluessa. Sen alittaessa minimipalvelutason päällyste on korjattava (kuva 12). Elinkaarella tarkoitetaan ajanjaksoa tien käyttöönotosta tien parantamiseen, uudelleen rakentamiseen tai tien käytöstä poistamiseen. Minimipalvelutaso kuvaa tilannetta, jossa tiellä pystytään vielä ajamaan, mutta tien kunto on huono. Päällysteen tai tierakenteen kestoiällä tarkoitetaan päällysteen uusimisen tai rakenteen parantamisen välistä aikaa. Pelkällä uudelleenpäällystyksellä palvelutasoa ei saada nostettua uuden tien palvelutasoa vastaavaksi, koska liikennekuormitus huonontaa myös tien rakennetta. Elinkaaren lopulla uudelleenpäällystys ei riitä nostamaan tien palvelutasoa riittävän korkealle, vaan tien rakennetta on parannettava tai se on rakennettava uudelleen. (Mattila 2008).



Kuva 12. Tien palvelutason muuttuminen ajan funktiona (Mattila 2008).

Tien palvelutasoa kuvataan erilaisilla indekseillä, joista tunnetuin on PSI (Present Serviceability Index). PSI on kehitetty AASHO Road Test kokeiden yhteydessä vuosina 1956–1960 ja se kuvataan asteikolla 0-5 (kuva 12). Kokeiden yhteydessä mitattiin asfalttipäällysteiden pituussuuntainen profiili, halkeamat, vauriot, urasyvyys ja saumahalkeilut 1-2 viikon välein. Lisäksi kokeiden aikana mitattiin päällysteen taipumaa, venymää ja lämpötilajakaumaa sekä pohjamaan kuormitusta. Mittausten perusteella laadittiin menetelmä palvelutasoindeksin laskemiseen. Kaavassa ovat mukana pituussuuntainen epätasaisuus, vauriot ja paikkaukset sekä urasyvyys. Suomessa Liikennevirasto käyttää vastaavaa viisiportaista kuntoluokitusasteikkoa, jossa 5 vastaa erittäin hyvää ja 1 erittäin huonoa päällystettä. (TR News 2004; Hudson 1997; Mattila 2008).

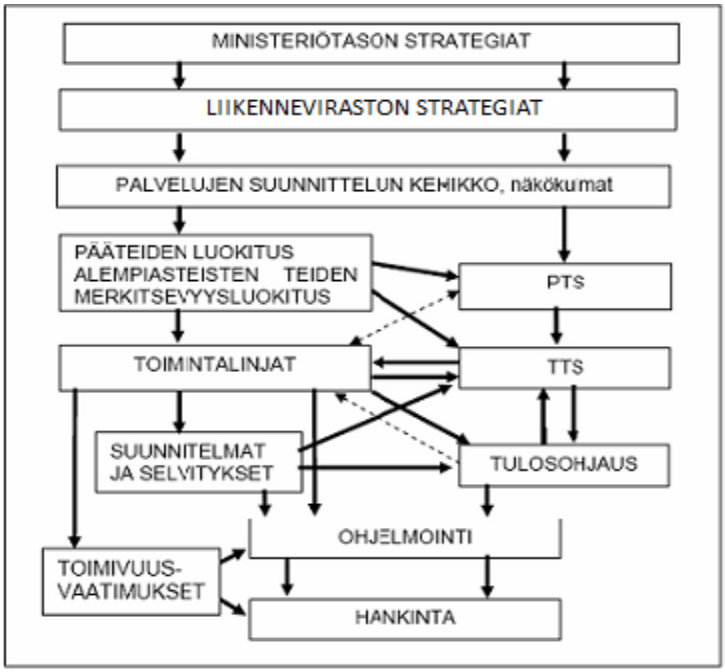
Toinen yleisesti käytössä oleva palvelutasoindeksi on Pavement Condition Index (PCI), jonka ovat kehittäneet Yhdysvaltain armeijan insinöörijoukot (USACE) vuonna 1976. Päällysteestä mitataan vauriot ja pituus- sekä poikkisuuntaiset epätasaisuudet. Näiden perusteella päällysteen kunto arvioidaan asteikolla 0-100. Uutta vastaavassa kunnossa olevan tien PCI arvo on 100 ja minimiarvo on 0. (Metopolitan Transportation Comission 1986).

2.4 Ylläpidon suunnittelu

2.4.1 Verkkotason ohjaus ja suunnittelu

Ylläpidon ohjauksesta vastaa Liikennevirasto. Liikenne- ja viestintäministeriön rooli ohjauksessa on vähäinen, mutta tienpidon vuosittainen rahoituskehys määrätään valtion vuosibudjetissa, jonka pohjalta liikenne- ja viestintäministeriö asettaa Liikennevirastolle

tulostavoitteet. Kuvassa 13 on esitetty ylläpidon ohjauksen periaatekaavio ministeriötasolta ohjelmatasolle. (Tiehallinto 2005a). Ohjelma- ja hanketason suunnittelua käsitellään luvussa 3.



Kuva 13. Ylläpidon ohjauksen periaatekaavio (muokattu lähteestä Tiehallinto 2005a).

Liikenneviraston päällystettyjen teiden ylläpitoon liittyvistä strategioista voidaan mainita ainakin seuraavat strategiat:

- Tienpitostrategian kannalta tärkeintä on säilyttää tiestön liikennekelpoisuus ja nykyinen kunto.
- Hankintastrategiassa painotetaan markkinoilla toimivien urakoitsijoiden ja konsulttien tutkimus- ja kehitystoimintaa, ja päämääränä on siirtyä sitä tukeviin laajoihin ja pitkäkestoisiin hankintamenettelyihin.
- Asiakkuusstrategia painottaa asiakkaiden tarpeen huomioon ottamista ja odotusten riittävää täyttymistä.
- Tiedonhallinnan strategiassa tärkeänä pidetään mm. tiedon tarpeen määrittelyä.

Tienpidon pitkän tähtäyksen suunnitelmalla (PTS) tarkoitetaan tienpidon pitkän aikavälin strategista suunnitelmaa, joka on Liikenneviraston näkemys tienpidon painotuksista ja suuntalinjoista jollain määrätyllä rahoituksella. Suunnitelmassa määritetään valtakunnallisesti muun muassa ylläpidon tarve, suuntalinjat ja rahoituskehykset 4-5 vuoden välein. PTS:n sisältöä tarkennetaan

vuosittain toiminta- ja taloussuunnitelmassa. (Tiehallinto 2005a).

Toiminta- ja taloussuunnitelma (TTS) laaditaan Liikennevirastossa vuosittain liikenne- ja viestintäministeriön antamien ohjeiden mukaisesti ja sen suunnittelu perustuu tienpidon strategioihin. TTS:ssa määritetään tienpidon keskeiset painotukset ja tavoitteet Ely-keskuksissa tapahtuvan toiminnansuunnittelun lähtökohdaksi. Suunnitelma toimii lähtökohtana Ely-keskusten toiminta- ja taloussuunnitelmille. TTS:n pohjalta laaditaan Ely-keskusten kanssa ylläpidon tuotekohtaiset tulostavoitteet, joiden toteutumista seurataan tarvittaessa raportoinnilla ja niistä tehdyillä arvioilla. Ylläpidon tärkeimmät tuotteet ovat päällysteet, tierakenteet, sillat, varusteet ja laitteet sekä liikenneympäristön parantaminen (Tiehallinto 2005b). Ylläpidon ohjauksessa painopistettä pyritään siirtämään tulosohjauksesta toimintalinjoihin, jotka ohjaavat ylläpitoa konkreettisemmin. (Tiehallinto 2005a).

2.4.2 Ylläpidon toimintalinjat

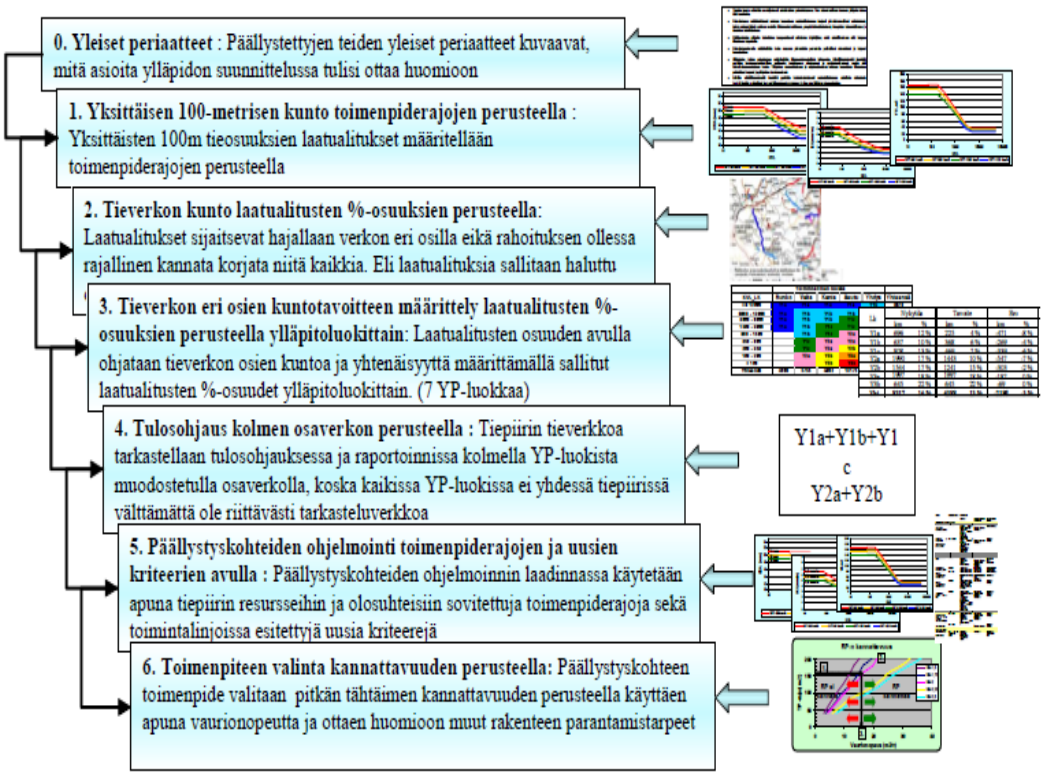
Tiepäällysteiden ja -rakenteiden ylläpidon periaatteet ja linjaukset määritellään päällysteiden ylläpidon toimintalinjoissa. Toimintalinjoissa määritellään palvelutason laatu tieverkon eri osilla, ohjataan maanteiden päällysteiden ylläpitoa sekä teiden rakenteiden peruskorjauksia. Vuonna 2006 laadittujen toimintalinjojen määrittelyssä tärkeimpinä lähtökohtina ovat olleet tiestön rakenteellisen kunnon säilyttäminen nykyisenä. Erityisesti on haluttu painottaa asiakkaiden ja muiden sidosryhmien tarpeisiin ja odotuksiin vastaamista. Näistä keskeisimmiksi on määritelty

- Ihmisten jokapäiväiset liikkumistarpeet
- Elinkeinoelämän kuljetustarpeet
- Alueiden kehitykseen liittyvät tarpeet
- Yhteiskunnan odotukset ja arvostukset
  - liikenneturvallisuus
  - ympäristö
  - taloudellisuus

Päällystettyjen teiden ylläpidon toimintalinjat pohjautuvat kulloinkin voimassa olevaan tienpidon strategiaan ja ne on sovitettu toiminta- ja taloussuunnitelmassa esitettyyn rahoitustasoon. Päällysteiden ylläpidon ohjausperiaate on esitetty kuvassa 14. (Tiehallinto 2006a).

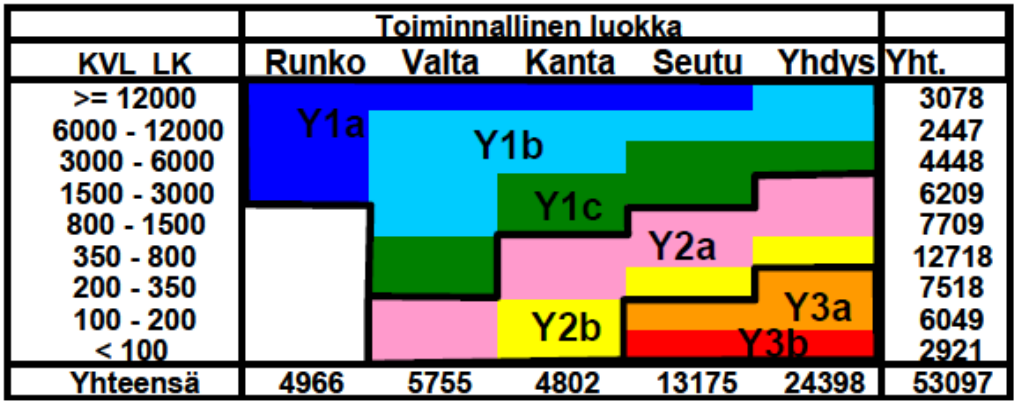
Ylläpidon toimintalinjojen määrittelyssä ja seurannassa käytetään ylläpitoluokkia, toimenpiderajoja ja niiden laatualituksia. Toimenpiderajan ylittyminen 100-metrisellä tiejaksolla katsotaan laatualitukseksi. Tieverkon kuntoa seurataan mittaamalla

laatualitusten osuutta tieverkon pituudesta ylläpitoluokittain.



Kuva 14. Päällysteiden ylläpidon toimintalinjojen ohjausperiaatten kuvaus. (Tiehallinto 2006a).

Tieverkko on jaettu seitsemään ylläpitoluokkaan (kuva 16) keskimääräisen vuorokausiliikenteen ja toiminnallisen luokan mukaan. Yksittäisen tien ylläpitoluokka voidaan muuttaa ylös- tai alaspäin muun muassa raskaan liikenteen määrän, tien nopeusrajoituksen, talvihoitoluokan tai yhteysvälin poikkeavan liikennemäärän perusteella.



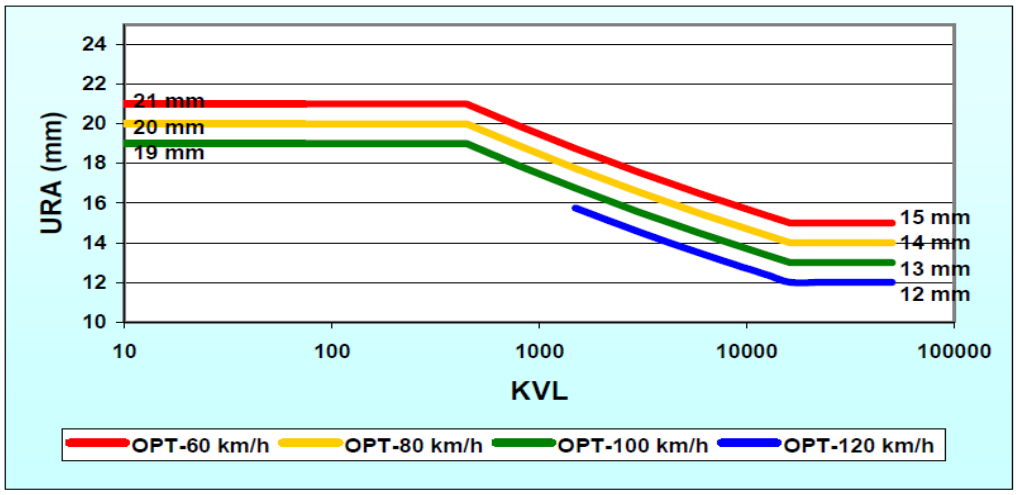
Kuva 16. Yleisperiaatttet ylläpitoluokan määräytymiseen. (Tiehallinto 2006a).

Taulukossa 2 on esitetty tien kuntoluokat urasyvyyden osalta. Tienkäyttäjä voi luokitella urasyvyydet tien ajettavuuden perusteella 3-4 luokkaan: Hyväkuntoisiin, joilla ajettavuus on hyvä, huonoihin, joissa ajaminen on epämukavaa tai vaikeaa, sekä näiden välimuotoihin, joissa urat ovat havaittavissa, mutta eivät vaikeuta ajamista. Lukuarvot urasyvyyden kuntoluokille on esitetty liitteessä A.

Taulukko 2. Urasyvyyden kuntoluokat (Tiehallinto 2007a).

5	Erittäin hyvä	Tasainen, sivukaltevuus kunnossa, urien suhteen lähes uutta vastaavassa kunnossa
4	Hyvä	Urat eivät vaikuta ajonopeuteen eivätkä mukavuuteen, tienkäyttäjä ei huomaa uria
3	Tyydyttävä	Urat havaittavaissa ja ne vaikuttavat sateisella kelillä ajonopeuteen ja ajolinjojen valintaan
2	Huono	Selvästi urautunut, vesiliirron vaara kohtalainen
1	Erittäin huono	Erittäin urautunut, vesiliirron vaara suuri

Vilkkailla maanteillä urasyvyys on keskeinen kuntomuuttuja, jota käytetään päällystesuunnittelussa. Urasyvyyden toimenpiderajat on esitetty kuvassa 15. Toimenpiderajat on asetettu siten, että päällystystoimenpiteet tehtäisiin ajoturvallisuuden, ajomukavuuden ja kustannusten suhteen oikeaan aikaan. 1990-luvulle asti urasyvyyden toimenpideraja oli 20 mm. Tämä raja perustui oikolautamittausmenetelmään eikä se ole suoraan vertailukelpoinen nykymuotoisten kuntomittausten kanssa. (Virtala et al. 1996). Vertailun vuoksi Ruotsin vastaavat toimenpiderajat on esitetty taulukossa 3. Ruotsissa sallitaan huomattavasti korkeammat toimenpiderajat vähäliikenteisillä teillä, ja vilkasliikenteisilläkin teillä urat saavat olla hieman syvempiä kuin Suomessa. Norjassa toimenpiderajana käytetään määritelmää, jonka mukaan yhtenäisellä tiejaksolla 25 mm urasyvyyden ylittävää osuutta ei saa olla enempää kuin 10 % (Sund 2011).



Kuva 15. Urasyvyyden toimenpiderajat päällystetyillä teillä (Tiehallinto 2006a).

Taulukko 3. Urasyvyyden toimenpiderajat Ruotsissa. (Lang 2010).

	Nopeusrajoitus (km/h)							
KVL (Ajon./d)	**120**	**110**	**100**	**90**	**80**	**70**	**60**	**50**
0-250	-	18	18	24	24	30	30	30
250-500	-	18	18	22	22	27	27	27
500-1000	-	18	18	20	20	24	24	24
1000-2000	-	15	16	17	18	20	21	21
2000-4000	13	13	14	14	16	16	18	18
>4000	13	13	14	14	16	16	18	18

Kaikkien toimenpiderajan ylittävien kohteiden uudelleenpäällystämiseen ei ole resursseja ja yksikkökustannukset kasvavat, kun päällystettävien kohteiden keskimääräinen kohdepituus pienenee. Tästä syystä tieverkolla sallitaan tietty määrä laatualituksia eri ylläpitoluokissa (taulukko 4). Vuonna 2006 laatualitusten määrä oli noin 16 % päällystetyistä teistä ja tavoite oli vähentää laatualitusten määrää 12,5 %:iin. Toimintalinjojen mukaisesti ylläpidon painotusta siirretään vilkasliikenteisille teille, jolloin kaikkein vähäliikenteisimmillä teillä tien keskimääräinen kunto ei parane.

Taulukko 4. Laatualitusten määrä ennen vuotta 2006 ja tavoitetilanteessa. (Lähde: Tiehallinto 2006a).

Ylläpito luokka	Nykytila		Tavoite		Ero	
	Km	*%*	*Km*	*%*	*Km*	*%*
Y1a	696	12	225	4	-471	-8
Y1b	637	10	368	6	-269	-4
Y1c	808	13	469	7	-339	-6
Y2a	1990	17	1241	15	-547	-7
Y2b	1544	17	1241	15	-303	-2
Y3a	1997	18	1997	18	0	0
Y3b	645	22	645	22	0	0
Yht.	8317	16	6388	13	-1929	-3

3 Päällystysohjelmointi

3.1 Yleistä

Kehittyneissä maissa tieverkkoa laajennettiin nopeasti toisen maailmansodan jälkeen, jolloin tarve kasvavan tieomaisuuden tekniseen ja taloudelliseen hallinnointiin kasvoi. Pohjois-Amerikassa kehitettiin 1960-luvun puolivälin jälkeen järjestelmä päällysteiden ominaisuuksien mallintamisen, suunnittelun, hoidon sekä ylläpidon kehittämiseen hanketasolla. Tällaista päällysteiden teknisen ja taloudellisen hallinnan yhdistävää järjestelmää kutsutaan Pavement Management Systemiksi (PMS). AASHTOn mukaan päällysteiden hallinnointi käsittää laajimmillaan kaikki julkisen sektorin päällystetoimenpiteet: suunnittelun, rakentamisen, hoidon, ylläpidon ja rahallisen arvioinnin, jolloin PMS mahdollistaa tämän prosessin järjestelmällisen hallinnoimisen. (Haas 2001, AASHTO 1993).

Tieverkon kehittymisen lisäksi muita merkittäviä kehitysaskeleita PMS:n kehityksessä ovat Haasin mukaan teknologian ja taloudellisen ajattelun kehittyminen. Teknologian kehityksessä tärkeitä virstanpylväitä ovat olleet muun muassa suunnittelusovelluksien kehittäminen 1960-luvulta lähtien, automaattisten kunto-mittausmenetelmien käyttöönotto 1970-luvulla sekä paikkatiedon ja kuntotiedon yhdistäminen 1980-luvulta alkaen. Kuntotiedon lisäksi tien kuntokehityksen mallintamisella on tärkeä osuus PMS:n kehittymisessä. Tarkkojen kuntoennustemallien laatiminen on ollut yksi PMS:n suurimmista haasteista ja tutkimuksenaloista 1960-luvulta lähtien. Unohtaa ei sovi myöskään päällyste- sekä hoito- ja ylläpitotekniikassa tapahtuneita keksintöjä, joilla on ollut merkittävä vaikutus tieomaisuuden kehittymiseen. (Haas 2001).

Kun tieverkon laajeneminen 1960-luvun lopulla hidastui, painopiste siirtyi uudisrakentamisesta olemassa olevaan tieverkoston ylläpitoon. Samalla tarve kustannustehokkaaseen hoito- ja ylläpitostrategiaan kasvoi. Elinkaarikustannusanalyysi kehitettiin 1970-luvun alussa, ja se otettiin käyttöön sekä hanke- että verkkotason ohjelmoinnissa. Samoihin aikoihin kehitettiin myös yhteys ajoneuvokustannusten ja päällysteen kunnon välille ja sitä hyödynnetään nykyisin useissa järjestelmissä. Taloudellisessa mielessä merkittäviä virstanpylväitä ovat 1980-luvun jälkeen olleet muun muassa PMS:n yhdistäminen muihin yhdyskuntatekniikan hallintajärjestelmiin sekä liikennemäärien kasvusta johtuvat muutokset päällysteiden suunnitteluun ja elinkaareen. Päällysteiden hallinnoinnissa on 1990-luvun puolivälin jälkeen korostunut myös tiepääoman arviointi. (Haas 2001).

Verkkotasolla merkittävimpiä kehitysaskeleita on otettu 1990-luvulla, kun päällysteiden hallintajärjestelmien pohjalta on kehitetty myös muun infrastruktuurin hallintajärjestelmiä sekä yhdistetty näitä (Hudson 1997). Myös ympäristön huomioiminen korostui 1990-luvulla, mikä on merkittävästi vaikuttanut hoito- ja ylläpitostrategioihin ja erityisesti elinkaarimalliajatteluun. Viime vuosikymmenten aikana alkanut maailmanlaajuinen suuntaus teiden ja tieverkkojen yksityistämiseen muuttanee hallinnan konseptia, sillä PMS on kehitetty lähinnä julkisen sektorin tarpeisiin. (Haas 2001).

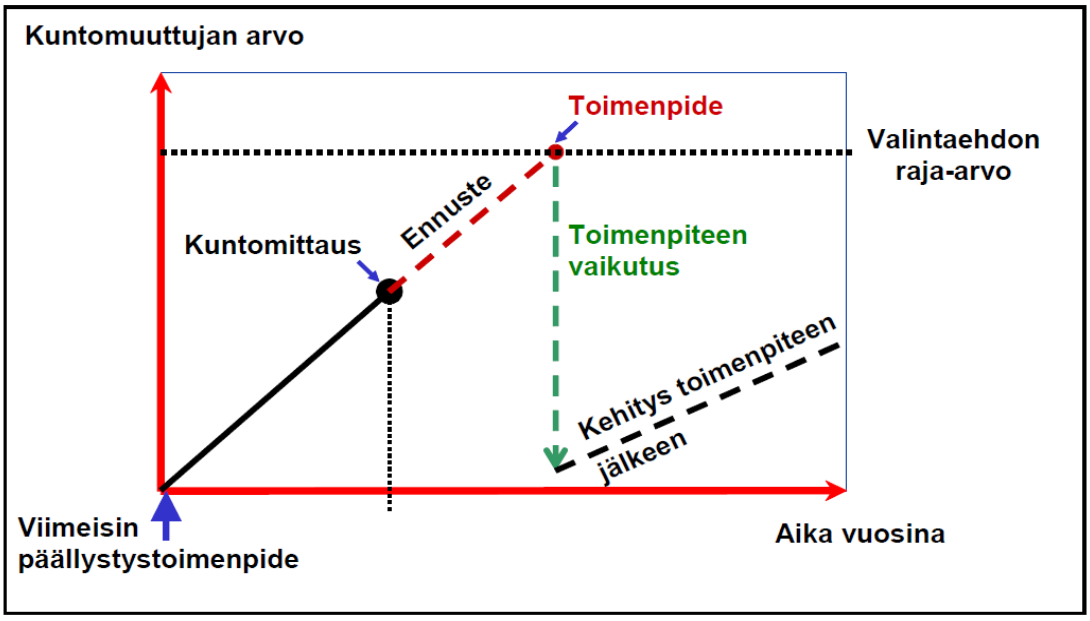
Suomessa Tiehallinto on kehittänyt päällysteiden ylläpidon järjestelmää 1970-luvun lopulta lähtien. Ensimmäiset tietokonepohjaiset järjestelmät tulivat käyttöön vuoden 1985 tienoilla. Kuntotietoa on kerätty palvelutasomittausautoilla vuodesta 1991 lähtien. Järjestelmä koostuu kuntotietorekisteri KURRE:sta, tierekisteristä ja ohjelmatason suunnitteluun käytettävästä PMSpro:sta. Lisäksi koko tieverkon pitkän tähtäyksen kuntokehityksen ja rahoitustarpeiden analysoimiseksi on käytetty HIPS-mallia, jonka puutteiden ja ominaisuuksien pohjalta on kehitetty uutta PYRO-mallia (Sikow et al. 1994; Mattila 2008; Liikennevirasto 2011b).

