

## Asfalttipäällysteiden urautumisen mallintaminen

### ASTO-koeteiden tulosten 1990-1997 analysointi

1. kiviaineksen testituloksista (kuulamyllyarvo, pistekuormitusindeksi) määritetään EA 20 -massan SRK-arvo

2. SRK-arvo muunnetaan massatyypin mukaan  
(EA 20 = 1, AB 20 = 1,21)

3. SRK-arvo muunnetaan sideaineen mukaan  
(esim. PmB1:n vähennys 10 %)

4. SRK-arvo muunnetaan vuosittaiseksi pinta-alaksi  
liikennemäärän (ha), sääalueen ja nopeuden mukaan

Tielaitoksen selvityksiä  
13/1998

Timo Kurki

## **Asfalttipäällysteiden urautumisen mallintaminen**

**Asto-koeteiden tulosten 1990-1997 analysointi**

**Tielaitos**  
**TIEHALLINTO**  
Helsinki 1998

Tämä on 1999 otettu kopio julkaisusta

ISSN0788-3722  
ISBN951-726-500-X  
TIEL 3200555

Oy Edita Ab  
Helsinki 1998

Monistetta voi tilata:  
Tielaitos, tie- ja liikennetekniikka  
Telefax 0204 44 2395

**Tielaitos**  
TIEHALLINTO  
Tie- ja liikennetekniikka  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelinvaihte 0204 44 150

**Kurki, Timo: Asfalttipäällysteiden urautumisen mallintaminen. Asto-koeteiden tulosten 1990 - 1997 analysointi.** Tielaitos, Tiehallinto, Tie- ja liikennetekniikka. Helsinki 1998. Tielaitoksen selvityksiä 13/1998. 49 s + liitt. 1 s. ISBN 951-726-419-4. ISSN 0788-3722. TIEL 3200504.

**Aiheluokka** 33

**Asiasanat** arvonmuutosperusteet, asfalttipäällysteet, asfalttimassat, ASTO, asiantuntijajärjestelmät, kestoikä, koetiet, ominaisuudet, PMS, päällysteet, päällystemassat, urautuminen, vaurioituminen, vauriot, ylläpito

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää mallit, joilla voidaan ennustaa erilaisten päällysteiden urautumisnopeus. Tutkimuksessa on analysoitu 14 koetien urasyvyys -ja kulumispinta-alamittausten tulokset vuosilta 1990 - 1997.

Kuluminen on vuoteen 1997 mennessä pienentynyt 30 % vuosien 1991 - 1994 keskiarvosta. Sääalueilla on merkittävä ero kulumisen suhteen. Itä-Suomessa kuluminen on n. 30 % pienempää kuin Lounais-Suomen rannikolla.

SRK-arvo ei anna kaikilla kiviaineksilla tarkkaa arvoa kulumisesta. Kuulamylyarvo ja siihen liitettynä pistekuormitusindeksi kuvaavat hyvin kiviaineksen kulumiskestävyttä.

Tutkimuksessa kehitettiin massatyyppin kulumismalli, jonka selittäjät ovat kiviaineksen rakeisuuskäyrän 8 mm:n ja 16 mm:n läpäisyarvot.

SMA 16 massan deformaatio oli keskimäärin n. 30 % pienempi kuin AB 20-massalla.

Näyttää siltä, että sideaineen laadulla on merkitystä kulumiseen. Aineiston vähäisyys ja mittaustarkkuus ei anna mahdollisuutta selvittää, mikä sideaineen laatuominaisuus vaikuttaa kulumiseen.

Kumibitumi (PmB1) paransi kulumiskestävyttä n. 10 %. Jäykemmät sideaineet parantavat deformaatiokestävyyttä, kumibitumi (PmB1) n. 30% tavalliseen B-120 bitumiin verrattuna.

Täytejauheilla ei ole vaikutusta kulumiseen, jos massat ovat normaalisti suhteitettuja. Jos täytejauhetta muutetaan, massa pitää suhteittaa uudestaan ja tulos pitää tarkistaa deformaatiokokein.

Eräillä kiviaineksen ja sideaineen yhdistelmillä tartukkeen lisäys voi parantaa kulumiskestävyttä. Lisästarvetta voi tutkia halkaisuvetolujuuskokeella.

Toiminnallinen suhteitus varmistaa pisimmän kestoian käytettävissä olevilla materiaaleilla. Lisäksi vaihtoehtoisten päällysteratkaisujen valinta helpottuu, jos vanhasta päällysteestä ja uusista vaihtoehtoista on olemassa materiaalitiedot ja toiminnallisen suhteituksen tulokset.



## ABSTRACT

The aim of this study was to develop models for predicting rutting. The data consists of rut depth and wearing area measurements which were made on 14 roads between 1990 and 1997.

Wearing has decreased by 30 % on average for the years 1991 - 1994. Weather conditions have a great influence on wearing. In the eastern part of Finland wearing is 30 % less than in the South-west coast area.

The PWR value does not give an accurate value of wearing. The ball mill value and model with ball mill value and point load index have a close correlation with road wear. The Los Angeles value does not generally show a good correlation with road wear.

A model for predicting wear of different mass types was developed. The determining variables were the passing of 8 and 16 mm sieves.

The deformation of SMA 16 is 30 % smaller than that of AB 20.

It seems that the quality of binders affects wearing. The data was so small that there was no chance of finding suitable quality properties that correlate with wearing.

A polymer modified binder (PmB1) improves wearing properties by 10 % and deformation properties by 30 % compared to bitumen B-120. The harder the bitumen is, the smaller the deformation.

The fillers have no effect on wearing. If the filler is changed, the deformation properties must be examined.

With some combinations of aggregate and binder adding the adhesion agent can improve wearing properties.

The functional mix design assures the maximum life of materials available. It also makes easier to choose a suitable mixture from alternatives, if there is functional mix design data for new alternatives and the old surface.

## ALKUSANAT

Tielaitos on tilannut VTT:n Yhdyskuntatekniikalta tutkimuksen päällysteen urautumiseen vaikuttavista tekijöistä. Tutkimuksen aineisto koostui ASTO-koeteillä vuosina 1990 - 1997 tehdyistä kulumis- ja uramittauksista.

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää mallit, joilla voidaan ennustaa erilaisten päällysteiden urautumisnopeus. Tielaitos käyttää malleja päällystesuunnittelussa ja jatkossa urakoitsijoiden tarjoamien erilaisten päällysteratkaisujen vertailuun.

Tilaaajan yhdyshenkilöinä ovat toimineet dipl.ins. *Mats Reihe*, dipl. ins. *Vesa Hallasuo* ja dipl.ins. *Kari Lehtonen*. Tutkimusraportin on kirjoittanut tutkija *Timo Kurki* VTT:n Yhdyskuntatekniikasta.

Helsingissä huhtikuussa 1998

*Tielaitos*  
*tiehallinto, tie- ja liikennetekniikka*

---

## SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	9
2 AINEISTO	10
2.1 Yleistä	10
3 TULOSTEN KÄSITTELY	13
3.1 Yleistä	13
3.1.1 Kuluminen	13
3.1.2 Deformaatio	20
3.2 Kiviaines	23
3.3 Massatyypit	28
3.3.1 Massatyyppin kuluminen	28
3.3.2 Massatyyppin deformaatio	30
3.4 Sideaineet	31
3.4.1 Sideaineiden vaikutus kulumiseen	31
3.4.2 Sideaineiden vaikutus deformaatioon	34
3.5 Lisäaineet	36
3.5.1 Täytejauheet	36
3.5.2 Tartuke	37
3.6 Urasyvyys	40
3.7 Liikennemäärän vaikutus vasemman kaistan liikenteeseen	41
4 URAUTUMISEN LASKEMINEN	42
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	47
6 LÄHDELUETTELO	48

## 1 JOHDANTO

ASTO-projektin (1987-1993) yhteydessä toteutettiin laaja koetieohjelma. Tässä raportissa on käsitelty vuosina 1989 ja 1990 rakennettujen ASTO-kestopäällystekoeiteiden sekä v. 1993 rakennetun maksimiraekokokoetien urautumistulokset.

Jokaiselle kesän 1990 kestopäällystekoeitielle rakennettiin kaksi referenssi-osuutta kaistalle, yleensä koetien alkuun ja loppuun. Massatyyppi oli AB 20/IV, kiviaines Teiskon granodioriitti (Asto 8) ja sideaine B-120 AH. Referenssi-osuuksien avulla voidaan vertailla eri teiden massojen tuloksia toisiinsa ja samalla saadaan tietoa massan valmistuksen tasalaatuisuudesta.

Mittaukset tehtiin paksuusprofilometrillä. Laitteella saadaan tulostettua paperille tien profiili, josta voidaan määrittää urasyvyys. Asettamalla syksyn ja seuraavan kevään mittaustulokset päällekkäin saadaan kulumispinta-ala. Jokaiselta osuudelta mitattiin 7 poikkileikkausta.

Kuluminen esitetään neliösenteinä (pinta-ala laskettu poikkiprofiileista) tai suhdelukuna (*liite 1*). Suhdeluku = koeosuuden kuluminen jaettuna samalla kaistalla olevien referenssi-osuuksien keskiarvolla. Kuluminen voidaan esittää myös mm:nä, joka on urasyvyyden kasvu talvella (kevät- ja syksymittausten erotus), mutta sen tarkkuus ja vertailtavuus ei ole samaa luokkaa kuin pinta-alana esitettynä.

Deformaatio on kesän aikana tapahtunut urasyvyyden kasvu (mm, syksy- ja kevätmittausten erotus).

ASTO-projektin aikana sideaineiden nimissä ilmeni bitumin tunkeuman lisäksi raaka-aineen alkuperä, kuten AH (Arabian Heavy), Lag (Venezuela), ECO (tai A-bitumi, Venäjä). Nykyään bitumin alkuperä ei ilmene tuotenimisessä.



## 2 AINEISTO

### 2.1 Yleistä

Aineisto käsittää 14 koetietä, joista 12:lla on referenssipäällyste. Taulukossa 1 ja 2 on esitetty koeteiden yleistiedot. Mittaustulokset on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 1. Koeteiden yleistiedot.

