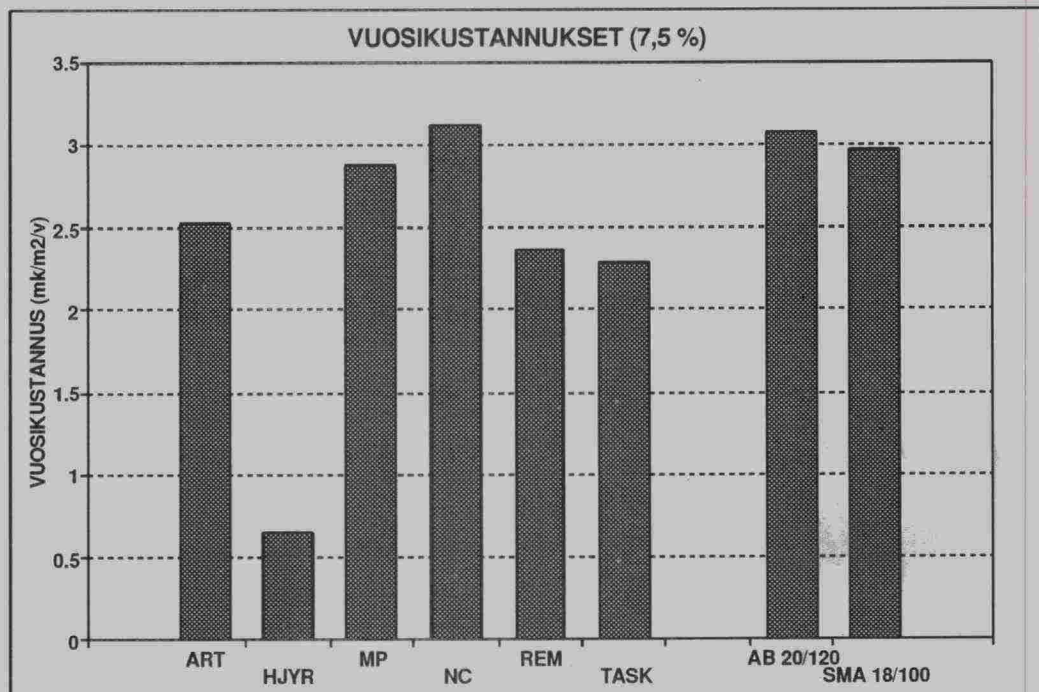




Tielaitos

Kimmo Halttunen

## Päällysteen kunnostusmenetelmien edullisuusvertailu



Tielaitos  
TIEL/20  
T PÄÄLLYSTEEN KUNNOSTUSMENE-  
ELMIEN EDULLISUUSVERTAILU  
22.11.1994 KK 342  
Asian tun:238/94/20/TIEL  
Ark=KK Säil=10 Tärk=  
Liite 1/1

Tielaitoksen  
selvityksiä

57/1994

Helsinki 1994

Kehittämiskeskus

Tielaitoksen selvityksiä  
57/1994

Kimmo Halttunen

**Päällysteen kunnostusmenetelmien  
edullisuusvertailu**

**Tielaitos**  
Kehittämiskeskus

Helsinki 1994

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-47-9452-4  
TIEL 3200266

Painatuskeskus Oy  
Helsinki 1994

Julkaisun kustannus ja myynti:  
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,  
painotuotepalvelut  
Telefaksi (90) 1487 2652

**Tielaitos**  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde (90) 148 721

**Avainsanat:** tiepäälysteet, kunnostus, vuosikustannus, edullisuusvertailu

## Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoite oli päälysteen kunnostusmenetelmien vuosikustannusten selvittäminen ja edullisuusvertailu niiden avulla. Vertailuun valittiin menetelmiä, joilla urautunut tiepäälyste kunnostetaan koko kaistan leveydeltä joko jyrsimällä pinta urien pohjan tasoon tai tasaamalla pinta (paitsi MP) ja tekemällä siihen uusi ohut pinnoite joko kokonaan uudesta massasta tai vanhaa hyväksi käyttäen. Vertailussa oli mukana ART- ja REM-menetelmät, joissa käytetään hyväksi vanhaa päälysterouhetta, HJYR (hienojyrsintä), MP (massapinta), NC (Novachip-pinta) ja TASK (kuumennustasaus), jonka päälle levitetään ohut kerros uutta massaa.

Vertailussa oli mukana n. 40 kpl vuosina 1991 ja 1992 tehtyä kunnostuskohdetta, joiden kestoikäennusteet laskettiin vuosina 1993 ja 1994 tehtyjen urasyvyysmittausten (PTM-rekisteri) perusteella. Lisäksi kerättiin olosuhdetietoja tierekisteristä ja tietoja materiaaleista ja edellisestä päälystyksestä tiepiireistä. Kohteiden hinnat saatiin urakka-asiakirjoista. Kestoiät laskettiin korjaamalla ennuste kohteiden keskimääräiseen liikennemäärään. Vuosikustannukset laskettiin annuiteettimenetelmällä jakamalla kunnostuskustannukset päälysteen ennustetun kestoiän ajalle.

Kohderyhmien kestoikäennusteet olivat keskimäärin 8 vuotta, paitsi hienojyrsinnällä 5 vuotta. Vuosikustannusvertailussa hienojyrsintä oli kuitenkin selvästi edullisin (0,66 mk/m<sup>2</sup>/v, korko 7,5 %) muita huomattavasti alemman hintansa ansiosta. ART-, REM- ja TASK-menetelmät olivat välillä 2,3 - 2,5 mk/m<sup>2</sup>/v ja MP ja NC olivat kalleimpia (2,9 ja 3,1 mk/m<sup>2</sup>/v). Verrattaessa kunnostusmenetelmiä normaalipaksuisen päälysteen vuosikustannuksiin ART, REM ja TASK olivat 20 % halvempia ja HJYR vielä huomattavasti halvempi.

Vuosikustannusvertailun eroihin vaikuttivat tässä selvityksessä menetelmien hinnat enemmän kuin kestoiät. Pelkän urautumisen perusteella laskettuun kestoikään menetelmien vaikutusta suurempi voi olla eri kohteissa käytettyjen materiaalien vaikutus. Kunnostusmenetelmää valittaessa tulisikin kiinnittää huomiota pelkkien menetelmähintojen lisäksi kohteessa aiemmin käytettyihin materiaaleihin ja kohteen muihin erityisominaisuuksiin (esimerkiksi muut päälysteen vauriot).



**Key words:** pavement, maintenance, annual costs, economical comparison

## Abstract

The aim of this study was to declare and compare the annual costs of pavement maintenance methods. The methods compared included the handling of the rutted pavement by scarification of the surface to the bottom level of the of the ruts or by levelling the surface (except MP) and paving slightly with a new or recycled mass. All treatments were done on the whole width of the lane. The comparison includes ART and REM methods, which use old crushed pavement, HJYR (thin scarification), MP (thin layer without levelling the surface first), NC (Novachip-surfacing) and TASK (levelling by heating) with thin layer of new mass upon it.

Selected 40 test sections were repaired during 1991 and 1992, and the lifetime-estimates were calculated using rutdepth measurements, which were done during 1993 and 1994 by PTM. In addition to this the circumstance facts were collected from roadrecord and facts from the materials and the earlier pavements were asked from the road districts. The costs of the test sections were collected from construction papers. The lifetimes were estimated fixing the estimate to the average traffic volume of the test sections. The annual costs were calculated using the annuity method so that the maintenance costs were dealed to the estimated lifetime of each test section.

The lifetime-estimates were 8 years in the average, except HJYR was 5 years. In the comparison of the annual costs HJYR was anyhow clearly cheapest (0,66 mk/m<sup>2</sup>/year, the interest was 7,5 %), because the price of the HJYR was so much lower. ART, REM and TASK methods were between 2,3 - 2,5 mk/m<sup>2</sup>/year and MP and NC were most expensive (2,9 and 3,1 mk/m<sup>2</sup>/year). In extra comparison between methods and normal pavement (120 kg/m<sup>2</sup>) ART, REM and TASK were 20 % cheaper and HJYR even cheaper than the annual costs of the normal pavement.

The differences in the prices of the methods effected on the annual costs more than the differences in lifetimes. The effect of the materials on the lifetime (for example aggregate) may be greater than the effect of the method if lifetime is estimated only by the basis of the rutting. So when the choice of the maintenance method has to be done, it should be paid attention to earlier materials of the pavement and to the other special properties of the place more than to the costs of the methods.

## **Alkusanat**

Päällysteen kunnostusmenetelmien edullisuusvertailu tehtiin keräämällä tietoja vuosina 1991 ja 1992 kunnostusmenetelmillä tehdyistä kohteista ja laskemalla vertailuun valittujen kohteiden kestoikäennusteet ja vuosikustannukset. Selvitystyö tehtiin VTT:n YHDYSKUNTATEKNIIKAN Tie- ja geotekniikan tutkimusalueella. Tutkimuksen rahoitti Tielaitoksen Kehittämiskeskus. Tutkimusta valvoi tieins. Mats Reihe Tielaitoksen Kehittämiskeskuksesta. Raportin laati dipl.ins. Kimmo Halttunen VTT:ltä.

Helsingissä, lokakuussa 1994

Tielaitos  
Kehittämiskeskus

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	9
	1.1 Tutkimuksen tavoite	9
	1.2 Päällysteen kunnostusmenetelmät	9
2	AINEISTO	14
	2.1 Kohteet	14
	2.2 Hinnat	16
	2.3 Materiaali- ja menetelmätiedot	18
	2.4 Olosuhdetiedot	18
	2.5 Urasyvyydet	18
3	TULOKSET	20
	3.1 Kestoikäennusteet	20
	3.2 Vuosikustannukset	22
4	TULOSTEN TARKASTELU	25
	4.1 Liikenne ja olosuhteet	25
	4.2 Materiaalit	27
	4.3 Hinnoittelu	29
	4.4 Vertailu normaalipaksuisiin AB/SMA-päällysteisiin	32
	4.5 Vertailu kohteiden edellisiin päällysteisiin	33
5	PÄÄTELMÄT JA SUOSITUKSET	35
6	KIRJALLISUUSLUETTELO	38

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on päällysteen kunnostusmenetelmien vuosikustannusten selvittäminen ja niiden avulla tapahtuva menetelmien edullisuuden vertailu. Tutkittavaksi otettiin päällysteen kunnostusmenetelmiä, joilla urautunut päällyste korjataan ohuella pintaauksella joko kokonaan uudella massalla tai vanhaa massaa hyväksi käyttäen tai urautunut pinta tasoitetaan ilman massaa. Menetelmät, jotka valittiin mukaan vertailuun, ovat ART, HJYR, MP, NC, REM ja TASK (lyhenteet selitetty kohdassa 1.2). Erilaisten päällystetyyppien kestoikämallien avulla voidaan normaalipäällysteitä vertailla esimerkiksi PCAD:ssa, mutta useiden kunnostusmenetelmien käyttö on alkanut Suomessa vasta 1990-luvulla eikä niillä korjattujen pintojen kestävydestä ole tutkittua tietoa.

Vertailtavilla menetelmillä vuosina 1991 ja 1992 kunnostetuista päällystyskohteista valittiin otos, jonka kohteille laskettiin kestoikäennusteet vuosien 1993 ja 1994 palvelutasomittausten urasyvyystietojen perusteella. Oletettavasti päällystemateriaalit ja massatyypit vaikuttavat urautumisen määrään enemmän kuin eri kunnostusmenetelmät, mutta urautuminen valittiin tässä kuitenkin vuosikustannusmäärityksen perustaksi, koska tietoja muista eri menetelmille ehkä tyypillisemmistä vaurioitumistavoista ei vielä ole. Lisäksi tässä pyritään arvioimaan materiaali- ja olosuhdetekijöiden (kuten kiviaines ja liikenne) vaikutusta kestoikä- ja vuosikustannuslaskelmiin ja samalla vertailun luotettavuuteen.

## 1.2 Päällysteen kunnostusmenetelmät

Urautuneen päällysteen kunnostaminen voidaan toteuttaa uudelleenpäällystämisen sijasta useilla erilaisilla menetelmillä. Kunnostusmenetelmillä pyritään korjaamaan päällysteestä vain ohut vaurioitunut pintakerros vaikuttamatta päällysteen muihin ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi kantavuuteen. Kunnostaminen voidaan tehdä:

1. Jyrsimällä pinta urien pohjan tasoon.
2. Tasaamalla pinta ja tekemällä siihen uusi ohut pinnoite.
3. Käyttämällä vanhaa massaa uudestaan osana massassa, josta uusi pinta valmistetaan.
4. Tekemällä urapaikkaus.

Tässä tutkimuksessa on mukana menetelmiä, joilla päällyste korjataan koko kaistan leveydeltä, joten urapaikkauksia tai uraremixer-menetelmiä ei tässä

yhteydessä käsitellä. Seuraavassa on kuvattu tutkimuksessa mukana olevat menetelmät lyhyesti sekä arvioitu niiden hyviä ja huonoja puolia.

### **ART (Asphalt Recycling Travelling plant)**

Kunnostettavalle päällysteelle levitetään tasainen kerros (10 - 20 kg/m<sup>2</sup>) uutta kiviainesta, joka sekoitetaan kylmäjyrsinnässä jyrsinrouheeseen. Sekoitusrouhe kerätään valliksi kaistan keskelle. Liikkuva rumpusekoitinasema valmistaa uusiomassan. Massa levitetään ja tiivistetään normaalisti.

Edut ja haitat:

- + Jatkuva prosessi, joten ei esimerkiksi kuorman vaihtumisesta aiheutuvia lajittumia.
- + Myös vanhan pinnan lajittumia voidaan korjata.
- Kiviaineksen hienoneminen kylmäjyrsinnässä.