Uudella PYRO-mallilla (Päällysteiden Ylläpidon Rahoitustarpeen Optimointi) pyritään korvaamaan aikaisempien järjestelmien puutteet päällystetyn tieverkon ylläpidon pitkän aikavälin analysoimiseksi. Tärkeimpiä uusia ominaisuuksia ovat toimenpideketjujen sekä päällystyskohteiden peittoprosentin mallintaminen, rappeutumisen arviointi ja teknisesti kevyempi toteutus. Peittoprosentti asfalttibetonipäällysteisillä teillä on nykyisin noin 30 % ja SMA-pintaisilla teillä 35-40 %. Toimenpideketjujen mallintamisessa huomioidaan, että uusiomenetelmien lisäksi on käytettävä myös raskaampia toimia. Peittoprosentin mallintamisessa huomioidaan, että päällystystoimia tehdään myös hyväkuntoisille tieosuuksille. Rappeutumista arvioidaan keskimääräisen uusimisvälin ja peittoprosentin avulla. Lisäksi myöhemmässä vaiheessa on tavoitteena rakentaa malliin työkalu Ely-keskusten päällystysrahojen jako-osuuksien tarkasteluun. (Liikennevirasto 2011b)

3.2 Päällystysohjelman laadinta

Päällysteiden ylläpidon toimintalinjoissa määritetyt kuntotavoitteet ja tieomaisuuden arvon säilyminen pyritään turvaamaan tehokkaalla päällystysohjelmoinnilla. Kuntomittauksilla etsitään tieverkolta kohteet, jotka ovat kunnossapidon tarpeessa. Toimenpiderajan ylittävät kohteet uudelleenpäällystetään tai niiden rakennetta

parannetaan määrätyn budjetin rajoissa. Päällystysohjelmoinnin tuloksena syntyy päällystysohjelma, joka on kohdeluettelo ylläpitotoimista ja niiden ajankohdasta. Ensisijaisesti päällystyskohteet valikoituvat kuntomittausten, kuntoennusteen ja valintaehdon raja-arvon eli toimenpiderajojen perusteella (kuva 17). Edellisen toimenpiteen ja uusimman mittauksen perusteella kuntomuuttujalle lasketaan kuntoennuste, jolla voidaan arvioida tulevaisuutta. Toimenpiderajan ylityttyä, tai jos toimenpideraja ylittyy ennusteen mukaan aikana, jolle päällystysohjelma laaditaan, kohde uudelleenpäällystetään tai sen rakennetta parannetaan. (Männistö 2009). Eri toimenpiteet ja työmenetelmät asfalttibetonipäällysteille on esitetty taulukoissa 5 ja 6.



Kuva 17. Kunnonhallintaprosessin perusvaiheet (Männistö 2009).

Taulukko 5. AB-tyyppiset toimenpiteet. (Tiehallinto 1997).

Toimenpide	Kuvaus	Käyttökohde
ABRP	Rakenteen parantaminen	Urien ja vaurioiden, sekä muiden merkittävien kuntopuutteiden korjaukseen
ABMP1	Päällystys	Urien poistamiseen sekä pieniin tasaisuuden parantamistarpeisiin. Massaa lisätään 80-110 kg/m^2
ABMP2	Paksu päällystys	Urien poistamiseen ja /tai vaurioiden sekä myös kantavuuden tai tasaisuuden pieniin parantamistarpeisiin. Massaa lisätään vähintään 120 kg/m^2. SMA- ja kovan kiven päällysteille.
ABPIN1	Pintaus	Urien poistamiseen. Massaa lisätään alle 80 kg/m^2
ABPIN2	Pintaus	Urien poistamiseen SMA-päällysteillä.
UREM	Urapaikkaus	Urien poistamiseen remix-menetelmällä

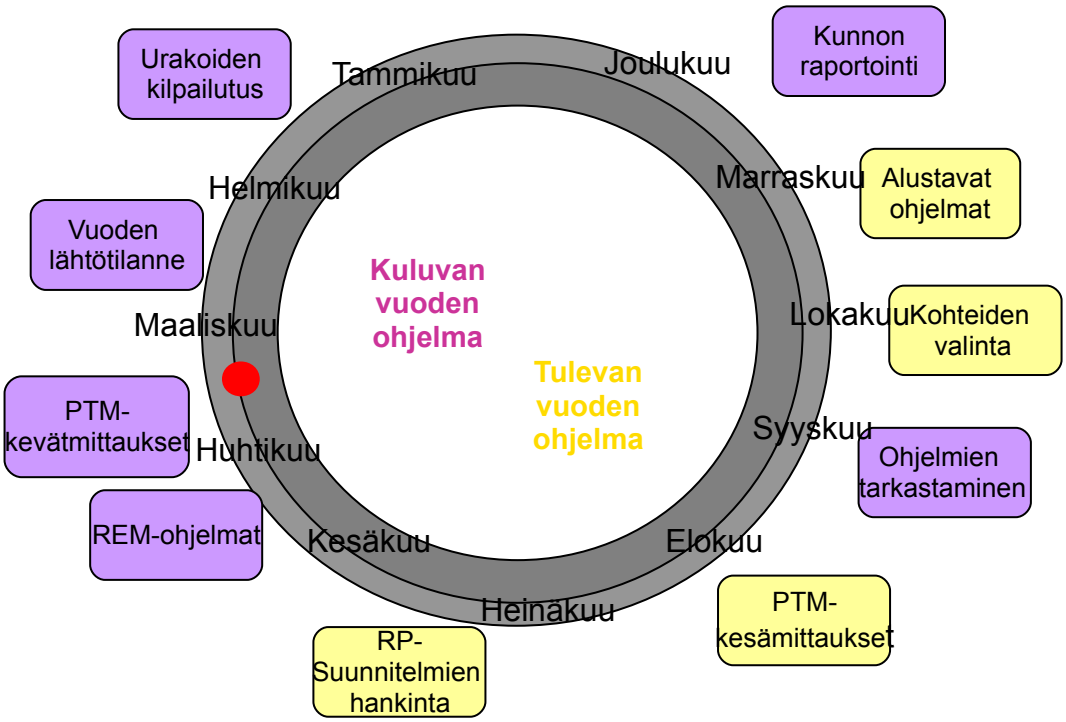
Taulukko 6. Työmenetelmät AB-tyyppisille toimenpiteille (Tiehallinto 1997).

ART	ART-pintaus, uusiopäällysteen valmistusmenetelmä, jossa vanhalle päällysteelle levitetään karkeaa kiviainesta. Tämän jälkeen päällste kylmäjyrsitään niin, että lisäkiviaineksen ja jyrsintärouheen sekoitus jää tasaiseksi nauhaksi keskelle päällystyskaistaa
HJYR	Hienojyrsintä, urautunut päällyste jyrsitään urien pohjien tasoon
LTA	Tasatulle alustalle rakennettava tasapaksu päällystelaatta
MP	Massapintaus, tasaamattomalle alustalle rakennettava AB-päällyste
MPKJ	Massapintaus kuumalle, kuumajyrsitylle alustalle
REM	Remix-pintaus, uusiopintausmenetelmä, jossa vanha päällyste kuumennetaan, jyrsitään irti, sekoitetaan uuden massan kanssa ja levitetään takaisin tielle
REM+	Kaksikerroksinen remix-pintaus, jossa uusiopintaus levitetään alle ja lisämassa päälle
UP	Urapaikkaus, tehdään valuasfaltilla tai asfalttibetonilla
UREM	Urapaikkaus, jossa urat kunnostetaan uusiomassalla

Vuosittaisen päällystysohjelman toteutus limittyy tulevan vuoden ohjelman laadinnan kanssa (kuva 18). Seuraavan vuoden alustava kohteiden valinta ja ohjelma laaditaan loka- marraskuun aikana ja päällystysohjelman pohjan muodostavat toimenpiderajan ylittävät kohteet, mutta lopullisessa ohjelmassa on otettava huomioon myös muita näkökulmia, kuten asiantuntijoiden mielipiteet, maastokäynnit, tienkäyttäjien asiakaspalautteet, liikenneturvallisuus ja hankinnan näkökulma. Kohde-ehdokkaiden sijoittaminen kartalle helpottaa päällystysohjelman laatimista, kun pitkiä runkokohteita voidaan täydentää lyhyemmillä kohteilla, jotka sijaitsevat näiden lähellä. Näin syntyy säästöjä, kun kaluston siirtomatkat ja kuljetukset lyhenevät. Myös kiviainespaikkojen sijainti lähellä päällystyskohteita alentaa tuotantokustannuksia, mutta tilaajan mahdollisuudet vaikuttaa tähän ovat vähäiset. Päällysteiden hankintaa käsitellään tarkemmin luvussa 3.3.

Liikenneturvallisuuden ja asiakaspalautteiden perusteella päällystysohjelmaan on otettava kohteita, jotka eivät välttämättä valikoituisi ohjelmaan lyhyen kohdepituutensa tai kuntomuuttujien arvon perusteella. Tienkäyttäjät antavat palautetta erityisesti yksittäisistä vaurioista, kuten painumista ja päällysteen- tai väliaikaisten paikkausten purkautumisista. Päällysteen huonosta yleiskunnosta tulevat palautteet koskevat useimmin vähäliikenteisiä

teitä. Vilkasliikenteisiä teitä koskevat palautteet käsittelevät usein ramppien huonoa kuntoa, painumia siltojen liikuntasaumakohdissa tai uuden päällystystyön huonoa laatua. Liikenneturvallisuutta vaarantavien, yksittäisen ja lyhyiden kohteiden osuus koko päällystysohjelmasta on kasvanut, kun ylläpidon rahoitusta on vähennetty ja näin mahdollisuudet ohjelman taloudelliseen optimointiin ovat vähentyneet. (Annala et al. 2010; Liikennevirasto 2010b).



Kuva 18. Päällystysohjelmoinnin vuosikello. (Männistö 2009).

3.3 Päällysteiden hankinta

Ylläpidon hankinta perustuu Liikenneviraston hankintastrategiaan ja päällystettyjen teiden ylläpidon toimintalinjoihin. Hankintastrategian tavoitteina on varmistaa tavoiteltu palvelutaso, laatu sekä luoda edellytyksiä Liikenneviraston ja palveluntuottajien hankintatoimen tuottavuuden parantamiselle. Lisäksi tavoitteena on toteuttaa osa ylläpidon hankinnoista palvelusopimuksina eli monivuotisina sopimuksina, joiden aikana palveluntuottaja toimittaa tilaajalle sovittuja palveluita. Nykyisin päällysteiden ylläpidon tuotteet hankitaan useimmiten erillisurakoina, lukuun ottamatta päällystyskohteisiin kuulumattomia yksittäisiä päällysteiden paikkauksia ja tien reunan mursketäyttöjä, jotka hankitaan hoidon alueurakoissa. Hankintastrategian tavoitteiden mukaisesti palvelusopimusten ja kestoikäurakoiden määrää pyritään lisäämään.

Lisäksi kokeiltavana on uusi koosteurakkamalli (Tiehallinto 2005a; Taipale 2007;Tiehallinto 2009b; Dietrich 2011).

Valmiista päällystysohjelmasta muodostetaan urakoita alueellisesti, päällystetyypin tai toimenpiteen mukaan. Urakoiden lukumäärä koko Suomessa on noin 20, mikä tarkoittaa noin kahta urakkaa Ely-keskusta kohden (Männistö 2009). Ylläpidon rahoituksen vähentyessä urakoiden kokonais- ja keskipituus on laskenut, rakenteenparantamisohjelmat ovat pudonneet puoleen. Lisäksi uusiopintausten osuus päällystysohjelmista on kasvanut noin 10 % (Tiehallinto 2009a).

Tiehallinto (Tiehallinto 2009b) on selvittänyt ylläpitourakoiden optimaalista sisältöä ja laajuutta, sekä tilaajan ja urakoitsijan näkemyksiä ylläpidon hankinnan tehostamisesta. Molemmat osapuolet pitävät yksi- tai kaksivuotisia urakoita kestoiltaan parhaina. Pidempikestoisten urakoiden hyötyinä nähdään työsuunnittelun ja resurssoinnin tehostuminen ja haittoina hinnoitteluriskit sekä kilpailutettavien urakoiden vähentyminen. Urakan pituuden tulisi olla vähintään 1,5 km tai yhden viikon työpituudella kerrannainen kohdepituus. Urakoitsijoiden mukaan kohdepituudella on huomattava vaikutus kustannuksiin. Esimerkiksi kymmenen yhden kilometrin pituisen kohteen uudelleenpäällystys tulee jopa 40 % kalliimmaksi kuin yhden 10 kilometrin pituisen kohteen päällystys.

Kestoikäurakassa urakoitsija valitsee päällystetyypin, määrittelee kohteiden päällystystoimenpiteen ja tarjoaa päällysteelle tietyn kestoiän. Kestoikä tarkoittaa tässä vuosimäärää, jona päällysteen maksimiurasyvyys on alle 15 mm. Urakan takuuaika on kolme vuotta, jonka jälkeen päällysteen kestoikä arvioidaan takuuajan urautumisen perusteella. Urakan lopulliseen hintaan vaikuttaa urakoitsijan kestoikäarvion toteutuminen: jos päällysteen kestoikä on arviota suurempi, urakoitsija saa bonusta ja kestoiän ollessa arviota pienempi urakalle lasketaan arvonvähennys. (Taipale 2007).

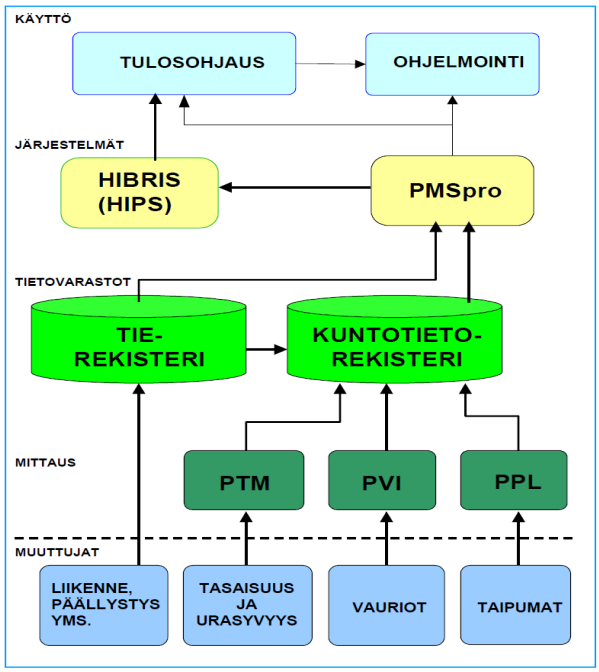
Palvelusopimusmallissa palveluntuottaja tuottaa tilaajalle sopimuksen piiriin kuuluvia palveluita (Tiehallinto 2006b). Sopimusmallit on jaettu aluemalliin, kuntovastuumalliin, kumppanuusmalliin sekä hybridimalliin. Aluemallissa palveluntuottaja sitoutuu ylläpitämään sopimusalueen päällystetyt tiet kuntovaatimusten mukaisessa kuntotilassa koko sopimuskauden ajan. Kuntovaatimukset koskevat päällystettä ja rakenteellista kuntoa. Kuntovastuumallissa palveluntuottaja vastaa vain päällysteen kunnosta ja tilaaja maksaa urakoitsijalle sopimusaikana tasasuuruisia palvelumaksuja.

Kumppanuusmallissa päällystyskohteet, toimenpiteet ja päällystysajankohdat laaditaan tilaajan ja palveluntuottajan yhteistyönä. Ylläpitotöistä maksetaan palveluntuottajalle työsuoritusten mukaan. Käytettävissä oleva rahoitus vaihtelee vuosittain sopimuksen aikana. Hybridimalli on kuntovastuu- ja kumppanuusmallin yhdistelmä Sopimukseen kuuluvalle tiestölle on asetettu kuntovaatimukset ja alempaa tieverkkoa ylläpidetään kumppanuusmallin mukaisesti. Palveluntuottajalle maksetaan kiinteää ja suoriteperusteista palvelumaksua. (Dietrich 2011).

Pidemmät kohdepituudet ja kiviainesasemien läheisyys lisäävät päällystysurakoiden tuotantotehokkuutta, kun kaluston ja materiaalin siirtomatkat lyhenevät. Tätä varten on kehitetty uusi koosteurakkamalli, jossa kaikki uudelleenpäällystyskohteet kilpailutetaan samassa tarjouspyynnössä. Urakoitsijat antavat haluamilleen työkohteille kohdekohtaiset hinnat ja kohteiden urakoitsijat valitaan kaksivaiheisella prosessilla. Esivalinnassa kohteelle edullisimman tarjouksen tehnyt urakoitsija voittaa kohteen. Esivalinnassa voitettujen kohteiden tarjoussumma on urakoitsijan urakkakokonaisuus. Tilaaja voi rajata tarjouspyynnössään urakoiden maksimilukumäärän, esimerkiksi 2 kpl, jotta ei muodostuisi tilaajan kannalta liikaa urakoita, tai urakoitsijan kannalta liian pieniä urakkakokonaisuuksia. Näin seuraavaan vaiheeseen valitaan urakkakokonaisuudeltaan kaksi suurinta urakoitsijaa. Toisessa vaiheessa urakoitsijoiden urakkakokonaisuuteen lisätään ne kohteet, jotka eivät sisältyneet kummankaan urakkakokonaisuuteen. Edellisten vuosien tarjouspyyntöaineistolla tehdyillä laskelmilla havaittiin, että koosteurakkamallilla voidaan säästää noin 2 % urakoiden yhteiskustannuksissa verrattuna perinteisiin urakkamalleihin. (Tiehallinto 2009b).

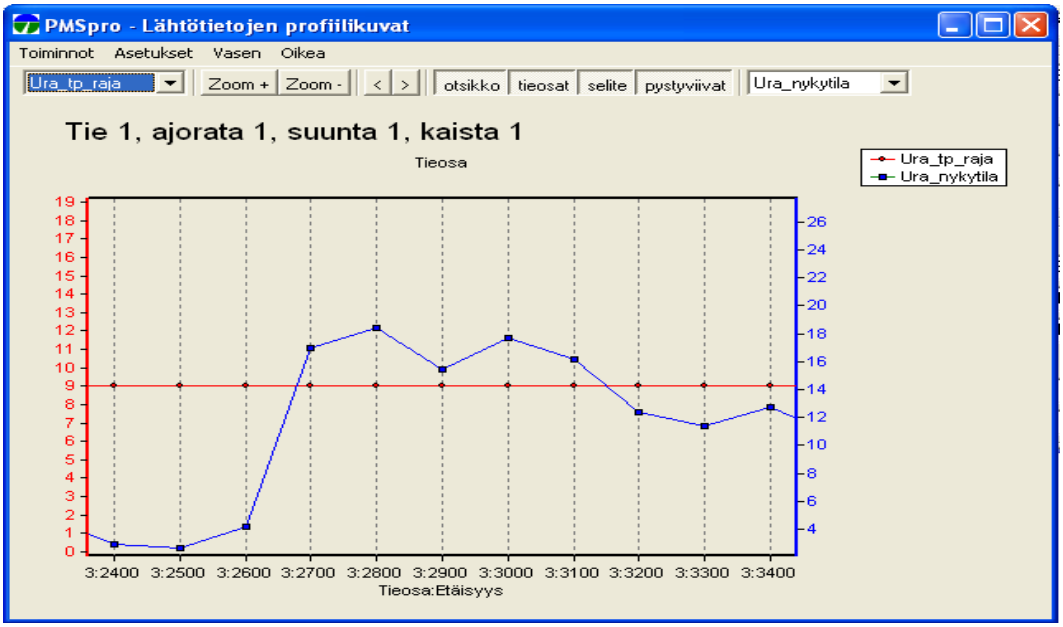
3.4 Päällystysohjelmointijärjestelmä PMSpro

Päällystysohjelmointijärjestelmä PMSpro on kehitetty valtion ylläpitämän tieverkon tarpeisiin. Järjestelmää käytetään apuna Ely-keskuksissa päällystysohjelman suunnittelussa yhdeksi tai useammaksi vuodeksi. Lisäksi järjestelmää käytetään tiestön kunnon ja tienpidon tavoitteiden seurantaan ja ennustamiseen. PMSpro on osa ylläpidon järjestelmää, johon kuuluvat Tierekisteri, Kuntotietorekisteri ja yksityiskohtaisemmat suunnitteluohjelmat (kuva 19). Päällystysohjelmoinnin kannalta ohjelman tärkeimpiä osia ovat lähtötiedot, kohdesuositukset ja kuntoennusteet. (TietoEnator 2009).



Kuva 19. PMSPro:n suhde muihin järjestelmiin (Männistö 2009).

Ohjelman lähtötietoina käytetään kuntotietorekisterin (KURRE) ja tierekisterin tietoja (taulukko 7). Taulukkomuodon lisäksi tieosuuksia voidaan tarkastella profiilikuvina (kuva 20). Joistakin tieosuuksista on saatavilla vain osa lähtötiedoista, ja kuntomuuttujien mittaustiheys vaihtelee suuresti eri tieverkon osilla. Esimerkiksi urasyvyys mitataan pääteillä ja muilla vilkasliikenteisillä teillä joka vuosi, kun muiden päällystettyjen teiden urasyvyys mitataan joka kolmas vuosi (Tiehallinto 2004).



Kuva 20. Tieosuuden urasyvyyden profiilikuva.

Taulukko 7. PMSpro:n lähtötiedot. (Muokattu lähteestä TietoEnator 2009, Männistö 2009).

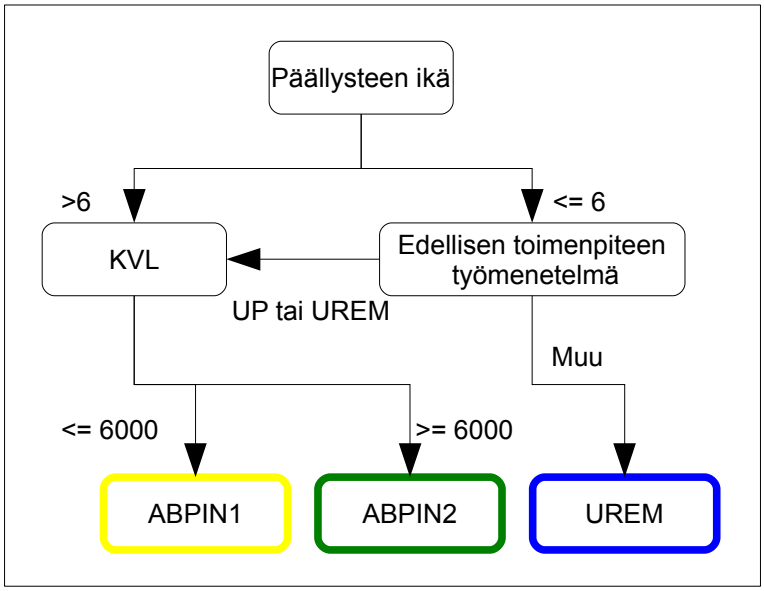
Tierekisteri	• Tieosoitetiedot	- Tienumero, tieosanumero, ajoratanumero, kaistanumero, suuntakoodi, pituus
	• Liikennemäärätiedot	- KVL, KVL-kaista, raskas KVL, KKL
	• Aluetiedot	- Tiepiiri, kunta, maakunta
	• Leveystiedot	- Päällysteleveys, ajorataleveys, tien leveys
	• Luokittelutiedot	- Kunnossapitoluokka, toiminnallinen luokka, ylläpitoluokka, runkoverkkoluokka
	• Päällystetiedot	- Päällysteluokka,päällystetyyppi, päällysteen paksuus, päällysteen ikä
	• Päällystystoimenpidetiedot (3 kpl)	- Pvm., päällystetyyppi, työmenetelmä, massamäärä, uusio%
	• Rakenteenparantamistiedot	- Pvm., alustamenetelmä
KURRE	• Uramittaustiedot	- Pvm. , urakeskiarvo, urakehitys
	• Tasaisuusmittaustiedot	- Pvm., IRI-keskiarvo, IRI-kehitys
	• Vauriomittaustiedot	- Pvm., vaurio-osuus, vauriokehitys, vauriotyypit

Lähtötietojen ja kuntoennusteiden perusteella ohjelma antaa käyttäjän haluamalle aikavälille kohdesuosituksia, jotka ovat uudelleenpäällystys- tai rakenteenparantamisen tarpeessa. Ohjelman antamaan alustavaan kohdeluetteloon vaikuttavat toimenpiderajat, toimenpiteiden valintaehdot, ennustemallit kuntomuuttujille, sekä kohteiden yhdistelyparametrit. Tieosuus valitaan alustavaan kohdeluetteloon, jos valintaehtojen raja-arvo eli toimenpideraja ylittyy. Toimenpiderajat voidaan määritellä seuraaville kuntomuuttujille:

- Tasaisuus
- Ura
- Vaurio-osuus
- Harjanne

- Pituusheitot
- Sivuttaisheitot
- Suurin heitto

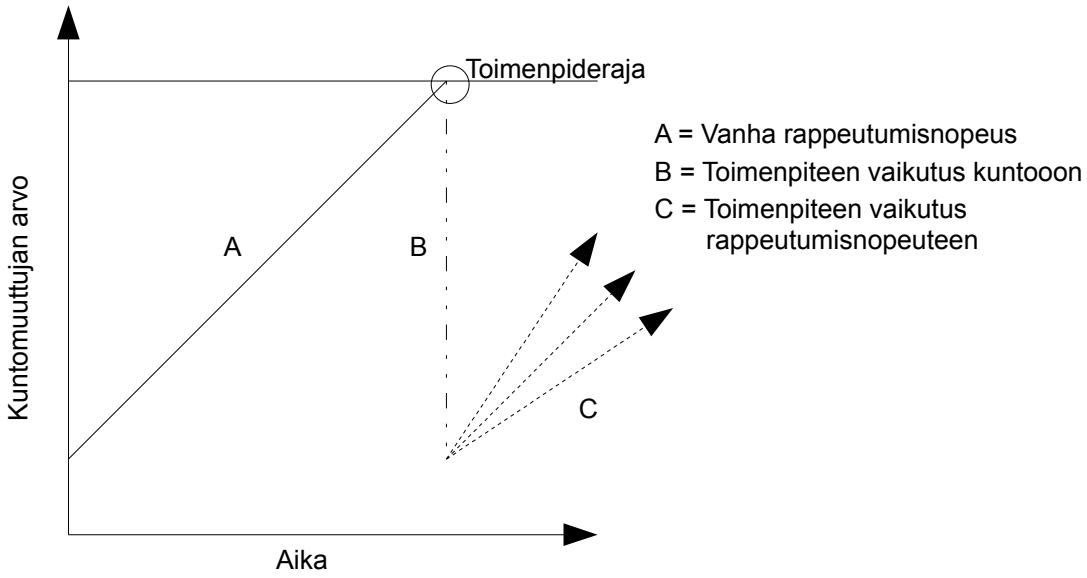
Toimenpiderajan ylittävälle kohteelle valitaan toimenpide, joka täyttää kohteen lähtötietoihin perustuvat ehdot. Urasyvyyden toimenpiderajan ylittävien kohteiden toimenpiteet määräytyvät kuvassa 21 esitettyjen ehtojen perusteella. Näiden toimien kilometrihinnat on esitetty taulukossa 8. Eri toimenpiteet vaikuttavat eri tavalla kuntomuuttujan arvoon ja toimenpiteen jälkeiseen rappeutumisnopeuteen (kuva 22). Urautumisen perusteella tehtävät päällystystoimenpiteet poistavat urat ja tuleva rappeutumisnopeus noudattaa oletuskehitystä tai aikaisempaa urautumisnopeutta.



Kuva 21: Toimenpiteen valikoituminen urautumisen perusteella kestopäällysteisillä teillä.