Tien lyhenne	ajon/vrk (1997)	ha-%	rask. ajon.%	ajoradan lev. (m)	pääll. lev. (m)	talvi-nop. raj. (km/h)
ASTO 1	18095	87	8	7,5	12,0	100
ASTO 2	18095	87	8	7,5	12,0	100
ASTO 3	10187	79	13	7,0	11,0	100
ASTO 4	4526	78	13	7,0	8,5	80
ASTO 5	7710	83	11	7,5	10,0	80
ASTO 6	5704	80	14	7,2	8,2	80
ASTO 7	6638	78	15	7,5	13,0	100
ASTO 8	5410	82	12	7,5	12,0	100
ASTO 9	10898	83	10	7,5 (10,8*)	12,5	100
ASTO 10	7590	82	10	7,0	9,0	80
ASTO 11	5133	83	11	7,0	8,0	80
ASTO 12	4402	82	13	7,0	8,5	100
Kivi -89	23293	87	6	7,5	10,0	100
Maks. rae-93	23293	87	6	7,5	10,0	100

\* nykyään kolmikaistatie

Taulukko 2. Koeteiden osoitetiedot.

Tien lyhenne	tie	aosa	aet	losa	let	suunta
ASTO 1	7	02	4560	03	4239	1
ASTO 2	7	03	3641	3	0	2
ASTO 3	9	104	2576	103	2438	2
ASTO 4	8	121	3102	121	6869	1 ja 2
ASTO 5	9	208	6614	209	3620	1
ASTO 6	2	24	2511	24	7548	1 ja 2
ASTO 7	12	31	4830	31	1918	2
ASTO 8	6	206	5745	206	242	2
ASTO 9	5	106	1388	106	4145	1 ja 2
ASTO 10	5	206	2323	206	4413	1 ja 2
ASTO 11	5	149	1900	149	3895	1 ja 2
ASTO 12	4	220	2119	221	7844	1 ja 2
Kivi -89	4	107	500	107	5000	1
Maks. rae-93	4	107	3500	107	500	2

### ASTO 1. KUITUKOETIE

Kuitukoetiellä kokeiltiin kolmea kuitua, jotka laboratoriotutkimuksissa osoittautuivat käyttökelpoisimmiksi. Ne olivat kauppanimikkeiltään Arbocel, Dacron ja Wolmix. Kuituja kokeiltiin kahdessa massatyypissä (EA 20 ja SMA 16). Lisäksi tiellä kokeiltiin runsaasti karkeaa kiviainesta sisältävää päällystettä EA 20 (karkeaa kiviainesta 75%). Tämä osuus jouduttiin tekemään uudestaan sateen takia. Varsinaisilla osuuksilla kiviaineksena käytettiin Koskenkylän vulkaniittia (Asto 6) ja sideaineena oli B-80 AH.

### ASTO 2. ERIKOISPÄÄLLYSTEKOETIE

Tälle koetielle valittiin ASTO-projektista siihen saakka tulleen tietouden avulla mahdollisimman kestäviä ja siten edullisia massoja. Kiviaineksena varsinaisilla koeosuuksilla oli Koskenkylän vulkaniitti (Asto 6). Sideaineina käytettiin B-80 AH, B-120 Laguna ja kumibitumia (PmB1). Lisäaineena käytetty gilsoniitti on luonnon asfalttia.

### ASTO 3 ja ASTO 5. SIDEAINEKOETIET

Sideainekoetiellä testattiin useimmat ASTO-projektissa käytetyt sideaineet, mm. suurin osa ASTO-projektia varten valmistetuista kumibitumeista. ASTO 3:n kiviaines oli Koski TL:n vulkaniitti (Asto 24) j ASTO 5:lla käytettiin Teiskon granodioriittia (Asto 8).

ASTO 5:n osuudella 13 sideaineena oli B-65 AH:n ja mäntyöljypien (MÖP) sekoitus.

### ASTO 4 ja ASTO 6. YHDISTELMÄKOETIET

Yhdistelmäkoetiellä verrattiin kolmea massatyyppiä (AB 20, EA 20 ja SMA 16) kiviaineksen ja sideaineen vaihdellessa. Jokaista massatyyppiä kokeiltiin neljällä yhdistelmällä: 1 "hyvä" sideaine ja "hyvä" kiviaines, 2 "hyvä" sideaine ja "huono" kiviaines jne 3 ja 4. Sideaineina ovat B-120 ECO (taloudellinen) ja kumibitumi1 (PmB1, kallis ja kestävä). Kiviaineksina käytettiin Koski TL:n vulkaniittia (Asto 24, kestävä) ja Taivassalon graniittia (Asto 27, ennakkomäärittysten mukaan heikommin kulutusta kestävä kivi).

### ASTO 7 ja ASTO 11. TÄYTEJAUHEKOETIET

Tutkittavat täytejauheet olivat kalkkifilleri (KF) ja suodatinpöly (SP), magneesiitti, maatalouskalkki, sammutettu kalkki ja Carbon Black (nokijauhe). Varsinaisilla koeosuuksilla ASTO 7:lla kiviaineksena käytettiin paikallista kiveä ja ASTO 11:lla kiviaines oli Varpaisjärven diabaasi (Asto 15).

### ASTO 8. KIVIAINESKOETIE

Koetiehanke lähti liikkeelle Kaakkois-Suomen piirin omasta paikallisten kiviainesten kokeilusta. Tielle lisättiin kolme Asto-kiveä, Teiskon granodioriitti (Asto 8), koskenkylän vulkaniitti (Asto 6) ja Lemin diabaasi (Asto 17), jotta tie voitaisiin liittää ASTO-kokeiluihin. Sideaineena käytettiin B-80 AH:ta kaikilla osuuksilla, myös referenssiosuuksilla.



#### ASTO 9. SIDEAINEPITOISUUSKOETIE

Tällä koetiellä vaihdeltiin sideaineprosenttia, jotta saataisiin selville sideainepitoisuuden vaikutus kulumiseen ja deformaatioon. Tutkimuksessa käytettiin kahta massatyyppiä, tavallista jatkuvakäyräistä AB 20 IV ja epäjatkuva EA 20. Kiviaines oli Teiskon granodioriitti (Asto 8) ja sideaine B-120 AH. Lisäksi kokeiltiin yhdellä osuudella tartuketta (Raisamin 200, polyamiini).

#### ASTO 10. TARTUNTAKOETIE

Tällä koetiellä pyrittiin selvittämään tartunnan ja tartukkeen merkitys kuuma-päällysteessä. Kokeessa käytettiin kahta erilaisen tartunnan omaavaa sideainetta (B-120 Laguna ja B-120 ECO) ja kahta erilaisen tartunnan omaavaa kiveä (Varpaisjärven diabaasi, Asto 15 ja Pyhäjärven vulkaniitti, Asto 35). Kivet valittiin silloisen tietämyksen perusteella lujuusominaisuuksiltaan samanlaisiksi. Massat tehtiin tartukkeella (Raisamin 200, polyamiini) ja ilman tartuketta. Massatyyppi oli AB 20/IV.

#### ASTO 12. VÄLI- JA ALALAJITEKOETIE

Tällä tiellä tutkittiin erilaisia lujuusominaisuuksia omaavien väli- ja alalajitteen kiviaineksien vaikutusta päällysteeseen. Lajite 8-20 mm pysyi samana (Teiskon granodioriitti, Asto 8). Muissa lajiteissa käytettiin hiekkaa, kalliomursketta Teiskon granodioriittia, Siilinjärven vulkaniittia (Asto 25), Saarijärven vulkaniittia (Asto 3) sekä paikallista soramursketta (Pökkölepo). Massatyyppi oli AB 20/IV. Sideaine oli B-120 AH. Osuudet 11 ja 12 olivat paikallista normaaliurakan massaa, jonka kulumisen mitattiin kaistojen kulumiseron tutkimiseksi.

#### KERAVAN KIVIAINESKOETIE

Kiviainekoetiellä kokeiltiin 15 eri puolilta Suomea tuotua kiviainesta. Sideaineena käytettiin B-80 AH:ta ja massatyyppi oli EA 20. Tie rakennettiin v. 1989.

#### MAKSIMIRAEKOKOKOETIE

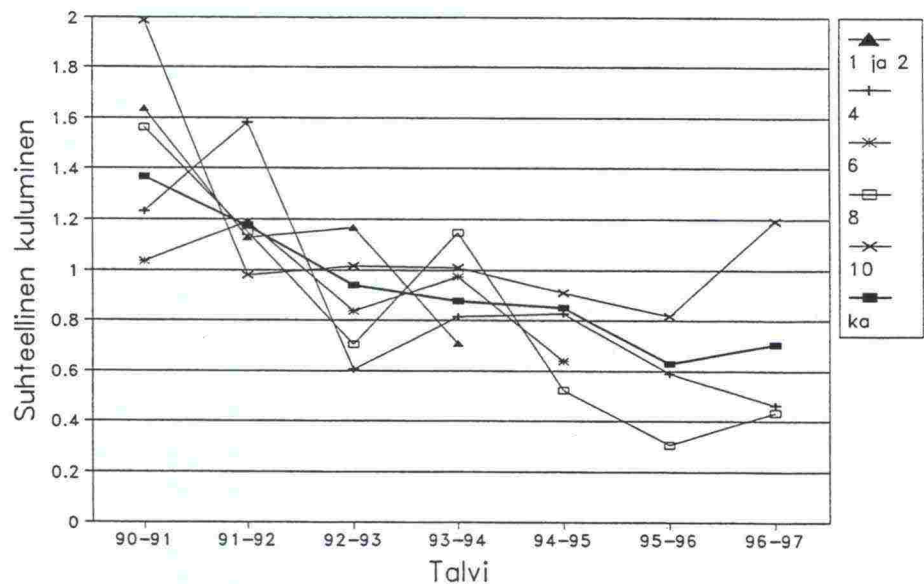
Maksimiraekokokoetiellä kokeiltiin 5 erilaista SMA-tyyppistä massaa, joiden maksimiraekoot olivat 8, 12, 16, 20 ja 25 mm. Tie rakennettiin v. 1993.