### **HJYR (hienojyrsintä)**

Urautuneen päällysteen poikittaisepätasaisuus poistetaan jyrsimällä päällyste urien pohjan tasoon. Jyrsinnässä käytetään tiheäteräisellä rummulla varustettua, mieluiten tela-alustaista jyrsintä. Jyrsintäjäljen on oltava ehjä, suora (liikenteen suuntainen) ja niin tasainen, että jyrsitty päällyste on liikennekelpoinen ilman uuden massan lisäystä. Jyrsintäjäljen urien väli saa olla enintään 7,5 mm.

Edut ja haitat:

- + Halpa hinta.
- + Uutta massaa ei tarvita.
- + Korjataan vain urat.
- Päällysteen oheneminen.
- Pinnan epätasaisuus (jyrsintäurat).
- Melu.

### **MP (massapinta)**

Massapinta on vaihtelevan paksuinen asfalttikonkretista tasaamattomalle alustalle tehty päällyste. Tässä tutkimuksessa on pyritty saamaan mukaan ohuita, selvästi alle 100 kg/m<sup>2</sup> paksuisia massapintauksia. Muilta osin massapinta vastaa pitkälti normaalia päällystettä.



Edut ja haitat:

- ± Päällysteen lisäpaksuus (voi olla etu tai haitta).
- Suuri materiaalitarve.
- Pintauksen paksuuden vaihtelu urautunutta pintaa korjattaessa (ohuet kohdat vaurioituvat tai paksut vievät paljon lisämassaa).

### NC (Novachip)

Novachip on päällystysmenetelmä, jossa asfalttimassa liimataan kumibitu-miemulsiolla vanhalle asfalttipinnalle. Massana käytetään SMA-massaa (tai vastaavaa) 30 - 40 kg/m<sup>2</sup>. Emulsion menekki on 1,0 - 1,2 kg/m<sup>2</sup>. Levitystyö tehdään erikoiskalustolla, jolla liimausemulsio ruiskutetaan alustalle 30 cm ennen massan lisäystä. Kuuma massa vaahdottaa emulsion, joka nousee ennen murtumistaan lähes pintaan saakka. Veden haihduttua emulsiosta, se laskeutuu alaspäin noin puoleen väliin päällysteen paksuudesta. Emulsion pystyliike tekee liimauksesta vahvan.

Edut ja haitat:

- + Nopea menetelmä.
- + Avoin päällysteen pinta (uusikaan pinta ei ole liukas).
- Kelluva levittimen perä ei tasaa laajempia pituussuuntaisia epätasaisuuksia.

### REM (remixer)

Remixer on työmenetelmä, jossa vanha asfalttipäällyste kuumennetaan tiellä kulkevilla kuumentimilla, jyrsitään irti, sekoitetaan uuden massan kanssa ja levitetään takaisin tielle joko monitoimikoneella tai normaalilla levittimellä. Alustan pintalämpötila kuumentimen jälkeen saa olla korkeintaan 230 °C, mutta vähintään 120 °C. Lisämassan menekki on yleensä 10 - 20 kg/m<sup>2</sup>. Päällysteen pintalämpötila levittimen jälkeen on oltava vähintään 105 °C. Vanhan ja kuumennuksessa vielä lisää kovettuneen sideaineen pehmentämiseksi käytetään elvytintä (esim. mäntyöljypiki) sideaineen lisäaineena. **Remixer+** -pintausta tehdään tuplaperällä varustetulla kalustolla, jolla päällyste levitetään kahtena kerroksena (uusiomassa alle ja lisämassa päälle). Lisämassan menekki on yleensä 30 - 40 kg/m<sup>2</sup>.

Edut ja haitat:

- + Voidaan käyttää huomattavan pieniä lisämassamääriä (joten kiviaines voi olla korkealaatuista ja kallista).
- + Vanhan massan tehokas hyväksikäyttö (kiviaines ei mene rikki).



- + Monitoimikoneen pitkä akseliväli mahdollistaa heittojen korjaamisen normaaleja levittämiä käyttäviä menetelmiä paremmin.
- + Myös vanhan pinnan lajittumia voidaan korjata.
- Nestekaasulaitteiden aiheuttama turvallisuusriski (polttoöljylaitteilla ei vastaavaa riskiä ole).
- Kuumennuksessa syntyy savua, josta mahdollisesti ympäristö- ja terveyshaittoja.
- Sideaineen koveneminen kuumennuksessa, korjataan elvyttinlisäaineella.

#### **TASK + ohut pinta (kuumennustasaus ja 50 - 60 kg/m<sup>2</sup> päällystekerros)**

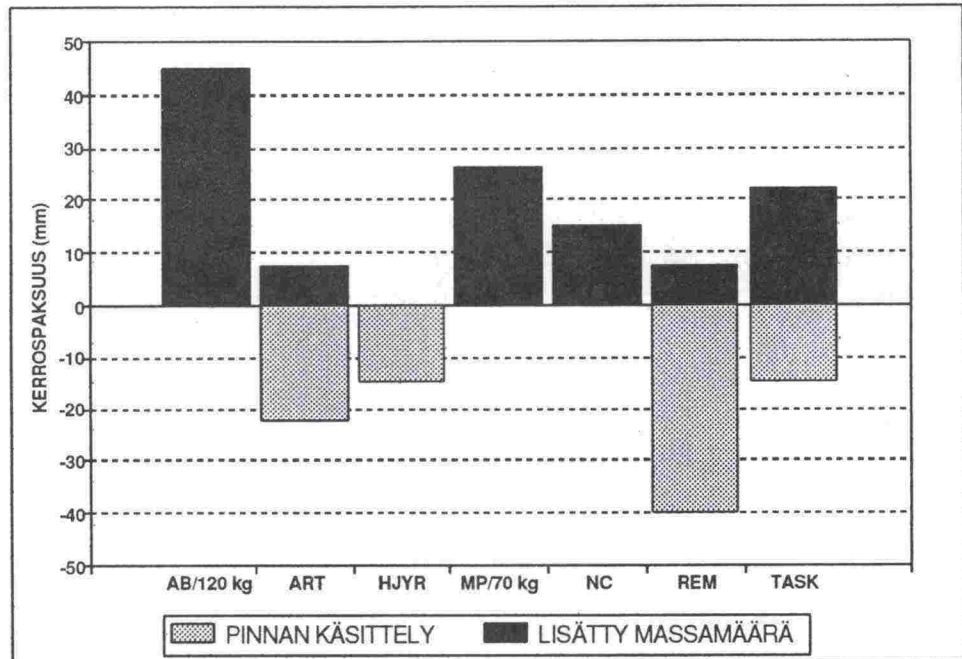
Alusta kuumennetaan käsittelysyvyyteen (2 - 3 cm) neste-kaasukuumentimilla. Pinta jyrsitään ja jyrsitty massa tasataan ennen uutta päällystettä. Tavallisella asfaltinlevittimellä levitetään ohut erikoismassa (esim. SMA 16/60, ABE 16/55, ABE 20/60).

#### **Edut ja haitat:**

- + Lisämäärän tarve on noin puolet perinteiseen menetelmään verrattuna.
- + Tien muodon korjaus mahdollista kuumennustasausvaiheessa.
- Kuumennuksen haitat kuten REM.

Kuvassa 1 on havainnollistettu eri kunnossapitomenetelmien ja normaalin päällysteen välisiä kerrospaksuuseroja. Nollataso on vanhan päällysteen pinta ja sen käsittelysyvyys vaihtelee eri menetelmillä. Mitat on otettu kohdeaineiston menetelmäkuvauksista ja ne ovat kunkin ryhmän keskimääräisiä arvoja. Normaali-päällyste on mukana vertailun vuoksi, kuitenkin ilman vanhan päällysteen tasaamisen vaatimaa käsittelysyvyyttä.

Kunnostusmenetelmien soveltuvuuteen eri kunnostuskohteisiin vaikuttavat kohteen olosuhteiden lisäksi myös työmenetelmien asettamat rajoitukset. Taulukkoon 1 on menetelmäkohtaisesti kerätty tietoja kirjallisuudesta ja menetelmäkuvauksista eri menetelmien erityisominaisuuksista ja niiden vaikutuksista päällysten laatuun.



Kuva 1: Erialaisten päällysteratkaisujen kerrospaksuudet.

Taulukko 1: Kunnostusmenetelmien erityisominaisuuksia.

	ART	HJYR	MP	NC	REM	TASK
Kaltevuuden korjaaminen * pituus * poikki	* ei * jossain määrin jyrinnässä	* ei * jossain määrin jyrinnässä	* ei * jossain määrin massalla	* ei * ei	* korjaa jossain määrin <sup>1</sup> * jossain määrin jyrinnässä	* ei * jossain määrin tasausvaiheessa
Menetelmän nopeus	3 km/tv	5 km/tv	3 km/tv	6 km/tv	2 - 4 km/tv	3 km/tv
Tarttuvuus alustaan ja saumoihin	vanha pinta kylmä		vanha pinta kylmä	tiivis emulsioliimaus	kuumennus parantaa tarttuvuutta	kuumennus parantaa tarttuvuutta
Liikenne päällysteelle	normaalisti	heti	normaalisti	normaalista nopeammin <sup>2</sup>	normaalisti	normaalisti
Oheisvaikutukset * pinnan nousu * piennartyöt * reunatyöt	* 10 mm * ei piennart. * ei reunat.	* laskua 15 mm * jyrintä * ei reunat.	* 25 mm * normaalit piennar- ja reunatyöt	* 15 mm * ei piennart. * norm. reunat.	* 10 mm * ei piennart. * ei reunat.	* 20 mm * normaalit piennar- ja reunatyöt
Sään vaikutus	taloudellisinta 10 - 25 °C <sup>3</sup>	taloudellisinta 10 - 25 °C <sup>3</sup>	normaali	normaali	soveltuu kaikkiin olosuhteisiin	normaali
Pinnan laatu	normaali	jyrintäurat	normaali	normaali	normaali	normaali

<sup>1</sup> Monitoimikoneen pitkä akseliväli mahdollistaa heittojen korjaamisen paremmin kuin normaalikokoinen levitin.

<sup>2</sup> Ohut kuumamassakerros jäähtyy nopeammin kuin normaalipaksuinen päällyste tai kuumennettu alusta, jonka päällä on ohut kuumamassakerros.

<sup>3</sup> Kylmäjyrintä taloudellisinta lämpimällä säällä.

## 2 AINEISTO

### 2.1 Kohteet

Päällysteen kunnostusmenetelmien edullisuusvertailun kohteet koottiin vuosien 1991 ja 1992 päällystystöistä urakka-asiakirjojen, lähinnä tarjousten perusteella. Kohteita pyrittiin valitsemaan 5 - 10 kappaletta jokaista menetelmää. Lisäksi saman menetelmän kohteita pyrittiin ottamaan mukaan eri tiepiireistä. Varsinaista alarajaa kohteiden pituudelle ei asetettu, mutta yli kilometrin pituisen kohteen uratiedot ovat luotettavampia. Toisaalta yritettiin ottaa mukaan kokonaisia tieosia, jolloin voitiin käyttää uratietorekisterin ja tierekisterin tieosakohtaisia tietoja. Mukaan valittiin kohteita pääasiassa yksi- tai kaksinumeroisilta valta- ja kantateiltä uramittaustietojen saamiseksi joka vuodelta. Liikennemäärän tarkkuuden vuoksi kohteet valittiin pelkästään kaksikaistaisilta tieosuuksilta. Kaikki vertailun kohteet on esitetty taulukossa 2.

Osa menetelmistä (ART ja NC) oli ensimmäistä kertaa käytössä Suomessa vuoden 1991 aikana, millä lienee vaikutusta menetelmien hintasuhteiden lisäksi mahdollisesti myös pintauksen laatuun. Lisäksi osa menetelmistä on sellaisia, että vain yksi urakoitsija käyttää sitä (ART ja NC), mikä vaikuttaa menetelmän hinnoitteluun.

Vuonna 1991 käytetyissä menetelmissä ei ollut vielä käytössä (ainakaan tilastojen mukaan) hienojyrsintää (HJYR), joten tähän vertailuun otettiin mukaan myös muutamia sellaisia tasausjyrsittyjä (TJYR) kohteita, jotka oli tehty kuten myöhemmät hienojyrsinnät.

Vertailuaineistoon sopivia massapintauskohteita (MP), joissa olisi ohut päällystekerros (massamäärä alle 100 kg/m<sup>2</sup>), oli kyseisten vuosien päällystyskohteissa vähän. Mukaan otettiin yhden ohutpäällysteisen MP-kohteen lisäksi kaksi MPK-kohdetta.

Remixer-kohteet ovat kahden eri urakoitsijan tekemiä, mutta molempien kalustona on Wirtgen Remixer -monitoimikone eikä pinnan käsittelyssä työselitysten mukaan muutenkaan ole merkittäviä eroja. Osa REM-kohteista on kunnostettu REM+ -menetelmällä.

Vertailuun valitut kuumennustasauskohteet (TASK) ovat sellaisia, joissa tasauksen päälle on tehty ohut (n. 50 - 60 kg/m<sup>2</sup>) päällystekerros. Kohteita, joissa kuumennustasauksen päälle on levitetty normaalipaksuinen päällystelaatta ei otettu tähän vertailuun mukaan. Menetelmää on kokeiltu



myös tekemällä kuumennustasaus lopulliseksi pinnaksi ilman lisäpäällyste-  
kerrosta, mutta sellaisesta ei löytynyt vertailuun sopivaa kohdetta.