Taulukko 8. PMSpro:n kilometrihintoja uran poistaville uudelleenpäällystystoimenpiteille. (TietoEnator 2009).

Toimenpide	Kustannus (€/km)
ABPIN1	15 600
ABPIN2	20 800
UREM	7200



Kuva 22. Kunnonhallintaprosessin vaiheet. (Muokattu lähteestä Tiehallinto 2005c).

Eri muuttujille laaditaan kuntoennuste mallien perusteella. Uramalli muodostuu kolmesta osasta: Ekstrapolointimallista, oletusmallista sekä minimi- ja maksimikehityksestä. Ekstrapolointimalli kuvaa urakehitystä kahden millimetrin alku-uran ja uusimman mittaustuloksen perusteella (kaava 2). Oletusmallia (kaava 3) käytetään, kun kohteesta ei ole mittaustietoa. Lisäksi urautumiselle on määrätty minimi- ja maksimikehitys.

Ekstrapolointimalli: $$dURA = [\,URA(t) - 2\,] \;/\; ikä(t) \qquad (2)$$

Oletusmalli: $$dURA = -3{,}34 + 0{,}57 \cdot \ln(KVL - kaista) \qquad (3)$$

missä

$dURA = urasyvyyden\ muutos\ vuodessa$
$URA(t) = urasyvyys\ vuonna\ t\,(mm)$
$ikä(t) = ikä\ vuonna\ t\,(vuosia)$
$KVL - kaista = kaistan\ keskimääräinen\ vuorokausiliikenne$
$\ln = luonnollinen\ logaritmi$

Minimikehitys: 0 mm/vuosi

Maksimikehitys: 2,8 mm /vuosi + oletusmalli

Mallin selitysaste (R^2) = 0,06. (Tiehallinto 2005c).

PMSpro:ssa käytettävässä uramallissa on liian vähän tekijöitä, eikä niiden avulla pystytä ennustamaan urakehitystä riittävän tarkasti. Myös mallin alhainen selitysaste osoittaa, että mallilla ei saavuteta tarkkaa ennustetta. Urautumisen mallintamisessa ei ole selvitetty riittävästi urautumisprosessia, kuten nastarengaskulumisen ja

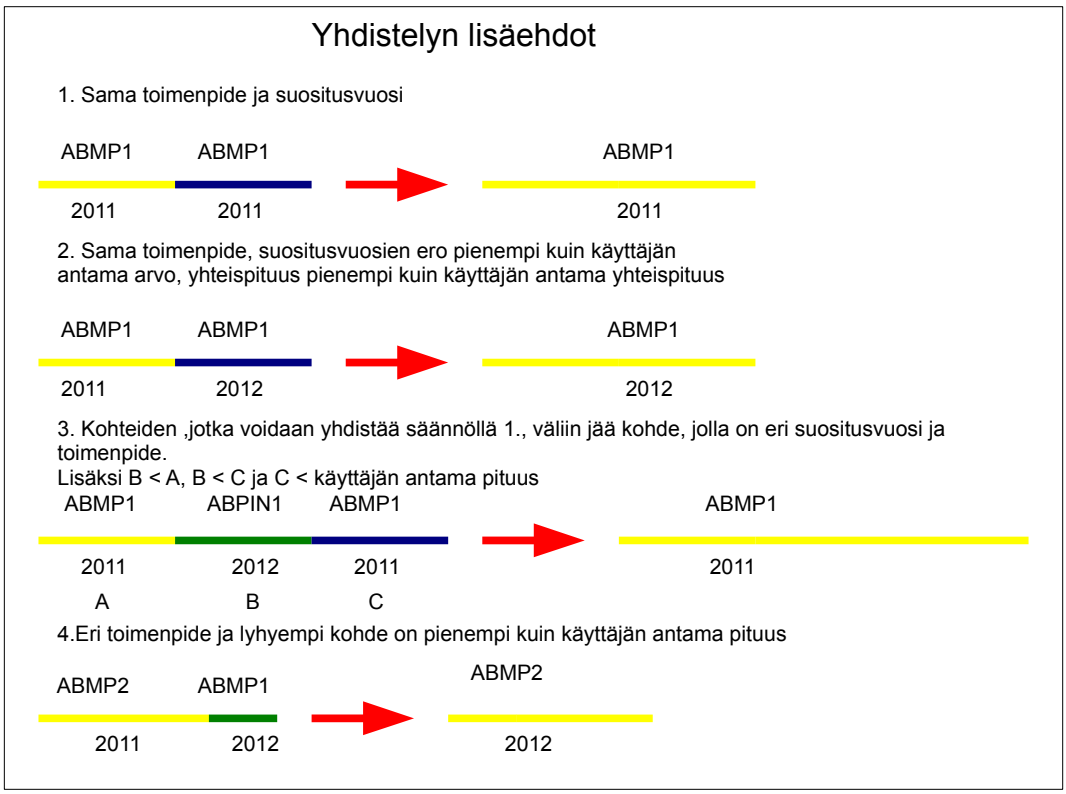
deformaation välistä suhdetta. Lisäksi nastarengaskulutuksessa on tapahtunut viime vuosikymmenen aikana suuria muutoksia, jotka pitäisi ottaa huomioon urautumismallissa. (Tiehallinto 2009c).

Ruotsissa ennustemallit laaditaan aikasarjojen ja lineaarisen regression perusteella. Tiestö on jaettu homogeenisiin jaksoihin leveyden, nopeusrajoituksen ja päällystekerrosten mukaan. Jaksojen keskipituus on 300 metriä. Jokaiselle jaksolle laaditaan aikasarja , joka sisältää kaiken mittaustiedon edellisestä raportoidusta toimenpiteestä alkaen. Aikasarjoja käytetään mittausvirheiden ja raportoimattomien toimenpiteiden löytämiseksi. Mittaustiedot luokitellaan luotettavuuden mukaan kuuteen luokkaan kolmen uusimman mittauksen perusteella:

0. Epävarma.
1. OK.
2. Odottamattoman alhainen arvo
3. Odottamattoman korkea arvo.
4. Kevyt toimenpide, jota ei ole raportoitu.
5. Raskas toimenpide, jota ei ole raportoitu.

Aikasarjojen perusteella laaditaan lineaarinen ennustemalli samaan tapaan kuin Suomessa: Kuntomuuttujan arvo muodostuu alku-arvosta sekä vuosittaisen muutoksen ja päällysteen iän tulosta. Jos käytettävissä on mittaustietoa useammilta vuosilta, ennustemalli laaditaan lineaarisella regressiolla. Eri mittaustuloksille annetaan painoarvo siten, että 20 vuotta vanha mittaus saa painokertoimen nolla ja uusin mittaus painokertoimen 1. Langin (2001) käyttämässä esimerkkiaineistossa mallin selitysaste on 0,7355. (Lang 2001).

Toimenpidetarpeessa olevat tieosuudet yhdistellään yhdistelyehtojen mukaisesti pidemmiksi tieosuuksiksi. Perusehtoja yhdistelylle ovat sama tienumero, ajorata, suunta, kaista ja päällysteluokka- tai tyyppi. Yhdisteltävien osuuksien on oltava peräkkäisiä, niiden yhteenlaskettu pituus ei saa ylittää käyttäjän määrittämää enimmäispituutta, eikä ajoratalukumäärä saa vaihtua. Jos käyttäjä on kiinnittänyt kohteen kohdeluetteloon, sitä ei yhdistetä muihin kohteisiin. Perusehtojen lisäksi ainakin yhden lisäehdoista (kuva 23) on toteuduttava, jotta kohteet yhdisteltäisiin. Alustava kohdeluettelo muodostaa pohjan lopulliselle päällystysohjelmalle. Ohjelmasta voi-daan poistaa käsin lyhyitä kohteita ja yhdistellä peräkkäisiä kohteita, joita ohjelma ei ole automaattisesti yhdistänyt. (TietoEnator 2009).



Kuva 23. Kohteiden yhdistelyn lisäehdot. (Muokattu lähteestä Männistö 2009).

Tieverkon kuntoennusteessa huomioidaan lopullisen päällystysohjelman toimenpiteiden vaikutukset tieverkolle. Lisäksi ohjelma laskee päällystysohjelmasta seuraavat tunnusluvut:

- Päällystysohjelman pituus
- Peittoprosentti
- Huonokuntoisten teiden määrä koko tieverkolla ja päällystysohjelman alueella sekä ennen että päällystysohjelman toteutuksen jälkeen

Perusasetukset kuntoluokkarajoille määräytyvät Liikenneviraston asettamien raja-arvojen mukaan (liite A). Kuntoluokkajakaumaa voidaan tarkastella ylläpito- tai liikennemääräluokan mukaan.

4 Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmät

4.1 Tutkimusaineisto

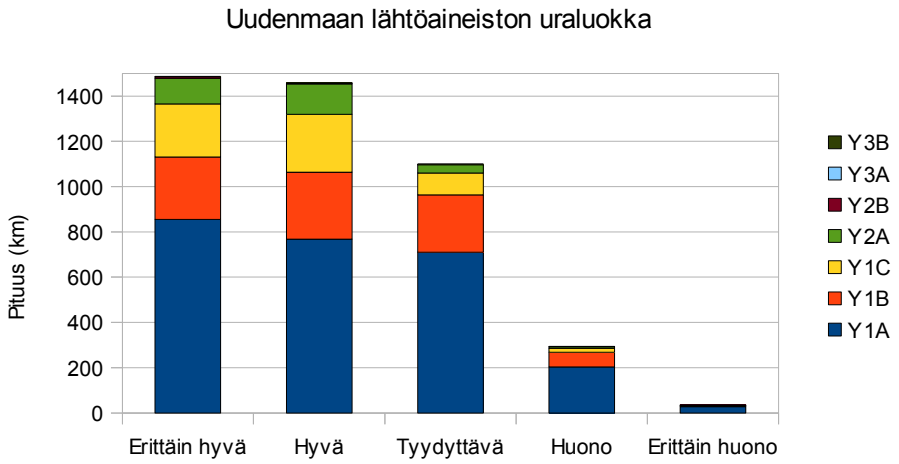
Diplomityön tutkimusaineistona olivat Uudenmaan ja Kaakkois-Suomen alueen tiestö- ja kuntomittaustiedot. Uusimmat kuntomittaustiedot ovat keväältä 2010. Tutkimusaineisto rajattiin PMSpro:n lähtötiedoista, jotka on koottu tie- ja kuntotietorekisterin (KURRE) tiedoista.

4.1.1 Uudenmaan tieverkko

Uudenmaan maanteiden kokonaispituus lähtöaineistossa on 9192,3 km. Koska työssä tarkasteltiin vain vilkasliikenteisten teiden ylläpitoa, tutkimusaineistoon rajattiin ainoastaan tiet, joiden keskimääräinen vuorokausiliikenne on yli 2000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Lisäksi lähtöaineistosta poistettiin rampit eli tiet, joiden tienumero on suurempi kuin 20 000. Näin käsiteltävän tieverkon pituudeksi tuli 4374,0 km eli 47,9 % kaikista maanteistä. Valtaosa teistä on kestopäällysteisiä, mutta mukana on myös 38,5 km kevytpäällysteisiä teitä. Tutkimusaineiston perustietoja on esitetty taulukossa 9 ja kuvassa 24. Numeroarvot urasyvyyden kuntoluokille on esitetty liitteessä A.

Taulukko 9: Uudenmaan tieverkko ylläpitoluokittain.

Ylläpitoluokka	Pituus	KVL	Keskimääräinen urasyvyys
	km	*Ajon./vrk*	*mm*
Koko Uusimaa	4374,0	17350	7,8
Y1A	2565,6	26017	7,7
Y1B	892,2	6529	8,2
Y1C	606,1	4022	7,5
Y2A	293,7	3136	7,6
Y2B	13,1	2540,0	7,4
Y3A	2,1	3639,1	9,9
Y3B	1,1	3746,4	4,0



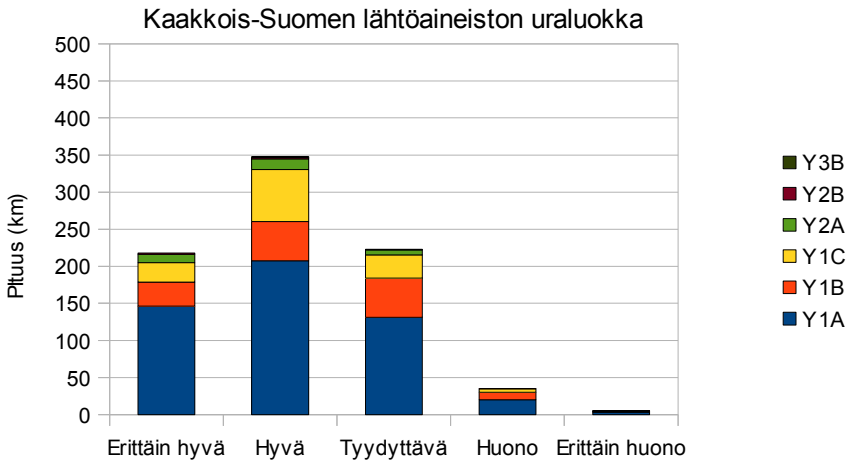
Kuva 24: Uudenmaan tieverkon uraluokkajakauma.

4.1.2 Kaakkois-Suomen tieverkko

Maanteiden kokonaispituus Kaakkois-Suomen alueella on 2873,4 km. Lähtöaineistosta rajattiin pois vähäliikenteiset tiet samaan tapaan kuin Uudellamaalla, jolloin tiestön pituudeksi jäi 828,7 km eli vain 28,9 % kaikista maanteistä. Perustietoja tutkimusaineistosta on esitetty taulukossa 10 ja kuvassa 25.

Taulukko 10: Kaakkois-Suomen tieverkko ylläpitoluokittain.

Ylläpitoluokka	Pituus	KVL	Keskimääräinen urasyvyys
	km	*Ajon./vrk*	*mm*
Koko Kaakkois-Suomi	828,7	7139	8,2
Y1A	508,9	9322	7,7
Y1B	147,9	3668	9,1
Y1C	133,1	3937	8,8
Y2A	33,3	2746	8,2
Y2B	4,3	2730	7,3
Y3A	0		
Y3B	1,3	4519	12,3



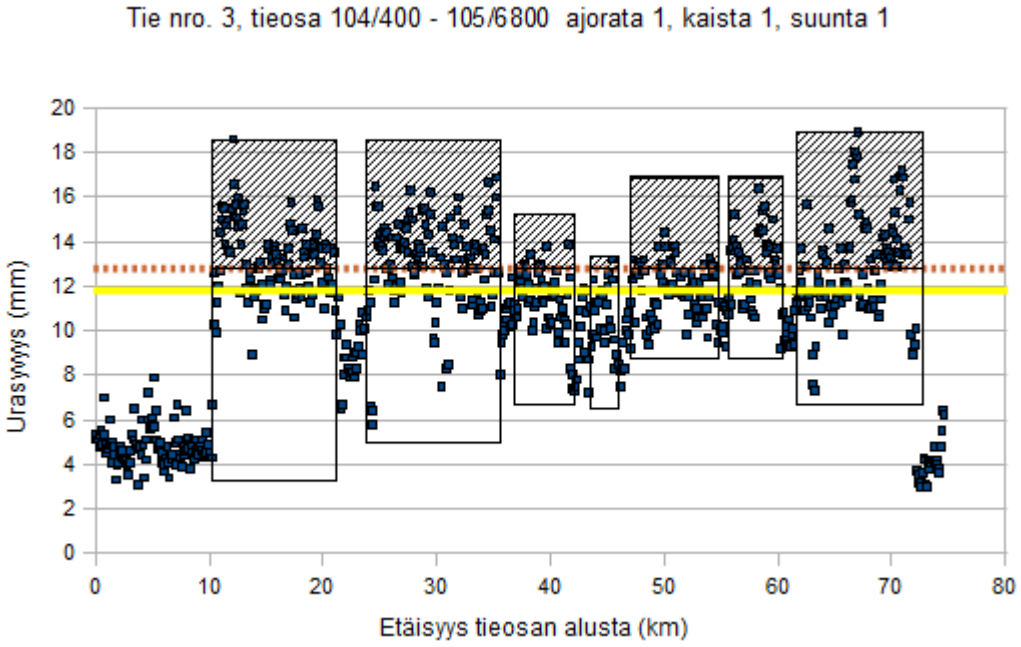
Kuva 25: Kaakkois-Suomen tieverkon uraluokkajakauma.

4.2 Tutkimusmenetelmät

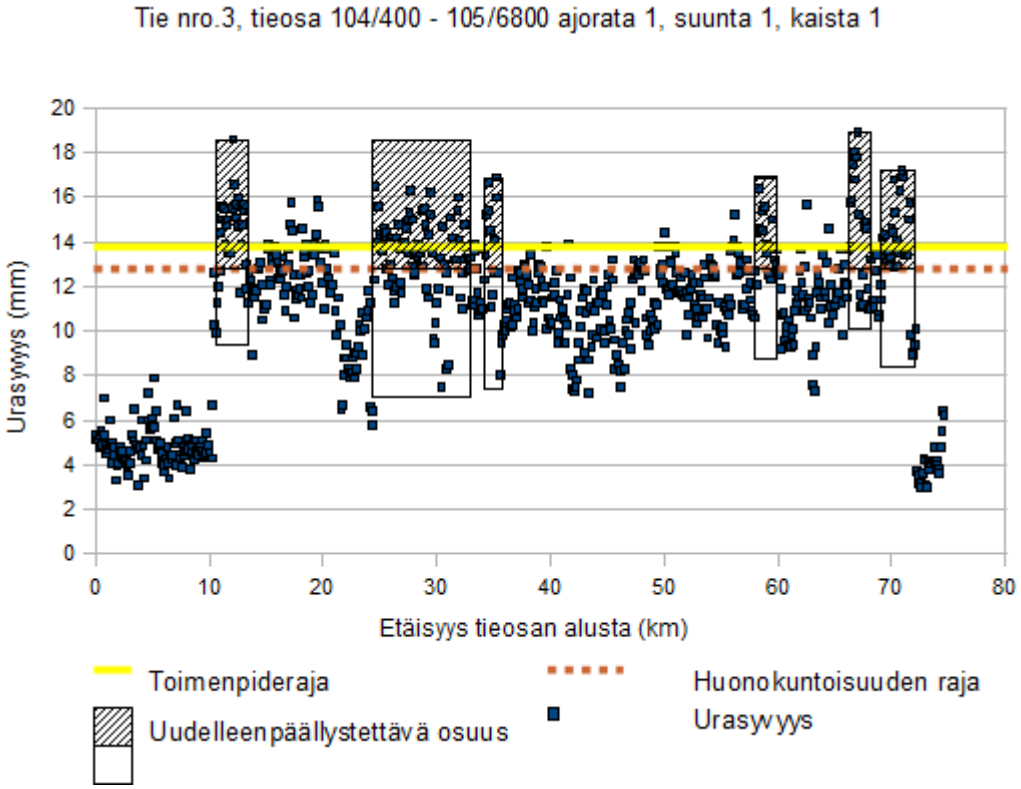
4.2.1 Johdanto

Työn kokeellisessa osuudessa tutkittiin urasyvyyden toimenpiderajojen vaikutusta Uudenmaan ja Kaakkois-Suomen alueen päällystysohjelmiin, jotka laadittiin päällystysohjelmointijärjestelmä PMSpro:lla sekä tässä työssä kehitetyllä taulukkolaskentaohjelmalla.

Erilaisia päällystysohjelmia on havainnollistettu kuvissa 26 ja 27. Kuvassa on esitetty tieosuus, jonka nopeusrajoitus on 120 km/h ja KVL yli 6000 ajon./vrk, 100 metrin maksimiurasyvyydet. nopeusrajoitus, Uudelleenpäällystettävät kohteet (suorakulmiot) on laadittu luvuissa 3.2 ja 3.4 esitettyjen periaatteiden tapaan. Kuvassa 26 toimenpideraja on 12 mm, ja huonokuntoisuuden raja 13 mm. Kuvassa 27 toimenpiderajaa on nostettu 2 millimetriä.



Kuva 26. Esimerkki uudelleenpäällystyskohteista nykyisillä toimenpiderajoilla.



Kuva 27. Esimerkki uudelleenpäällystyskohteista, kun toimenpiderajaa nostetaan 2 mm.

Uudelleenpäällystetävät kohteet muodostuvat eripituisista jaksoista (suorakulmiot), joilla osa pituudesta ei ole ylittänyt huonokuntoisuuden rajaa. Peittoprosentti kertoo, kuinka suuri osuus kohteesta on huonokuntoisia (viivoitettu osa suorakulmiosta). Toimenpiderajan noustessa toimenpiderajan ylittävien kohteiden määrä vähenee, uudelleenpäällystettäviä kohteita on vähemmän ja kokonaiskustannukset pienenevät. Myös keskimääräinen kohdepituus (suorakulmioiden leveys) lyhenee. Tiestön kokonaiskunto huononee, kun huonokuntoisuuden rajan ja toimenpiderajan väliin jäävien kohteiden osuus ja keskimääräinen urasyvyys kasvaa. Kuvista nähdään myös, että toimenpiderajan noustessa huonokuntoisten kohteiden määrä kasvaa suhteessa koko päällystyskohteen kohdemäärään eli peittoprosentti nousee. Kuvien 26 ja 27 perusteella voidaan tehdä seuraavat hypoteesit urasyvyyden toimenpiderajojen noston vaikutuksesta päällystysohjelmiin:

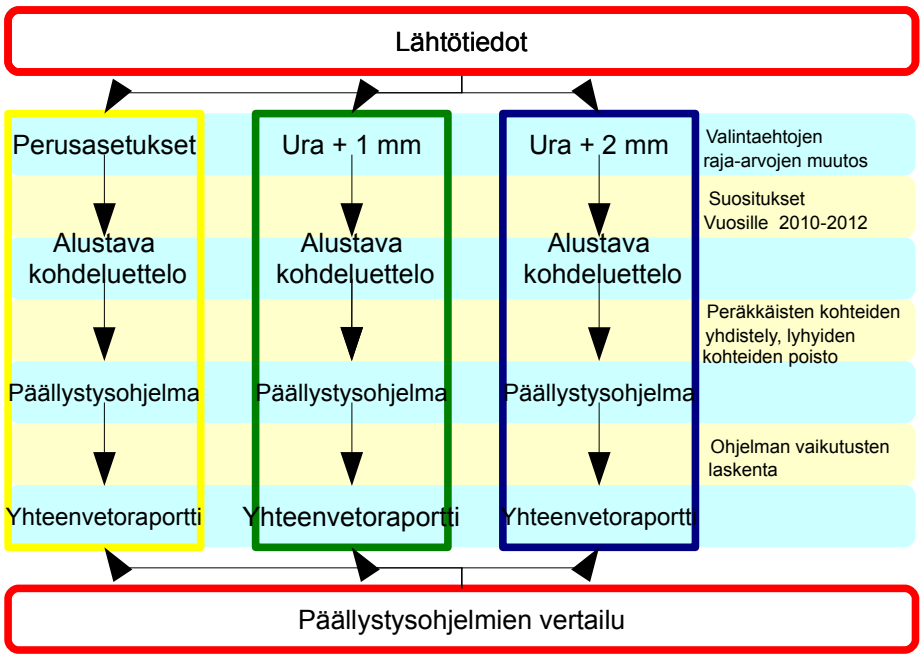
- Kohteiden lukumäärä päällystysohjelmissa vähenee.
- Päällystysohjelmien peittoprosentti kasvaa ja ennen toimenpiderajan ylitystä päällystettävien kohteiden määrä vähenee.
- Uudelleenpäällystettävien kohteiden keskimääräinen pituus lyhenee.
- Päällystysohjelmien kokonaispituus ja -kustannukset pienenevät.
- Tiestön ja päällystysohjelmien keskimääräinen urasyvyys kasvaa eli tiestön kunto huononee.

Diplomityössä testattiin mainittuja hypoteesejä laatimalla lähtöaineistolle päällystysohjelmia kahdella päällystysohjelmointijärjestelmällä: päällystysohjelmoinnissa yleisesti käytettävää PMSpro:ta sekä tässä työssä kehiteltyä taulukkolaskentaohjelmaa. Hypoteesien paikkansapitävyyttä tarkasteltiin eri ylläpito- ja liikennemääräluokissa, minkä perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä urasyvyyden toimenpiderajojen noston vaikutuksista vuosittaisiin päällystysohjelmiin eri tieluokissa.

4.2.2 Päällystysohjelman laadinta PMSpro:lla

Urasyvyyden toimenpiderajojen vaikutuksia päällystysohjelmaan tutkittiin PMSpro-ohjelmalla, jonka toimintaperiaate on esitetty luvussa 3.4. Uudenmaan ja Kaakkois-Suomen tiestölle laadittiin päällystysohjelmia vuosille 2010–2012 käyttämällä eri urasyvyyden toimenpidera-

joja. Päällystysohjelman laadintasuunnitelma on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Päällystysohjelmien laadinta PMSpro:lla.

Kaakkois-Suomen alueella huono- tai erittäin huonokuntoisia teitä on vain 40 km. Yhden vuoden päähän tehtävään päällystysohjelmaan valikoituu vain muutama kohde, kun toimenpiderajoja nostetaan, joten kohde-ehdokkaat laadittiin vuosiksi 2010–2012. Kaikki toimenpiteet muutettiin tehtäviksi vuonna 2012. Näin saatiin esiin enemmän huonokuntoisia kohteita ja eri päällystysohjelmien välinen vertailu oli luotettavampaa.

Urasyvyyden toimenpiderajojen nostamisen lisäksi tavoitteena oli tasaisuuden, vaurio-osuuden, harjanteen, pituus- ja sivuttaisheiton toimenpiderajojen nostaminen niin ylös, että näiden perusteella päällystysohjelmaan ei valikoituisi kohteita. Ohjelmassa ei kuitenkaan ole mahdollisuutta pituus- ja sivuttaisheiton toimenpiderajojen nostamiseen, joten päällystysohjelmiin valikoitui kohteita myös muuten kuin urautumisen perusteella, mikä on otettava huomioon tulosten tarkastelussa.

Ohjelman laatimasta alustavasta kohdeluettelosta poistettiin alle 500 metriä pitkät kohteet, koska näin lyhyiden kohteiden uudelleenpäällystäminen ei ole tuotantoteknisistä syistä taloudellista. Kohteiden optimaalista kohdepituutta on käsitelty tarkemmin luvussa 3.3. Tieosoitteeltaan peräkkäiset kohteet on yhdistetty ja toimenpiteeksi on valittu vaihtoehdoista huokein uran poistava toimenpide.