### 3 TULOSTEN KÄSITTELY

#### 3.1 Yleistä

##### 3.1.1 Kuluminen

Kuvissa 1 ja 2 on esitetty suhteellinen kuluminen eri vuosina. Tuloksia on verrattu kolmen talven (91-92, 92-93, 93-94) keskiarvoon, jolle annettiin suhteellinen arvo 1. Kuluminen on pienentynyt siten, että viimeisenä mitaustalvena 96-97 kuluminen on pienentynyt vertailuvuosista n. 30 % ilmeisesti nastojen kevenemisen seurauksena.

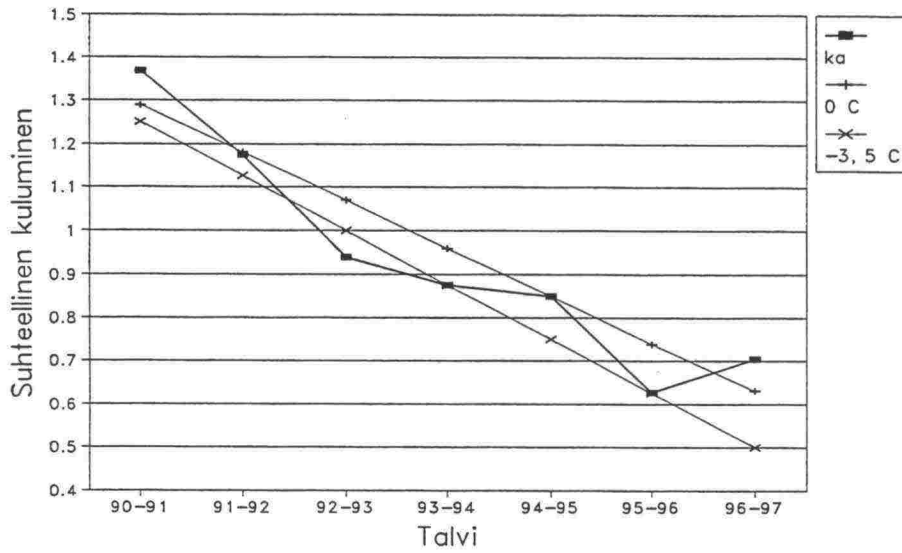


Kuva 1. Suhteellinen kuluminen (cm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>) eri talvina.

Taulukossa 3 on esitetty erityyppisten nastojen osuus autoissa eri vuosina. Kevytnastan tietä kuluttava vaikutus on arviolta 50 - 60 % teräsnastan vaikutuksesta /12/. Jos ajosuoritteesta 70 % on kevytnastoja, on kuluminen pudonnut 30 % vuoden 1990 tasosta.

Taulukko 3. Nastatyyppien osuudet ja kulutusvaikutus.

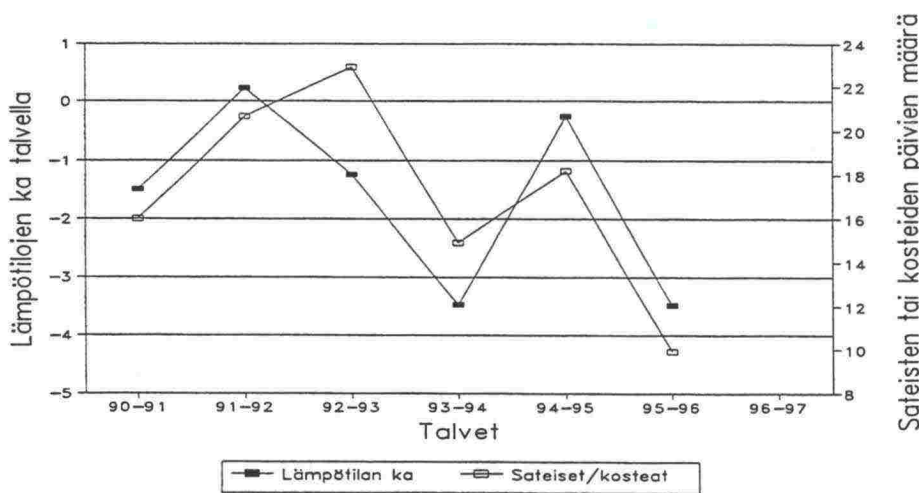
Vuosi	teräsnastojen osuus (%)	kevytnastojen osuus (%)	suhteellinen kuluminen
1990	100	0	1
1997	57	43	0,80
x	30	70	0,70
x	0	100	0,50-0,60



Kuva 2. Suhteellinen kuluminen (cm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>) eri talvina.

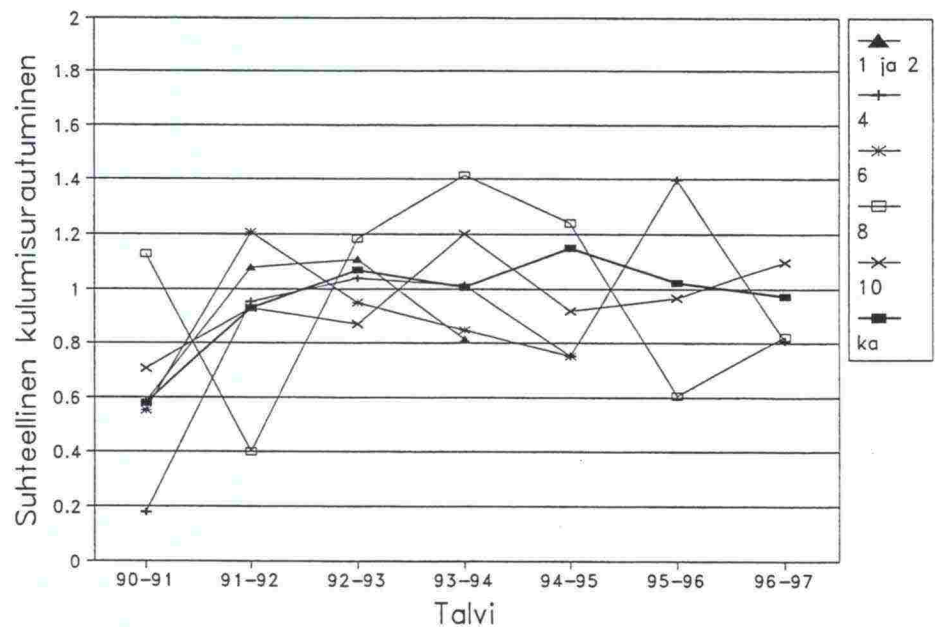
Kuvassa 3 on esitetty sään vaihtelu eri talvina. Sitä kuvaa talvikuukausien (loka-huhtikuu) keskimääräiset lämpötilat ja kosteiden päivien (sade, tiuku) lukumäärä. Talven 1996-97 tiedot puuttuvat. Talvet 91-92 ja 94-95 olivat lämpimiä ja kosteita. Talvet 93-94 ja 95-96 olivat kylmiä ja kuivia.

Yhdistämällä kuvassa 2 lämpimien talvien havainnot ja kylmien talvien havainnot janoilla, saadaan näkyviin suhteellinen ero. Kylminä talvina kuluminen näyttää olevan n. 10 % pienempää lämpimin talviin verrattuna.



Kuva 3. Talvikuukausien keskilämpötilat ja kosteiden päivien lukumäärä.

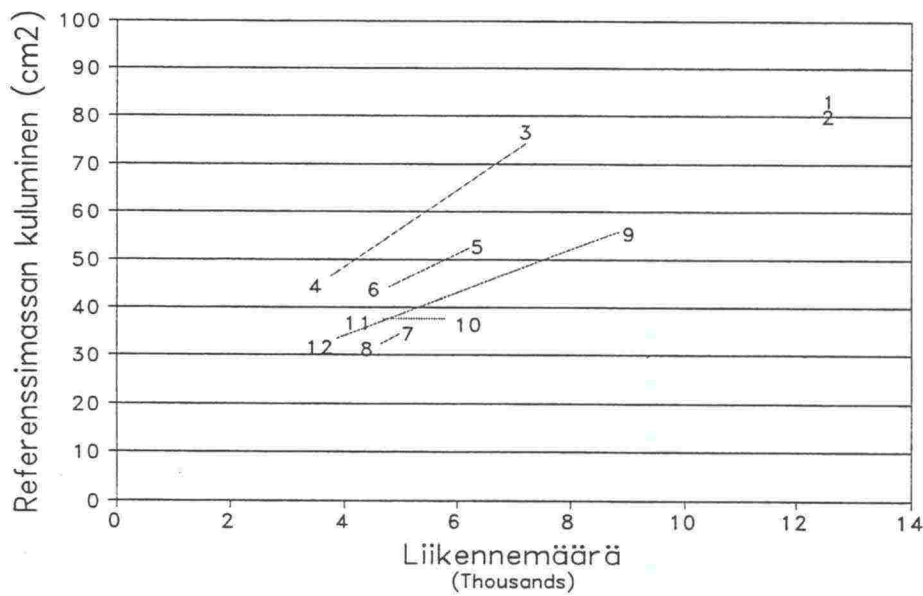
Kuvassa 4 on esitetty kulumisen talvikautena tapahtuneena urasyvyyden kasvuna (kulumisura). Siinä havaitaan, että urautumisnopeus pysyi ensimmäisen talven jälkeen suunnilleen vakiona, vaikka kulumisen vähenee pinta-alalla mitattuna. Ilmeisesti urien synnyttyä niissä ajetaan tai niihin ajaudutaan helposti. Muutamilla teillä myöhempien vuosien urasyvyydessä on myös deformaatio mukana, koska kustannusten pienentämiseksi siirryttiin mittaamaan vain kevään tuloksia ja syksyn mittauksista luovuttiin.



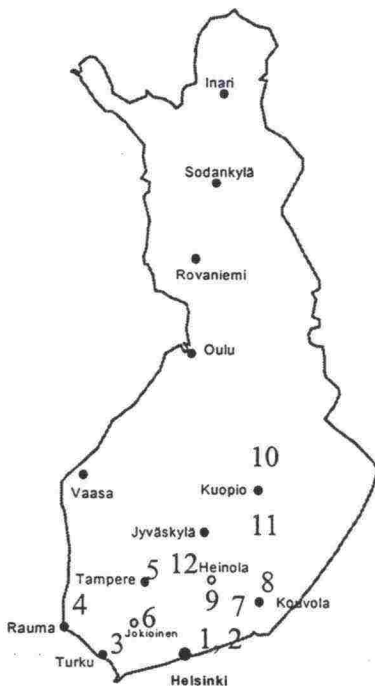
Kuva 4. Suhteellinen kulumisurautuminen (mm/mm) eri talvina.