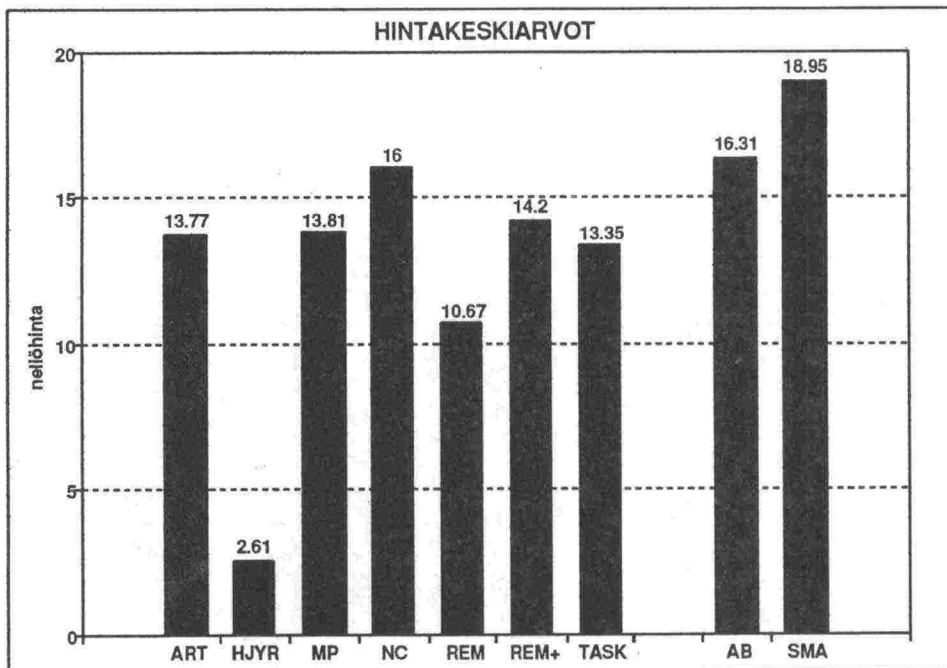
Taulukko 2. Kunnostusmenetelmien edullisuusvertailun kohteet.

SIJAINTI	TIE/TIEOSA	NELIÖHINTA	URA-93 (mm)	URA-94 (mm)	MASSATIEDOT	Päällystys Viimeisin/ Edellinen	KVL
<b>ART</b>							
Loimaa	9/116	13,35	2,0	7,0	AB 20/80 R60	91/84	3517
Piikkiö	1/32 (osa)	14,35	5,4	10,0	AB 20/80 R60	91/87	9855
Lemu	192/4 (osa)	14,10	4,3	5,7	AB 20/80 R60	91/86	4843
Alastaro	41/14 (osa)	14,40	3,6	6,0	AB 20/80 R60	91/84	1664
Pori	8/202	15,00	8,6	12,0	AB 20/80 R60	91/88	11592
Perniö	52/9	11,40	3,3	8,0	AB 20/80 R60	91/87	3796
<b>HJYR</b>							
Lappeenranta	6/214	3,10	8,0	10,0		91/87	6326
Kuusankoski	365/1	2,80	-	5,0		91/82	3336
Elimäki	6/127	2,60	-	12,0		91/87	6471
Luumäki	6/212	2,86	2,4	5,0		92/88	6187
Ruokolahti	6/314	2,73	6,0	6,0		92/87	3500
Lemi	13/104	3,13	4,0	6,0		92/88	4500
Kuhmoinen	4/218	2,00	4,5	6,0		92/87	2956
Äänekoski	13/203	2,30	3,9	4,5		92/87	2868
Leivonmäki	59/14	2,00	1,5	4,5		92/86	2572
<b>MP</b>							
Vantaa	132/1 (osa)	14,70	5,1	7,7	SMA 12/70	92/88	10453
Kemiö	181/2	13,37	4,7	7,1	AB 12/70	92/85	3317
Naantali	189/4	13,37	6,0	9,0	AB 12/70	92/87	4485
<b>NC</b>							
Tammisaari	52/1 (osa)	16,00	4,2	5,0	ABE 16/40	91/87	3627
Ylöjärvi	45/4 (osa)	16,00	7,2	9,6	ABE 16/40	91/87	6500
Hattula	57/3	16,00	3,5	4,7	ABE 16/40	91/74	4191
Ruukki	8/433 (osa)	16,00	7,4	10,0	ABE 12	91/82	3473
Liminka	8/438 (osa)	16,00	7,6	9,0	ABE 12	91/89	3037
<b>REM</b>							
Hanko	53/3	12,40	3,2	3,0	AB 16/15	91/80	3303
Lapinjärvi	6/121	12,40	6,3	8,0	AB 16/15	91/87	5579
Lahti	140/25	12,20	6,5	7,5	AB 20/12	91/86	2743
Pernaja	6/117	15,00 REM +	5,7	8,6	SMA 18/50	92/86	6045
Pernaja	7/17	9,50	1,9	6,0	AB 16	92/86	6489
Pälkäne	12/8	10,70	5,8	7,3	AB 16/15	92/87	6274
Padasjoki	4/210	9,80	4,4	6,6	AB 16/15	92/87	4364
Ilmajoki	3/239	9,18	4,2	5,1	AB 16/10	92/85	1706
Laihia	3/247	13,40 REM +	5,0	6,9	ABE 20/30	92/86	6092
Närpiö	8/226	9,18	4,0	6,3	AB 16/10	92/85	1680
<b>TASK</b>							
Kärkölä	295/4 (osa)	15,50	0,0	1,0	AB 18/70	91/84	1688
Lahti	312/2	15,50	3,4	4,5	AB 18/70	91/83	5277
Mänttä	347/1 (osa)	15,00	8,0	8,0	AB 18/70	91/88	4803
Vilppula	348/4	15,00	2,2	3,0	AB 18/70	91/86	1463
Viinijärvi	17/20	9,50	3,6	4,0	ABE 16/50	92/88	3124
Kitee	6/337	9,60	3,6	5,4	AB 16/50	92/83	3442

## 2.2 Hinnat

Kohteiden päällystyskustannuksina on käytetty vuosien 1991 ja 1992 urakkatarjoushintoja. Urakkahintatilastojen mukaan päällystystöiden kustannustaso on pysynyt samana vuodesta 1991 vuoteen 1993, joten mitään korjausta hintoihin vuosien 1991 ja 1992 välillä ei ole tehty. Verrattaessa kunnossapitomenetelmiä normaalipaksuisiin AB- ja SMA-päällysteisiin normaalipäällysteiden hintoina on käytetty urakkahintatilaston kyseisten massojen tarjoushintoja vuodelta 1991.

Tutkimuksessa mukana olevien kohteiden hintojen keskiarvot ja hajonnat on esitetty kuvassa 2. Arvot on laskettu menetelmäryhmistä, joiden suuruus vaihteli 3 - 10 kpl välillä. Joidenkin menetelmien kohteet on tehty pelkästään toisena kyseisistä vuosista (ART:t ja NC:t -91 ja MP:t -92). Vertailun vuoksi mukana olevien normaalipaksuisten AB ja SMA päällysteiden hintoina on käytetty yhdenmukaisuuden vuoksi vuoden 1991 urakkatarjoushintoja.

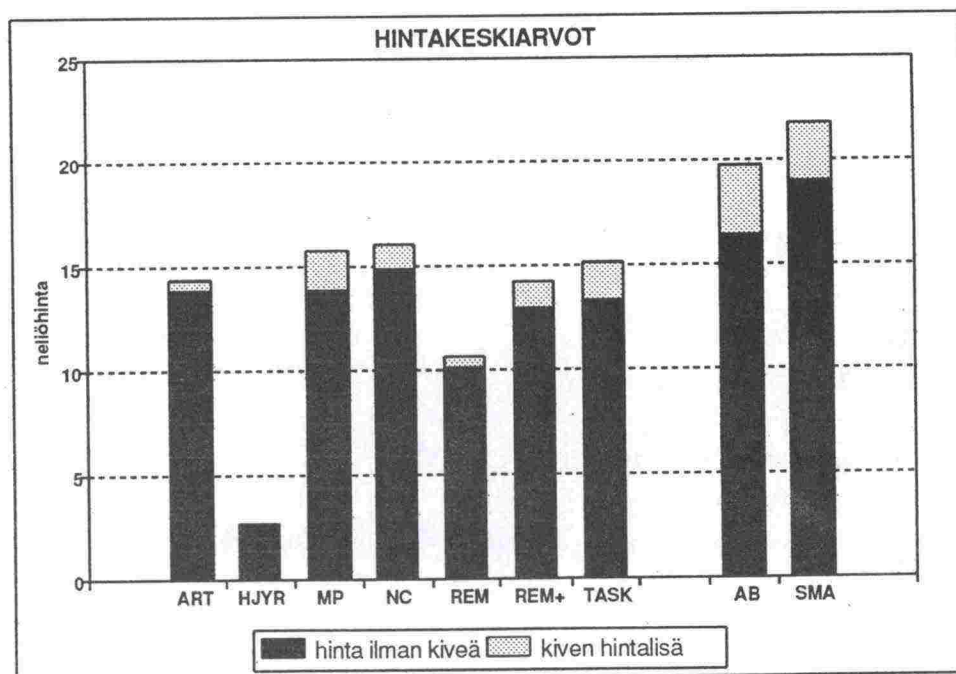


Kuva 2: Edullisuusvertailun kohteiden hinnat.

Kuvassa 2 ei ole esitetty hintaryhmien hajontoja, koska kaikista niitä ei voinut laskea. NC-ryhmän kaikki kohteet olivat saman hintaisia, REM+ -kohteita oli vain kaksi ja normaalipaksuiset vertailupäällysteet olivat vain tilastohintoja. Muiden kohderyhmien hintojen vaihtelurajat (min - max) olivat: ART (11,40 - 15,00), HJYR (2,00 - 3,13), MP (13,37 - 14,70), REM (9,18 - 12,40) ja TASK (9,50 - 15,50).

Kuvassa 3 on menetelmähintojen lisäksi esitetty kunkin menetelmän vaatiman kiviaineksen hintaosuus. Kiviaineksen hintana on käytetty keskimääräistä parhaan kiviainesluokan mukaista hintaa, koska todellisia hintoja rakennuttajan luovuttamasta kiviaineksesta voinut kohdekohtaisesti määrittää (tässä käytetty hintaa 30 mk/t). Toisaalta kiviaineksen hinnan määräytymiseen vaikuttaa esim. kuljetusmatka niin paljon enemmän kuin kiven laatu, ettei eri luokkaisilla aineksilla ole suurta eroa hinnassa. NC- ja suurin osa REM-kohteista oli tehty urakoitsijan kivestä, joten niiden kiviaineshinta sisältyi menetelmän hintaan. Niissä kohteissa kiviaines on otettu huomioon vähentämällä kiviainesmäärän hintaosuus kokonaishinnasta. Kun kiviaineksen osuus hinnan muodostumisesta otetaan huomioon ohuiden pintausten edullisuus korostuu normaalipaksuisiin nähden.

Rakennuttajan päällystystyön valvontaan käyttämän työn hinta vaikuttaa myös menetelmien hintaeroihin, jos eri menetelmien tehoissa on suuria eroja. Tässä valvontaa ei ole katsottu kuitenkaan vaikuttaneen hintoihin, koska tutkittavien menetelmien välillä ei ole suuria kapasiteettieroja. Lähinnä nopeimmat menetelmät (NC ja HJYR) hyötyisivät hieman valvontakustannusten huomioon ottamisesta.



Kuva 3: Hinnat, joissa menetelmän tarvitseman kiviaineksen osuus on huomioitu.



### 2.3 Materiaali- ja menetelmätiedot

Urakka-asiakirjojen perusteella valittujen kohteiden menetelmä- ja materiaalitietojen tarkistamiseksi ja täydentävien tietojen hankkimiseksi tehtiin keväällä 1994 kysely tiepiireihin. Kunnostuksen toimenpidevuoden tiedoista kysyttiin kiviaineksesta lujuustietoja (vähintään luokka) ja päällystetyyppejä. Lisäksi kysyttiin toimenpidettä edeltäneestä päällystyksestä ajankohtaa, menetelmää sekä kiviaines- ja päällystetyyppitietoa.

Kyselyyn saatiin vastaus lähes joka tiepiiristä. Tulosten perusteella voitiin päällystetyyppitietoja tarkentaa ja luokitella kohteissa käytetyt kiviainekset normin (tosin vanhan) mukaisiin luokkiin. Edellisestä päällystyksestä saatiin lähinnä vain päällystysvuositieto. Kiviaineksista ei ollut saatavissa lujuustietoja. Edellistä päällystettä hyödyntävien menetelmien (ART, HJYR, REM) osalta vanhempi kiviainestieto olisi ollut jopa tärkeämpi kuin kunnostuksessa käytetyn kiviaineksen tiedot, sillä sen vaikutus kestäväyyteen on suurempi yleensä selvästi pienempien lisämääräerien vuoksi. Edellisen kiviaineksen laatua voidaan kuitenkin arvioida sen todellisen kestäväyden (edellinen kestoikä kohteessa) perusteella. Yhteenvetona materiaalitiedoista voi sanoa, että suurin osa kohteista oli tehty käyttäen vuoden 1987 asfalttinormien A-luokan mukaista kiviainesta.

### 2.4 Olosuhdetiedot

Olosuhdetietoina kerättiin tierekisteristä kohteiden liikennemäärät sekä tietoja tien ja päällysteen mitoista. Samalla tarkistettiin kohteiden sijainti- ja edellistä päällystystä koskevat tiedot tierekisterin päällystehistoriasta.

### 2.5 Urasyvyydet

Kohteiden kestoikien laskeminen perustui PTM-autoilla mitattuihin ja kunto- rekisteristä löytyviin urasyvyytuloksiin. Ura-arvoista käytettiin keskiarvouraa, joka lasketaan keski- ja reunaan keskiarvojen avulla. Tulostus otettiin tieosakohtaisena keskiarvona niille kohteille, jotka olivat kokonaisen tieosan mittaisia. Tieosaa lyhemmistä kohteista tulostus otettiin sadan metrin välein tulostettuna ja niistä arvoista laskettiin edelleen kohteen keskiarvo.