Ohjelman vaikutukset on laskettu vain kiinnitetyille kohteille eli kohteille, jotka halutaan mukaan lopulliseen päällystysohjelmaan. Kuntoluokkaraportit on laadittu keskimääräisen vuorokausiliikenteen perusteella, koska lähtöaineistossa oli mukana tiestöä, jonka ylläpitoluokkaa ei ole määritelty. Päällystysohjelmia on vertailtu keskenään kohteiden lukumäärän, kokonaiskustannusten, keskimääräisen kohdepituuden, ja peittoprosentin perusteella. Lisäksi tutkimuksessa vertailtiin toimenpiderajojen vaikutusta tiestön kuntoluokkajakaumiin

4.2.3 Päällystysohjelman laadinta taulukkolaskentaohjelmalla

Päällystysohjelmia tehtäessä mukaan valikoituu runsaasti kohteita, jotka eivät ole ylittäneet toimenpiderajaa. Mitä enemmän tällaisia kohteita on päällystysohjelmassa, sitä alhaisempi on peittoprosentti. Kun urasyvyyden toimenpiderajoja nostetaan, voidaan peittoprosentin olettaa kasvavan. Näin syntyy kustannussäästöjä paitsi kohteiden vähäisemmästä lukumäärästä myös siitä, että liian aikaisin uudelleenpäällystettäviä kohteita tulee päällystysohjelmaan vähemmän. Tätä kustannussäästöä arvioitiin diplomityössä taulukkolaskentaohjelmalla, jonka perustana ovat kuntotietorekisteristä saadut lähtötiedot.

Päällystysohjelma laadittiin vuosiksi 2010–2012 samaan tapaan kuin PMSpro:lla, mutta mukaan valikoitiin kohteita ainoastaan päällysteiden urautumisen perusteella. Urautumismallit, toimenpiteiden valintaehdot ja yhdistelyparametrit ovat samat kuin PMSpro:ssa. Ohjelman VisualBasic-ohjelmakoodi on esitetty liitteessä B.

Lähtötiedoista valittiin alustavaan kohdeluetteloon kohteet, joiden urasyvyys ylittää urasyvyyden toimenpiderajan. Urautumisnopeus tarkistettiin PMSpro:n urautumismallien mukaiseksi. Alustavaan kohdeluetteloon lisättäville kohteille valittiin oikea toimenpide PMSpro:n valintaehtojen mukaisesti. Ohjelmassa toimenpiteitä valittiin ainoastaan urautumisen perusteella, joten mahdollisia toimenpiteitä olivat vain UREM, ABPIN1, ABPIN2, UREMO ja PABMPO.

Alustavassa kohdeluettelossa yhdistettiin kohteet, jotka täyttävät PMSpro:n yhdistelyn neljä perusehtoa. Lisäksi yhdistettiin kohteet, joiden väliin jäävä osuus oli alle 500 metriä. Yhdistetyn kohteen toimenpiteeksi valittiin aina pidemmän kohteen toimenpide. Ennen

lopullisen päällystysohjelman tulostusta kohdeluettelosta poistettiin kohteet, joiden kokonaispituus oli alle 500 metriä.
Lopullisesta päällystysohjelmasta laskettiin muutamia tunnuslukuja, joiden avulla voitiin arvioida urasyvyyden toimenpiderajojen muutosten vaikutusta päällystysohjelman peittoprosenttiin, kohteiden lukumäärään, kokonaiskustannuksiin, keskimääräiseen kohdepituuteen sekä päällystysohjelman keskimääräiseen urasyvyyteen. Samat tiedot eriteltiin myös ylläpitoluokittain.

Seuraavassa vaiheessa päällystysohjelma purettiin 100-metrisiksi jaksoiksi, jolloin voitiin laskea niiden kohteiden lukumäärä ja kustannukset, jotka oli uudelleenpäällystetty, vaikka toimenpideraja ei olisi ylittynytkään. Jokaista päällystysohjelman satametristä verrattiin lähtötietojen vastaaviin satametrisiin. Urasyvyyden, toimenpiderajan ja urautumisnopeuden perusteella laskettiin kuinka paljon etuajassa kohde uudelleenpäällystettiin (kaava 4).

$$Aikaistus\,(a) = \frac{toimenpideraja\,(mm) - urasyvyys\ päällystysvuonna\,(mm)}{urautumisnopeus\,(mm/a)} \qquad (4)$$

Aikaistus pyöristettiin ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun eli seuraavaan toimenpidevuoteen. Jos aikaistuksen arvoksi saatiin positiivinen luku, kohde on uudelleenpäällystetty liian aikaisin, jolloin kohteelle laskettiin kustannus toimenpiteen metrihinnan ja kohteen pituuden tulona. Näin voitiin karkeasti arvioida kustannuksia, joita syntyi, kun kohteita jouduttiin uudelleenpäällystämään liian aikaisin.

Ohjelma tulosti lopuksi vielä seuraavan vuoden lähtötiedot, joihin on päivitetty kohteen ikä, urasyvyys ja edellinen toimenpide. Näin saatiin laskettua tieverkon kuntotila toimenpiteiden jälkeen.

5 Tutkimustulokset

5.1 Päällystysohjelmat PMSpro:lla

Kohteiden lukumäärä, kokonaispituus ja kustannukset

Kohteiden lukumäärä, päällystysohjelman kokonaispituus ja -kustannukset on esitetty alueittain taulukossa 11. Ylläpitoluokittain jaoteltuina tiedot on esitetty liitteessä C.

Taulukko 11: Kohteiden lukumäärä, pituus ja kustannukset alueittain.

Alue	Toimenpideraja	Kohteiden lkm.	PO:n kokonaispituus	Kustannukset
		Kpl	*Ajorata km*	*m€*
Uusimaa	Perusasetus	771	1854,8	35,95
Uusimaa	Perusastus + 1 mm	660	1540,5	29,46
Uusimaa	Peruasetus + 2 mm	572	1322,8	25,04
Kaakkois-Suomi	Perusasetus	118	414,2	7,09
Kaakkois-Suomi	Perusasetus + 1 mm	109	299,5	4,51
Kaakkois-Suomi	Peruasetus + 2 mm	91	251,3	3,55

Peittoprosentti

PMSpro:lla laskettujen päällystysohjelmien urapeittoprosentit on esitetty taulukossa 12. Ylläpitoluokittain jaoteltuina peittoprosentit nähdään taulukoista 13 ja 14.

Taulukko 12: Päällystysohjelmien urapeittoprosentti eri toimenpiderajoilla.

Alue	Perusasetus	Perusasetus + 1 mm	Perusasetus + 2 mm
Uusimaa	32,3	38,7	43,7
Kaakkois-Suomi	30,4	30,0	34,6

Taulukko 13: Urapeittoprosentit ylläpitoluokittain Uudenmaan alueella.

Ylläpitoluokka	Perusasetus	Perusasetus + 1 mm	Perusasetus + 2 mm
Y1A	35,0	40,4	45,6
Y1B	27,7	38,8	42,8
Y1C	17,6	21,2	24,7
Y2A	35,5	34,5	41,5
Y2B	25,8	36,3	36,7

Taulukko 14: Urapeittoprosentit ylläpitoluokittain Kaakkois-Suomen alueella.

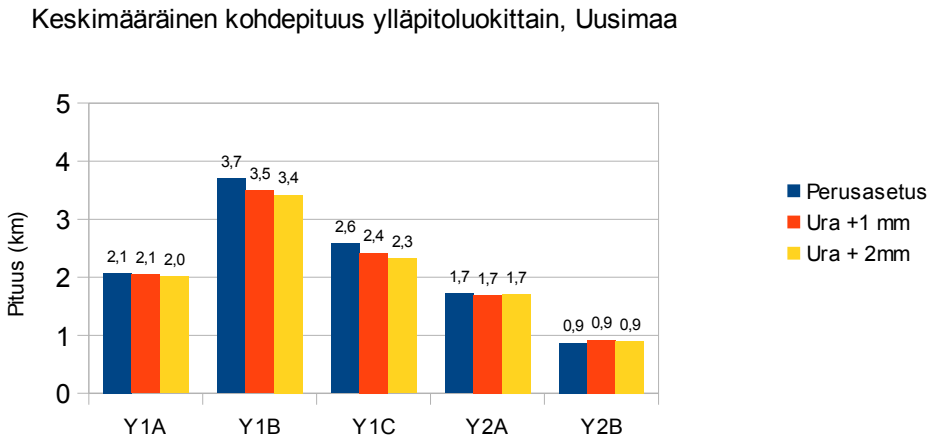
Ylläpitoluokka	Perusasetus	Perusasetus + 1 mm	Perusasetus + 2 mm
Y1A	26,9	24,2	33,5
Y1B	37,1	35,0	34,9
Y1C	31,2	45,4	41,2
Y2B	8,5	12,9	9,5

Keskimääräinen kohdepituus

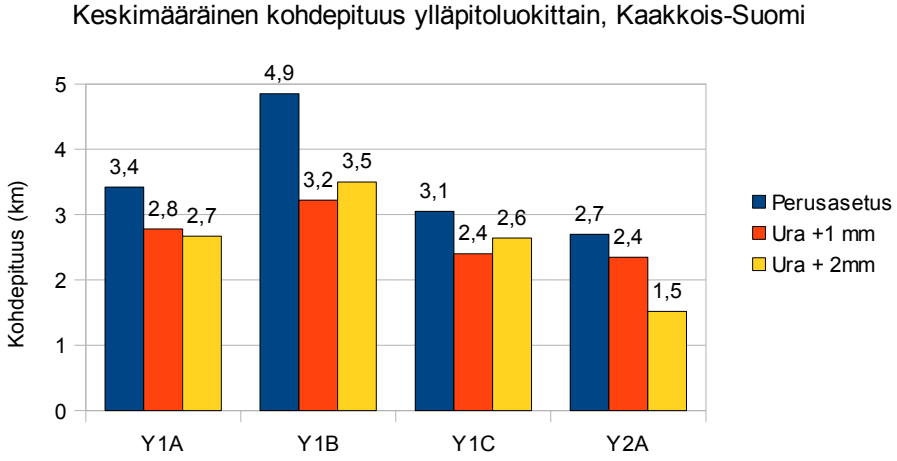
Eri päällystysohjelmien keskimääräiset kohdepituudet on esitetty taulukossa 15 sekä kuvissa 29 ja 30.

Taulukko 15: Päällystysohjelmien keskimääräinen kohdepituus (km) eri toimenpiderajoilla.

Alue	Perusasetus	Perusasetus + 1 mm	Perusasetus + 2 mm
Uusimaa	2,41	2,33	2,31
Kaakkois-Suomi	3,51	2,75	2,76



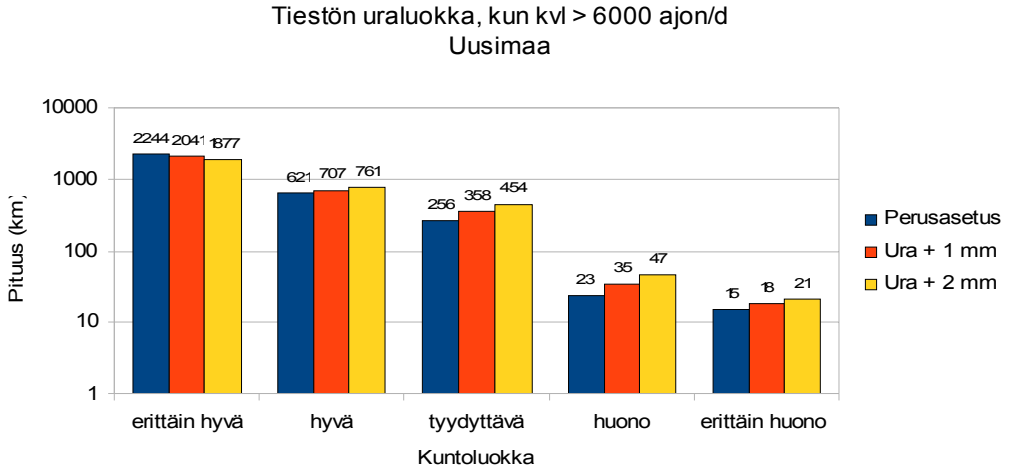
Kuva 29: Keskimääräinen kohdepituus ylläpitoluokittain, Uusimaa.



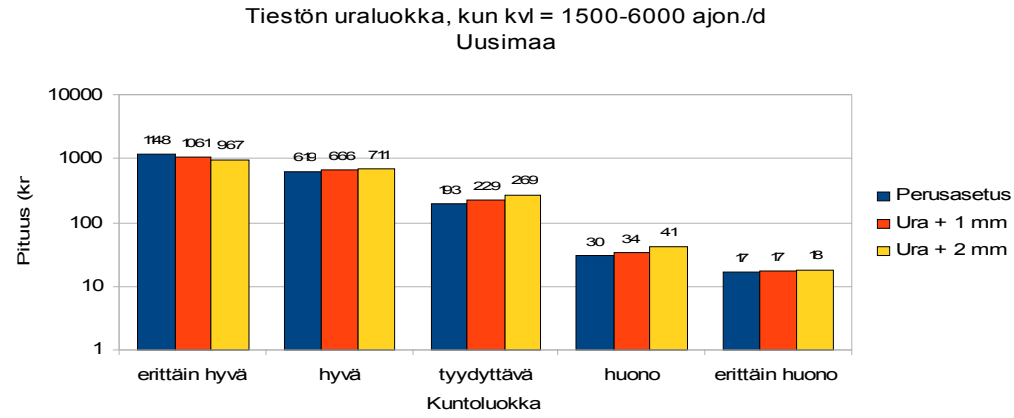
Kuva 30: Keskimääräinen kohdepituus ylläpitoluokittain, Kaakkois-Suomi.

Kuntoluokka

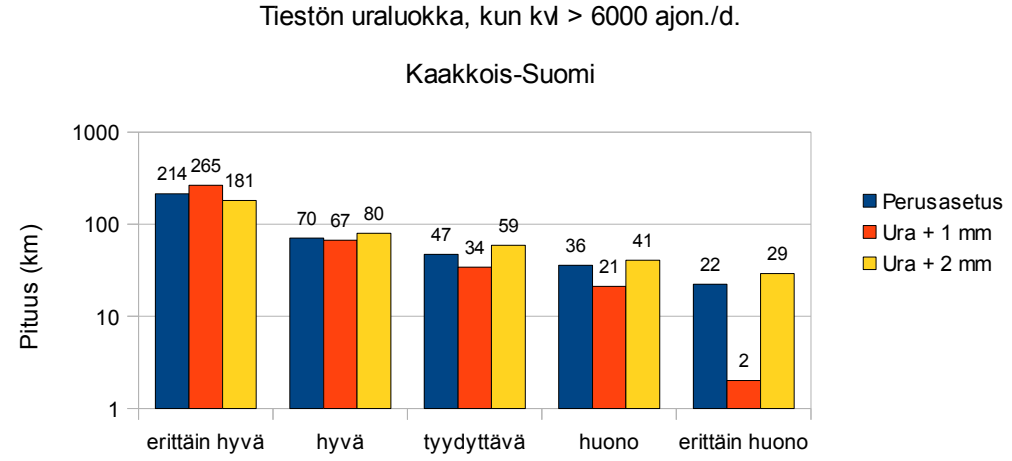
Tiestön urakuntoluokka ylläpitoluokittain jaoteltuna on esitetty kuvissa 31-34. Tuloksissa on huomioitava, että kuntoluokkaraporttiin on tulostunut myös tiestöä, jota ei ole käsitelty päällystysohjelmassa.



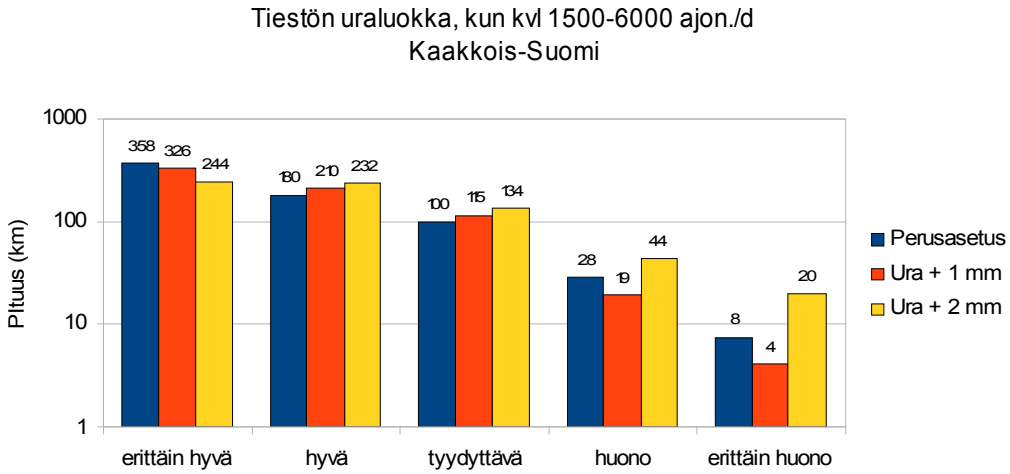
Kuva 31: Tiestön urakuntoluokka, Uusimaa.



Kuva 32: Tiestön urakuntoluokka, Uusimaa.



Kuva 33: Tiestön urakuntoluokka, Kaakkois-Suomi.



Kuva 34 Tiestön urakuntoluokka, Kaakkois-Suomi.

5.2 Päällystysohjelmat taulukkolaskentaohjelmalla

Kohteiden lukumäärä, kokonaispituus ja kustannukset

Kohteiden lukumäärä, päällystysohjelman kokonaispituus ja -kustannukset on esitetty alueittain taulukossa 16. Ylläpitoluokittain jaoteltuina tiedot on esitetty liitteessä D.

Taulukko 16: Päällystysohjelmien lukumäärä, kokonaispituus ja kustannukset eri toimenpiderajoilla.

Alue	Toimenpideraja	Kohteiden lkm.	PO:n kokonaispituus	Kustannukset
		Kpl	*Ajorata km*	*m€*
Uusimaa	Perusasetus	409	920,5	9,34
Uusimaa	Perusastus + 1 mm	339	726,8	7,38
Uusimaa	Peruasetus + 2 mm	261	573,0	5,87
Kaakkois-Suomi	Perusasetus	84	185,6	2,58
Kaakkois-Suomi	Perusasetus + 1 mm	77	143,2	1,95
Kaakkois-Suomi	Peruasetus + 2 mm	68	106,7	1,48

Peittoprosentti

Taulukkolaskentaohjelmalla laskettujen päällystysohjelmien urapeittoprosentit on esitetty taulukossa 17. Ylläpitoluokittain jaoteltuina peittoprosentit nähdään taulukoista 18 ja 19.

Taulukko 17: Päällystysohjelmien urapeittoprosentti eri toimenpiderajoilla.

Alue	Perusasetus	Perusasetus + 1 mm	Perusasetus + 2 mm
Uusimaa	81,2	91,3	95,5
Kaakkois-Suomi	85,8	90,4	92,0

Ylläpitoluokissa ei ole otettu huomioon luokkaa 3, koska luokasta valikoitui eri toimenpiderajoilla ainoastaan kaksi tai kolme kohdetta lopullisiin päällystysohjelmiin. Kaakkois-Suomen osalta myös luokka 2 on jätetty pois.

Taulukko 18: Urapeittoprosentit ylläpitoluokittain Uudenmaan alueella.

Ylläpitoluokka	Perusasetus	Perusasetus + 1 mm	Perusasetus + 2 mm
Y1A	78,6	90,4	95,2
Y1B	92,2	95,8	96,9
Y1C	87,7	93,3	97,3
Y2A	85,5	87,5	91,8

Taulukko 19: Urapeittoprosentit ylläpitoluokittain Kaakkois-Suomen alueella.

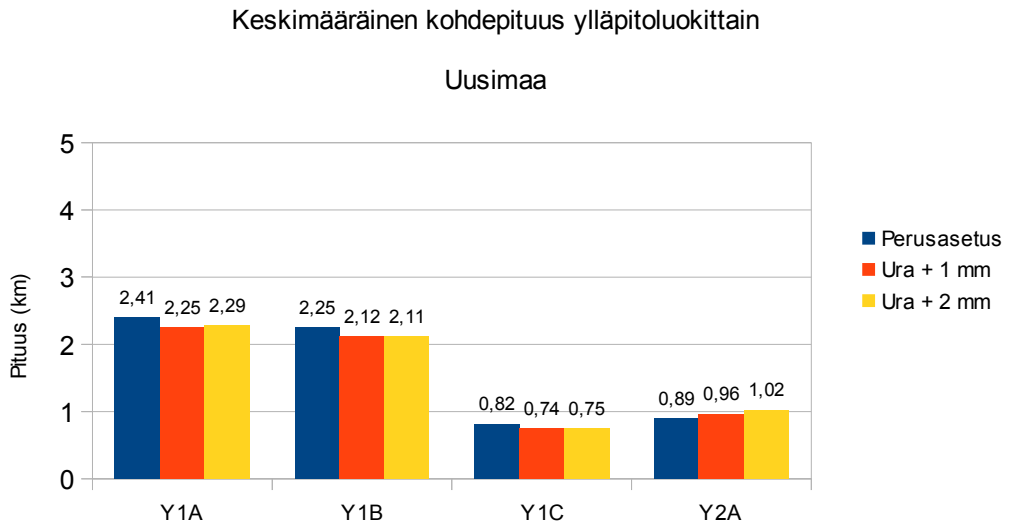
Ylläpitoluokka	Perusasetus	Perusasetus + 1 mm	Perusasetus + 2 mm
Y1A	83,8	88,9	91,1
Y1B	92,8	94,3	93,5
Y1C	91,9	96,7	95,9

Keskimääräinen kohdepituus ja urasyvyys

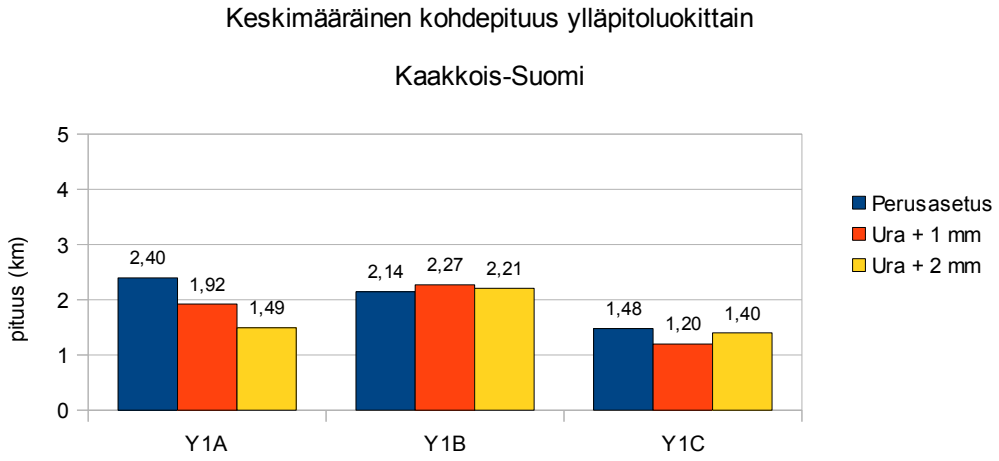
Eri päällystysohjelmien keskimääräiset kohdepituudet on esitetty taulukossa 20 sekä kuvissa 35 ja 36. Taulukossa 21 on esitetty päällystysohjelmien keskimääräiset urasyvyydet.

Taulukko 20: Päällystysohjelmien keskimääräinen kohdepituus (km) eri toimenpiderajoilla.

Alue	Perusasetus	Perusasetus + 1 mm	Perusasetus + 2 mm
Uusimaa	2,25	2,14	2,20
Kaakkois-Suomi	2,21	1,86	1,57



Kuva 35: Keskimääräinen kohdepituus ylläpitoluokittain, Uusimaa.



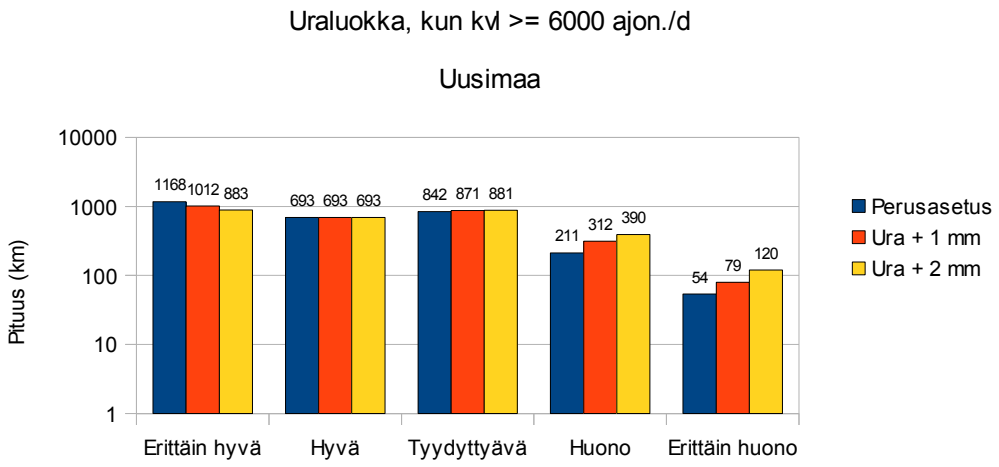
Kuva 36: Keskimääräinen kohdepituus ylläpitoluokittain, Uusimaa.

Taulukko 21: Päällystysohjelmien keskimääräinen urasyvyys (mm) eri toimenpiderajoilla.

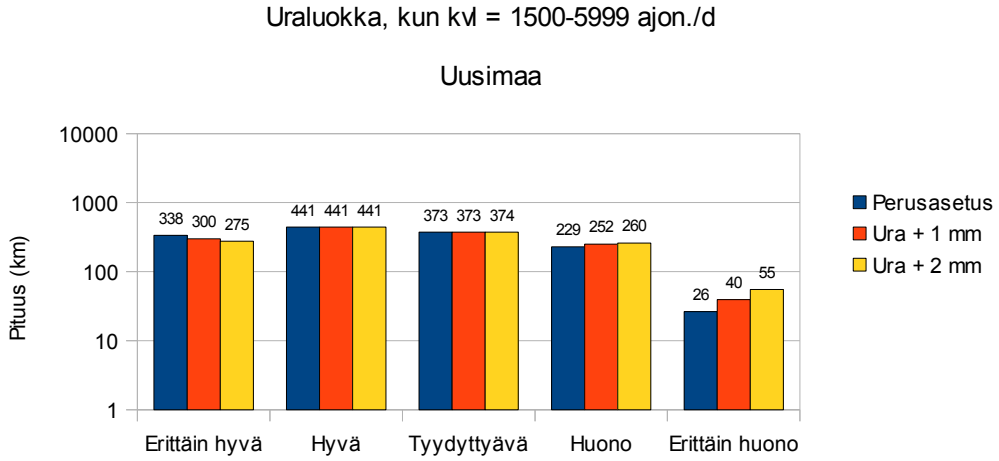
Alue	Perusasetus	Perusasetus + 1 mm	Perusasetus + 2 mm
Uusimaa	17,47	18,25	19,02
Kaakkois-Suomi	18,12	18,91	19,86

Kuntoluokka

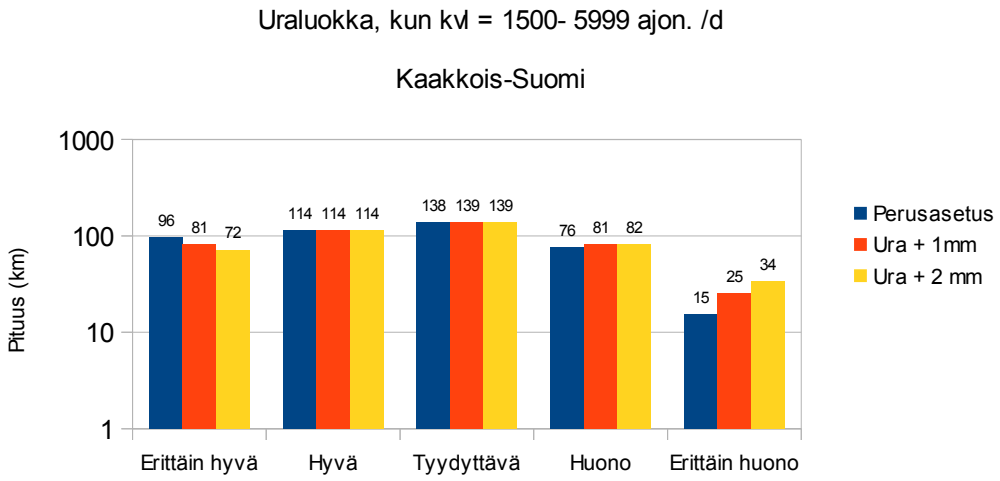
Urakuntoluokat on laskettu vuonna 2012 tehtävien toimenpiteiden jälkeen. Urakuntoluokat eri liikennemääräluokissa on esitetty kuvissa 37-40. Liitteessä D.2 on eritelty urakuntoluokat ylläpitoluokittain.