Kuvassa 5 on esitetty referenssimassan keskimääräinen kuluminen (talvet 91 - 92, 92 - 93 ja 93 - 94) suhteessa liikennemäärään (moottoritien oikea kaista, henkilöautot). Samassa piirissä tai samanlaisella sääalueella olevat tiet on yhdistetty viivalla. Lounais-Suomen rannikolla kuluminen on huomattavasti suurempaa kuin Keski- ja Itä-Suomessa. Liikennemäärän ja sääalueen lisäksi kulumiseen vaikuttaa mm. liikenteen nopeus ja kunnossapito (suolaus). Kuvassa 6 on esitetty koeteiden sijainti kartalla.

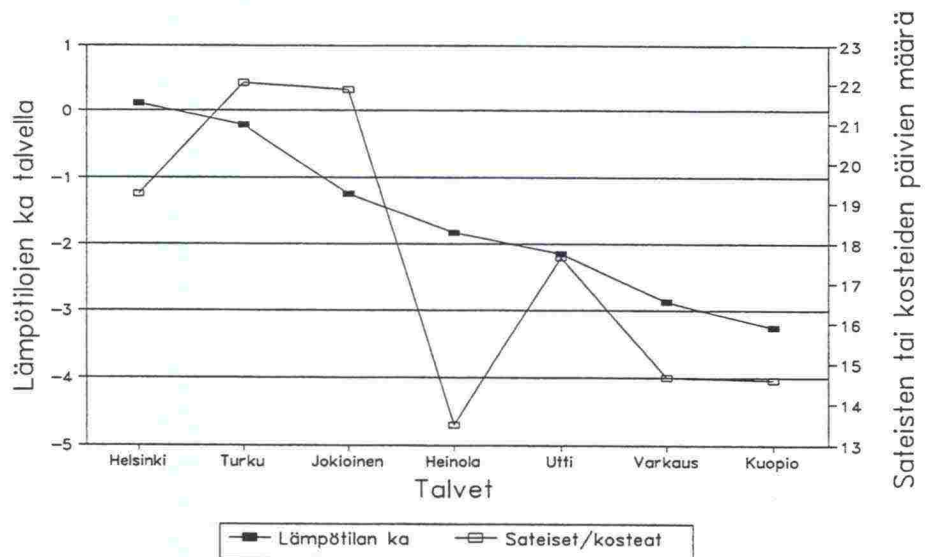


Kuva 5. Liikennemäärän vaikutus referenssimassan kulumiseen koeteillä.



Kuva 6. Koeteiden sijainti.

Kuvassa 7 on esitetty talvien 90-96 keskimääräiset lämpötilat ja kosteitten (vesi-, räntä-, ja tihkusade) säähavaintopäivien lukumäärät eri säähavainto- asemilla. Turun korkea lämpötila ja suuri kosteusaika selittävät piirin koeteiden (3 ja 4) suurta kulumaa. Jokioisissa, Hämeen piirissä (koetiet 5 ja 6) lämpötila on Turkuja hieman alempi ja kuluminen hitaampaa. Kylmimmissä kohteissa kuluminen on pienintä (Kuopio = ASTO 10, Varkaus = ASTO 11 ja Utti = ASTO 7 ja 8).

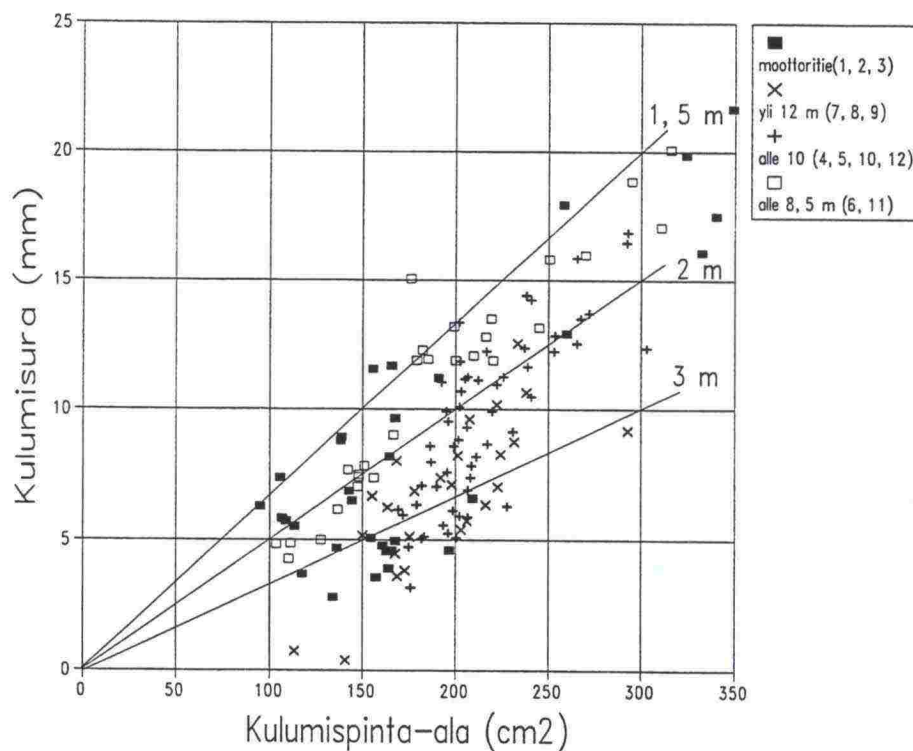


Kuva 7. Säähavaintoasemien keskimääräiset talvien lämpötilat ja kosteiden sääilmiöpäivien lukumäärä.



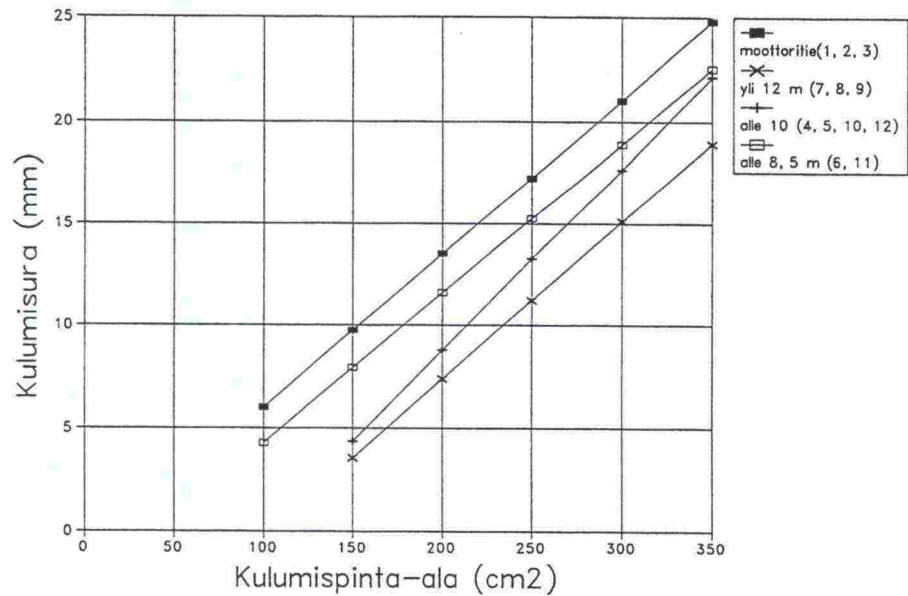
Kulumispinta-alan ja kulumisuran suhde (uran suhteellinen leveys) riippuu ensisijaisesti tien päällysteen leveydestä. Kapealla tiellä urat keskittyvät kaapele alalle ja synnyttävät syvemmät urat kuin leveällä tiellä. Moottoriteillä ura keskittyy erittäin paljon, jopa kapeammalle kuin alle 8,5 m leveillä teillä (kuva 8).

Tutkimusaineistosta puuttuivat erilaisen ajoradan (päällysteen reunaviivojen väli) leveyden omaavat tiet, joten sen vaikutusta ei pystytä arvioimaan.



Kuva 8. Kulumispinta-alan ja kulumisuran suhde.

Kuvassa 9 ja taulukossa 4 on esitetty arviot kulumispinta-alan ja kulumisuran suhteesta. Arviota vaikeuttaa leveiden teiden vielä alhaiset urasyvydet. Kokonaisurasyvyys on niillä vielä alle 14 mm.



Kuva 9. Kulumispinta-alan ja kulumisuran suhde.

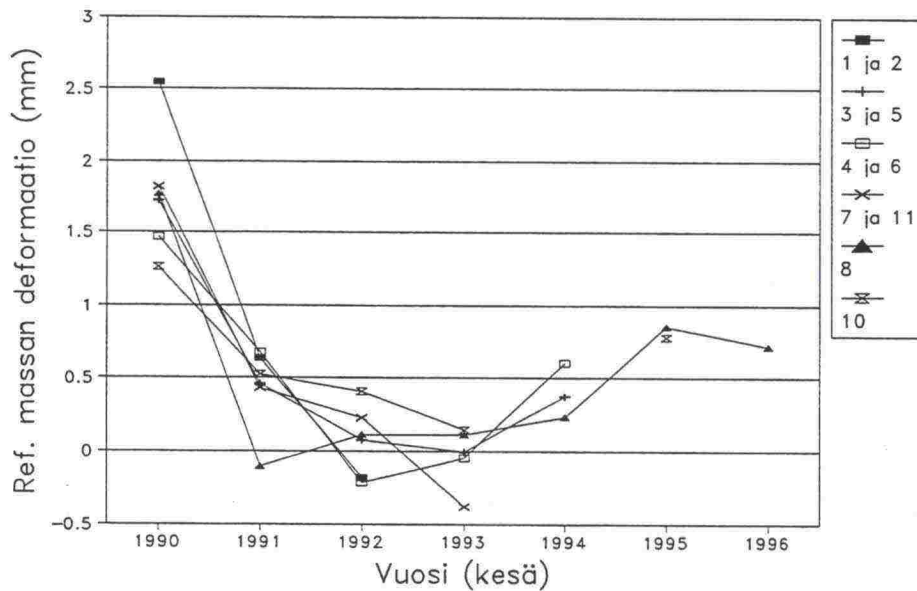
Taulukko 4. Kulumisuran suhde kulumispinta-alaan.