Tutkimukseen otettiin mukaan vuosien 1993 ja 1994 mittaukset. Pääteiltä urasyvyydet mitataan ja talletetaan rekisteriin vuosittain, mutta alempiluokkaisia teitä ei mitata joka vuosi. Vertailun puuttuvien mittausten kohdalla on laskettu urautumisarvio toisen mittauksen perusteella, jos vain 1993 tai 1994 on ollut käytettävissä.

Urasyvyystilanne oli vuonna 1993 eri menetelmäryhmien keskiarvojen osalta välillä 4 - 6 mm ja vuonna 1994 välillä 6 - 8 mm eli kohteet olivat pääosin kestoikänsä alkupuoliskolla. Osa urasyvyystilanteen vaihtelusta selittyy kohteiden liikennemääräeroilla, esimerkiksi TASK-kohteet olivat tyypillisesti vähempi liikenteisillä ja ART-kohteet suuremman liikennemäärän omaavilla teillä kuin muut keskimäärin. Kun kaikkien kohteiden liikennemäärien keskiarvo oli 4542, ART-ryhmällä se oli 5878 ja TASK-ryhmällä 3300.

### 3 TULOKSET

#### 3.1 Kestoikäennusteet

Kohteiden kestoiät määritettiin kahden vuoden urasyvyysmittausten (tiepiirien palvelutasomittaukset) perusteella. Vuosien 1993 ja 1994 mittausten välillä tapahtunutta muutosta pidettiin kestoikämäärityksen vuosikuluma-arvona ja ennen 1993-mittausta syntynyttä uraa alku-urautumisen ja ensimmäisten vuosien kuluman summana. Kohteissa (8 kpl), joissa jompikumpi mittauksista puuttui laskettiin vuosikulumaennuste siten, että päällystyksen jälkeen ensimmäisenä vuonna tapahtunut urautuminen oletettiin kaksi kertaa niin suureksi kuin keskimääräinen vuotuinen urautuminen myöhemmin. Joissakin jyrskintäkohteissa (jos mittaustieto puuttui tai kunnostuksen jälkeinen uudelleenpäällystäminen oli tehty ennen 1994) laskettiin kestoikäennusteeseen tarvittava vuosikuluma edellisen päällysteen kestoiän perusteella.

Kohteiden edellisten päällysteiden todelliset kestoiät määritettiin tierekisteritiedoista. Vertaamalla kunnostusmenetelmillä tehtyjen päällysteiden kestoikiä ja vuosikustannuksia vastaavien kohteiden edellisiin kestoikä- ja vuosikustannusarvoihin pyritään vähentämään olosuhteiden kuten liikennemäärän ja muiden paikallisten tekijöiden vaikutusta vertailuun. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon se, että kunnostus on voitu tehdä myös jonkin muun syyn kuin urautumisen perusteella. Nyt kestoikäennusteet on laskettu 15 mm (keskimääräinen urasyvyys) kunnossapitorajan perusteella.

Kohteiden liikennemäärät vaihtelivat välillä 1500 - 11500 ajon./vrk, joten kestoikäarvioita korjattiin suhteuttamalla jokaisen kohteen liikennemäärä kohteiden liikennemäärien keskiarvoon, joka oli 4542 ajon./vrk ja käytämällä suhdelukua kertoimena.

Kestoikään eniten vaikuttava materiaalitekijä on kiviaines. Sen vuoksi kiviaineksesta pyrittiin selvittämään kohteiden osalta käytettyjen kiviainesten lujuusominaisuuksia, ainakin luokitustasoisesti. Kohteiden päällystämisen jälkeen normiluokitus on muuttunut ja tutkimusmenetelmät, joilla kiviaineksen luokka määräytyy, ovat muuttuneet, joten jossakin kohteessa käytetyksi ilmoitettu parhaan luokan kiviaines ei nykyisen luokituksen mukaan ehkä parhaimpaan luokkaan enää kuulukaan. Suurimmassa osassa kohteista oli käytetty A-luokan kiviaineksiä, tosin mukana oli myös kohteita, joiden kiviaines kuului luokkiin I, II tai III.

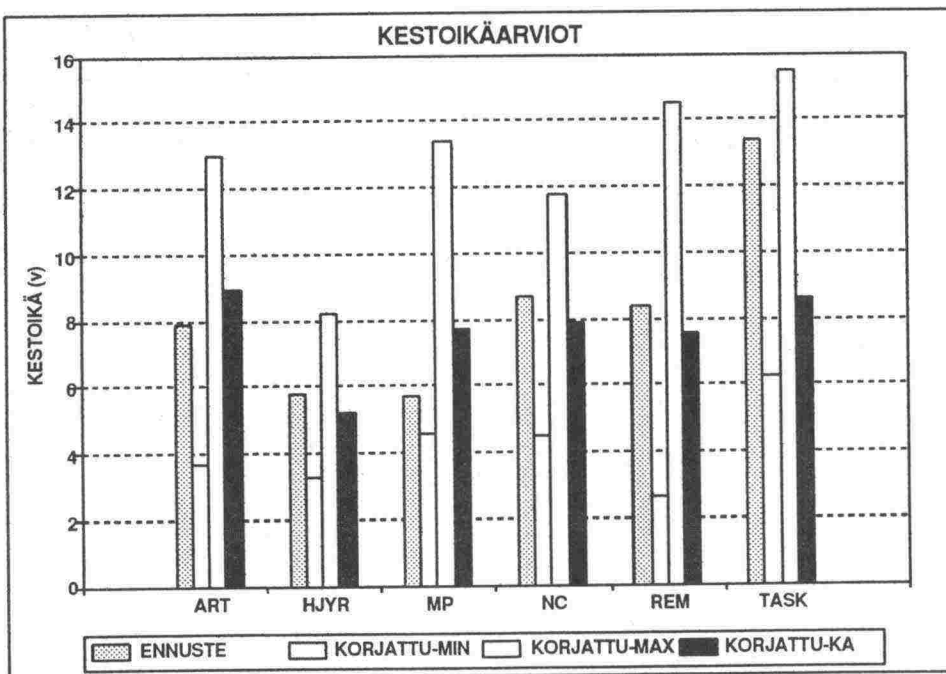


Taulukko 3: Kohteiden kestoikäennusteet ja liikennemäärän perusteella keskiarvo-tasoon korjatut arvot sekä kohteiden edellisen päällysteen kestoikä.

KOHDE	KESTOIKÄ (v) uran -94 mukaan	LIIKENNE- MÄÄRÄ	KESTOIKÄ (v) korjattu	KESTOIKÄ (v) edellinen	KESTOIKÄ (v) edell., korj.
<b>ART</b>					
Loimaa	8,6	3517	6,6	7	5,4
Piikkiö	6,0	9855	13,0	4	8,7
Lemu	10,5	4843	11,2	5	5,3
Alastaro	10,0	1664	3,6	7	2,6
Pori	5,0	11592	12,8	3	7,7
Perniö	7,5	3796	6,2	4	3,3
<b>keskiarvot</b>	<b>7,9</b>	<b>5878</b>	<b>8,9</b>	<b>5</b>	<b>5,5</b>
<b>HJYR</b>					
Lappeenranta	4,5	6326	6,3	4	5,6
Kuusankoski	9,0	3336	6,6	9	6,6
Elimäki	3,8	6471	5,3	4	5,7
Luumäki	6,0	6187	8,2	4	5,4
Ruokolahti	5,0	3500	3,9	5	3,9
Lemi	5,0	4500	5,0	4	4,0
Kuhmoinen	5,0	2956	3,3	5	3,3
Äänekoski	7,5	2868	4,7	5	3,2
Leivonmäki	6,0	2572	3,4	6	3,4
<b>keskiarvot</b>	<b>5,8</b>	<b>4302</b>	<b>5,2</b>	<b>5,1</b>	<b>4,6</b>
<b>MP</b>					
Vantaa	5,8	10453	13,4	4	9,2
Kemiö	6,3	3317	4,6	7	5,1
Naantali	5,0	4485	4,9	5	4,9
<b>keskiarvot</b>	<b>5,7</b>	<b>6085</b>	<b>7,7</b>	<b>5,3</b>	<b>6,4</b>
<b>NC</b>					
Tammisaari	12,0	3627	9,6	4	3,2
Ylöjärvi	6,3	6500	8,9	4	5,7
Hattula	12,8	4191	11,8	17	15,7
Ruukki	6,0	3473	4,6	9	6,9
Liminka	6,7	3037	4,5	2	1,3
<b>keskiarvot</b>	<b>8,7</b>	<b>4166</b>	<b>7,9</b>	<b>7,2</b>	<b>6,5</b>
<b>REM</b>					
Hanko	20,0	3303	14,5	11	8,0
Lapinjärvi	7,5	5579	9,2	4	4,9
Lahti	8,0	2743	4,8	5	3,0
Pernaja	5,2	6045	7,0	6	8,0
Pernaja	7,5	6489	10,7	6	8,6
Pälkäne	6,2	6274	8,5	5	6,9
Padasjoki	6,8	4364	6,6	5	4,8
Ilmajoki	8,8	1706	3,3	7	2,6
Laihia	6,5	6092	8,7	6	8,0
Närpiö	7,1	1680	2,6	7	2,6
<b>keskiarvot</b>	<b>8,4</b>	<b>4428</b>	<b>7,6</b>	<b>6,2</b>	<b>5,7</b>
<b>TASK</b>					
Kärkölä	20,0	1688	7,4	7	2,6
Lahti	13,3	5277	15,5	8	9,3
Mänttä	7,5	4803	7,9	3	3,2
Vilppula	20,0	1463	6,4	5	1,6
Viinijärvi	11,3	3124	7,7	4	2,8
Kitee	8,3	3442	6,3	9	6,8
<b>keskiarvot</b>	<b>13,4</b>	<b>3300</b>	<b>8,6</b>	<b>6</b>	<b>4,4</b>

Kuvassa 4 on esitetty kaikkien kohteiden kestoikäennusteet sekä kohde-ryhmien kestoikien keskiarvot. Kestoiikiin on tehty liikennemäärän perusteella korjaus olettaen liikennemäärän kasvun lisäävän urautumista suora- viivaisesti. Kestoiikäarviossa kunnostusrajaksi on oletettu 15 mm (palvelu- tasomittauksen keskimääräinen urasyvyys,  $U_{ka}$ ).

Kestoiikäarvioiden hajonnat ovat pääosin 2 - 3 vuotta, mutta REM- ja TASK-ryhmissä on muutamia kohteita, joiden 1994-urasyvyystilanne (hyvin pieni muutos välillä 1993-94) aiheuttaa 20 vuoden kestoikäennusteet, mikä suurentaa ryhmien hajontaa. Olosuhteiden vaikutuksesta kestoikäennusteisiin voi arvioida muun muassa, että ART-ryhmän kohteet ovat keskimäärin leveämmillä teillä (päällysteleveys keskimäärin 9 m, muut ryhmät välillä 7,6 - 8,6 m). Se voi aiheuttaa leveämpää uratyyppiä ja sen vuoksi matalampia uria. Liikennemäärän osalta TASK-kohteet ovat keskimäärin vähäliikenteisemmillä teillä (3300 ajon./vrk) kuin muut. Se voi aiheuttaa laskelmien vääristymistä liikennekorjauksen tekemisen yhteydessä. HJYR-kohteiden muita alemmaan kestoikäennusteeseen voi vaikuttaa se, että sallittu alku-urasyvyys 3-4 mm on ollut alkutilanteena.



Kuva 4: Kohteiden kestoikäennusteet.

### 3.2 Vuosikustannukset

Edullisuusvertailun perustana ovat päällystyskustannuksista ja päällysteen kestoikästä syntyvät vuosikustannusarvot laskettiin annuiteettimenetelmällä kaavan 1 mukaisesti.

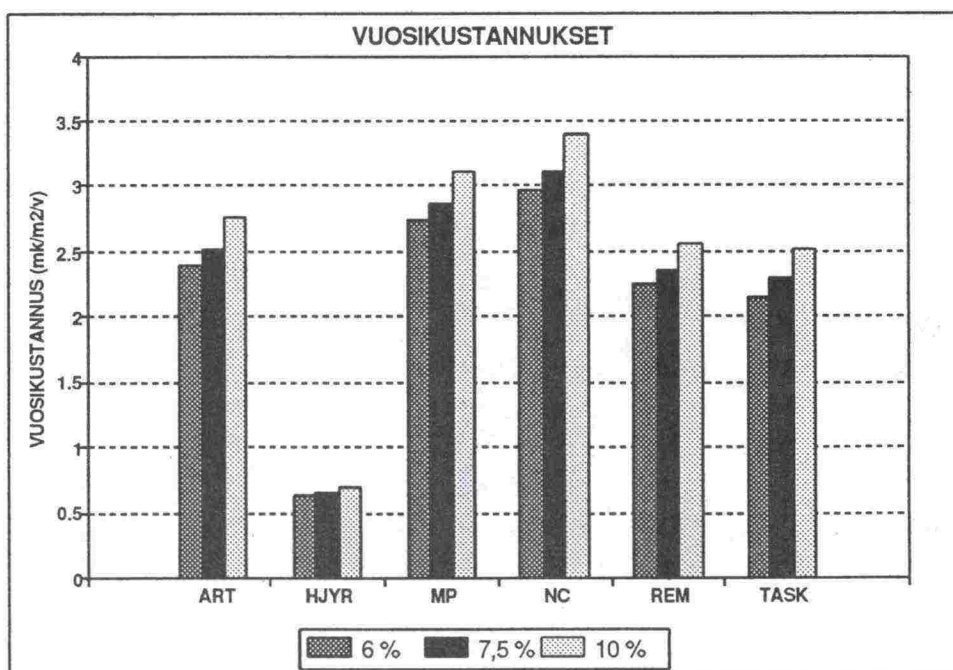
Lasketut arvot on esitetty taulukossa 4 ja ryhmäkeskiarvoina kuvassa 5. Päällysteille ei laskettu jäännösarvoa. Jos jäännösarvo otettaisiin huomioon, sen voisi ajatella olevan keskimääräistä suurempi kohteissa, jotka on tehty korkealuokkaisesta kiviaineksesta ja keskimääräistä pienempi jyrshintäkohteissa, joissa kerrospaksuus ja samalla myöhemmin mahdollisesti uudelleen käytettävä materiaali on vähentynyt.

$$V = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} * P \quad (1)$$

jossa

- V = vuosikustannus
- i = vuotuisen korkoprosentin sadasosa
- n = kohteen kestoikäennuste vuosissa
- P = kohteen päällystämiskustannukset (mk/m<sup>2</sup>)

Laskentakorkona käytettiin korkoja 6, 7,5 ja 10 %. Valtiovarainministeriön ohjeiden mukaan laskentakorko on valtionhallinnon investoinneissa pääsääntöisesti 6 %. Erityisen pitkävaikutteisen ratkaisun (esim. infrasrakuuri-investoinnit kuten tieverkko) kohdalla voidaan soveltaa alhaisempaa 4 % laskentakorkoa. Tien kulutuskerroksen rakentamiskustannuksia on pidettävä muuhun tierakentamiseen nähden kuitenkin lyhytvaikutteisena investointina, joten muut korkokannat valittiin ohjekorkoa suuremmiksi. Koska käytännössä tielaitoksen tieinvestointilaskelmissa on käytetty 7,5 % korkokantaa, otettiin se tähän mukaan. Vastaavissa laskelmissa muissa Pohjoismaissa on käytetty myös jopa 10 % korkokantaa, joten se otettiin kolmanneksi vaihtoehdoksi.