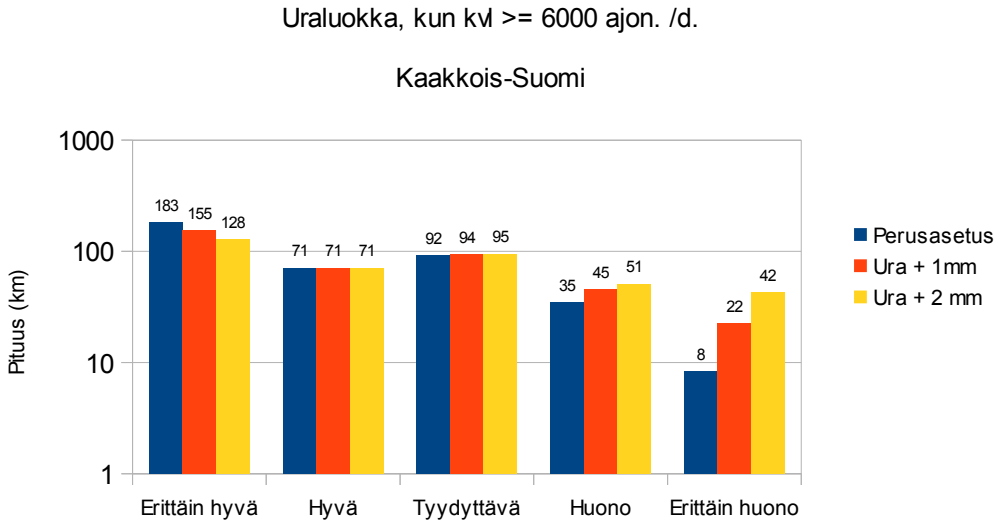
Kuva 37: Urakuntoluokka kvl:n mukaan, Uusimaa.



Kuva 38: Urakuntoluokka kvl:n mukaan, Uusimaa.



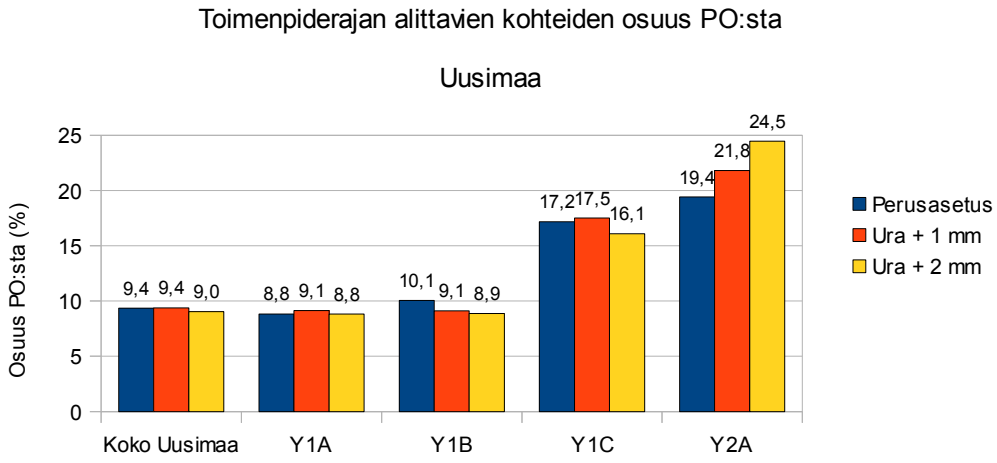
Kuva 39: Urakuntoluokka kvl:n mukaan, Kaakkois-Suomi.



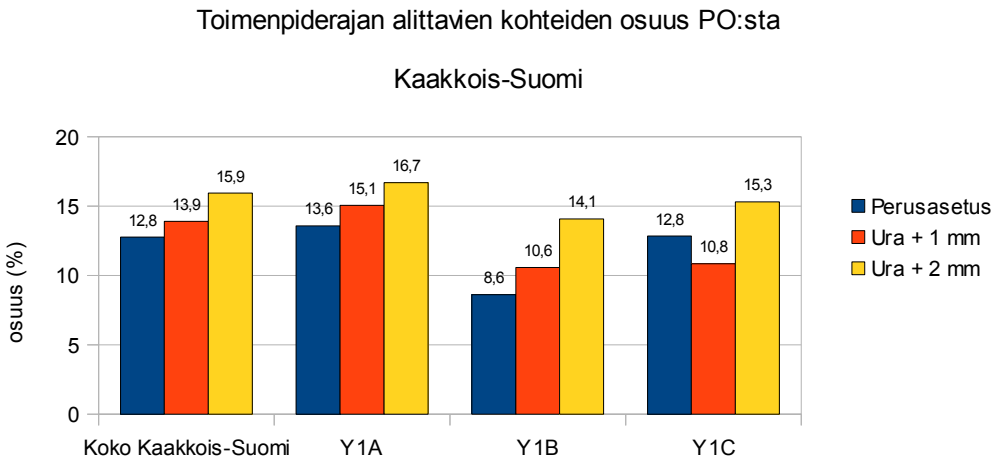
Kuva 40: Urakuntoluokka kvl:n mukaan, Kaakkois-Suomi.

Ennen toimenpiderajan ylitystä päällystettävät kohteet

Kuvissa 41 ja 42 on esitetty alueittain niiden kohteiden määrä ja menetetty jäännösarvo, jotka uudelleenpäällystetään ennen toimenpiderajan ylittymistä.



Kuva 41. Ennen toimenpiderajan ylitystä päällystettät kohteet Uusimaa.



Kuva 42. Ennen toimenpiderajan ylitystä päällystettät kohteet, Kaakkois-Suomi.

6 Tutkimustulosten tarkastelu

6.1 Uudenmaan tieverkko

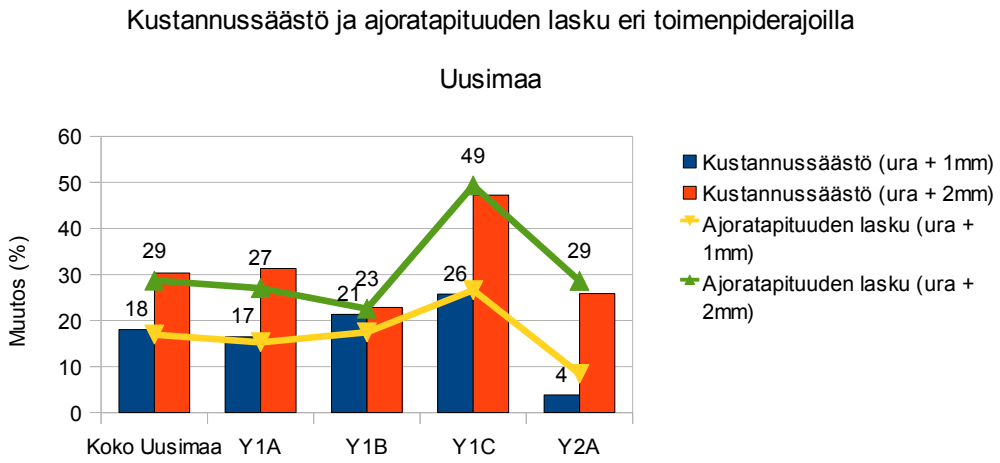
Kohteiden lukumäärä, kokonaispituus ja kokonaiskustannukset

Urasyvyyden toimenpiderajojen kasvattaminen vähensi oletuksen mukaan päällystysohjelmaan tulevien kohteiden määrää, kokonaispituutta ja -kustannuksia. PMSpro:lla lasketuissa ohjelmissa erot eri toimenpiderajojen välillä olivat koko Uudenmaan alueella hieman pienempiä kuin taulukkolaskentaohjelmalla lasketuilla päällystysohjelmilla. Myös kaikissa ylläpitoluokissa päällystysohjelman kustannukset laskivat ja ajoratapituus pieneni, mutta eri ylläpitoluokkien välillä oli suuriakin eroja kohdemäärien ja kustannussäästöjen muutoksissa.

Nostettaessa urasyvyyden toimenpiderajaa yhdellä mm:llä kohteiden lukumäärä väheni noin 15 % sekä PMSpro:lla että taulukkolaskentaohjelmalla tehdyillä päällystysohjelmilla. Kahden mm:n nosto toimenpiderajoissa vähensi kohteiden lukumäärää huomattavasti enemmän, kun päällystysohjelma tehtiin taulukkolaskentaohjelmalla. Tämä johtunee siitä, että kohteet valikoituivat ohjelmaan vain urasyvyyden perusteella. PMSpro:lla tehdyt ohjelmat ottivat huomioon myös muita kuntomuuttujia, vaikka niiden toimenpiderajoja nostettiinkin.

Sama tulos on havaittavissa ylläpitoluokissa Y1A ja Y1B: kohteiden lukumäärän suhteellinen pudotus oli lähes samansuuruista sekä PMSpro:lla että taulukkolaskentaohjelmalla tehdyillä ohjelmilla, kun toimenpiderajaa nostettiin yksi millimetri. Alemmissa ylläpitoluokissa erot olivat vielä selkeämmät, mutta kohteiden lukumäärä oli niin vähäinen, että tuloksista ei voi tehdä luotettavia päätelmiä.

Kokonaiskustannusten osalta on tarkasteltava, syntyykö kustannussäästö kohdemäärän ja kokonaispituuden laskusta (kuva 43) vai johtuuko kustannussäästö siitä, että ohjelma valitsi kohteille kevyemmän ja halvemman toimenpiteen. Kuvasta havaitaan, että kustannussäästö ja ajoratapituuden lasku muuttuivat samansuuntaisesti eri toimenpiderajoilla, eli kustannussäästöjen voidaan olettaa aiheutuvan suoraan kohdemäärän ja uudelleenpäällystettävän ajoratapituuden pienenemisestä.



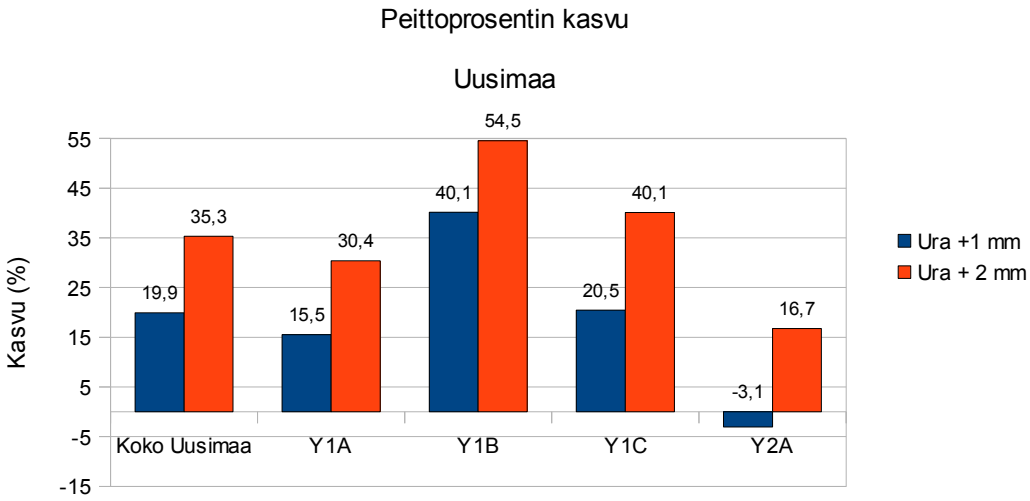
Kuva 43. PMSprolla laskettu kustannussäästö ja ajoratapituuden lasku eri toimenpiderajoilla, Uusimaa.

Kun toimenpiderajaa nostettiin 2 mm, ylläpitoluokassa Y1C kustannussäästö oli PMSpro:lla laskettuna 49 %, mikä oli huomattavasti suurempi muutos muihin ylläpitoluokkiin verrattuna. Tarkasteltaessa lähtöaineistoa Y1C-luokan osalta havaitaan, että vuotuinen urautumisnopeus on vain 1,01 mm, kun koko alueella keskimääräinen urautumisnopeus on 1,55 mm/a, Y1A-luokassa 1,56 mm/a ja Y1B-luokassa 1,96 mm/a. Päällysteet ylittävät toimenpiderajan siis Y1C-luokassa muita Y1-luokan päällysteitä hitaammin, ja 2 mm:n nosto toimenpiderajoissa vähensi kohteiden muodostumista Y1C-luokassa muita luokkia enemmän. Sama ilmiö selittänee ylläpitoluokkien Y1A ja Y1B erot – hitaampi urautumisnopeus vähensi kohteiden lukumäärää, kun urasyvyyden toimenpiderajoja nostettiin. Hitaamman urautumisen voi olettaa johtuvan paitsi pienemmästä KVL:stä, myös teiden talvioloista, sillä alemman tieverkon teillä päällysteen päällä on talvisin useammin lumi- tai jääkerros, jolloin nastarengaskulutuksen aiheuttama urautuminen on vähäisempää.

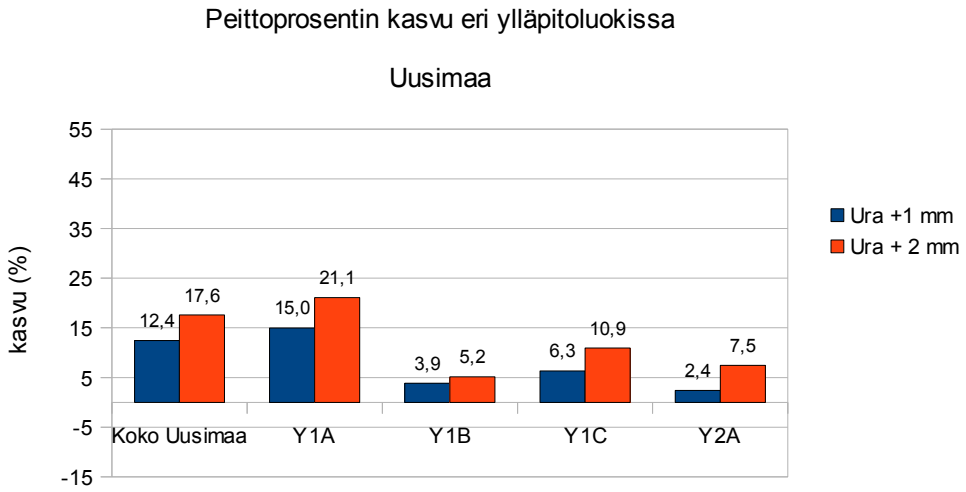
Peittoprosentti

Uudenmaan alueella peittoprosentti kasvoi lähes kaikissa ylläpitoluokissa nostettaessa toimenpiderajoja, (kuvat 44 ja 45), lukuun ottamatta ylläpitoluokkaa Y2A, jossa PMSpro:lla tehdyn päällystysohjelman peittoprosentti hieman laski. Peittoprosentin kasvu oli yleensä suurempaa PMSpro:lla tehdyillä päällystysohjelmalla kuin taulukkolaskentaohjelmalla tehdyillä vastaavilla ohjelmilla, joilla jo perusasetuksilla tehdyn ohjelman peittoprosentti oli yli 80 %. Näin korkeat peittoprosentit syntyvät

siitä, että kohdeluetteloon valikoitui kohteita vain urautumisen perusteella, PMSpro:ssa muiden kuntomuuttujien perusteella valikoituvat kohteet laskivat urapeittoprosenttia.



Kuva 44. Peittoprosentin kasvu Uudellamaalla eri toimenpiderajoilla, PMSpro.

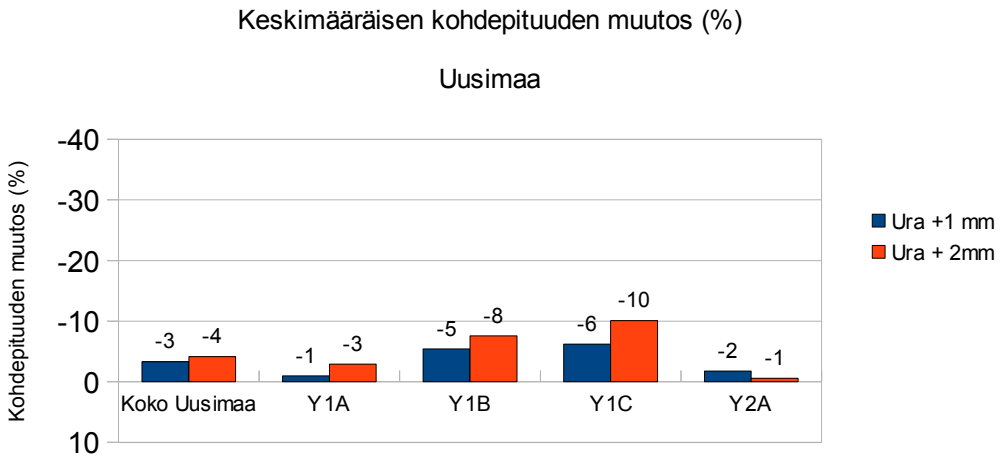


Kuva 45. Peittoprosentin kasvu Uudellamaalla eri toimenpiderajoilla, taulukkolaskentaohjelma.

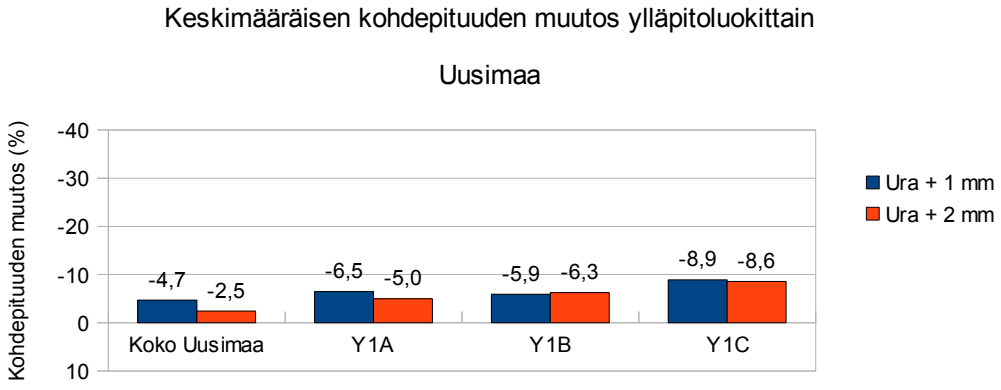
Ylläpitoluokkien välillä ainoastaan Y1A-luokan kehitys on samansuuntaista eri ohjelmien välillä. Sitä alemmissa luokissa kohteiden lukumäärä oli vain noin viidesosa Y1A-luokan kohteista, joten tulosten epätarkkuus lisääntyi.

Keskimääräinen kohdepituus

Oletuksen mukaan toimenpiderajojen nostaminen lyhensi keskimääräistä kohdepituutta, kun toimenpiderajan ylittävien kohteiden esiintymistiheys tieverkolla pieneni. Lisäksi keskimääräiseen kohdepituuteen vaikutti päällystysohjelmaan valittavien kohteiden vähimmäispituus. PMSpro:lla lasketut päällystysohjelmat osoittivat oletuksen todeksi - keskimääräinen kohdepituus laski 1-10 % (kuva 46). Sen sijaan taulukkolaskentaohjelmalla laadituilla päällystysohjelmilla keskimääräinen kohdepituus oli suurempi kahden mm toimenpiderajan nostolla kuin 1 mm:n nostolla (kuva 47).



Kuva 46: Keskimääräisen kohdepituuden muutos Uudellamaalla,PMSpro.

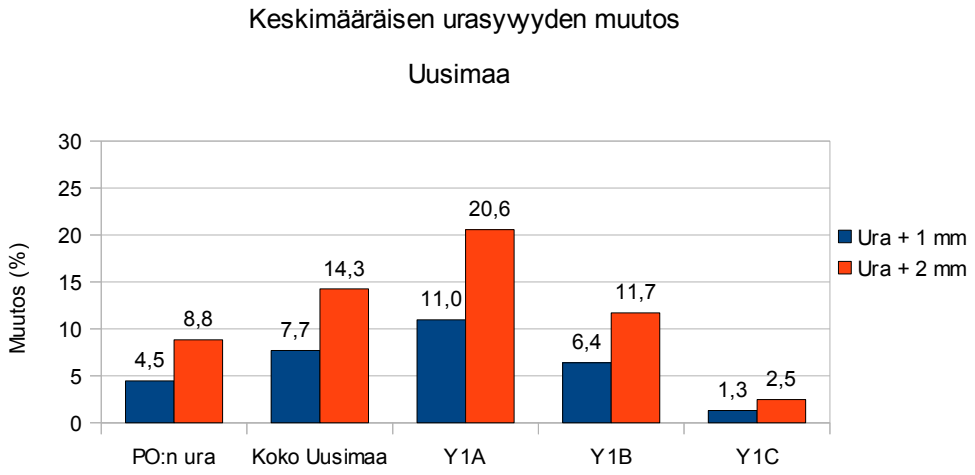


Kuva 47: Keskimääräisen kohdepituuden muutos Uudellamaalla, taulukkolaskentaohjelma

Eri ylläpitoluokissa suurin muutos tapahtui luokassa Y1C, jossa kohteiden lukumäärä myös pieneni eniten nostettaessa toimenpiderajoja. Hyväkuntoisella tieverkolla myös keskimääräinen kohdepituus laski suhteellisesti enemmän. Y1A-luokassa muutos oli kaikkein pienin PMSpro:lla tehtyjen päällystysohjelmien osalta. Tässä luokassa löytyi huonokuntoisia kohteita määrällisesti eniten, joten toimenpiderajojen nosto ei vähentänyt keskimääräistä kohdepituutta merkittävästi.

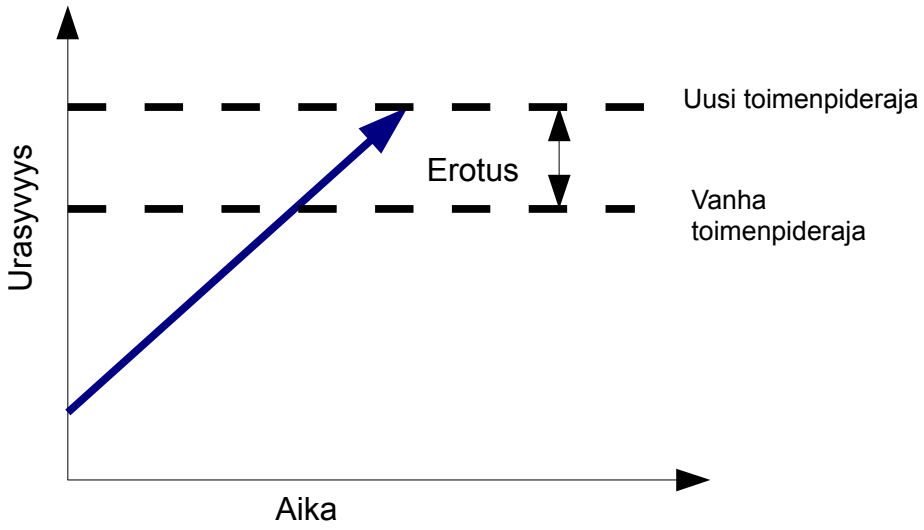
Keskimääräinen urasyvyys ja kuntoluokkajakauma

Keskimääräisen urasyvyyden muutosta mitattiin ainoastaan taulukkolaskentaohjelmalla tehdyillä päällystysohjelmilla. Keskimääräinen urasyvyys laskettiin sekä päällystysohjelmista että koko tieverkon osalta. Kuvassa 48 on esitetty keskimääräiset urasyvyydet ylläpitoluokittain.



Kuva 48: Keskimääräisen urasyvyyden muutos.

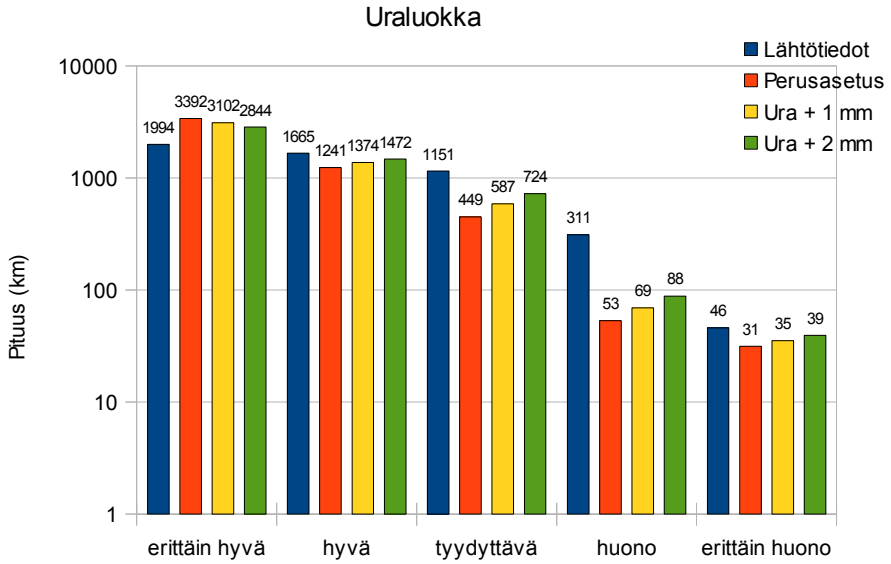
Tien tai tieverkon keskimääräinen urasyvyys kasvoi, kun vanhan ja uuden toimenpiderajan välinen erotus kasvoi (kuva 49). Siksi hyväkuntoisella tieverkolla, jossa suurempi osa tiestöstä jää vanhan toimenpiderajan alle, keskimääräisen urasyvyyden muutokset ovat pienempiä. Lisäksi ylemmissä ylläpitoluokissa urasyvyydet olivat pienempiä, joten toimenpiderajan nosto vaikutti enemmän suhteelliseen kasvuun



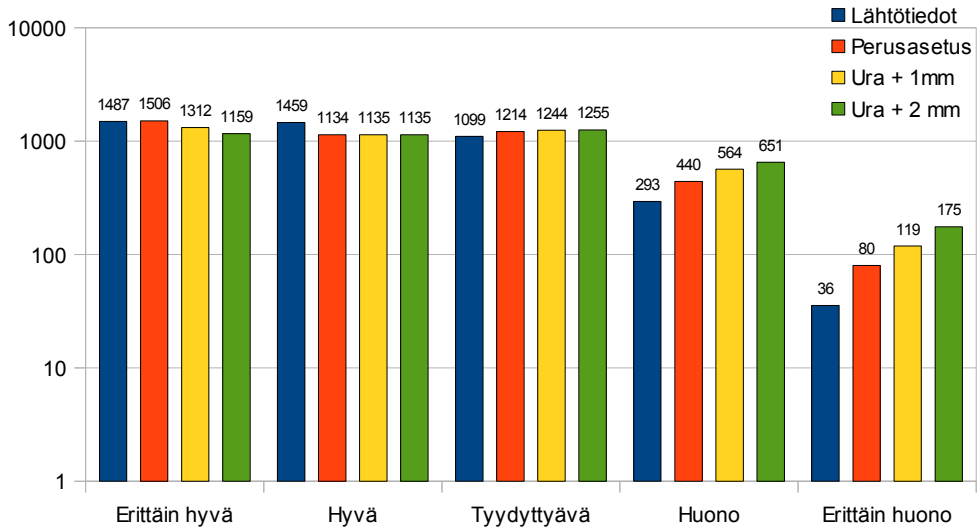
Kuva 49: Urasyvyys kasvaa nostettaessa toimenpiderajaa.