Tien leveys (tyyppi)	kaava	kaava nro
< 8,5 m	$kulumisura = 0,071 \times PA - 3$	1
8,5 m - 10 m	$kulumisura = 0,089 \times PA - 9$	2
> 12 m	$kulumisura = 0,077 \times PA - 8$	3
moottoritie (oikea kaista)	$kulumisura = 0,075 \times PA - 1,5$	4

PA = kulumispinta-ala (cm<sup>2</sup>)

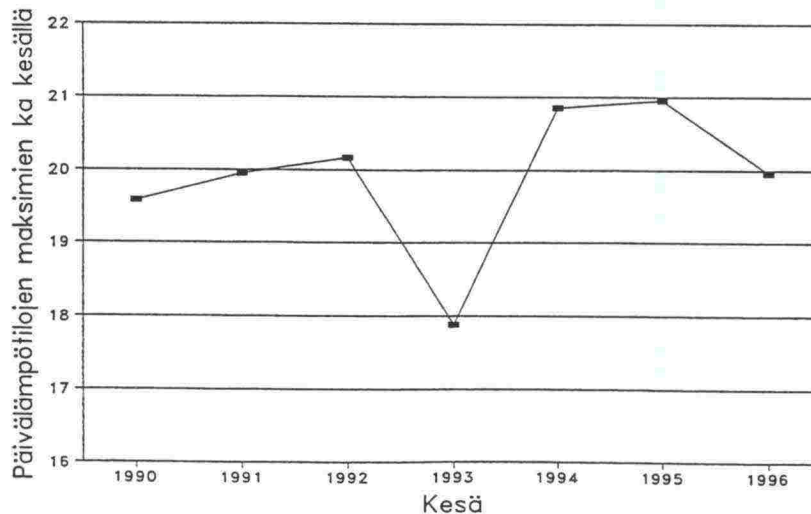
### 3.1.2 Deformaatio

Kuvassa 10 on esitetty referenssimassojen deformaatio eri kesinä. Suurin osa deformaatiosta tapahtuu ensimmäisenä kesänä (alku-ura + deformaatio). Useina kesinä deformaatio on vain alle 0,5 mm, joka on mittaustarkkuuden rajoissa. Tämä vaikeuttaa erojen havaitsemista erilaisten päällystevaihtoehtojen välillä.



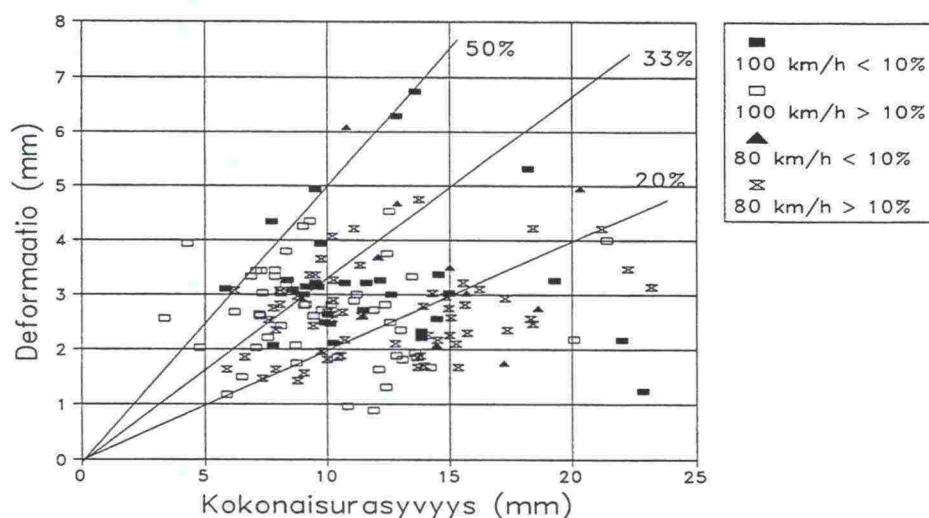
Kuva 10. Referenssimassan deformaatio eri vuosina eri teillä.

Kuvassa 11 on esitetty kesäkuukausien (kesä - elo) keskimääräiset päivien maksimilämpötilat eri vuosina. Kesä 1993 oli huomattavasti viileämpi kuin muut kesät ja sen jälkeen kesät 1994 ja 1995 olivat keskimääräistä lämpimämpiä, joka näkyy myös deformaatiosta.



Kuva 11. Kesäkuukausien päivittäisten maksimilämpötilojen keskiarvot.

Kuvassa 12 on esitetty deformaatiouran osuus kokonaisurasta siihen saakka, kunnes syysmittauksista luovuttiin. Kuvassa on eroteltu talvinopeusrajoitukset ja raskaan liikenteen suhteellinen osuus. Kuvassa on apuviivoina osuudet kokonaisurasyvyydestä (20%, 33 % ja 50%). Nopeus tai raskaan liikenteen osuus ei tässä aineistossa selitä deformaation osuutta.



Kuva 12. Kokonaisdeformaatio (alku-ura + deformaatio) suhteessa kokonaisuraan eri nopeuksilla ja raskaan liikenteen osuuksilla.

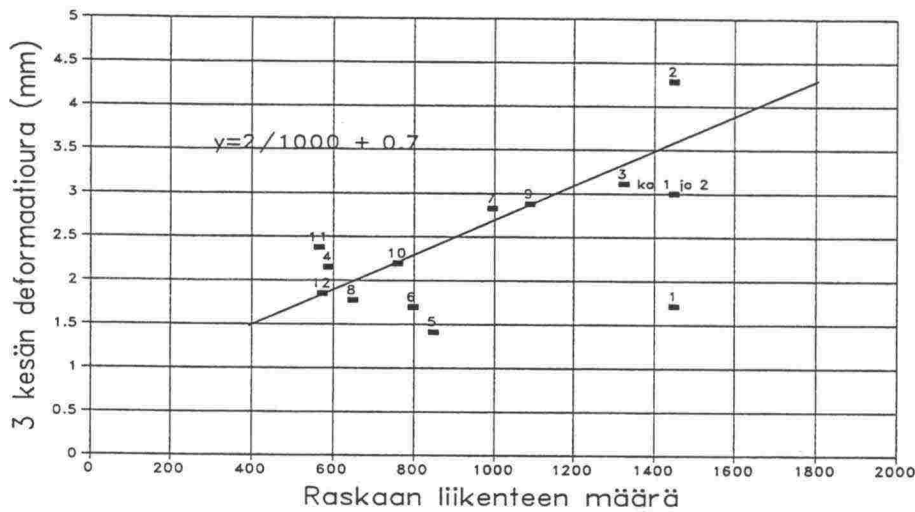
Koska mitattavat urasyvyydet (ja erot) ovat pieniä ja urasyvyyden mittauksessakin on epätarkkuutta, on deformaatiotulosten tarkkuus huonompi kuin pinta-alana mitattavan kulumistulosten.

Kuvassa 13 on esitetty referenssimassan deformaatio kolmen ensimmäisen kesän aikana (1990-1992) suhteessa raskaan liikenteen määrään (kaava 5). Sen jälkeen vuosittainen deformaatio on arviolta neljännes kolmen ensimmäisen vuoden yhteenlasketuista deformaatiosta.

$$\text{Kolmen ensimmäisen kesän deformaatio} = 0,002 \times \text{kvl raskas} + 0,7 \quad (5)$$

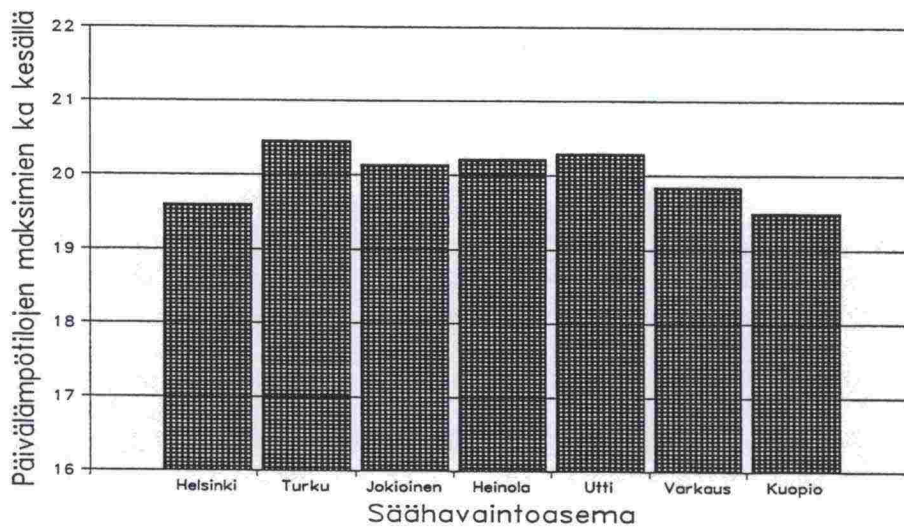
Raskaiden ajoneuvojen määrän lisäksi deformaatioon vaikuttaa ajoneuvojen paino, joka voi olla hyvin erilainen samallakin tiellä eri ajosuuntiin. Esimerkiksi sellutehtaan suuntaan puutavararekkojen paino on moninkertainen päinvastaiseen suuntaan verrattuna. ASTO-koeteillä suuntien erilaisuus näkyy Porvoon moottoritillä. Idästä Helsinkiin päin (ASTO 2) deformaatio on paljon suurempi kuin Helsingistä itään (ASTO 1).





Kuva 13. Referenssimassojen deformaatio kolmen ensimmäisen kesän (1990 - 1992) aikana.

Kuvassa 14 on esitetty keskimääräiset päivän maksimilämpötilat kesien 1990 - 1996 aikana eri säähavaintoasemilla. Lämpötilaerot eri sääasemien välillä ovat pienet (yhden asteen sisällä). Helsingin lämpötilat ovat mitattu Kaisaniemestä.



Kuva 14. Kesän keskimääräiset päivittäiset maksimilämpötilat eri säähavaintoasemilla.

### 3.2 Kiviaines

Tulosten käsittelyssä on yhdistelty kahden kiviainekoetien tulokset (Kerava 1989 ja Kouvola 1990). Kuluminen on saatettu samalle tasolle kolmen yhteisen kiviaineksen avulla (Asto-numerot 6, 8 ja 17). Molemmissa koeteissä massa oli EA 20 sideaineena B-80.