Kuva 5: Päällysteen kunnostustoimenpiteiden vuosikustannukset.



Taulukko 4: Kohteiden vuosikustannukset.

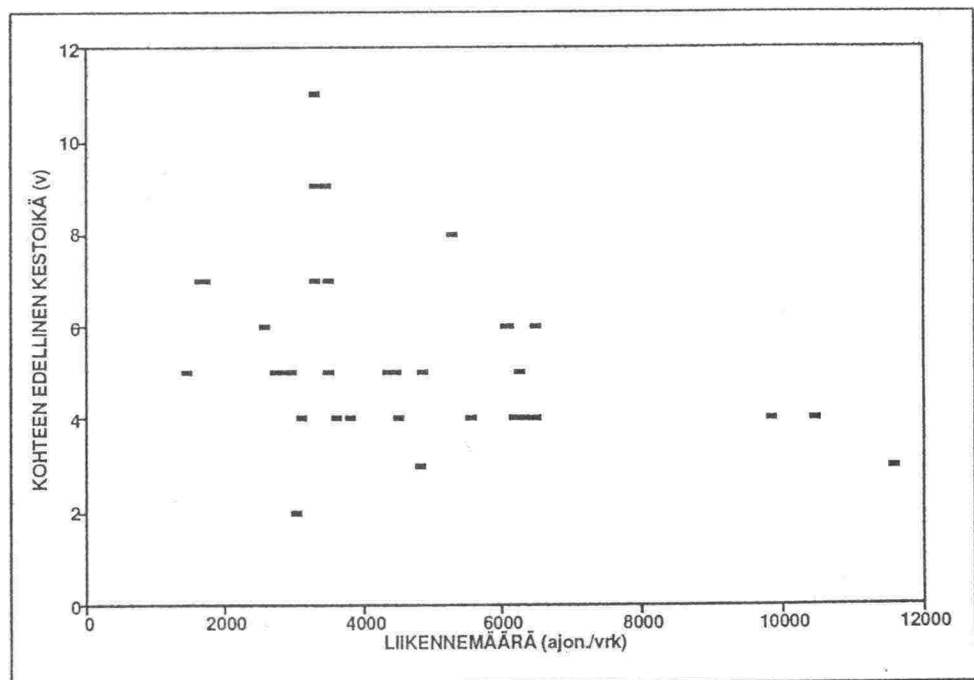
KOHDE	Vuosikustannukset (mk/m <sup>2</sup> /v) korke 6 %	Vuosikustannukset (mk/m <sup>2</sup> /v) korke 7,5 %	Vuosikustannukset (mk/m <sup>2</sup> /v) korke 10 %
<b>ART</b>			
Loimaa	2,50	2,63	2,85
Piikkiö	1,62	1,76	2,02
Lemu	1,76	1,90	2,15
Alastaro	4,49	4,64	4,89
Pori	1,72	1,87	2,13
Perniö	2,24	2,35	2,53
<b>keskiarvot</b>	<b>2,39</b>	<b>2,52</b>	<b>2,76</b>
<b>HJYR</b>			
Lappeenranta	0,61	0,64	0,69
Kuusankoski	0,53	0,55	0,60
Elimäki	0,58	0,61	0,65
Luumäki	0,45	0,48	0,53
Ruokolahti	0,81	0,84	0,89
Lemi	0,75	0,78	0,83
Kuhmoinen	0,69	0,72	0,75
Äänekoski	0,57	0,59	0,63
Leivonmäki	0,67	0,69	0,72
<b>keskiarvot</b>	<b>0,63</b>	<b>0,66</b>	<b>0,70</b>
<b>MP</b>			
Vantaa	1,63	1,77	2,03
Kemiö	3,39	3,52	3,75
Naantali	3,21	3,34	3,56
<b>keskiarvot</b>	<b>2,74</b>	<b>2,88</b>	<b>3,11</b>
<b>NC</b>			
Tammisaari	2,24	2,40	2,67
Ylöjärvi	2,36	2,52	2,79
Hattula	1,93	2,09	2,37
Ruukki	4,09	4,25	4,52
Liminka	4,20	4,35	4,62
<b>keskiarvot</b>	<b>2,97</b>	<b>3,12</b>	<b>3,39</b>
<b>REM</b>			
Hanko	1,30	1,43	1,65
Lapinjärvi	1,79	1,91	2,12
Lahti	2,98	3,10	3,31
Pernaja	2,70	2,84	3,09
Pernaja	1,23	1,32	1,48
Pälkäne	1,64	1,75	1,93
Padasjoki	1,85	1,95	2,11
Ilmajoki	3,14	3,23	3,39
Laihia	2,01	2,14	2,37
Närpiö	3,86	3,96	4,12
<b>keskiarvot</b>	<b>2,25</b>	<b>2,36</b>	<b>2,56</b>
<b>TASK</b>			
Kärkölä	2,65	2,80	3,05
Lahti	1,56	1,73	2,01
Mänttä	2,43	2,58	2,83
Vilppula	2,88	3,02	3,27
Viinjärvi	1,57	1,66	1,82
Kitee	1,87	1,96	2,12
<b>keskiarvot</b>	<b>2,16</b>	<b>2,29</b>	<b>2,52</b>

## 4 TULOSTEN TARKASTELU

Tulosten tarkastelussa on aluksi tutkittu tulosten tarkkuuteen vaikuttavien olosuhteiden, lähinnä liikenteen vaikutusta. Liikennemäärän perusteella tehtyä korjausta on tarkasteltu korjattujen tulosten avulla. Menetelmissä käytettyjen materiaalien ja menetelmien hinnoittelun muutoksen vaikutusta on selvitetty seuraavaksi. Lopuksi on tehty kestoikien, vuosikustannusten ja edullisuuden vertailua normaalipaksuisten päällysteiden vastaaviin sekä kohteissa ennen kunnostusta olleiden päällysteratkaisujen vastaaviin.

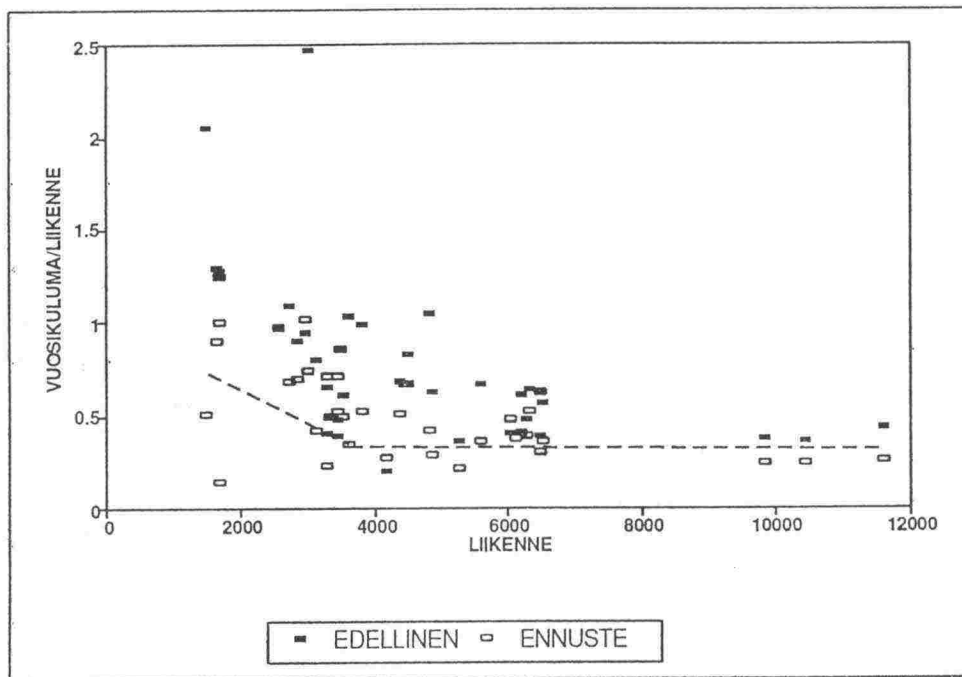
### 4.1 Liikenne ja olosuhteet

Liikennemäärä vaihteli eri kohteissa välillä 1 500 - 11 500 ajoneuvoa/vrk. Vaihtelun aiheuttamien erojen poistamiseksi tuloksista kestoikäennusteita korjattiin olettaen liikenteen vaikutus urautumiseen lineaarisiksi. Kuvassa 6 on esitetty kohteiden edellisen kestoian ja liikennemäärän välinen yhteys. Liikennemäärän vaikutus ei kuvan perusteella ole kovin selkeästi lineaarinen, mutta pistejoukko ei anna myöskään aihetta tehdä tuloksille jotain muunlaista korjausta. On kuitenkin muistettava, että liikennemäärän kasvun oletettavasti urautumista lisäävän vaikutuksen lisäksi tulosryhmän kestoikiin on vaikuttaneet myös kohteiden massa- ja materiaalierot, työn laatueroit sekä kohteiden kunnostuksen ajoitus ts. kohde on mahdollisesti päällystetty ennen kuin toimenpiderajaksi oletettu 15 mm keskimääräinen urautuminen on saavutettu.



Kuva 6: Kohteiden edellisen päällystystoimenpiteen kestoian riippuvuus liikennemääristä.

Kuvassa 7 on verrattu liikennemäärää sillä jo korjattuun vuosikuluma-arvoon. Yhteyden pitäisi olla vaakasuora, mutta 3 500 ajon./vrk pienemmällä liikennemäärällä tapahtuva yhteyden käyristyminen viittaa siihen, että kuluminen on kyseisillä pienillä liikennemäärillä suhteellisesti suurempaa (ajoneuvokohtainen kuluminen) tai uusimisen syy on ollut jokin muu kuin kuluminen. Ilmiö voi siis aiheuttaa vääristymistä vertailun tuloksissa erityisesti, jos jonkin menetelmäryhmän kaikki tai useimmat kohteet ovat hyvin vähäliikenteisillä teillä.



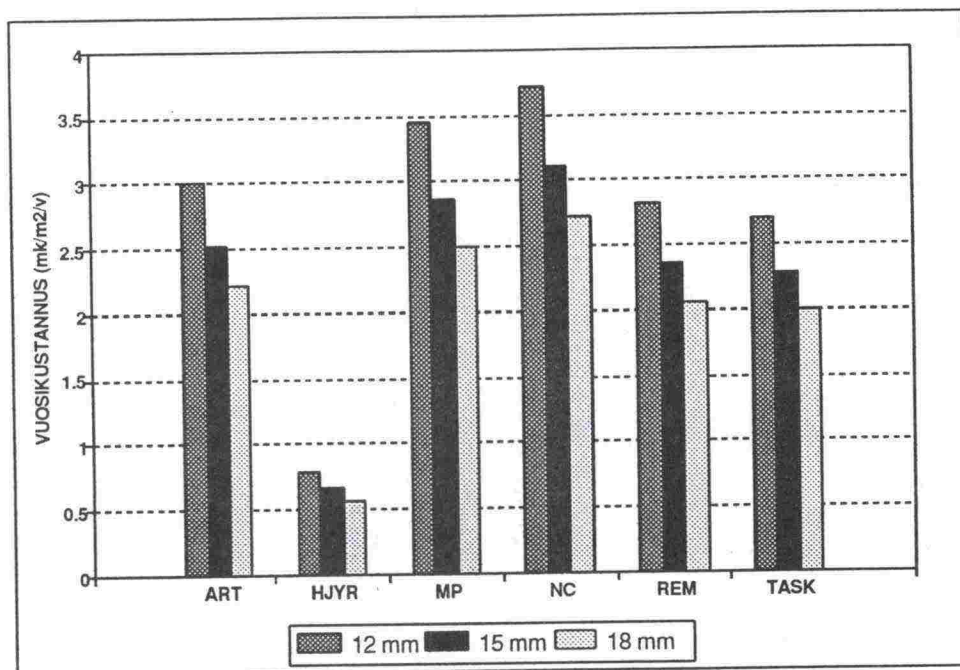
Kuva 7: Lineaarisen liikennekorjauksen vertailu vuosikulumatuloksiin

Edellisen päällysteen vuosikuluman perusteena olevana kunnostusrajana käytettiin 15 mm. Osasta kohteita oli käytettävissä palvelutasomittauksen kuntohistoriatulostukset, joiden perusteella useissa kohteissa kunnostusta edeltäneen vuoden urasyvyystilanne oli 10 mm tuntumassa. Näissä kohteissa kunnostamistarpeen oli mahdollisesti aiheuttanut jokin muu syy kuin urasyvyys. Kuitenkin kuntohistoriatulosteissa, joissa on myös päällystystä edeltävä tasaisuus ja vaurioitumistilanne, vain yhden TASK-kohteen vaurioitumistilanne oli lähellä kunnostusrajaa ja sen sekä kahden muun kohteen tasaisuustilanne oli hyväksi luokiteltavaa huonompi (IRI yli 2,0). Kuntohistoriatulosteet oli 31:stä kohteesta.