Siirryttäessä alempiin ylläpitoluokkiin keskimääräinen urasyvyyden muutos laski, eli tiestön voi olettaa olevan paremmassa kunnossa. Ylläpitoluokissa Y1A ja Y1B toimenpiderajan ylittävien kohteiden määrä oli suurempi, joten lyhyitä kohteita jäi suhteellisestikin enemmän uudelleenpäällystämättä ja näin keskimääräinen urasyvyys kasvoi enemmän kuin Y1C-luokassa, jossa urautuminen on hitaampaa ja tieverkon kunto parempi. Sama ilmiö voidaan todeta tarkastelemalla kuntoluokkajakaumaa kvl:n mukaan jaoteltuna: Vähäliikenteisemmillä teillä huonojen ja erittäin huonojen teiden määrä kasvoi suhteellisesti vähemmän kuin vilkasliikenteisillä teillä, kun toimenpiderajaa nostettiin.

Koko tieverkolla toimenpiderajojen muutos näyttäisi hiukan vähentävän erittäin hyväkuntoisten tieosuuksien määrää (kuvat 50 ja 51). PMSpro:lla saatujen tulosten perusteella suurin muutos tapahtui tyydyttävien kohteiden määrässä, niiden osuus kasvoi 31–61 %. Taulukkolaskentaohjelmalla saatujen tulosten perusteella suhteellisesti suurimmat muutokset tapahtuivat erittäin huonojen teiden määrässä. Tässä luokassa pituus kasvoi jopa 120 %. Metrimääräisesti tarkasteltuna eniten kasvoi kuitenkin huonojen tieosuuksien määrä.



Kuva 50: Tieverkon urakuntoluokka, PMSpro.



Kuva 51: Tieverkon urakuntoluokka, taulukkolaskentaohjelma

Hyvien ja erittäin hyvien tieosuuksien määrän laskiessa päällystysohjelman laajuus myöhempinä vuosina kasvaa. Huonojen tieosuuksien suuri määrä aiheuttaa pitkällä aikavälillä suuremmat kustannukset, kun toimenpiderajan ylittäviä kohteita valikoituu seuraavina vuosina päällystysohjelmiin määrällisesti enemmän. Taulukkolaskentaohjelmalla laaditut päällystysohjelmat ottivat huomioon kuntojakaumassa koko vuoden urakehityksen, vaikka todellisuudessa syksylle tehdyssä kuntoennusteessa urakehitys on noin puolet keväällä mitatusta urakehityksestä. Siksi todellinen kuntojakauma painottuisi enemmän tyydyttävää kuntoluokkaa kohti. Tällainen suuntaus ei aiheuttane päällystysohjelmien merkittävää kasvua tulevaisuudessa.

Ennen toimenpiderajan ylitystä päällystettävät kohteet

Peittoprosentin kasvun myötä toimenpiderajan alittavien kohteiden määrä päällystysohjelmassa pieneni. Peittoprosentti lasketaan huonokuntoisuuden rajan ylittävien kohteiden määrästä, joten peittoprosentista ei voi suoraan laskea päällystysohjelmaan tulevien, toimenpiderajan alittavien kohteiden määrää. Koko tieverkolla kohteiden osuus päällystysohjelman pituudesta pysyi lähes samana eri toimenpiderajoilla. Sen sijaan ylläpitoluokkien välillä vaihtelu oli suurta. Kohdemääriltään suurimmissa ylläpitoluokissa Y1A ja Y1B vaihtelut olivat pieniä, joten tulokset olivat näiltä osin luotettavampia.

Yhteenveto Uudenmaan päällystysohjelmien tuloksista

Toimenpiderajojen nosto vaikutti mitattuihin tunnuslukuihin oletusten mukaisesti suurimmissa ylläpitoluokissa: Peittoprosentti ja keskimääräinen urasyvyys kasvoivat, kohteiden lukumäärä, ajoratapituus sekä kustannukset pienenivät. Alemmissa ylläpitoluokissa tulokset olivat enemmän ristiriidassa keskenään. Kuntoluokkajakauman osalta voidaan havaita, että erittäin hyvien ja hyvien tieosuuksien määrät laskivat. PMSpro:lla tehtyjen kuntoennusteiden mukaan tyydyttävien tieosuuksien määrä kasvaisi, mikä ei välttämättä vaikuta liikenneturvallisuuteen. Sen sijaan taulukkolaskentaohjelmalla tehdyn kuntoennusteen mukaan eniten kasvaisivat huonojen ja erittäin huonojen tieluokkien osuudet. Tällainen suuntaus lisäisi tieverkon vesiliirto- ja onnettomuusriskiä.

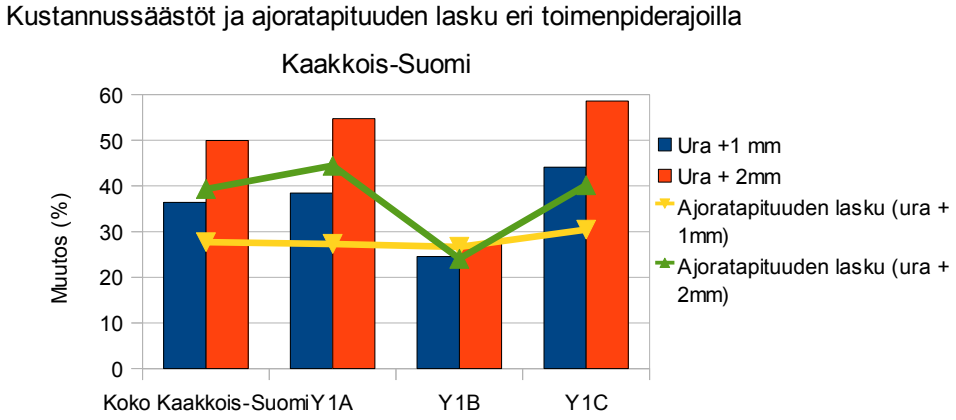
Kahden millimetrin toimenpiderajan nosto laskee kustannuksia noin 70 % PMSpro:lla tehdyillä ohjelmilla ja 63 % taulukkolaskentaohjelmalla. Samalla keskimääräinen kohdepituus laskee alle 100 metriä. Huonokuntoisten tieosuuksien määrä kasvaa

42 km (PMSpro) ja 305 km (taulukkolaskentaohjelma). Suhteelliset muutokset ovat vastaavasti 49 ja 59 %. PMSpro:lla kustannussäästö 2 mm toimenpiderajan nostolla säästää kokonaiskustannuksissa 11 miljoonaa euroa. Vastaavasti huonokuntoisten tieosuuksien määrä kasvaa 42 km. Saavutetulla säästöllä näiden osuuksien kunnostukseen olisi käytettävissä noin 262 000 €/km. Taulukkolaskentaohjelman tulosten perusteella vastaava summa olisi noin 11 100 €/ km. Uran poistamiseen käytettävien toimenpiteiden kustannukset ovat 7200–20 800 €/ km. PMSpro:n kohteissa käytettiin myös raskaampia ja kalliimpia toimenpiteitä, mikä selittää eron eri ohjelmien välillä.

6.2 Kaakkois-Suomen tieverkko

Kohteiden lukumäärä, kokonaispituus ja kokonaiskustannukset

Toimenpiderajojen nostolla saavutettavat kustannussäästöt olivat huomattavia Kaakkois-Suomen tieverkolla (kuva 52): Kustannussäästö vaihteli 25–59 %:n välillä. On kuitenkin pidettävä mielessä, että tieverkon kokonaispituus ja kohteiden lukumäärä olivat paljon pienempiä kuin Uudellamaalla ja tuloksissa oli enemmän vaihtelua.



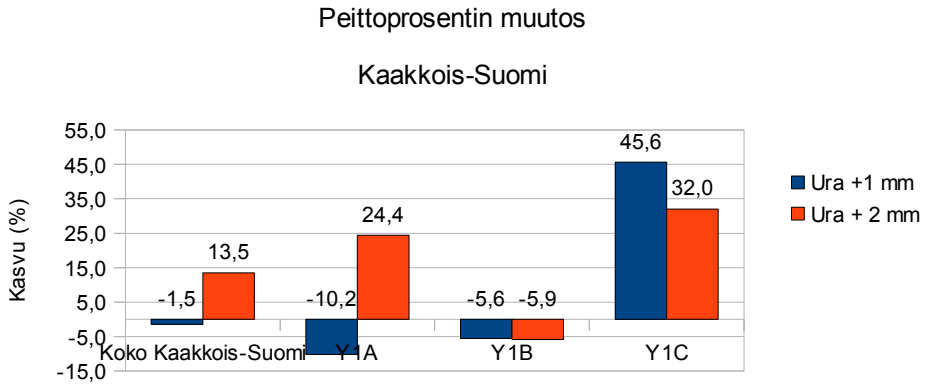
Kuva 52. PMSprolla laskettu kustannussäästö ja ajoratapituuden lasku eri toimenpiderajoilla, Kaakkois-Suomi.

Uudelleenpäällystettävän ajoratapituuden suhteellinen lasku oli hieman pienempää kuin kustannussäästö, joten osa kustannussäästöstä selittynee kevyemmillä toimenpidevalinnoilla.

Peittoprosentti

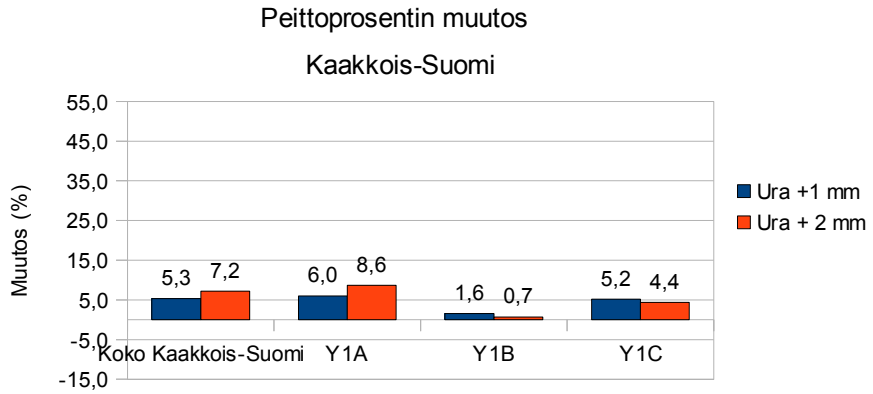
PMSpro:lla lasketut päällystysohjelmat antoivat hyvin ristiriitaisia tuloksia peittoprosentin muutoksista (kuva 53).

Taulukkolaskentaohjelmalla lasketuissa päällystysohjelmissa peittoprosentti sen sijaan yleensä kasvoi oletuksen mukaisesti (kuva 54). Kaakkois-Suomessa huonojen ja erittäin huonojen teiden osuus on pieni ja päällystysohjelmaan valikoitui erittäin vähän kohteita, kun toimenpiderajoja nostettiin. PMSpro otti ohjelmaan myös kohteita, joiden urapeittoprosentti on nolla tai hyvin pieni, jolloin urasyvyyden toimenpiderajojen muutos ei välttämättä kasvattanut päällystysohjelman peittoprosenttia.



Kuva 53. Peittoprosentin muutos ylläpitoluokittan, PMSpro.

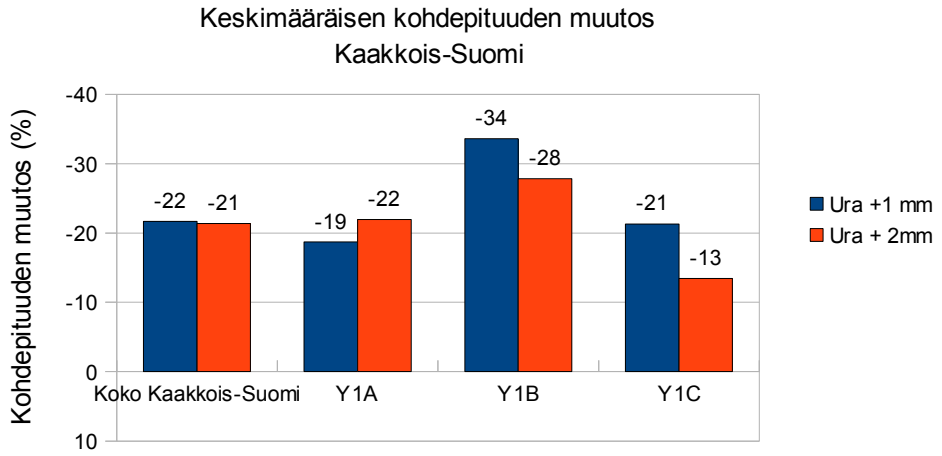
Taulukkolaskentaohjelma valitsi vain kohteet, joiden toimenpideraja ylittyi urasyvyyden osalta. Siksi peittoprosentti kasvoi toimenpiderajoja nostettaessa lukuun ottamatta ylläpitoluokkaa Y1B, jossa peittoprosentti laski, kun toimenpiderajaa nostettiin yhdestä millimetristä kahteen millimetriin. Peittoprosentin kasvu oli pientä, koska jo perusasetuksilla peittoprosentti oli erittäin korkea.



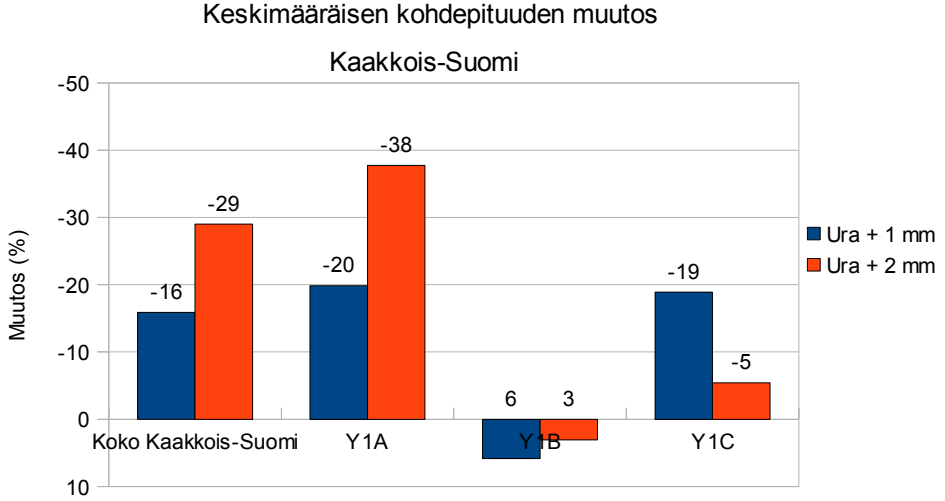
Kuva 54. Peittoprosentin muutos ylläpitoluokittan, taulukkolaskentaohjelma.

Keskimääräinen kohdepituus

Perusasetuksilla kohdepituudet olivat melko lyhyitä. Sen vuoksi toimenpiderajojen nostaminen vaikutti suhteellisesti enemmän keskimääräiseen kohdepituuteen (kuva 55). Mielenkiintoisia ovat Y1B-luokan kohdepituudet, jotka PMSpro:lla laskettuna lyhenivät kaikkein eniten, kun taulukkolaskentaohjelmalla keskimääräinen kohdepituus samassa luokassa kasvoi (kuva 56). Kohteiden määrä (9-13) kpl, on kuitenkin niin vähäinen, että jo yhden lyhyen kohteen valikoituminen mukaan vaikutti merkittävästi keskiarvoon.



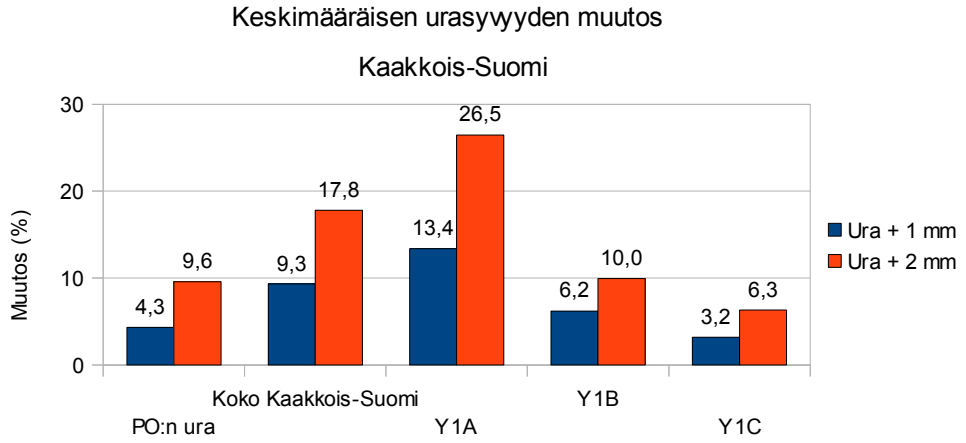
Kuva 55. Keskimääräisen kohdepituuden muutos ylläpitoluokittan, PMSpro.



Kuva 56. Keskimääräisen kohdepituuden muutos ylläpitoluokittan, taulukkolaskentaohjelma.

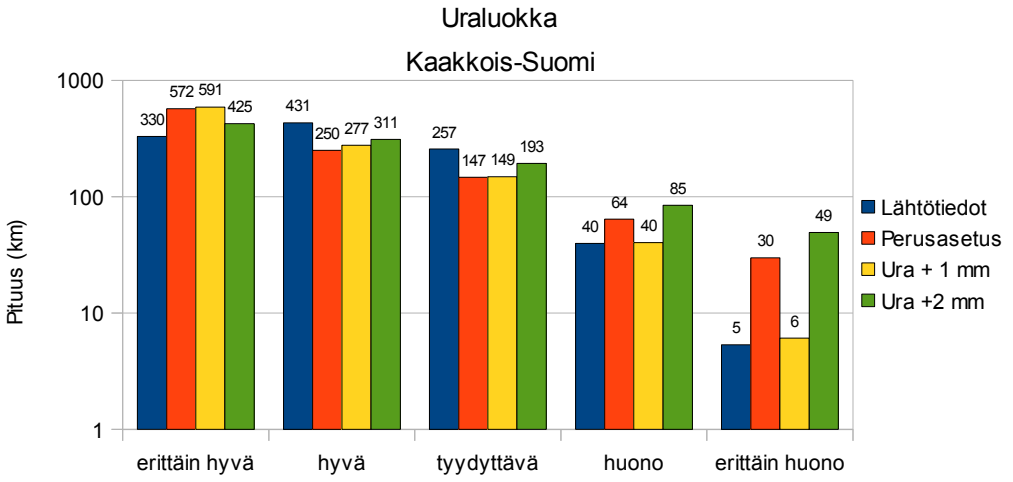
Keskimääräinen urasyvyys ja kuntoluokkajakauma

Keskimääräinen urasyvyyden suhteellinen muutos oli suurempaa ylläpitoluokissa, joissa urasyvyydet olivat pienempiä (kuva 57).

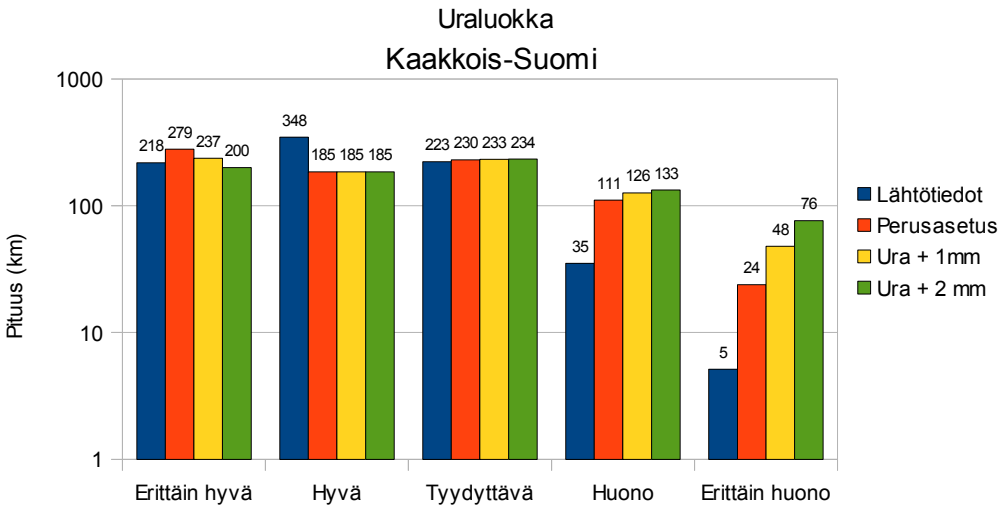


Kuva 57. Keskimääräisen urasyvyyden muutos ylläpitoluokittan.

Päällystysohjelmien jälkeiset kuntoluokkajakaumat (kuvat 58 ja 59) osoittavat, että erittäin hyväkuntoisten teiden määrä väheni. PMSpro:n kuntoluokkaraporttien mukaan hyvien ja tyydyttävien määrä kasvoi, mutta huonojen ja erittäin huonojen teiden määrän muutoksessa ei ollut säännöllistä trendiä. Taulukkolaskentaohjelmalla tehtyjen päällystysohjelmien jälkeen huonojen ja erittäin huonojen teiden määrä kasvoi, mutta tässäkin on syytä muistaa, että syksyn kuntoennusteeseen oli laskettu jo koko vuoden urautuminen.



Kuva 58. Kaakkois-Suomen tieverkon urakuntoluokkajakauma, PMSpro.



Kuva 59. Kaakkois-Suomen tieverkon urakuntoluokkajakauma, taulukkolaskentaohjelma.

Ennen toimenpiderajan ylitystä päällystettävät kohteet

Ylemmissä ylläpitoluokissa liian aikaisin päällystettävien kohteiden määrä kasvoi, kun toimenpiderajaa nostettiin Matalamman peittoprosentin vuoksi näiden kohteiden suhteellinen osuus oli myös hieman suurempi kuin Uudellamaalla.

Yhteenveto Kaakkois-Suomen päällystysohjelmien tuloksista

Toimenpiderajojen noston vaikutukset Kaakkois-Suomen tieverkolla eivät olleet kaikilta osin oletuksen mukaisia. Huonokuntoisten osuus on pieni, joten päällystysohjelmiin valikoitui vain vähän kohteita, ja tuloksissa oli paljon hajontaa. Huonokuntoiset kohteet ovat hajallaan eri puolilla tieverkkoa ja toimenpiderajojen nosto ei välttämättä nostanut peittoprosenttia alemmissa ylläpitoluokissa, ellei vähimmäiskohdepituutta alenneta. Liian aikaisin päällystettävien kohteiden suhteellinen määrä kasvoi, kun toimenpiderajaa nostettiin, mikä viittaa siihen, että myöskään peittoprosentti ei välttämättä nouse. Kuntoluokkajakaumassa erittäin hyvien määrä laski enimmillään 348 km. Huonokuntoisten teiden määrä kasvoi PMSpro:n mukaan 40 km ja taulukkolaskentaohjelman mukaan 74 km. Samoin kuin Uudellamaalla, tämä selittyy sillä, että PMSpro huomioi muitakin kuntomuuttujia. Näin päällystysohjelmista tuli pidempiä ja urasyvyyden toimenpiderajan ylittävistä kohteista suurempi osuus otettiin mukaan päällystysohjelmiin. Sama ilmiö selittää sen, että keskimääräiset kohdepituudet ovat PMSpro:n päällystysohjelmissa noin 32-43% suurempia.

7 Yhteenveto, päätelmät ja suositukset

Yhteenveto

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää toimenpiderajojen muutosten taloudellisia vaikutuksia vilkasliikenteisten teiden uudelleenpäällystyksessä. Uudenmaan ja Kaakkois-Suomen vilkasliikenteisen tieverkon kuntotietojen perusteella haluttiin selvittää mitä vaikutuksia urasyvyyden toimenpiderajoilla on vuosittaisten päällystysohjelmakohteiden pituuteen, peittoprosenttiin, keskimääräisiin kohdepituuksiin, vuosikustannuksiin ja tiestön kuntojakaumaan.

Päällystysohjelmien sisältöön vaikuttavia tekijöitä selvitettiin kirjallisuustutkimuksella ja asiantuntijahaastatteluilla. Toimenpiderajojen vaikutusta päällystysohjelmien sisältöön arvioitiin teoreettisilla päällystysohjelmilla, jotka laadittiin kahdella eri tietokoneohjelmalla. Teoreettiset päällystysohjelmat eivät huomioineet urasyvyyden toimenpiderajan noston vaikutuksia muiden vaurioiden syntyyn eivätkä liikenneturvallisuuteen. Kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin päällysteiden vaurioitumista ja uudelleenpäällystyksen tekniseen ja taloudelliseen hallinnointiin kehitettyä ylläpidon hallintajärjestelmää. Päällystysohjelman laadintaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä tarkasteltiin erityisesti ohjelmatasolla.

Tutkimuksessa käytettiin kahta eri päällystysohjelmointijärjestelmää: Liikenneviraston ja Ely-keskusten käyttämää PMSpro:ta sekä tässä työssä kehitettyä kuntotieto- ja tierekisteristerin tietoihin pohjautuvaa taulukkolaskentaohjelmaa. Näillä ohjelmilla sekä Uudenmaan että Kaakkois-Suomen vilkasliikenteiselle tieverkolle laadittiin päällystysohjelma vuosiksi 2010-2012 käyttäen nykyisiä toimenpiderajoja eli perusasetuksia ja yhdellä millimetrillä sekä kahdella millimetrillä nostettuja toimenpiderajoja urasyvyydelle. Näillä muutosten vaikutukset päällystysohjelmiin oletettiin seuraaviksi:

- Kohteiden lukumäärä päällystysohjelmissa vähenee.
- Päällystysohjelmien peittoprosentti kasvaa ja ennen toimenpiderajan ylitystä päällystettävien kohteiden määrä vähenee.
- Uudelleenpäällystettävien kohteiden keskimääräinen pituus lyhenee.
- Päällystysohjelmien kokonaispituus ja -kustannukset

pienenevät.

- Tiestön ja päällystysohjelmien keskimääräinen urasyvyys kasvaa eli tiestön kunto huononee.

Tärkeimpien tulosten yhteenveto PMSpro:n ja taulukkolaskentaohjelman (Tlo) päällystysohjelmista on esitetty taulukoissa 22 ja 23.

Taulukko 22. Yhteenveto Uudenmaan päällystysohjelmien tuloksista.