Ensimmäiseksi tutkittiin koetiekuluman ja SRK:n välinen korrelaatio (kuva 15). Tämän jälkeen koetiekuluma muunnettiin vastaamaan SRK-arvoa (EA 20 massalla, B-80-bitumi), jota selitetään kuulamylyarvolla (raaka-ainetesti), pistekuormitusindeksillä, hioutuvuusarvolla ja Los Angeles-luvulla (kaavat 6 - 9 ja kuvat 16 - 19). Lisäksi tehtiin kahden muuttujan mallit: pistekuormitusindeksi ja kuulamyly ja pistekuormitusindeksi ja hioutuvuusarvo (kaavat 10 - 11 ja kuvat 20 - 21). Los Angeles-luku ei kuvaa kiviaineksen kulumiskestävyyttä tarpeeksi hyvin, joten sen yhteydelle tiekulumaan ei esitetä kaavaa.

Kuvissa on esitetty kiven Asto-numero. Numero + T-kirjain ja o-merkki (paikallinen kiviaines) tarkoittavat sitä, että kivi on Kouvolan koetiellä.

Kaavat:

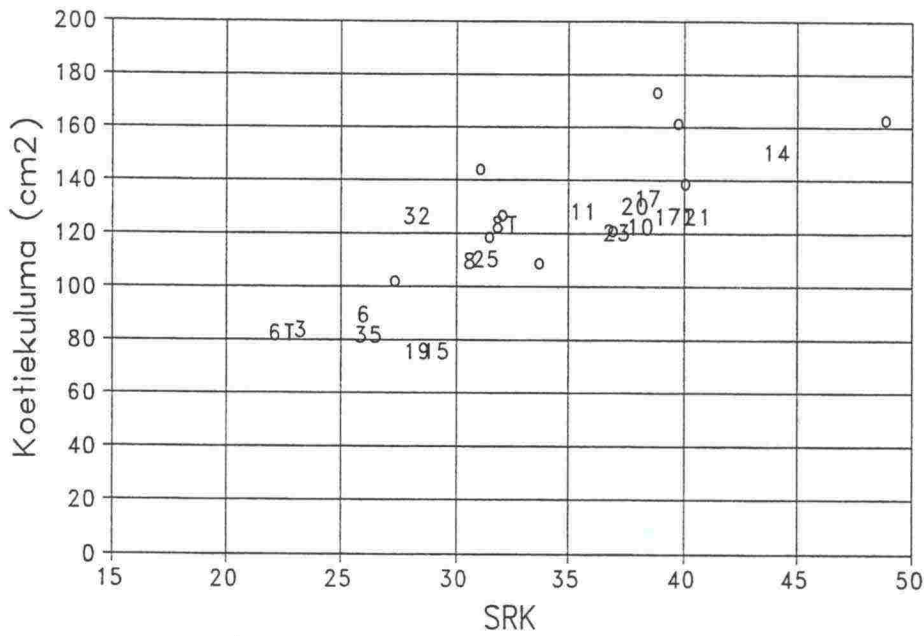
		R	
Koetiekuluma	= 3,31 x SRK + 8,14	0,80	(6)
Koetiekuluma SRK:na	= 1,68 x KM + 13,39	0,91	(7)
Koetiekuluma SRK:na	= - 3,03 x PKI + 65,74	0,86	(8)
Koetiekuluma SRK:na	= 15,34 x Hiout. + 4,14	0,76	(9)
Koetiekuluma	Los Angeles-luku	0,60	
Koetiekuluma SRK:na	= 1,15 x KM - 1,25 x PKI + 33,01	0,94	(10)
Koetiekuluma SRK:na	= 6,11 x Hiout. - 2,28 x PKI + 45,95	0,89	(11)

Lyhenteet:

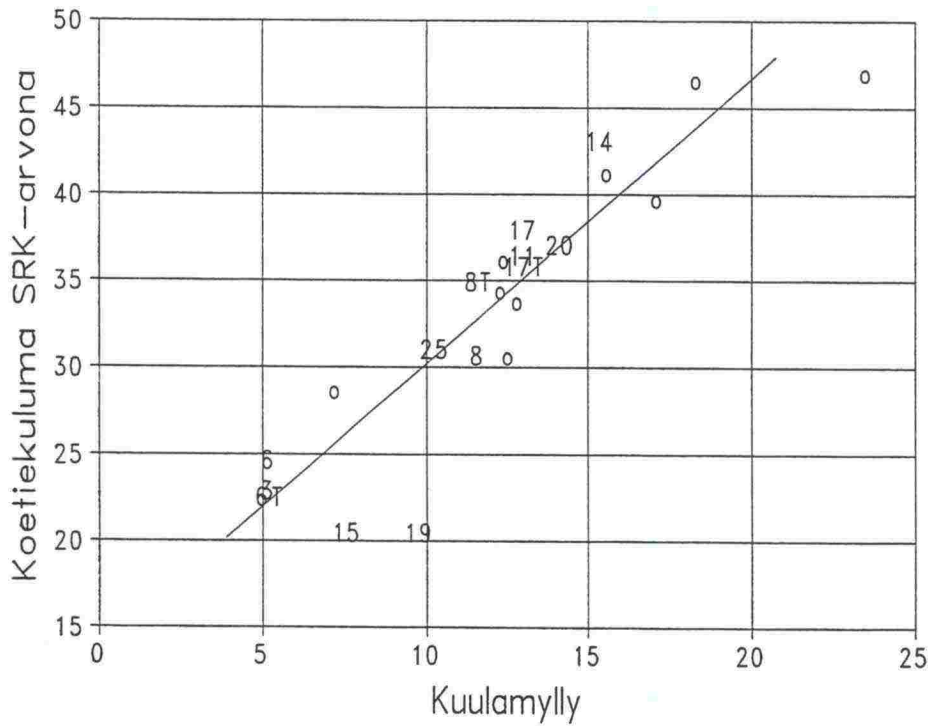
SRK	= SRK-laitteen kulumistulos
KM	= kuulamylyarvo
PKI	= pistekuormitusindeksi
Hiout.	= hioutuvuusarvo (VTT:n laite)

Tulosten luotettavuutta heikentävät seuraavat asiat: testimenetelmät eivät olleet 90-luvun alussa aivan samoja kuin mitä ne ovat nyt. Esim. pistekuormitusindeksilaitteen kärjet ovat muuttuneet (tulokset on muunnettu vastaamaan nykyistä koetta). Osasta kiviaineksista puuttuu kuulamylyarvot. Keravan koetietä pystyttiin seuraamaan vain kaksi vuotta, koska moottoritiellä huonoimmat kiviainekset kuluivat nopeasti. Kouvolassa ajolinjat jakaantuivat laajalle alueelle, jolloin mittaustarkkuus heikentyi. Lisäksi jokaista kiviainesta ei suhteitettu erikseen, joten esim. muotoarvon erilaisuus saattaa vaikuttaa urautumiseen.

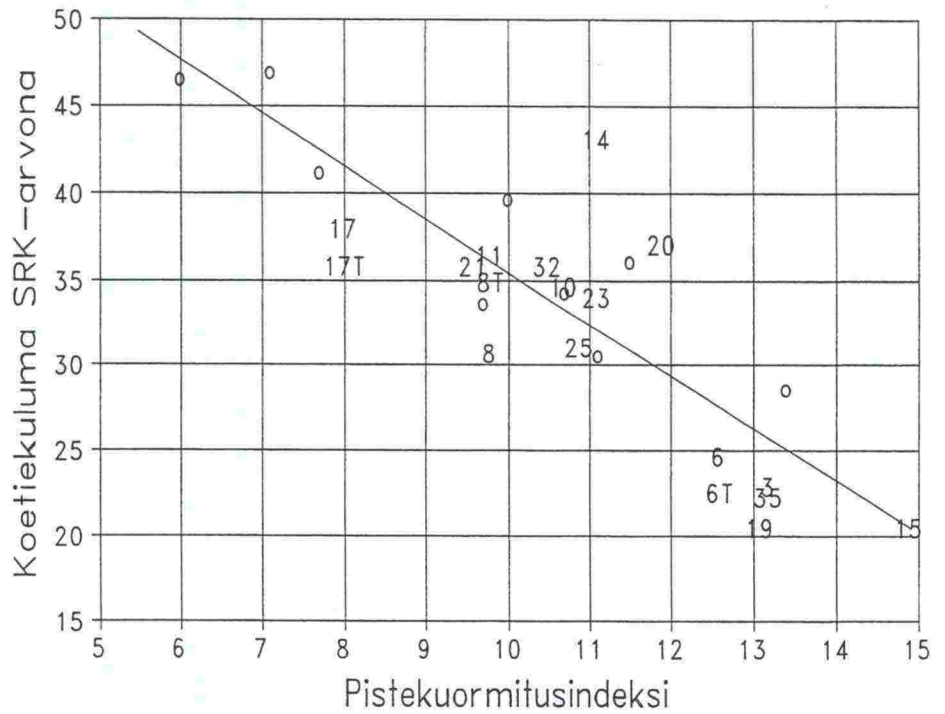




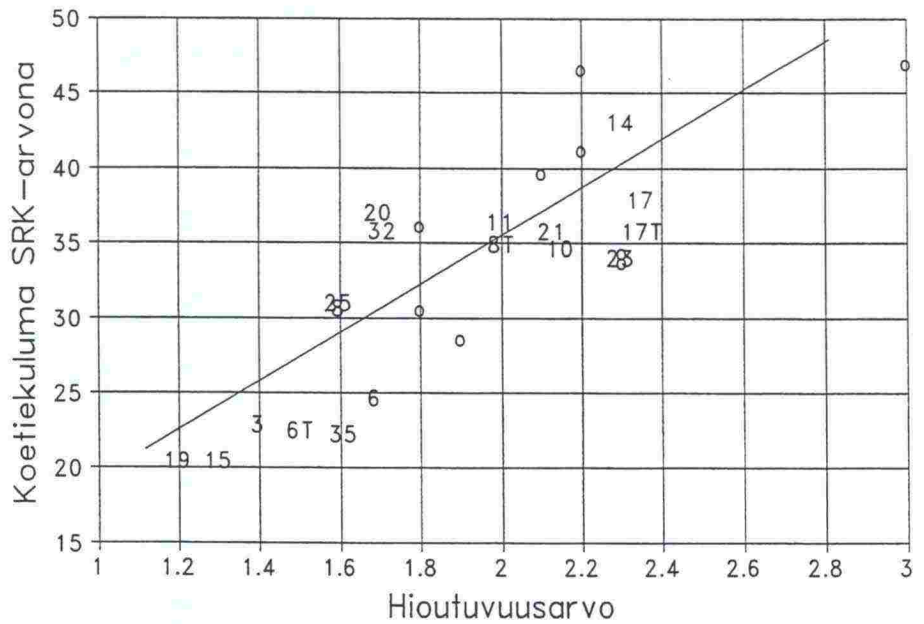
Kuva 15. SRK-arvon yhteys koetiekulumaan. Numero + T ja o (paikallinen kiviaines) tarkoittaa Kouvolan koetien kiviainesta.