Uusimisperusteena olevan urasyvyyden vaikutusta vuosikustanuksiin voidaan tarkastella kuvasta 8, jossa kestoikäennusteet on ensin määritetty kolmen erilaisen raja-arvon perusteella ja sitten tuloksista on laskettu



vuosikustannusarvot. Rajan alentaminen 18 mm:stä 12 mm:iin lisää vuosikustannuksia keskimäärin neljänneksellä.



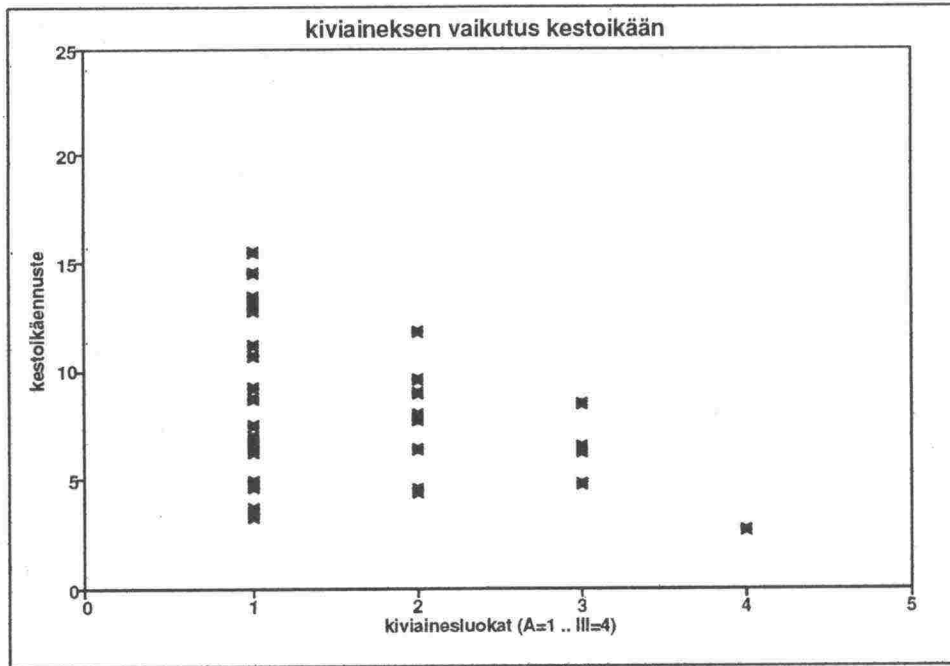
Kuva 8: Kunnostusrajan vaikutus vuosikustannuksiin.

Liikennemäärän lisäksi muita olosuhteiden mahdollisesti aiheuttamia vaikutuksia ei korjattu tuloksista. Suurin osa kohteista sijaitsi 100 km/h nopeusrajoitusalueella, mutta osa oli myös 80 km/h alueella ja joitakin 60 km/h alueella. Nopeusrajoitustiedon perusteella korjausta ei ole tehty vaan liikenteen nopeuden mukainen korjaus vaatisi liikennelaskentatietoja. Päällysteen leveys vaihteli 6,5 metristä 10,0 metriin. Liikennettä kapeammille ja samalla syvemmille ajourille mahdollisesti kanavoivia seikkoja ei erityisesti selvitetty kohteista.

#### 4.2 Materiaalit

Materiaaleista eniten päällysteen kunnostustarpeeseen vaikuttaa kiviaines. Useimmissa tutkimuksen kohteissa käytetty kiviaines oli vuoden 1987 normiluokituksen mukaan parhaaseen A-luokkaan kuuluvaa. Vanhaa A-luokan kiveä ei kuitenkaan voi pitää ehdottomasti nykyisen normiluokituksen korkeimpaan luokkaan kuuluvana, koska luokittelun perusteena olevat tutkimusmenetelmät ovat erilaisia. Toisaalta myöskään kaikista 1991 ja 1992 käytetyistä kiviaineksista ei ole saatavissa uuden luokituksen mukaisia tuloksia niin että kiviainesten sijoittumisen uuteen luokkajakoon voisi tarkistaa.

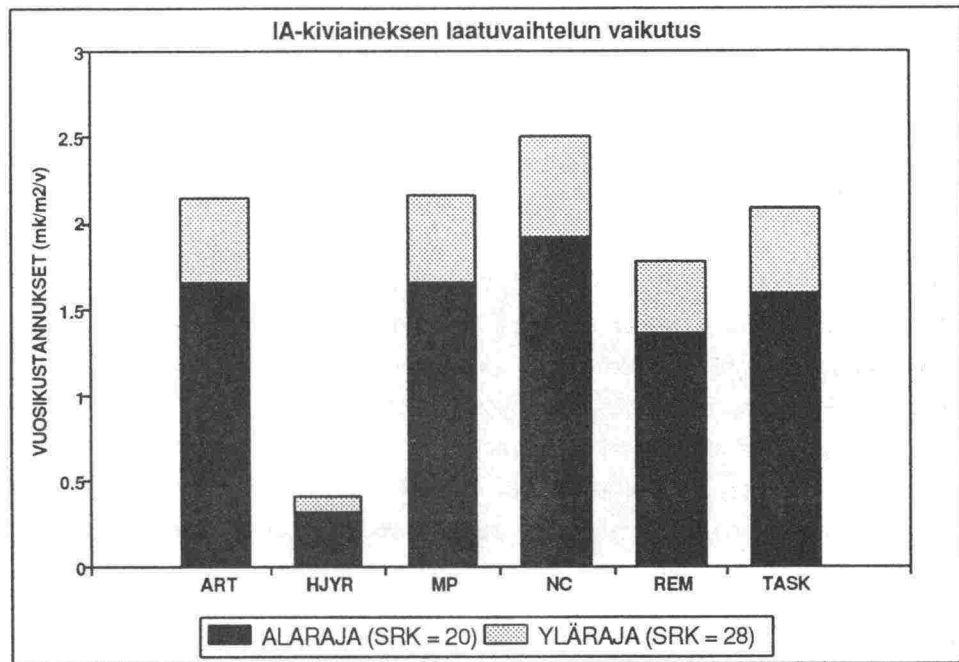
Kuvasta 9 on nähtävissä selvä yhteys vanhankin luokituksen mukaisen kiviainesluokan ja kestoian välillä. A-luokan kiviaineksesta valmistettujen päälysteiden kestoajat ovat keskimäärin lähellä 10 vuotta, kun II- ja III-luokan kiviaineksesta tehdyt päälysteet ovat keskimäärin 7 vuoden kestoikätasolla. Liikennemääräerot kohteiden välillä on otettu huomioon kestoikäennusteissa.



Kuva 9: Kohteiden v. -87 normien mukaisen kiviainesluokan ja kestoian välinen yhteys.

Selvä yhteys viittaa siihen, että jos mitään kiviaineserojen vaatimaa korjausta ei tuloksiin tehdä mukana olevat erilaatuiset kiviainekset vääristävät tuloksia. Vuosikustannustarkastelun voisi tehdä poistamalla kohteet, joissa on käytetty jotain muuta kuin parasta kiviainesta, mutta silloin osa ryhmistä koostuisi vain muutamasta kohteesta ja TASK-ryhmään ei tulisi yhtään kohdetta. TASK-kohteet ovatkin tässä aineistossa tyypillisesti vähäliikenteisemmällä ja alempiluokkaisilla teillä, joiden päälysteisiin on käytetty usein huonompilaatuista kiviainesta.

Kuvassa 10 on laskennallisen esimerkin avulla arvioitu v. -94 normien mukaisen IA-luokan kiviaineksen laatuvahtelun (luokan sisällä) vaikutusta kohteen kestoikään ja edelleen vuosikustannuksiin. Vuosikustannusvaihtelu kuvaa sitä aluetta, millä kyseisen menetelmän vuosikustannustulos voi olla riippuen siitä, onko kiviaines ollut luokkansa ylärajalla vai alarajalla SRK-tuloksen perusteella.



Kuva 10: V. -94 normien mukaisen IA-luokkaisen kiviaineksen lujuuden vaihtelun aiheuttama vaihtelu vuosikustannuksissa.

Nykyisten v. -94 normien kiviainesluokituksen perusteena olevien testien (pistekuormitusindeksi ja muotoarvot) ja SRK-tuloksen yhteydet on otettu ASTO:n loppuraportista ja SRK:n ja kestoajan välinen yhteys ASTO:n koetieaurannan tuloksista. IA-luokan alarajaksi on arvioitu SRK-arvo 20 ja ylärajaksi SRK-arvo 28, joista vastaavat kestoikäarvot vertailun kohteiden keskimääräisellä liikenteellä ovat 9 ja 13,5 vuotta. Hintoina on käytetty kohteiden alkuperäisiä hintoja, vaikka osassa on todellisuudessa käytetty huonompaa kiviainesta eli hinta olisi mahdollisesti ollut korkeampi kiviaineksen hinnoittelusta riippuen.

Vastaavasti voisi tehdä myös tarkastelun kestävämmän materiaalin (esim. IA-luokkainen kiviaines, SRK keskimäärin 24 ja IB-luokkainen kiviaines, SRK keskimäärin 32) vaikutuksesta kestoikään ja edelleen vuosikustannuksiin, jos eriluokkaisten kiviainesten hinta määräytyisi selvästi laadun mukaan ja kyseinen hintaero tunnettaisiin.

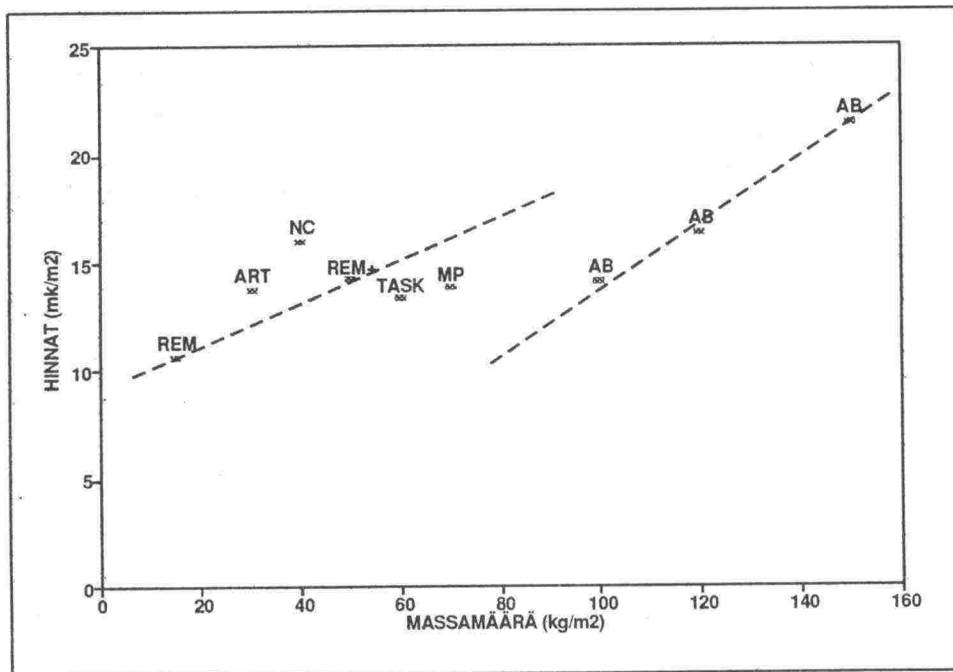
#### 4.3 Hinnoittelu

Vuosikustannuksiin perustuvassa edullisuusvertailussa menetelmien hinnat vaikuttavat vertailun tulokseen olennaisesti. Erikoistekniikkaa ja -kalustoa vaativat kunnostusmenetelmät ovat tyypillisesti korkeammalla hintatasolla verrattuna menetelmiin, jotka käyttävät tavanomaista päällystystekniikkaa. Sen lisäksi useat tässä vertailuista menetelmistä on otettu Suomessa



vasta 90-luvulla käyttöön, joten menetelmähinnoissa voi olla vaihtelua suuntaan ja toiseen ennen kuin tilanne vakiintuu. Joidenkin menetelmien hinnat voivat olla korkealla pelkästään siitä syystä, että kyseinen tekniikka ja kalusto on käytössä vain yhdellä urakoitsijalla eikä kilpailutilannetta siten ole.

Kuvassa 11 on haettu yhteyttä päällystekerroksen massamäärän ja menetelmän hinnan välille. Uudet erikoistekniikkaa vaativat menetelmät ovat massamääräänsä nähden korkeammalla hintatasolla kuin tavanomaiset päällysteet. Pääosa kunnostusmenetelmistä on hinnaltaan AB:n (100-120 kg/m<sup>2</sup>) tasolla, joten kyseisten menetelmien käytön aikaan saama materiaalisäästö ei näy mitenkään hinnoissa. Myös kunnostusmenetelmäryhmän sisällä on suuria eroja hinnoittelun suhteesta massamäärään. Tarkempi hinnanmuodostumisen vertailu vaatisi lisäksi menetelmäkohtaisen työ- ja energiamäärien selvittämisen.