Toimenpideraja	Kustannukset		Peittoprosentti		Keskimäräinen kohdepituus		Huonojen ja erittäin huonojen teiden pituus		Päällystysohjelman pituus	
	m€		*%*		*km*		*km*		*km*	
	PMSpro	*Tlo*	*PMSpro*	*Tlo*	*PMSpro*	*Tlo*	*PMSpro*	*Tlo*	*PMSpro*	*Tlo*
Perusasetus	*36,0*	*9,3*	*32,3*	*81,2*	*2,4*	*2,3*	*85*	*520*	*1855*	*921*
Ura + 1 mm	*29,5*	*7,38*	*38,7*	*91,3*	*2,3*	*2,1*	*104*	*683*	*1541*	*727*
Ura + 2 mm	*25,0*	*5,9*	*43,7*	*95,5*	*2,3*	*2,2*	*127*	*825*	*1323*	*573*

Taulukko 23. Yhteenveto Kaakkois-Suomen päällystysohjelmien tuloksista.

Toimenpideraja	Kustannukset		Peittoprosentti		Keskimäräinen kohdepituus		Huonojen ja erittäin huonojen teiden pituus		Päällystysohjelman pituus	
	m€		*%*		*km*		*km*		*km*	
	PMSpro	*Tlo*	*PMSpro*	*Tlo*	*PMSpro*	*Tlo*	*PMSpro*	*Tlo*	*PMSpro*	*Tlo*
Perusasetus	*7,1*	*2,6*	*30,4*	*85,8*	*3,5*	*2,2*	*94*	*135*	*414*	*186*
Ura + 1 mm	*4,5*	*2,0*	*30*	*90,4*	*2,8*	*1,9*	*46*	*174*	*300*	*143*
Ura + 2 mm	*3,6*	*1,5*	*34,6*	*92,0*	*2,8*	*1,6*	*134*	*209*	*251*	*107*

Kuten taulukosta 22 nähdään, Uudellamaalla oletukset pitivät paikkaansa. Peittoprosentti nousi, päällystysohjelman kustannukset laskivat, kokonaispituus sekä keskimääräinen kohdepituus laskivat ja huonokuntoisten teiden määrä kasvoi. Kokonaiskustannusten säästö 2 mm:n toimenpiderajan nostolla oli noin 42-49 %.

Kaakkois-Suomessa kaikki oletukset eivät pitäneet paikkaansa. Kun toimenpiderajaa nostettiin 1 mm, peittoprosentti ei PMSpro:lla laadituissa ohjelmissa noussut. Tällöin myös huonokuntoisten

tieosuuksien määrä väheni, vaikka päällystysohjelman pituus ja kokonaiskustannukset laskivat. Sen sijaan taulukkolaskentaohjelmalla laadituilla päällystysohjelmilla hypoteesit osoittautuivat oikeiksi. Kokonaiskustannusten säästö Kaakkois-Suomessa 2 mm:n toimenpiderajan nostolla oli noin 49 – 54 %.

Päätelmät

Hypoteesit toimenpiderajojen noston vaikutuksista toteutuivat Uudellamaalla, jossa tieverkon pituus on pidempi. Lähtöaineiston laajuuden vuoksi tuloksia voidaan pitää luotettavampina kuin Kaakkois-Suomessa, jossa vilkasliikenteistä tiestöä on vähän. Lisäksi liikennemäärä Uudenmaan tieverkolla on suurempi, joten tiet rappeutuvat nopeammin ja huonokuntoisten tieosuuksien määrä lähtöaineistossa on suurempi. Kun huonokuntoisia tieosuuksia on enemmän, ne sijaitsevat tieverkolla tiheämmässä. Näin vähimmäiskohdepituuden ylittäviä uudelleenpäällystyskohteita muodostuu enemmän ja toimenpidetarpeessa olevia kohteita jää vähemmän päällystysohjelmien ulkopuolelle.

Kaakkois-Suomessa lähtöaineisto on pienempi ja huonokuntoisten tieosuuksien määrä vähäinen. Siksi tuloksissa on enemmän satunnaisuutta, eivätkä kaikki hypoteesit toteutuneet: PMSpro:n päällystysohjelmien peittoprosentti pieneni, kun toimenpiderajaa nostettiin 1 mm. Keskimääräiset kohdepituudet pienenivät yli 20 %, kun toimenpiderajaa nostettiin 2 mm. Uudellamaalla lasku oli alle 10 % Tämä johtuu siitä, että vähimmäispituuden ylittävien uudelleenpäällystyskohteiden muodostaminen hankaloituu, kun huonokuntoiset tieosuudet sijaitsevat hajallaan eri puolella tieverkkoa.

PMSpro:lla ja taulukkolaskentaohjelmalla laadittujen päällystysohjelmien sisältö oli yhteneväinen, mutta määrät poikkesivat toisistaan. Taulukkolaskentaohjelma huomioi vain urasyvyyden toimenpidetarpeen, mikä selittää korkeamman peittoprosentin ja lyhyemmät päällystysohjelmat. Merkittävimpiä ovat erot päällystysohjelmien kustannuksissa ja huonokuntoisten tieosuuksien määrässä. Tämä selittyy sillä, että PMSpro huomioi muitakin kuntomuuttujia. Näin päällystysohjelmista tuli pidempiä ja urasyvyyden toimenpiderajan ylittävistä kohteista suurempi osuus otettiin mukaan päällystysohjelmiin. Taulukkolaskentaohjelmassa toimenpidetarpeessa olevia kohteita jäi enemmän päällystysohjelmien ulkopuolelle, kun lyhyitä ja hajallaan olevia kohteita karsiutui kohdeyhdistelyssä

Päällystysohjelmointi yhden kuntomuuttujan perusteella on luotettavaa silloin, kun lähtöaineistoa on paljon eli tieverkon pituus on tarpeeksi suuri. Lisäksi tuotantoteknisesti tehokkaiden päällystysohjelmien muodostamiseksi tieverkolla on oltava huonokuntoisia osuuksia riittävän tiheästi. Näin yhden muuttujan perusteella laskettava peittoprosentti ja keskimääräinen kohdepituus muodostuvat riittävän suuriksi. Kuten luvussa 3.4 todettiin, peittoprosentti on nykyään noin 30-40 % ja kohdepituuden tulisi olla vähintään 1,5 km.

Yhteenvetona voidaan todeta, että urasyvyyden toimenpiderajojen nosto laskee vuosittaisten päällystysohjelmien pituuksia ja kokonaiskustannuksia vilkasliikenteisten teiden uudelleenpäällystyksessä. Samalla hyväkuntoisten tieosuuksien määrä pienenee ja tyydyttävien sekä huonokuntoisten tieosuuksien määrä lisääntyy. Erityisesti vilkasliikenteisellä tieverkolla, jossa urautuminen on nopeaa ja huonokuntoisten teiden määrä suuri, toimenpiderajojen muutoksilla ei ole merkittävää vaikutusta uudelleenpäällystyskohteiden keskimääräiseen kohdepituuteen.

Tässä tutkimuksessa taloudellisia vaikutuksia arvioitiin vain teoreettisilla päällystysohjelmilla kertaluonteisesti. Tarkempi toimenpiderajojen tarkastelu tulee arvioida useamman vuoden päällystysohjelmaketjuilla, jotta havaittaisiin vaikutus tieverkon kunnon kehittymiseen pitkällä aikavälillä. Todelliset vaikutukset voidaan arvioida vain useamman vuoden toteutuneilla päällystysohjelmaketjuilla, kun tieverkon kunnon kehittymistä voidaan seurata toteutuneiden toimenpiteiden ja kuntomittausten perusteella. Pelkän urasyvyyden tarkastelu päällystysohjelmissa ei myöskään ota huomioon muiden vaurioiden kehitystä. Tällä voi myöhemmässä vaiheessa olla vaikutuksia raskaampien toimenpiteiden, kuten rakenteenparantamisten tarpeeseen.

Lähdeluettelo

American Association of State Highway and ransportation Officials (AASHTO). 1993. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.* AASHTO. Washington, D.C. USA.

Belt, J. & Kolisoja, P. & Alatyppö, V. & Valtonen, J. 2006. *Tierakenteen rappeutuminen ja kunnon ennustaminen*. Oulun yliopiston rakentamisteknologian tutkimusryhmän julkaisuja. 43 s. ISBN 951-42-8052-0

Christensen, P. & Ragnøy, A. 2006. *Vegdekkets tilstand og trafikksikkerhet.* The Norwegian Public Road Administration. Oslo, Norja. 56 s. ISBN 82-480-0648-4.

Dietrich, J. 2011. *PTM-mittausepävarmuudesta aiheutuvat riskit.* 24 s. Helsinki.

Ehrola, E. 1996. *Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet.* Helsinki. ISBN 951-682-338-6.

Haas, R. 2001. *Reinventing The (Pavement management) Wheel. [Verkkodokumentti].* Fifth International Conference On Managing Pavements. Seattle, Washington, USA. 11-15.4.2001. [Viitattu 1.4.2011]. Saatavissa: http://pavementmanagement.org/published_documents/ReinventingthePMWhellByHaas2001.pdf.

Hartikainen, O-P. 2003. *Tietekniikan perusteet.* Helsinki. 171 s. ISBN 951-672-336-5.

Haveri, O. 2006. *Elinkaaritarkastelut tiepäällysteiden ylläpidon ohjelmoinnissa.* Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan osasto. Tampere. 87s.

Hofmann, K. & Hunt, L. 1995. *Repair of rutting caused by studded tires.* [Verkkodokumentti]. Oregon Department of Transportation Research Unit and Federal Highway Administration Oregon, USA. [Viitattu 24.5.2011]. Saatavissa http://www.oregon.gov/ODOT/TD/TP_RES/docs/Reports/RepairOfRutting.pdf?ga=t.

Hudson, R.W. & Haas, R. & Uddin, W. 1997. *Infrastructure Management: Integrating Design, Construction, Maintenance, Rehabilition and Renovation.* New York, USA. 387 s. ISBN 0-07-030895-0.

Ihs A. & Velin, H. & Wiklund, M. 2002. *Vägytans inverkan på trafiksäkerheten. Data från 1992-1998.* VTI meddelande 909. Swedish National Road and Transport Research Institute. Linköping, Ruotsi. 76 s. ISSN 03467-6049.

Kurki, T. 2002 *Teiden ja katujen ylläpidon hankinta. Nykytila ja tulevaisuus.* Tiehallinnon selvityksiä 29/2002. 36 s. + liitt. 7 s. ISBN 951-726-909-6.

Lang, J. 2010. *Road classification for RUE analysis.*

Lang, J. M. 2001. *Pavement Management Systems in Sweden. [Verkkodokumentti].* 5th International Conference on Managing Pavements. Seattle, Washington, USA. 2001. [Viitattu 5.4.2011]. Saatavissa: http://pavementmanagement.org/ICMPfiles/2001045.pdf

Lehtipuu, E. 1983. *Asfalttipäällysteet: suunnittelu, rakentaminen, kunnossapito.* Helsinki. 412 s. ISBN 951-676-290-5.

Lehtonen, K. & Laine, V. & Järvinen, S. 2005. *Urasyvyyden ja epätasaisuuden vaikutus onnettomuuksiin.* Tiehallinnon selvityksiä 49/2005. 44 s. + liitt. 17 s. ISBN 951-803-590-3.

Liikennevirasto. 2010a. *Tietilasto 2009.* Helsinki. 80 s. ISBN 978-952-255-009-5 (sähköinen). ISBN 978-952-255-008-8 (painettu).

Liikennevirato 2010b. *Tienkäyttäjien palautteet.*

Liikennevirasto. 2011a. *Päällystettyjen teiden kunto.* Helsinki.

Liikennevirasto 2011b. *Päällysteiden ylläpidon rahoitustarpeen optimointi.* Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 7/2011. Helsinki. 34 s. ISBN 978-952-255-620-2.

Liski, J. 2010. *Asfalttipäällysteiden pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat tekijät.* Opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Lappeenranta. 45 s.

Mattila, A. 2008. *Katujen kuntoarviointi ja asfalttipäällystysohjelman laadintamenettely.* Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Espoo. 96 s.

Metopolitan Transportation Comission. 1986. *Pavement Condition Index Distress Identification Manual For Asphalt and Surface Treatments Pavements.* Oackland, California, USA. 23 s.
Männistö, V. 2009. Liikennevirasto. Kurssin ”Tien ja kadun hoito- ja ylläpito” luentoaineisto. Aalto Yliopisto.

Pöyry 2010. *Päällystevauriokartoitus (PVK) – inventointiohje.*

Rantanen, K. 2005. *Päällysteen karkeustiedon hyödyntämismahdollisuudet.* Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Espoo. 92 s.

Sayerd,M. & Gillespie, T. & Queiroz, C. 1986. *The International Road Roughness Experiment. Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements*. U.S.A World Bank Technical Paper Number 45. 104 s. + liit. 349 s.

Sikow, C & Tikka, K.A. & Äijö, J.S. & Männistö, V.J. & Tapio, R.O. 1994. *Strategic Tools In Finland. [Verkkodokumentti].* Third International Conference On Managing Pavements. San Antonio, Texas, USA. 1994. [Viitattu 5.4.2011]. Saatavissa: http://www.pavementmanagement.org/ICMPfiles/1994014.pdf

Smith, K. D. & Zimmerman, K.A. & Finn, F.N. 2004. *The AASHO Road Test: Living Legacy For Highways Pavements.* TR News. . Vol. 232. S.14-23. ISSN 0738-6826.

Taipale, I. 2007. *Arviointi asfalttipäällysteiden uusimisesta kestoikäurakkaan perustuvalla hankintamenetelmällä.* Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Espoo. 76 s.

Tiehallinto 1997. *Päällysteiden suunnittelu.* Helsinki. 45 s. ISBN 951-726-372-4.

Tiehallinto 2002. Jouko Belt, Veli Pekka Lämsä, Mika Savolainen, Esko Ehrola. *Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto*. Tiehallinnon selvityksiä 15/2002. Helsinki. 72 s. ISBN 951-726-881-5.

Tiehallinto. 2004. *Päällystettyjen teiden vauriomittauksen kehittäminen.* Tiehallinnon selvityksiä 52/2004. Helsinki. 63 s. ISBN 951-803-374-9.

Tiehallinto 2005a. Ruotoistenmäki, A. *Kuntotiedon käyttö tie- ja katuverkon ylläpidon päätöksenteossa*.Tiehallinto. Helsinki. 97 s. + liitt. 89 s. ISBN 951-803-453-2.

Tiehallinto. 2005b. *Väyläomaisuuden hallinnan ja uusien hankintamenetelmien yhteensovittaminen ylläpidossa.* Tiehallinnon selvityksiä 11/2005. Helsinki. 67 s. + liitt. 5 s. ISBN 951-803-475.5.

Tiehallinto. 2005c. *PMSPro:n kuntoennustemallit 2004.* Tiehallinnon selvityksiä. Helsinki. 51 s. ISBN 951-803-458-3.

Tiehallinto. 2006a. Päällysteiden ylläpidon toimintalinjat. Helsinki: Edita Prima Oy. ISBN 978-95

Tiehallinto. 2006b. *Hankinta 2010. Tienpidon hankintastrategia.* Tiehallinnon selvityksiä. Helsinki. 49 s. ISBN 951-803-719-1.

Tiehallinto. 2007a. *Käsikirja tien pinnan kunnon mittaamisesta.* Tiehallinnon selvityksiä 21/2007. Helsinki. 55 s. ISBN 978-951-803-863-7.

Tiehallinto. 2007b. *Automaattinen päällystevaurioiden mittaus (APVM) – Vauriotiedon käyttö päällystetyn tiestön ylläpidossa.* Tiehallinnon Selvityksiä 13/2007. Helsinki. 40 s. + liitt. 11 s. ISBN 978-951-803-843-9.

Tiehallinto. 2008. *APVM-vauriotiedon tarkkuus ja luotettavuus.* Tiehallinnon selvityksiä. 71/2008. Helsinki. 67 s. + liitt. 7 s. ISSN 1459-1561.

Tiehallinto2009a. *Päällysteiden paikkaus.*Helsinki*.* 51 s. ISBN 978-952-221-262-2.

Tiehallinto 2009b. *Tienpäällystysurakoiden optimaalinen sisältö ja laajuus.* Helsinki. 19 s. + liitt. 3 s.. ISSN 1459-1561.

Tiehallinto 2009c. *Palvelutasomittausten mittausohjelmien kehittäminen.* Tiehallinnon selvityksiä 21/2009. Helsinki. 86 s. ISBN 978-952-221-235-1.

TietoEnator 2009. *PMSpro 2.7.0.3. Käyttöohje.* Tampere. 101 s.

Virtala, P. & Männistö, V. & Karhula, J. & Kähkönen, A. *Tienpidon toimet tieverkon arvon säilyttäjänä.* Tielaitoksen selvityksiä 66/1996, Helsinki 1996.

Asiantuntijahaastattelut

Annala, J. & Heikkilä, J. & Jortikka, A. & Kärkkäinen, A. & Meriläinen, J. & Mäkiö, T & Männistö, V. & Norrkniivilä, M. & Parviainen, H. & Pirinen,P. & Puikkonen, T. & Tsupari, H. *Ylläpidon suunnittelun verkko*. Kokous. 23.11.2010.

Männistö, V. 2011. Ylläpidon asiantuntija.Liikennevirasto Haastattelu 29.5.2011.

Sund, E. 2011. Principal Engineer. Norjan tiehallinto. Sähköpostihaastattelu 20.5.2011.

Liitteet

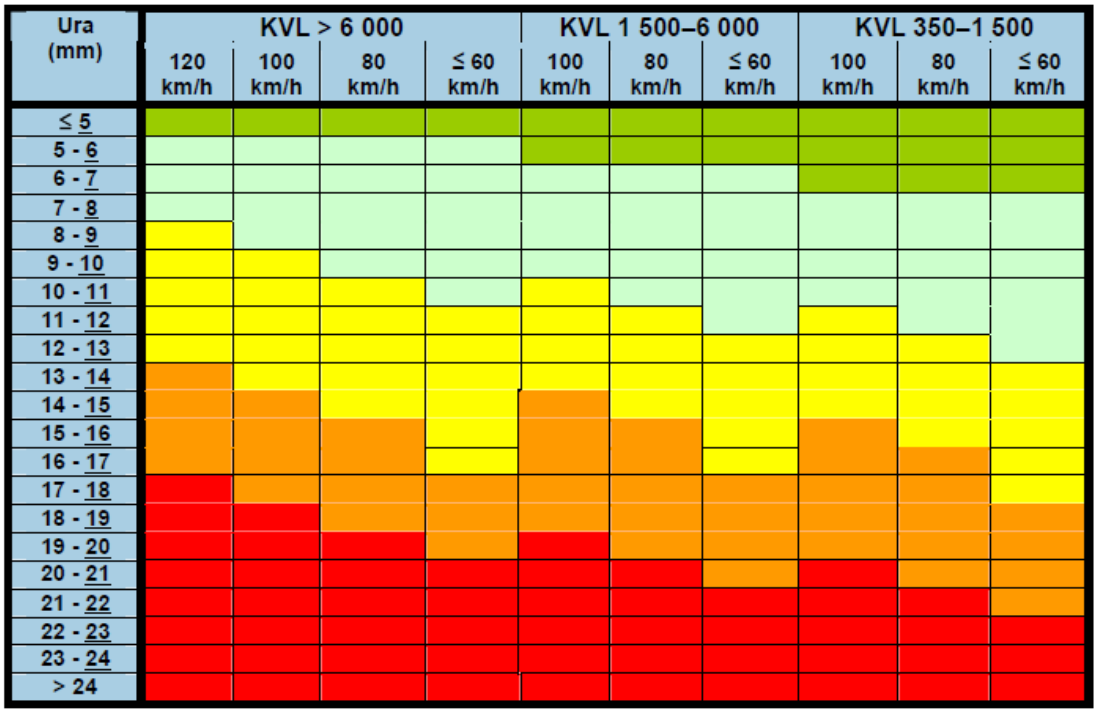
Liite A. Urasyvyyden kuntoluokat.

Liite B. Taulukkolaskentaohjelman VisualBasic-ohjelmakoodi.

Liite C. Päällystysohjelmat PMSpro:lla.

Liite D. Päällystysohjelmat taulukkolaskentaohjelmalla.

Liite A. Urasyvyyden kuntoluokat.



Kuva A.1: Tieverkon kuntoluokat urasyvyyden perusteella. (Tiehallinto 2006)