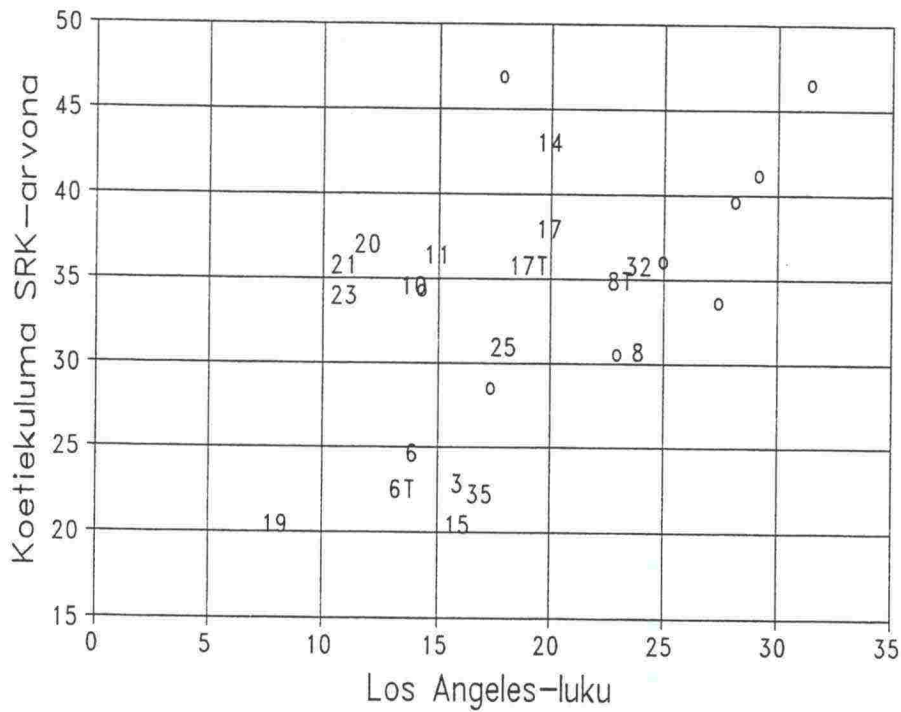
Kuva 16. Kuulamylykokeen (raaka-ainetestin) yhteys koetiekulumaan SRK-arvona. Numero + T ja o (paikallinen kiviaines) tarkoittaa Kouvolan koetien kiviainesta.



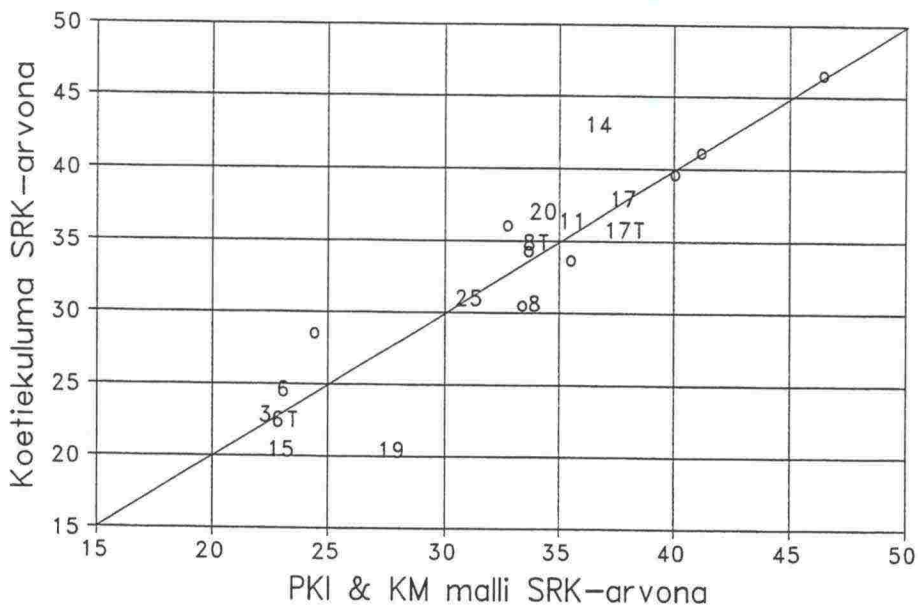
Kuva 17. Pistekuormitusindeksin yhteys koetiekulumaan SRK- arvona. Numero + T ja o (paikallinen kiviaines) tarkoittaa Kouvolan koetien kiviainesta.



Kuva 18. Hioutuvuusarvo yhteys koetiekulumaan SRK- arvona. Numero + T ja o (paikallinen kiviaines) tarkoittaa Kouvolan koetien kiviainesta.

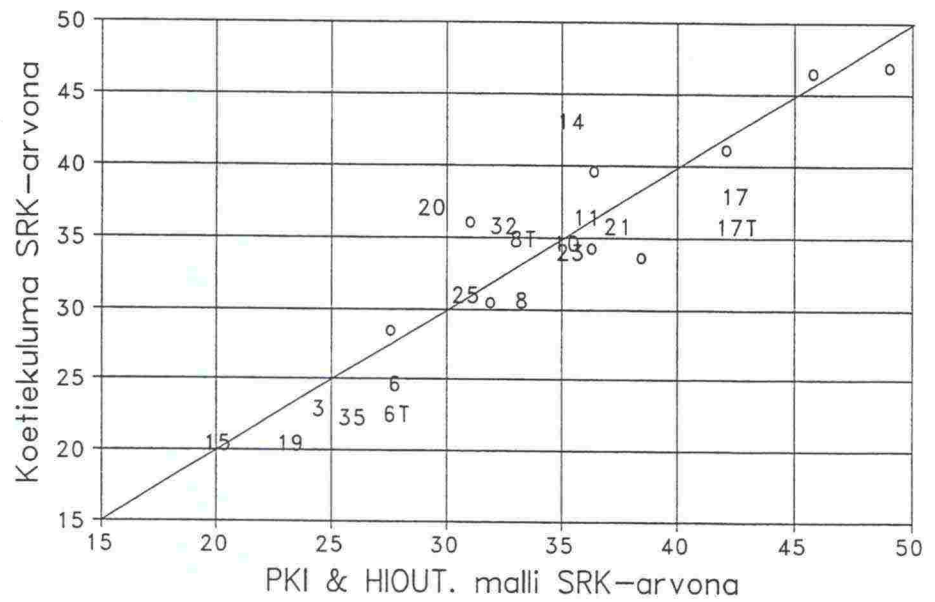


Kuva 19. Los Angeles-luvun yhteys koetiekulumaan SRK-arvona. Numero + T ja o (paikallinen kiviaines) tarkoittaa Kouvolan koetien kiviainesta.



Kuva 20. Pistekuormitusindeksi- ja kuulamylymallin yhteys koetiekulumaan SRK-arvona. Numero + T ja o (paikallinen kiviaines) tarkoittaa Kouvolan koetien kiviainesta.

$$\text{Koetiekuluma SRK:na} = 1,15 \times \text{KM} - 1,25 \times \text{PK} + 33,0 \quad (10)$$



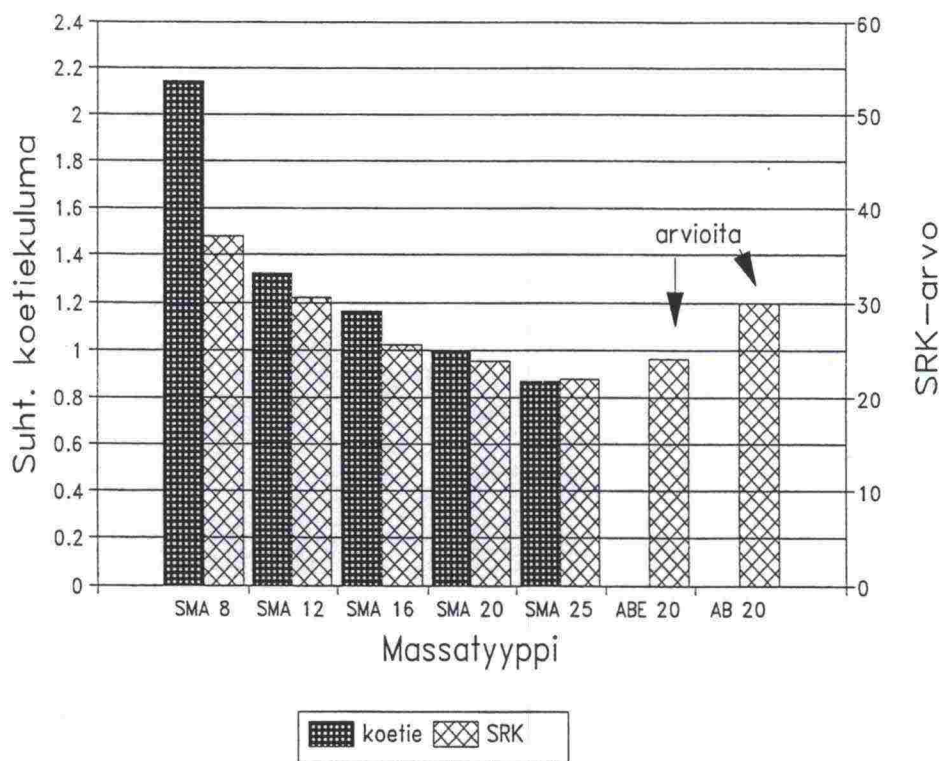
Kuva 21. Pistekuormitusindeksi- ja hioutuvuusmallin yhteys koetiekulumaan SRK-arvona. Numero+T ja o (paikallinen kiviaines) tarkoittaa Kouvolan koetien kiviainesta.

$$\text{Koetiekuluma SRK:na} = 6,11 \times \text{Hiout.} - 2,28 \times \text{PK} + 45,95 \quad (11)$$

### 3.3 Massatyyppi

#### 3.3.1 Massatyyppin kuluminen

Vt 4:lle rakennettiin kesällä 1993 SMA-päällysteen maksimiraekokokoetie, jossa kiviaineksena käytettiin Koskenkylän vulkaniittia. Kuvassa 22 on esitetty tien kuluminen suhteellisena arvona (SMA 20 = 1) ja SRK-arvot. Kuvassa on lisäksi mukana on arviot EA 20- ja AB 20-massojen SRK-arvoista (eivät ole mukana koetiellä), jotka perustuvat koetien rakentamisen aikaisiin kiviaineksen lujuusmäärytyksiin.