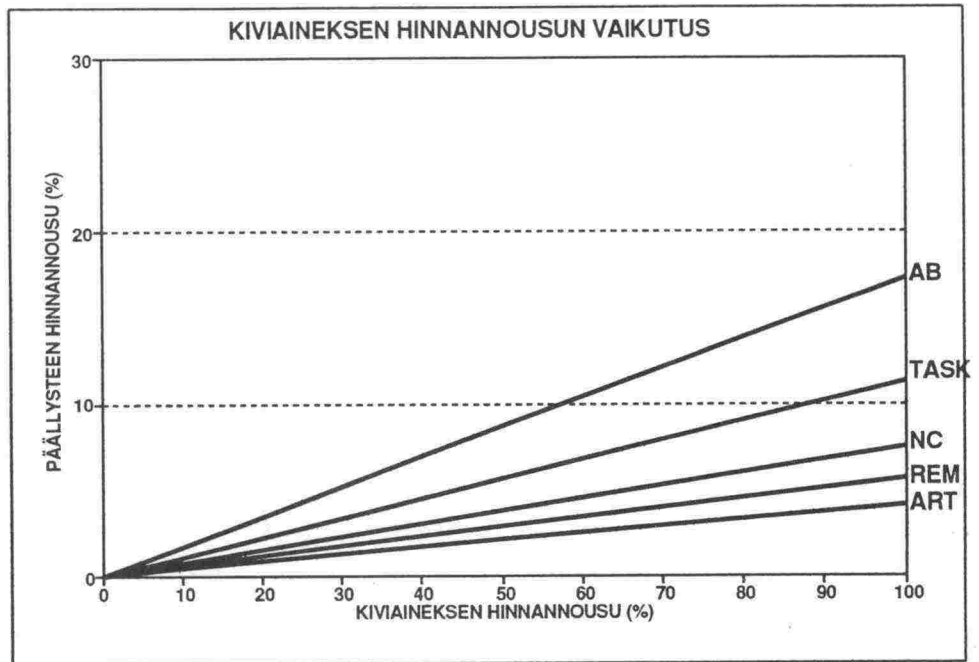


Kuva 11: Hinnan riippuvuus päällysteen paksuudesta.

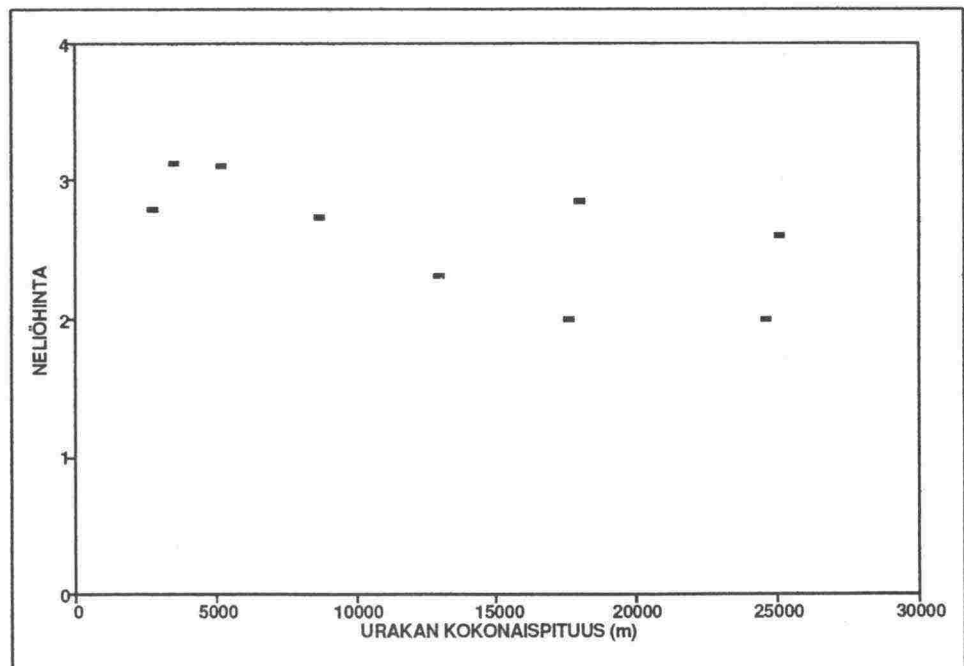
Kuvassa 12 on tarkasteltu kiviaineksen hinnannousun vaikutusta päällysteen hinnannousuun eri menetelmillä. Nollataso kuvaa tilannetta, jossa kiviaineksen hinnaksi on oletettu 30 mk/t. Kuvasta havaitaan, että suuriin muutoksiin kiviaineksen hinnassa ei vaikuta paljon päällysteen hintaan erityisesti vähän kiviainesta käyttävissä menetelmissä.

Menetelmäkohtainen hinta vaihtelee oleellisesti myös kohteen sijainnin ja kuljetusmatkojen mukaan. Lisäksi hintaan vaikuttaa urakan koko. Kuvassa

13 on esitetty tutkimuksen hienojyrsintäkohteiden urakkakoon vaikutus hintaan.



Kuva 12: Kivianneksen hinnannousun vaikutus päällysteen hinnannousuun.



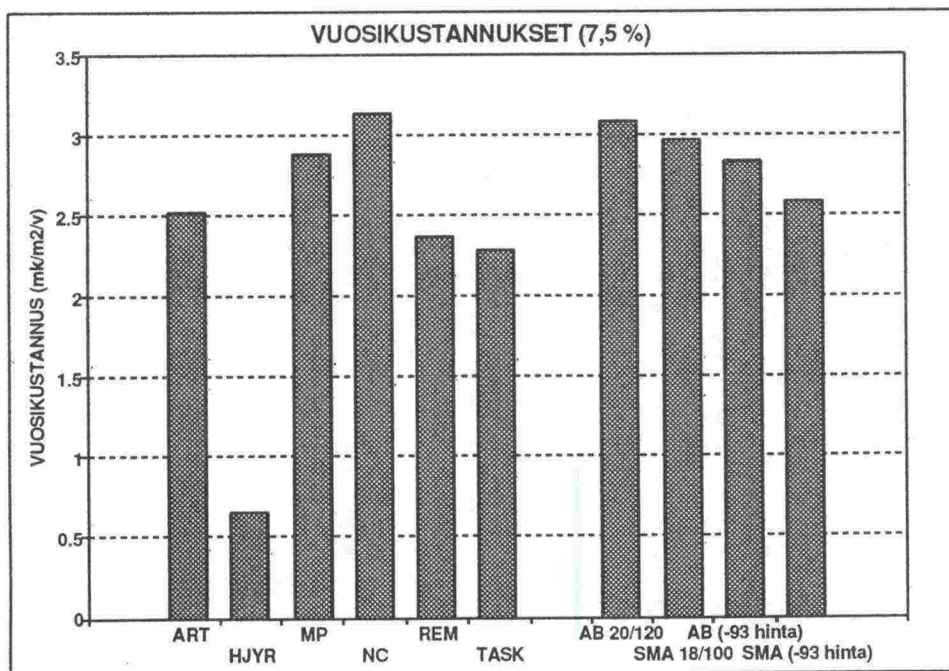
Kuva 13: Urakan pituuden vaikutus hintaan HJYR-kohteissa.

#### 4.4 Vertailu normaalipaksuisiin AB/SMA-päällysteisiin

Kunnostusmenetelmien keskinäisen vertailun lisäksi kohteiden vuosikustannuksia on verrattu myös normaalipaksuisiin (100 - 120 kg/m<sup>2</sup>) päällysteratkaisuihin. Käytännössä normaalipaksuisen päällysteen käyttö urautuneen pinnan kunnostamiseen on ylimitoitettu ratkaisu, jos päällysrakenne ei muuten vaadi kerrospaksuuden lisäämistä. Näin ollen normaali päällysteratkaisu ja kunnostusmenetelmä eivät yleensä olisi edes toistensa vaihtoehtoja.

Vertailun AB- ja SMA-päällysteiden hintoina on käytetty vuosien 1991 ja 1993 hintoja. Kestoikäarvoiksi noin 4500 ajoneuvon liikennemäärälle on arvioitu ASTO-koetietulosten avulla AB:lle 7 ja SMA:lle 9 vuotta.

Jos tarkastelussa otettaisiin huomioon materiaalmäärät eli kiviaines olisi hinnoiteltu, kuten kuvan 4 esimerkissä, kunnostusmenetelmien edullisuus korostuisi tavallisiin päällysteisiin nähden. Verrattaessa ohuita pintauksia normaalipaksuisiin tulisi materiaalin säästyminen ottaa huomioon sekä rakennuttajan materiaalisäästön kuin myös materiaalivarojen (kiviainesvarat) yleisen säästymisen kannalta. Materiaalivarojen säästymisellä pitäisi olla ainakin hinnan nousua hidastava vaikutus kyseisen materiaalin osalta.



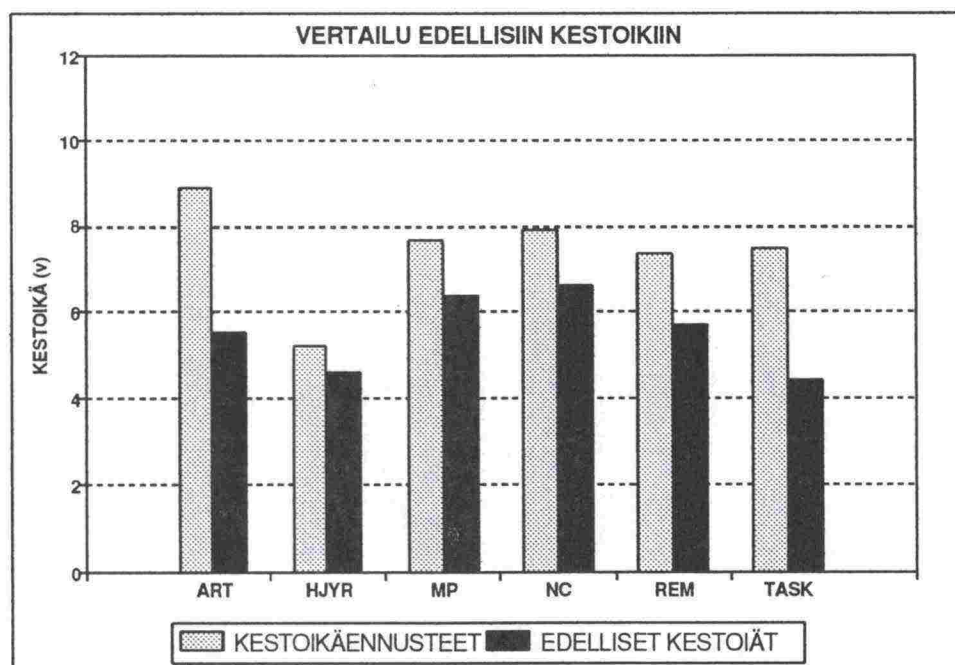
Kuva 14: Vertailu normaalipaksuisiin AB/SMA-päällysteisiin.



#### 4.5 Vertailu kohteiden edellisiin päällysteisiin

Vertailu kohteiden edellisiin päällysteisiin kuvaa tilannetta, jossa olisi kunnostuksen sijasta tehty samanlainen päällyste kuin edellinen oli. Kestoikävertailua ei haittaa olosuhdemuuttujaerot, kun kohteet ovat täsmälleen samoilla tieosilla.

Kestoikävertailussa (kuva 15) kaikkien kunnostuskohteiden kestoikäennusteet ovat suurempia kuin edelliset kestoikäet samoissa kohteissa. Ainakin HJYR-ryhmän arvojen tulisi olla samansuuruiset, koska päällyste on sama. Syynä eroon siinä on osittain edellistä kestoikää hieman heikentänyt alkutiivistyminen, jota ei jyrstettyyn pintaan tule ja osittain myös edellisen kunnostusrajan jääminen mahdollisesti alle 15 mm, mikä pienentää kestoikää.



Kuva 15: Kestoikäennusteiden vertailu kohteiden edellisiin kestoikiin.

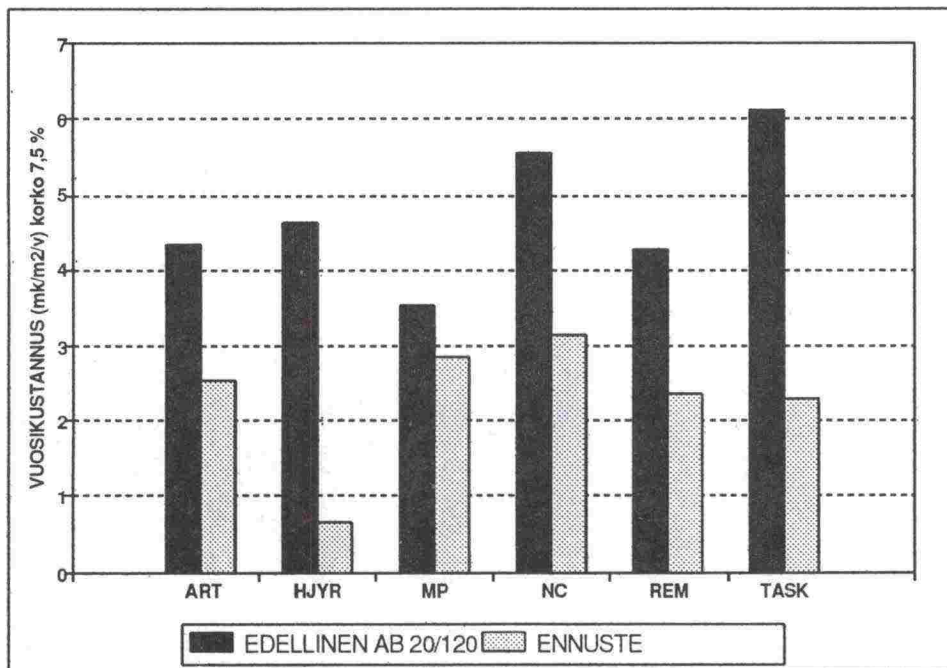
Kestoikäeroihin muissa kohderyhmissä voi todellista alemman kunnostusrajan lisäksi vaikuttaa päällystemassan laadun paraneminen (kiviaines ja massatyypin) viime vuosina, muutokset kohteen liikennemäärissä, erot sääolosuhteissa edellisten päällysteiden aikana ja ennusteen perusteena olevana aikavälinä 1991-1994. Myös kestoikäennusteessa voi olla virhettä esimerkiksi urasyvyystuloksista tai arvioiden oletuksista johtuen.