Liite B. Taulukkolaskentaohjelman VisualBasic-koodi.

```
Sub koko_po()
Dim i As Long
Dim sarake As Range
Dim lahtorivi_lkm As Long
Dim kvl_kaista As Long
Dim oletusmalli As Double
Dim max_kehitys As Double
Dim k As Long
Dim j As Long
Dim l As Long
Dim keskimmaisen_jakson_pituus As Long
Dim yhdistetyn_jakson_pituus As Long
Dim rivi_lkm As Long
Dim po_rivi_lkm As Long
Dim satam_lkm As Long
Dim po_range As Range
Dim lahto_range As Range
Dim po100m_lkm As Long
Dim ika As Long
Dim ura As Double
Dim alue As Range
Dim urem_maara  As Long
Dim abpin2_maara As Long
Dim abpin1_maara As Long
Dim uremo_maara As Long
Dim pabmpo_maara As Long
Dim kohteiden_lkm As Long
Dim pituus As Long
Dim pituus_alue As Range
Dim huonot100m As Long
Dim ura_keskiarvo As Double
Dim pituus_alue2 As Excel.Range
Dim aikaistus€ As Double
Dim aikaistus_pituus As Double
Dim hinta As Double
Dim nopeus As Integer
Dim kvl As Long

Set sarake = Worksheets("kohteiden_boldaus").Range("bb:bb")
lahtorivi_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(sarake, ">0")  'määritetään lähtötietojen 100metristen lkm

'tarkastetaan urakehitys pms:n uramallien mukaisiksi
For i = 5 To (lahtorivi_lkm + 4)
   If ActiveSheet.Cells(i, 55).Value <= 0 Then                          'kvl_kaista ei saa olla 0
      ActiveSheet.Cells(i, 55).Value = ActiveSheet.Cells(i - 1, 55).Value
   End If
   kvl_kaista = ActiveSheet.Cells(i, 55).Value
   oletusmalli = -3.34 + 0.57 * Application.WorksheetFunction.Ln(kvl_kaista)
   max_kehitys = 2.8 + oletusmalli
   If ActiveSheet.Cells(i, 117).Value < 0 Then 'jos urakehitys < 0, -> urakehitys= 0
      ActiveSheet.Cells(i, 117).Value = 0
   End If
   If ActiveSheet.Cells(i, 117).Value = "" Then    'jos urakehitystä ei ole, ->urakehitys oletusmallin mukainen
      ActiveSheet.Cells(i, 117).Value = oletusmalli
   End If
      If ActiveSheet.Cells(i, 117).Value > max_kehitys Then     'jos urakehitys > makskehitys->, urautuminen =
maks_kehitys
      ActiveSheet.Cells(i, 117).Value = max_kehitys
   End If
Next i


 'annetaan tp-rivin arvoksi "100", jos ura ylittää urarajan vuonna 2012
Worksheets("kohteiden_boldaus").Select
ActiveCell(5, 1).Select
For i = 5 To (lahtorivi_lkm + 4)      'lähtötietorivien lkm

   If ActiveSheet.Cells(i, 119).Value + 2 * ActiveSheet.Cells(i, 117).Value >= ActiveSheet.Cells(i, 116).Value Then
      ActiveSheet.Cells(i, 120).Value = "100"
```

```
      ActiveSheet.Rows(i).Font.Bold = True
   End If
Next i

                  'valitaan oikea toimenpide

For i = 5 To (lahtorivi_lkm + 4)  'valitaan ensin toimenpide, kun pl_luokka= 2
   If ActiveSheet.Cells(i, 120).Value = "100" Then
      If ActiveSheet.Cells(i, 62).Value = 2 Then
         If ActiveSheet.Cells(i, 106).Value < 10 Then
         ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "UREMO"
         Else
         ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "PABMPO"
         ActiveSheet.Cells(i, 121).Value = "REMO"
         End If
      End If
   End If
 Next i

For i = 5 To (lahtorivi_lkm + 4)    'toimenpide, kun pl_luokka = 1 ja kvl >= 6000
   If ActiveSheet.Cells(i, 120).Value = "100" Then
      If ActiveSheet.Cells(i, 54).Value >= 6000 Then      'jos kvl >= 6000 -> abpin2
         ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "ABPIN2"
         ActiveSheet.Cells(i, 121).Value = "REM"
      End If
   End If
Next i

For i = 5 To (lahtorivi_lkm + 4)    'toimenpide, kun pl_luokka = 1 ja kvl <= 6000
   If ActiveSheet.Cells(i, 120).Value = "100" Then
      If ActiveSheet.Cells(i, 106).Value <= "6" Then
         If ActiveSheet.Cells(i, 78).Value <> "UP" Then
            If ActiveSheet.Cells(i, 78).Value <> "UREM" Then
            ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "UREM"
            ActiveSheet.Cells(i, 121).Value = "UREM"
            End If
         End If
      End If
   End If
Next i

For i = 5 To (lahtorivi_lkm + 4)   'ABPIN1, kun muut vaihtoehdot on käyty läpi
   If ActiveSheet.Cells(i, 120).Value = "100" Then
     If ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "" Then
        ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "ABPIN1"
        ActiveSheet.Cells(i, 121).Value = "REM"
      End If
   End If
Next i

ActiveCell(5, 1).Select

Set sarake = Worksheets("kohteiden_boldaus").Range("bb:bb")
lahtorivi_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(sarake, ">0")  'määritetään lähtötietojen 100metristen lkm

Worksheets("kaikki_kohteet").Select
ActiveSheet.Cells(5, 1).Select

k = 4
For i = 5 To (lahtorivi_lkm + 4)    'lähtötietorivi_lkm

    If Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(i, 120).Value = "100" Then            'jos tp-tarve, niin lisätään ko-rivi
taulukkoon
   k = k + 1
      ActiveSheet.Rows(k).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Rows(i).Value
      ActiveSheet.Rows(k).Font.Bold = True
   End If
Next i

Set sarake = Worksheets("kohteiden_boldaus").Range("bb:bb")
lahtorivi_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(sarake, ">0")  'määritetään lähtötietojen 100metristen lkm

Worksheets("taul2").Select
ActiveSheet.Cells(5, 1).Select
```

```
k = 4
For i = 5 To (lahtorivi_lkm + 4)    'lähtötietorivi_lkm

     If Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(i, 120).Value = "100" Then            'jos tp-tarve, niin lisätään ko-rivi
taulukkoon
   k = k + 1
      ActiveSheet.Rows(k).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Rows(i).Value
      ActiveSheet.Rows(k).Font.Bold = True
   End If
Next i

'yhdistetään peräkkäiset kohteet, joilla tp-tarve

For j = 5 To (lahtorivi_lkm + 4)
   If ActiveSheet.Cells(j, 1).Value <> "" Then
   End If
Next j

j = 5
Do While ActiveSheet.Cells(j, 1).Value <> ""
   If ActiveSheet.Cells(j, 1).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 1).Value Then
      If ActiveSheet.Cells(j, 2).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 2).Value Then
         If ActiveSheet.Cells(j, 3).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 3).Value Then
            If ActiveSheet.Cells(j, 4).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 4).Value Then
               If ActiveSheet.Cells(j, 62).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 62).Value Then
                  If ActiveSheet.Cells(j, 7).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 5).Value Then
                     If ActiveSheet.Cells(j, 8).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 6).Value Then
                        ActiveSheet.Cells(j, 8).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 8).Value
                        ActiveSheet.Cells(j, 7).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 7).Value
                        If ActiveSheet.Cells(j, 9).Value < ActiveSheet.Cells(j + 1, 9).Value Then   'valitaan pidemmän
                         jakson toimenpide
                           ActiveSheet.Cells(j, 121).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 121).Value
                           ActiveSheet.Cells(j, 122).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 122).Value
                        End If
                        l = ActiveSheet.Cells(j, 9).Value + ActiveSheet.Cells(j + 1, 9).Value
                        ActiveSheet.Cells(j, 9).Value = l
                        ActiveSheet.Rows(j + 1).Delete
                        ActiveSheet.Rows(j).Select
                        j = j - 1
                     End If
                  End If
               End If
            End If
         End If
      End If
   End If
j = j + 1
Loop

Set sarake = Worksheets("taul2").Range("bb:bb")
rivi_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(sarake, ">0")  'määritetään lähtötietojen 100metristen lkm

Worksheets("taul3").Select
ActiveSheet.Cells(5, 1).Select

For i = 5 To (5000)                                    'yhdistellään PMSpron yhdistelyehtojen mukaisesti, HUOM! päivitä i!
ActiveSheet.Rows(i).Value = Worksheets("taul2").Rows(i).Value
Next i

j = 5
Do While ActiveSheet.Cells(j, 1).Value <> ""
   keskimmaisen_jakson_pituus = ActiveSheet.Cells(j + 1, 6).Value - ActiveSheet.Cells(j, 8).Value
    If ActiveSheet.Cells(j, 1).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 1).Value Then              'tarkastetaan, että 4 perusehtoa
täyttyvät.
      If ActiveSheet.Cells(j, 2).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 2).Value Then
         If ActiveSheet.Cells(j, 3).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 3).Value Then
            If ActiveSheet.Cells(j, 4).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 4).Value Then
               If ActiveSheet.Cells(j, 7).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 5).Value Then
                  If ActiveSheet.Cells(j, 62).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 62).Value Then
                     If keskimmaisen_jakson_pituus < 500 Then                  'tarkistus, että väliosuus < 500m
                     'ei oteta huomioon ehtoa, että väliosuuden oltava lyhyempi kuin reunojen
                        ActiveSheet.Cells(j, 7).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 7).Value
                        ActiveSheet.Cells(j, 8).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 8).Value
                        If ActiveSheet.Cells(j, 9).Value < ActiveSheet.Cells(j + 1, 9).Value Then   'valitaan pidemmän
                         jakson toimenpide
```

```
                        ActiveSheet.Cells(j, 121).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 121).Value
                        ActiveSheet.Cells(j, 122).Value = ActiveSheet.Cells(j + 1, 122).Value
                        End If
                        yhdistetyn_jakson_pituus = ActiveSheet.Cells(j, 9).Value + keskimmaisen_jakson_pituus +
                         ActiveSheet.Cells(j + 1, 9).Value
                        ActiveSheet.Cells(j, 9).Value = yhdistetyn_jakson_pituus
                        ActiveSheet.Rows(j + 1).Delete
                        ActiveSheet.Rows(j).Select
                        j = j - 1
                    End If
                End If
            End If
        End If
    End If
  End If
j = j + 1
Loop

'poistetaan alle 500m pitkät kohteet
Worksheets("PO").Select

ActiveSheet.Rows(4).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Rows(4).Value   'lisätään otsikoy

Set sarake = Worksheets("taul3").Range("bb:bb")
rivi_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(sarake, ">0")  'määritetään rivi_lkm

Worksheets("PO").Cells(5, 1).Select
j = 5
For i = 5 To rivi_lkm + 4
If Worksheets("taul3").Cells(i, 9).Value >= 500 Then

ActiveSheet.Rows(j).Value = Worksheets("taul3").Rows(i).Value
j = j + 1
End If
Next i

'tästä alkaa PO:n kohteiden aukikirjoittaminen

Set po_range = Worksheets("PO").Range("i:i")
po_rivi_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(po_range, ">=0")

Set lahto_range = Worksheets("kohteiden_boldaus").Range("i:i")
lahtorivi_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(lahto_range, ">=0")

'tulostetaan PO:n rivit siten, että joka kohteelle tulee oikea määrä 100metrisiä
Worksheets("taul5").Select
ActiveSheet.Cells(5, 1).Select
For i = 5 To (po_rivi_lkm + 4)
Worksheets("PO").Rows(i).Copy
satam_lkm = Application.WorksheetFunction.Ceiling(Worksheets("po").Cells(i, 9).Value / 100, 1)

For j = 1 To (satam_lkm)
Selection.PasteSpecial
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next j
Next i

'haetaan riveille oikeat osoitetiedot,pituudet, urasyvyydet, tp-rajat ja urautumisnopeudet lähtötiedoista
Worksheets("Taul5").Select
ActiveSheet.Cells(5, 1).Select
For i = 5 To (po_rivi_lkm + 4)
satam_lkm = Application.WorksheetFunction.Ceiling(Worksheets("po").Cells(i, 9).Value / 100, 1)
For j = 1 To satam_lkm
For k = 5 To (lahtorivi_lkm + 4)

If ActiveCell.Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 1).Value Then
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
   If ActiveCell.Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 2).Value Then
   ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      If ActiveCell.Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 3).Value Then
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
         If ActiveCell.Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 4).Value Then
         ActiveCell.Offset(0, 1).Select
            If ActiveCell.Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 5).Value Then
```

```
            ActiveCell.Offset(0, 1).Select
               If ActiveCell.Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 6).Value Then
               ActiveCell.Offset(0, 1).Select
                  ActiveCell.Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 7).Value
                  ActiveCell.Offset(0, 1).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 8).Value
                  ActiveCell.Offset(0, 2).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 9).Value
                  ActiveCell.Offset(0, 109).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 116).Value   'oikea
                   toimenpideraja           lähtötiedoista
                   ActiveCell.Offset(0, 110).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 117).Value   'oikea
                   urautumisnopeus   lähtötiedoista
                  ActiveCell.Offset(0, 112).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 119).Value + 2 *
                   Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 117).Value 'oikea urasyvyys lähtötiedoista
                 If ActiveCell.Offset(0, 113).Value <> Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k, 120).Value Then  'jos ei
                 alunperin tp-tarvetta, kirjoitetaan tp-rivin arvoksi ""
                   ActiveCell.Offset(0, 113).Value = "hyva"
                  End If
                  If j <> satam_lkm Then
                  ActiveCell.Offset(1, -2).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k + 1, 5).Value
                  ActiveCell.Offset(1, -1).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Cells(k + 1, 6).Value
                  End If
                  k = lahtorivi_lkm + 4
                ActiveCell.Offset(0, -1).Select
               End If
               ActiveCell.Offset(0, -1).Select
            End If
            ActiveCell.Offset(0, -1).Select
         End If
         ActiveCell.Offset(0, -1).Select
      End If
      ActiveCell.Offset(0, -1).Select
   End If
   ActiveCell.Offset(0, -1).Select
End If
Next k
ActiveCell.Offset(1, 0).Select

Next j
Next i

'lasketaan ,kuinka paljon etuajassa kohde tehdään (0= oikea aika, >0 liian aikaisin)
'lasketaan kustannus toimenpiteen perusteella (aikaistus/kestoikä * rakentamiskustannus)

po100m_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(ActiveSheet.Range("i:i"), ">=0")
For i = 5 To (po100m_lkm + 4)  'po:n 100metristen rivi_lkm
   aikaistus = (ActiveSheet.Cells(i, 116).Value - ActiveSheet.Cells(i, 119).Value) / ActiveSheet.Cells(i, 117).Value
   kestoika = (ActiveSheet.Cells(i, 116).Value - 2) / ActiveSheet.Cells(i, 117).Value
   kestoika = Application.WorksheetFunction.Ceiling(kestoika, 1)
   If kestoika > 20 Then
      kestoika = 20
   End If
   If aikaistus > 0 Then
      aikaistus = Application.WorksheetFunction.Ceiling(aikaistus, 1)
      If ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "UREM" Then
         aikaistus€ = aikaistus / kestoika * 7.2 * ActiveSheet.Cells(i, 9).Value
      End If
      If ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "ABPIN1" Then
         aikaistus€ = aikaistus / kestoika * 15.6 * ActiveSheet.Cells(i, 9).Value
      End If
      If ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "ABPIN2" Then
         aikaistus€ = aikaistus / kestoika * 20.8 * ActiveSheet.Cells(i, 9).Value
      End If
      If ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "UREMO" Then
         aikaistus€ = aikaistus / kestoika * 9 * ActiveSheet.Cells(i, 9).Value
      End If
      If ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "PABMPO" Then
         aikaistus€ = aikaistus / kestoika * 14.95 * ActiveSheet.Cells(i, 9).Value
      End If
   ActiveSheet.Cells(i, 124).Value = aikaistus€
   End If
Next i

'päivittää lähtötietoihin po:ssa tehdyt rivit

Set sarake = Worksheets("kohteiden_boldaus").Range("bb:bb")
lahtorivi_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(sarake, ">0")  'määritetään lähtötietojen 100metristen lkm
```

```
Worksheets("seur_lähtötiedot").Select
ActiveSheet.Rows(3).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Rows(3).Value   'päivitetään otsikot
ActiveSheet.Rows(4).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Rows(4).Value   'päivitetään otsikot


'lasketaan päällysteen ikä, päivitetään se, lasketaan uusi ura ja poistetaan tp-sarakkeen arvot

Worksheets("seur_lähtötiedot").Cells(5, 1).Select
For i = 5 To (lahtorivi_lkm + 4)      'lähtötietojen rivi_lkm
ActiveSheet.Rows(i).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Rows(i).Value
ika = ActiveSheet.Cells(i, 106) + 3
ura = ActiveSheet.Cells(i, 119).Value + 3 * ActiveSheet.Cells(i, 117).Value
ActiveSheet.Cells(i, 106).Value = ika
ActiveSheet.Cells(i, 119).Value = ura
ActiveSheet.Cells(i, 120).Value = ""
ActiveSheet.Cells(i, 121).Value = ""
ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = ""
Next i

Set sarake = Worksheets("taul5").Range("bb:bb")
rivi_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(sarake, ">0")  'määritetään po:n 100metristen lkm

For i = 5 To (lahtorivi_lkm + 4)      'lähtötietojen rivi_lkm
   For j = 5 To (rivi_lkm + 4)    'ko.vuonna tehtyjen 100metristen rivimäärä

   If ActiveSheet.Cells(i, 1).Value = Worksheets("taul5").Cells(j, 1).Value Then
      If ActiveSheet.Cells(i, 2).Value = Worksheets("taul5").Cells(j, 2).Value Then
         If ActiveSheet.Cells(i, 3).Value = Worksheets("taul5").Cells(j, 3).Value Then
            If ActiveSheet.Cells(i, 4).Value = Worksheets("taul5").Cells(j, 4).Value Then
               If ActiveSheet.Cells(i, 5).Value = Worksheets("taul5").Cells(j, 5).Value Then
                  If ActiveSheet.Cells(i, 6).Value = Worksheets("taul5").Cells(j, 6).Value Then
                        ActiveSheet.Rows(i).Value = Worksheets("taul5").Rows(j).Value
                        ActiveSheet.Cells(i, 78).Value = Worksheets("taul5").Cells(j, 122).Value    'päivitetään viimeisin
                         toimenpide
                        ActiveSheet.Cells(i, 118).Value = ""
                        ActiveSheet.Cells(i, 124).Value = ""
                        ActiveSheet.Cells(i, 115).Value = ""
                        ActiveSheet.Cells(i, 120).Value = ""
                        ActiveSheet.Cells(i, 121).Value = ""
                        ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = ""
                        ActiveSheet.Cells(i, 119).Value = 2 + ActiveSheet.Cells(i, 117).Value 'asettaa kohteen uraksi
                         alku-ura+    urakehitys
                        ActiveSheet.Cells(i, 106).Value = 1 'muutta kohteen iäksi 1
                        j = (rivi_lkm + 4)
                  End If
               End If
            End If
         End If
      End If
   End If

   Next j
Next i

'tulostetaan PO
Worksheets("PO-tiedot").Select
ActiveSheet.Rows(4).Value = Worksheets("kohteiden_boldaus").Rows(4).Value   'lisätään otsikot

Set sarake = Worksheets("PO").Range("bb:bb")
rivi_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(sarake, ">0")  'määritetään rivi_lkm

Worksheets("PO-tiedot").Cells(5, 1).Select
For i = 5 To rivi_lkm + 4
ActiveSheet.Rows(i).Value = Worksheets("PO").Rows(i).Value
Next i


'lasketaan eri toimenpiteiden määrä ja kustannukset

urem_maara = 0
abpin2_maara = 0
abpin1_maara = 0
uremo_maara = 0
pabmpo_maara = 0
```

```
kohteiden_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(ActiveSheet.Range("bb:bb"), ">=0")
For i = 5 To (kohteiden_lkm + 4)   'lasketaan eri toimenpiteiden pituus

If ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "UREM" Then
   urem_maara = urem_maara + ActiveSheet.Cells(i, 9).Value
End If
If ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "ABPIN2" Then
   abpin2_maara = abpin2_maara + ActiveSheet.Cells(i, 9).Value
End If
If ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "ABPIN1" Then
   abpin1_maara = abpin1_maara + ActiveSheet.Cells(i, 9).Value
End If
If ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "UREMO" Then
   uremo_maara = uremo_maara + ActiveSheet.Cells(i, 9).Value
End If
If ActiveSheet.Cells(i, 122).Value = "PABMPO" Then
   pabmpo_maara = pabmpo_maara + ActiveSheet.Cells(i, 9).Value
End If
Next i

ActiveSheet.Cells(2, 6).Value = urem_maara
ActiveSheet.Cells(1, 6).Value = "UREM"
ActiveSheet.Cells(2, 7).Value = abpin1_maara
ActiveSheet.Cells(1, 7).Value = "ABPIN1"
ActiveSheet.Cells(2, 8).Value = abpin2_maara
ActiveSheet.Cells(1, 8).Value = "ABPIN2"
ActiveSheet.Cells(2, 9).Value = uremo_maara
ActiveSheet.Cells(1, 9).Value = "UREMO"
ActiveSheet.Cells(2, 10).Value = pabmpo_maara
ActiveSheet.Cells(1, 10).Value = "PABMPO"

'lasketaan eri toimenpiteiden hinta
ActiveSheet.Cells(3, 6).Value = (urem_maara / 1000) * 7200
ActiveSheet.Cells(3, 7).Value = (abpin1_maara / 1000) * 15600
ActiveSheet.Cells(3, 8).Value = (abpin2_maara / 1000) * 20800
ActiveSheet.Cells(3, 9).Value = (uremo_maara / 1000) * 9000
ActiveSheet.Cells(3, 11).Value = (urem_maara / 1000) * 7200 + (abpin1_maara / 1000) * 15600 + (abpin2_maara /
1000) * 20800 + (uremo_maara / 1000) * 9000
ActiveSheet.Cells(1, 11).Value = "YHT.€"
ActiveSheet.Cells(1, 11).Font.Bold = True


'lasketaan PO:n pituus, lkm, p% ja keskim. urasyvyys

'1) kohteiden lukumäärä
Set pituus_alue = ActiveSheet.Range("bb:bb")
kohteiden_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(pituus_alue, ">=0")
ActiveSheet.Cells(1, 3).Value = "Kohteiden lkm"
ActiveSheet.Cells(1, 3).Font.Bold = True
ActiveSheet.Cells(1, 4).Value = kohteiden_lkm

'2) PO:n pituus
pituus = 0              '
For i = 5 To (kohteiden_lkm + 4)
   pituus = pituus + ActiveSheet.Cells(i, 9).Value
Next i
ActiveSheet.Cells(1, 1).Value = "PO:n pituus"
ActiveSheet.Cells(1, 1).Font.Bold = True
ActiveSheet.Cells(1, 2).Value = pituus

'3) Peittoprosentti ja keskim. kohdepituus
Set pituus_alue = Worksheets("taul5").Range("bb:bb")      'lasketaan 100metristen määrä
satam_lkm = Application.WorksheetFunction.CountIf(pituus_alue, ">0")
pituus = 0      'pituus = liian aikaisn tehtyjen 100metristen määrä
For i = 5 To (satam_lkm + 4)
If Worksheets("taul5").Cells(i, 120).Value = "hyva" Then
   pituus = pituus + Worksheets("taul5").Cells(i, 9).Value
End If
Next i
ActiveSheet.Cells(2, 1).Value = "PO%"
ActiveSheet.Cells(2, 1).Font.Bold = True
ActiveSheet.Cells(2, 2).Value = 100 - (pituus / ActiveSheet.Cells(1, 2).Value * 100) 'peittoprosentti
ActiveSheet.Cells(3, 1).Value = "Keskim.kohdepituus"
ActiveSheet.Cells(3, 1).Font.Bold = True
ActiveSheet.Cells(3, 2).Value = ActiveSheet.Cells(1, 2).Value / kohteiden_lkm   'keskim-kohdepituus
```

```
'4) PO:n Keskim. urasyvyys
ura_keskiarvo = Application.WorksheetFunction.Average(Worksheets("taul5").Range("do:do"))
ActiveSheet.Cells(2, 3).Value = "PO:n Keskim. Ura"
ActiveSheet.Cells(2, 3).Font.Bold = True
ActiveSheet.Cells(2, 4).Select
Selection.NumberFormat = "0.00"
ActiveSheet.Cells(2, 4).Value = ura_keskiarvo

'5) koko alueen keskim. urasyvyys, PO:n tekemisen jälkeen
ura_keskiarvo = Application.WorksheetFunction.Average(Worksheets("Seur_lähtötiedot").Range("do:do"))
ActiveSheet.Cells(3, 3).Value = "PO:n Keskim. Ura"
ActiveSheet.Cells(3, 3).Font.Bold = True
ActiveSheet.Cells(3, 4).Select
Selection.NumberFormat = "0.00"
ActiveSheet.Cells(3, 4).Value = ura_keskiarvo

'6) liian aikaisin tehdyt kohteet, pituus,lkm, kustannus
ActiveSheet.Cells(1, 12).Value = "Liian aikaisin tehdyt"
ActiveSheet.Cells(1, 12).Font.Bold = True
ActiveSheet.Cells(2, 12).Value = "€"
ActiveSheet.Cells(2, 12).Font.Bold = True
ActiveSheet.Cells(3, 12).Value = Application.WorksheetFunction.Sum(Worksheets("taul5").Range("dt:dt"))
ActiveSheet.Cells(2, 13).Value = "%:a kok.kustannuksista"
ActiveSheet.Cells(2, 13).Font.Bold = True
ActiveSheet.Cells(3, 13).Value = ActiveSheet.Cells(3, 12).Value / ActiveSheet.Cells(3, 11).Value * 100
ActiveSheet.Cells(2, 14).Value = "Pituus"
ActiveSheet.Cells(2, 14).Font.Bold = True
ActiveSheet.Cells(3, 14).Value = ActiveSheet.Cells(1, 2).Value * 0.01 * (100 - ActiveSheet.Cells(2, 2).Value) 'liian
aikasin tehtyjen pituus

End sub
```

Liite C. Päällystysohjelmat PMSpro:lla.

Liite C.1: Kohteiden pituus, lukumäärä ja kustannukset PMSpro:lla. Uusimaa.

Ylläpitoluokka	Toimenpideraja	Kohteiden lkm.	PO:n kokonaispituus	Kustannukset
		Kpl	*Ajorata km*	*m€*
Y1A	Perusasetus	458	947,5	20,18
Y1A	Perusastus + 1 mm	392	802,7	16,85
Y1A	Perusasetus + 2 mm	344	691,4	13,86
Y1B	Perusasetus	148	546,9	9,85
Y1B	Perusastus + 1 mm	129	451,6	7,75
Y1B	Perusasetus + 2 mm	124	423,5	7,6
Y1C	Perusasetus	92	237,6	3,81
Y1C	Perusastus + 1 mm	72	174,4	2,83
Y1C	Perusasetus + 2 mm	52	120,4	2,01
Y2A	Perusasetus	70	120,1	2,09
Y2A	Perusastus + 1 mm	65	110,0	2,01
Y2A	Perusasetus + 2 mm	50	85,7	1,71
Y2B	Perusasetus	3	2,6	0,03
Y2B	Perusastus + 1 mm	2	1,85	0,03
Y2B	Perusasetus + 2 mm	2	1,8	0,03

Liite C.2: Kohteiden pituus, lukumäärä ja kustannukset PMSpro:lla. Kaakkois-Suomi.

Ylläpitoluokka	Toimenpideraja	Kohteiden lkm.	PO:n kokonaispituus	Kustannukset
		Kpl	*Ajorata km*	*m€*
Y1A	Perusasetus	66	225,6	4,05
Y1A	Perusastus + 1 mm	59	164,0	2,49
Y1A	Perusasetus + 2 mm	47	125,4	1,83
Y1B	Perusasetus	16	92,1	1,40
Y1B	Perusastus + 1 mm	21	67,5	1,06
Y1B	Perusasetus + 2 mm	20	69,9	1,02
Y1C	Perusasetus	26	79,4	1,45
Y1C	Perusastus + 1 mm	23	55,2	0,81
Y1C	Perusasetus + 2 mm	18	47,5	0,60
Y2A	Perusasetus	6	16,2	0,18
Y2A	Perusastus + 1 mm	5	11,7	0,15
Y2A	Perusasetus + 2 mm	5	7,6	0,09
Y3B	Perusasetus	1	0,87	0,001
Y3B	Perusastus + 1 mm	1	0,87	0,001
Y3B	Perusasetus + 2 mm	1	0,87	0,001

Liite D. Päällystysohjelmat taulukkolaskentaohjelmalla.

Liite D.1: Kohteiden pituus, lukumäärä ja kustannukset taulukkolaskentaohjelmalla. Uusimaa.

Ylläpitoluokka	Toimenpideraja	Kohteiden lkm.	PO:n kokonaispituus	Kustannukset
		Kpl	*Ajorata km*	*m€*
Y1A	Perusasetus	304	731,3	7,32
Y1A	Perusastus + 1 mm	259	582,5	5,66
Y1A	Perusasetus + 2 mm	202	461,8	4,52
Y1B	Perusasetus	71	160,0	1,7
Y1B	Perusastus + 1 mm	60	127,2	1,51
Y1B	Perusasetus + 2 mm	48	101,3	1,23
Y1C	Perusasetus	15	12,2	0,13
Y1C	Perusastus + 1 mm	10	7,4	0,09
Y1C	Perusasetus + 2 mm	5	3,7	0,03
Y2A	Perusasetus	19	17,0	0,18
Y2A	Perusastus + 1 mm	10	9,6	0,11
Y2A	Perusasetus + 2 mm	6	6,1	0,08

Liite D.2: Kohteiden pituus, lukumäärä ja kustannukset taulukkolaskentaohjelmalla. Kaakkois-Suomi.

Ylläpitoluokka	Toimenpideraja	Kohteiden lkm.	PO:n kokonaispituus	Kustannukset
		Kpl	*Ajorata km*	*m€*
Y1A	Perusasetus	59	141,4	1,98
Y1A	Perusastus + 1 mm	56	107,6	1,54
Y1A	Perusasetus + 2 mm	51	76,1	1,14
Y1B	Perusasetus	13	27,9	0,38
Y1B	Perusastus + 1 mm	10	22,7	0,26
Y1B	Perusasetus + 2 mm	9	19,9	0,22
Y1C	Perusasetus	10	14,8	0,20
Y1C	Perusastus + 1 mm	10	12,0	0,15
Y1C	Perusasetus + 2 mm	7	9,8	0,11
Y2A	Perusasetus	1	0,7	0,01
Y2A	Perusastus + 1 mm	-	-	-
Y2A	Perusasetus + 2 mm	-	-	-
Y3B	Perusasetus	1	0,9	0,01
Y3B	Perusastus + 1 mm	1	0,9	0,01
Y3B	Perusasetus + 2 mm	1	0,9	0,01

Liite D.3: Urakuntoluokat ylläpitoluokittain. Uusimaa.

Ylläpitoluokka	Toimenpideraja	Urakuntoluokka				
		Erittän hyvä	Hyvä	Tyydyttävä	Huono	Erittäin huono
		km	*km*	*km*	*km*	*km*
Y1A	Perusasetus	*865,0*	*744,1*	*726,2*	*188,1*	*42,1*
Y1A	Ura + 1 mm	*735,0*	*726,1*	*753,4*	*284,9*	*66,1*
Y1A	Ura + 2 mm	*634,9*	*705,5*	*762,9*	*361,4*	*100,9*
Y1B	Perusasetus	*225,7*	*259,5*	*240,9*	*146,1*	*20,0*
Y1B	Ura + 1 mm	*196,6*	*255,9*	*243,2*	*166,8*	*29,7*
Y1B	Ura + 2 mm	*176,1*	*250,8*	*243,5*	*175,8*	*46,0*
Y1C	Perusasetus	*114,8*	*221,8*	*178,5*	*80,0*	*10,9*
Y1C	Ura + 1 mm	*110,0*	*221,8*	*178,6*	*83,4*	*12,2*
Y1C	Ura + 2 mm	*106,7*	*221,5*	*178,6*	*84,3*	*15,0*
Y2A	Perusasetus	*71,0*	*125,8*	*66,6*	*24,3*	*6,0*
Y2A	Ura + 1 mm	*63,8*	*125,7*	*67,1*	*27,2*	*9,9*
Y2A	Ura + 2 mm	*60,3*	*125,7*	*67,6*	*28,0*	*12,1*

Liite D.4: Urakuntoluokat ylläpitoluokittain. Kaakkois-Suomi.

Ylläpitoluokka	Toimenpideraja	Urakuntoluokka				
		Erittän hyvä	Hyvä	Tyydyttävä	Huono	Erittäin huono
		km	*km*	*km*	*km*	*km*
Y1A	Perusasetus	*133,5*	*174,5*	*133,3*	*55,1*	*12,3*
Y1A	Ura + 1 mm	*114,7*	*159,9*	*135,1*	*68,2*	*30,9*
Y1A	Ura + 2 mm	*102,1*	*141,3*	*136,3*	*74,6*	*54,5*
Y1B	Perusasetus	*34,1*	*38,1*	*40,5*	*31,2*	*4,1*
Y1B	Ura + 1 mm	*29,1*	*37,9*	*40,7*	*32,6*	*7,7*
Y1B	Ura + 2 mm	*26,3*	*37,9*	*40,7*	*32,9*	*10,2*
Y1C	Perusasetus	*19,2*	*42,8*	*46,1*	*19,8*	*5,2*
Y1C	Ura + 1 mm	*17,2*	*42,1*	*46,4*	*20,8*	*6,6*
Y1C	Ura + 2 mm	*15,1*	*42,0*	*46,4*	*20,8*	*8,8*
Y3B	Perusasetus	*0,9*	*0*	*0*	*0,4*	*0*
Y3B	Ura + 1 mm	*0,9*	*0*	*0*	*0,4*	*0*
Y3B	Ura + 2 mm	*0,9*	*0*	*0*	*0,4*	*0*