Kestoikäet on korjattu liikennemäärän mukaisesti. Siitä huolimatta ryhmien välillä on selviä eroja edellisissä kestoikäarvoissa, joten myös kohteiden



edellisissä päällysteissä on ollut eroja. Erityisesti tällä seikalla on vaikutusta niissä ryhmissä, joiden kunnostusmenetelmä on sellainen, jossa käytetään hyväksi edellisen päällysteen materiaalia. Tässä kuitenkin ART- ja REM-kohteiden edelliset kestoiät ovat lähes saman suuruisia.

Kuvassa 16 on vastaava vuosikustannusvertailu, jossa kestoiakinä on käytetty kohteiden edellisten päällysteiden todellisia arvoja. Edellisen päällysteen hintana on käytetty kaikissa normaalin AB-päällysteen hintaa vuoden 1991 tasossa. Eroa normaalin AB:n ja kunnostusmenetelmien välillä lisää se, että edelliset kestoiät päättyneet ehkä ennen oletettua 15 mm kunnostusrajaa.



Kuva 16: Vuosikustannusvertailu kohteen edellistä päällystettä vastaavaan ratkaisuun.

## 5 PÄÄTELMÄT JA SUOSITUKSET

Kunnostusmenetelmien edullisuusvertailun aineiston kohteet valittiin lähinnä päällystystilastojen ja tierekisteritietojen perusteella. Kohteiden kestoiät määritettiin kahden urasyvyysmittaustiedon perusteella lisäksi olettaen, että kyseisen kohteen kestoikä käytännössä määräytyy urautumisen perusteella. Nämä vertailun taustalla olevat epävarmuustekijät on muistettava tuloksia tarkasteltaessa. Lisäksi eri kunnostusmenetelmien hinnat ovat vielä nykyäänkin melko epävakaita. Jonkin menetelmän käytön lisääntyminen tai oleellinen muutos kilpailutilanteessa (esim. samoja menetelmiä useilla eri urakoitsijoilla) vaikuttaisi merkittävästi vertailussa käytettyihin menetelmähintoihin.

Määritetyt vuosikustannukset (korko 7,5 %) vaihtelevat eri menetelmillä välillä 2,2 - 2,8 mk/m<sup>2</sup>/vuosi. Poikkeuksina näistä lähinnä hinnoiltaan erilaiset Novachip ja hienojyrsintä yli 3,0 ja alle 1,0 vuosikustannuksilla. Pääosin eri menetelmien vuosikustannuserot ovat niin pieniä, että vastaavat erot voivat hyvinkin aiheutua jo materiaalieroista esimerkiksi kiviaineslaadun vaihteluista, jopa saman laatuluokan sisällä.

Verrattaessa kunnostusmenetelmien keskimääräisiä vuosikustannuksia normaalipäälysteiden vuosikustannuksiin kunnostusmenetelmät ovat noin 20 % edullisempia (ja hienojyrsintä vielä edullisempi), eikä siinä ole vielä otettu huomioon materiaalin säästymistä vaan pelkästään päällystyskustannukset.

Kunnostusmenetelmien vuosikustannukset olivat kaikissa menetelmäryhmissä selvästi pienempiä kuin kohteiden edellistä päällystettä vastaavat päällysteratkaisut. Ero oli vielä suurempi kuin kunnostusmenetelmien ja normaalipaksuisen tavallinen hintaero olisi edellyttänyt. Tulokseen vaikutti kohteiden päällystäminen ennen oletettua kunnostusrajaa tai sitten jonkin muun kunnostamissyyn kuin urautumisen käyttö. Kuntohistorioiden perusteella urautuminen oli kolmesta muuttujasta (IRIt, urat ja vauriot) kuitenkin lähes aina lähimpänä kunnostusrajaa. Myös kunnostusrajan valinnalla voi olla melkoinen vaikutus vuosikustannuksiin. Laskennallisesti siirtyminen 12 mm keskimääräisestä rajasta 18 mm keskimääräiseen rajaan vähentäisi neliökohtaisia vuosikustannuksia kunnossapitomenetelmillä keskimäärin lähes markalla (esim. ART:lla 3,0 markasta 2,2 markkaan)

Kestokämmäryitys tehtiin tässä tutkimuksessa pelkästään urasyvyyteen perustuen. Kunnostusmenetelmillä käsiteltyjen pintojen vaurioitumistaipumus voi olla aivan erilainen kuin normaalin kerrospaksuuden omaavilla päällysteillä. Kunnostettujen kohteiden ohut pintakerros voi aluksi lähteä

urautumaan normaalin päällysteen tavoin, mutta lähestyttäessä pintausten ja vanhan päällysteen rajapintaa voi käyttäytyminen muuttua, ainakin eri menetelmillä voi olla eroja muun vaurioitumisen suhteen.

Kunnostusmenetelmän valinta kunnostettavaan kohteeseen tulisi enemmänkin perustua kyseisen kohteen erityisominaisuuksiin kuin esimerkiksi kunnostusmenetelmien pieniin hinta- tai vuosikustannuseroihin. Menetelmän valinnassa tulisi ottaa huomioon edellisen päällysteen laatu (uusiokäyttömahdollisuus), edellisen päällysteen vaurioituminen ja päällysteen muu mahdollinen korjaustarve (sivukaltevuus). Jos edellisen päällysteen urautuminen on ollut nopeaa tai päällysteessä on useita erityyppisiä vaurioita, on kannattavampaa valita menetelmä, jolla tehdään uusi pinta kestävämmästä materiaalista kuin käyttää vanhaa materiaalia uudestaan tai poistaa urat hienojyrsinnällä.

Kunnostusmenetelmien yleisesittelyn yhteydessä esitettyjen menetelmäkohtaisten erikoisominaisuuksien (taulukko 1) ja muiden kirjallisuudesta ja käyttökokemuksista (rakentamisraportit tms.) saatujen tietojen perusteella on taulukkoon 5 koottu eri menetelmiä koskevia käyttösuosituksia.

*Taulukko 5: Menetelmien käyttösuositukset*

Kunnostusmenetelmä	Soveltuu kunnostuskohteeseen
ART	- edellinen päällystemateriaali uusiokäyttökelpoista - lajittumavauriot voidaan poistaa uudella kiviaineksella - kylmäjyrsintä taloudellisinta lämpimällä säällä
HJYR	- edellinen päällyste säilyttänyt muotonsa hyvin - ei muita vaurioita kuin urat - ei kovasta kivistä tehdyille (irtoaa, ei puolitu) - jäävä kerrospaksuus arvioidaan riittäväksi
MP	- ei keskeltä painuneeseen uramuototyyppiin - halutaan hieman lisää kerrospaksuutta (kantavuutta)
NC	- edellinen päällyste säilyttänyt muotonsa hyvin - kohteisiin, joiden edellinen materiaali huonoa
REM	- edellinen materiaali uusiokäyttökelpoista - myös kova kivi irtoaa kuumennuksen ansiosta - sopii myös sateella ja kylmällä tehtäväksi
TASK	- kohteisiin, joiden edellinen materiaali huonoa - pinnan muoto muuttunut paljon (esimerkiksi keskeltä painunut uramuoto)

Kunnostusmenetelmien edullisuusvertailua tulisi jatkaa seuraamalla näitä tai osaa näistä kohteista muutamia vuosia ja tarkentamalla nyt tehtyjä kestoikäennusteita. Samalla edellä esitettyä käyttösuositustaulukkoa voisi kertyneen tiedon avulla korjata ja täsmentää. Kohteiden seurantaan tulisi liittää kuntohistoriatietojen (tasaisuus, urasyvydet, vauriot) lisäksi myös tarkempi vaurioitumisselvitys mahdollisten eri menetelmille tyypillisten vaurioitumistapojen löytämiseksi. Saatuja tietoja voitaisiin yhdistää myös päällystesuunnittelun ohjelmistoihin (PCAD), jos menetelmille määritettäisiin tarkempia soveltuvuusalueita ja käytön rajoituksia pelkkien massatyyppikestoikien lisäksi.

Nyt vertailtujen kohteiden lisäksi olisi kunnostusmenetelmistä hyödyllistä järjestää vertailu yhden koetien avulla. Silloin menetelmät voisivat olla täysin samanlaisissa olosuhteissa samalla tiellä peräkkäin. Koetietutkimukseen olisi syytä ottaa mukaan nyt vertailtujen menetelmien lisäksi myös muita käyttökelpoisia kunnostusmenetelmiä.

Koetietutkimuksessa tulisi selvittää mittauksilla (esimerkiksi tasaisuus, kitka, urat, kaltevuus) uuden päällysteen ominaisuudet ja seurannalla eri menetelmillä tehdyn pinnan vaurioituminen ja kestävyys. Kunnostusmenetelmillä tehdyn päällysteen laadun tutkimiseksi laboratoriossa voisi samalla selvittää siihen soveltuvia menetelmiä (esimerkiksi tröger-kokeet). Koetiekohteiden rakentamisen yhteydessä voisi eri menetelmien erityisominaisuuksia kartoittaa keskitetysti (esimerkiksi taulukon 1 kaltaisen ominaisuusluettelon laatiminen/täydentäminen).



## 6 KIRJALLISUUSLUETTELO

ASTO Loppuraportti TR9 n:o 6. Eri kunnossapitomenetelmien teknista-loudellinen vertailu. Seppo Uskali, Tapio Virtanen, Harri Rantakari. Lokakuu 1992. Tutkimusraportti n:o 135.

ASTO Loppuraportti TR9 n:o 12. Eri kunnossapitomenetelmien parantami-nen ja soveltaminen pitkän aikavälin kunnossapidossa. Seppo Uskali, Harri Rantakari, Tapio Virtanen. Tammikuu 1993. Tutkimusraportti n:o 157.

ASTO Loppuraportti TR9 n:o 14. Vanhan päällysteen elvytys. Eero Wasti-mo. Tammikuu 1993. Tutkimusraportti n:o 159.

ASTO Loppuraportti. Espoo 1993.

Tie- ja siltapäällysteiden urakkahinnat vuonna 1991. Tielaitos.

Tie- ja siltapäällysteiden urakkahinnat vuonna 1993. Tielaitos.

Toimenpiteiden hyötyjä ja haittoja koskevat selvitykset. Valtiovarainminis-teriö, suunnitteluosasto. Helsinki 1975.

Kari I. Leväinen - Arvo Vitikainen : Edullisuusvertailujen suorittaminen. Otatieto oy 1991.

Asfalttinormit 94. PANK ry 1993.

## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 33/1994 Pasilanväylän vuoropuhelun ongelmat. TIEL 3200237
- 34/1994 Talvirengastutkimus: Talvirenkaiden kulumis- ja kitkaominaisuuksien vertailu sekä käyttö ja kunto talvikaudella 1993-94. TIEL 3200243
- 35/1994 Ajokäyttäytyminen ohituskaistatiellä. TIEL 3200244
- 36/1994 Kaupunkimootoriväylän utopiat. TIEL 3200245
- 37/1994 Taajamakeskusten ohikulkuteiden liikenneturvallisuus ja ympäristöön sopeuttaminen. TIEL 3200246
- 38/1994 Tiestön kunnossapito vähemmällä suolauksella. Loppuraportti väestön asenteista Kuopion läänin kokeiluun talvikausina 1992-1994. TIEL 3200247
- 39/1994 Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköille. TIEL 3200248
- 40/1994 Liikenne ja taajamarakenne. TIEL 3200249
- 41/1994 Ympäristön ohjausjärjestelmien muutokset - tielaitoksen suunnittelu ja päätöksenteko. TIEL 3200250
- 42/1994 Nauhapystyöjitus. TIEL 3200251
- 43/1994 Leveäkaistainen moottoriliikennetie, vt 4 Asemakylä-Räinänperä. TIEL 3200252
- 44/1994 Ajatuksia liikenteen ja maankäytön suunnitteluun. TIEL 3200253
- 45/1994 Maan routimisen termomekaaninen malli ja sen laskelmat. TIEL 3200254
- 46/1994 Rajoitetun suolan käytön vaikutus asfalttibetonin kulumiseen. TIEL 3200255
- 47/1994 Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200256
- 48/1994 Tiensuunnitteltiedon ATK-arkistointisuositus. TIEL 3200257
- 49/1994 Tiesuolan käytön vähentämisen vaikutukset tienvarren mäntyyn (*Pinus sylvestris*): Neulasten suolapitoisuudet ja ulkoiset vauriot vuosina 1992-94. TIEL 3200258
- 50/1994 Panos-tuotosmallin käytön kehittäminen. TIEL 3200259
- 51/1994 Teiden talvisuolauksen vaikutus korroosiokustannuksiin. TIEL 3200260
- 52/1994 Ohituskäyttäytyminen leveäkaistaisella tiellä. TIEL 3200261
- 53/1004 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, loppuraportti. TIEL 3200262
- 54/1994 Liikkujan näkökulmaa korostava väyläympäristön suunnittelu. TIEL 3200263
- 55/1994 Liittymähakuisen maankäytön synnyttämä liikenne. TIEL 3200264
- 56/1994 Mielipide- ja asennetieto tiensuunnittelun laatujärjestelmässä; Tiedonhankintaopas tiensuunnittelijalle. TIEL 3200265