Kuva 22. Maksimiraekokokoetien tulokset.

Massatyyppin kuluminen mallinnettiin selittämään suhteellista SRK-arvoa. (SMA 20 ja EA 20 = 1). Tätä arvoa selittämään kokeiltiin erilaisia rakeisuutta kuvaavia lukuja. Lopulta päädyttiin 8 ja 16 mm:n läpäisyarvoihin, jotka selittävät paremmin kuin esim. maksimiraekoko. Kuvasta 22 nähdään, että maksimiraekoko selittää vain saman massatyyppin eroja.

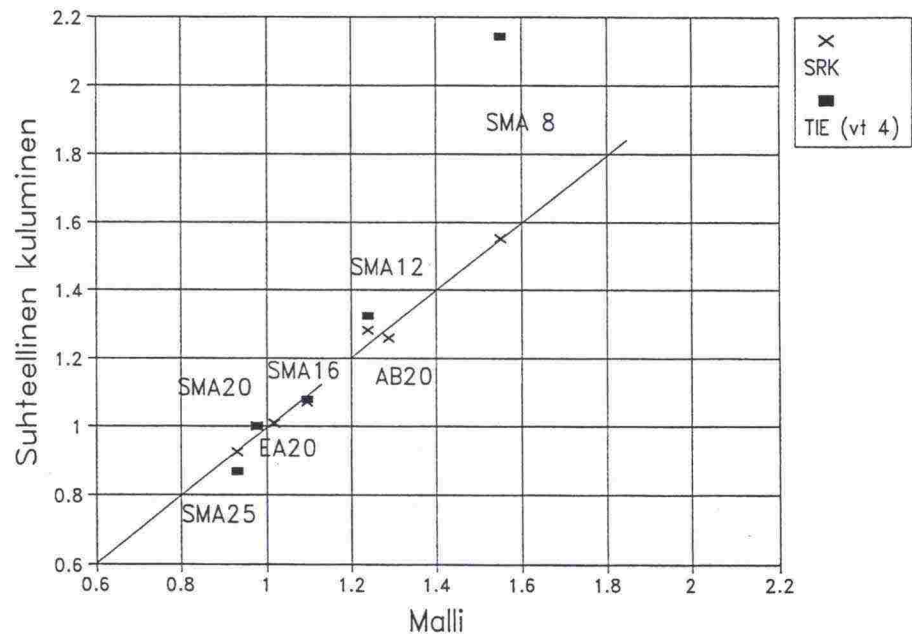
Kuvassa 23 on esitetty mallin korrelaatio suhteelliseen tiekulumaan ja suhteelliseen SRK-arvoon. Malli antaa melko samanlaiset arvot AB 20- ja SMA 16- massoille kuin keskimäärin ASTO-koeteillä. Jos SRK-arvon sijasta olisi mallinnettu tiekulumaa, olisi malli yliarvioinut AB 20 -massan kulumaa.



Mallin yleistettävyyttä rajaa se, että malli on tehty yhden koetien perusteella, jossa on käytetty vain SMA-tyyppisiä massoja ja vain yhtä kiviainesta. Lisäksi ASTO-koeteillä oli vain kolme erityyppistä massaa.

$$\text{Massan suht. kuluminen} = 0,0069 \times A + 0,004 \times B + 0,496 \quad (12)$$

A = seulan 8 mm:n läpäisyarvo, B = seulan 16 mm:n läpäisyarvo



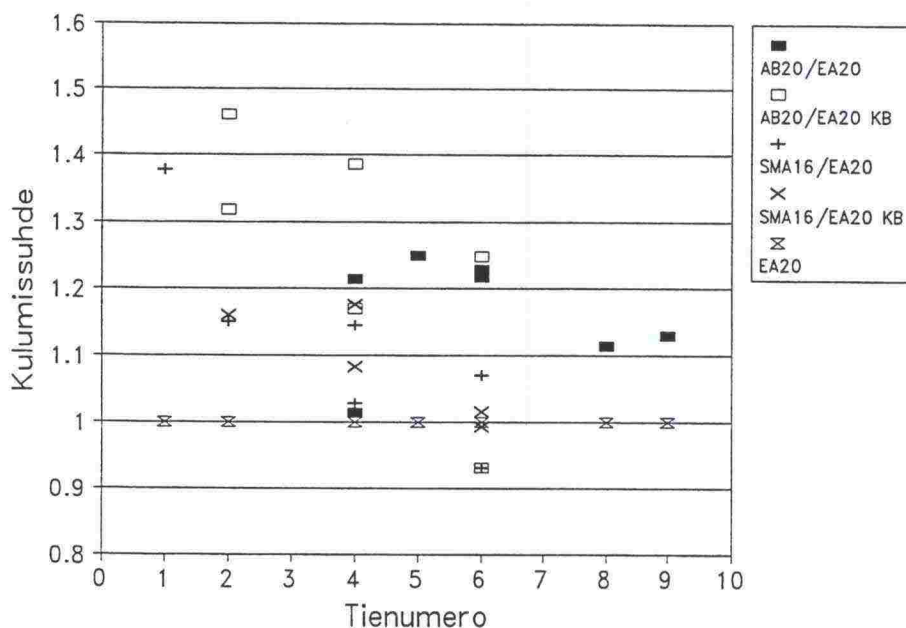
Kuva 23. Mallin korrelaatio tiekulumiseen ja SRK-arvoon.

Taulukossa 5 ja kuvassa 24 on esitetty AB 20- ja SMA 16-massojen kulumisen suhteessa EA 20-massaan muilla koeteillä kuin maksimiraekokoetielä. AB 20-massa kuluu 21% ja SMA 16-massa 10% (8% kun yksi selvästi poikkeava arvo poistetaan aineistosta) enemmän kuin EA 20-massa. Suhde ei ole riippuvainen massan kulumiskestävyydestä.

Taulukko 5. Massatyyppien kulumisen suhde EA 20-massaan.

Massatyyppi	kaikki sideaineet	normaali sideaine	kumibitumi
AB 20/IV	1,21	1,17	1,25
SMA 16	1,10 (1,08)	1,12 (1,07)	1,09





Kuva 24. AB 20/IV- ja SMA 16-massojen kuluminen suhteessa EA 20-masaan eri koeteillä.

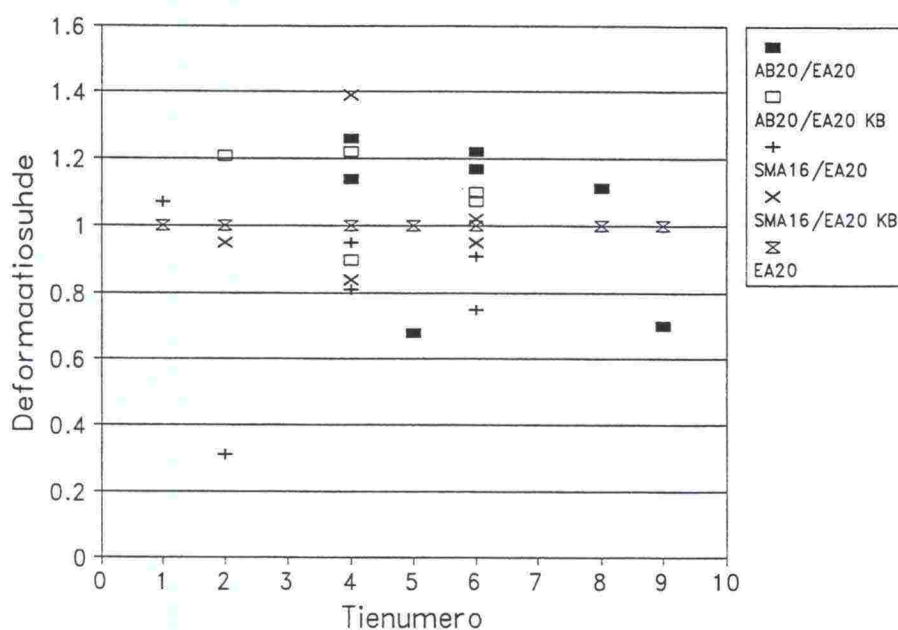
### 3.3.2 Massatyypin deformaatio

Taulukossa 6 ja kuvassa 25 on esitetty AB 20- ja SMA 16-massojen deformaatio suhteessa EA 20-masaan eri ASTO-koeteillä. AB 20-massa deformoituu 7 % enemmän ja SMA 16-massa 10 % vähemmän kuin EA 20-massa.

Jos verrataan SMA 16 massaa AB 20 massaan (huom. aineiston määrä on eri), deformoituu SMA 16-massa 30 % vähemmän kuin AB 20-massa normaalibitumilla. Kumibitumilla erot ovat pienet.

Taulukko 6. Massatyypin deformaation suhde EA 20-masaan.

Massatyyppi	kaikki sideaineet	normaalisideaine	kumibitumi
AB 20/IV	1,07	1,04	1,10
SMA 16	0,90	0,80	1,03



Kuva 25. AB 20/IV- ja SMA 16-massojen deformaatio suhteessa EA 20-masaan eri koeteillä.

### 3.4 Sideaineet

#### 3.4.1 Sideaineiden vaikutus kulumiseen

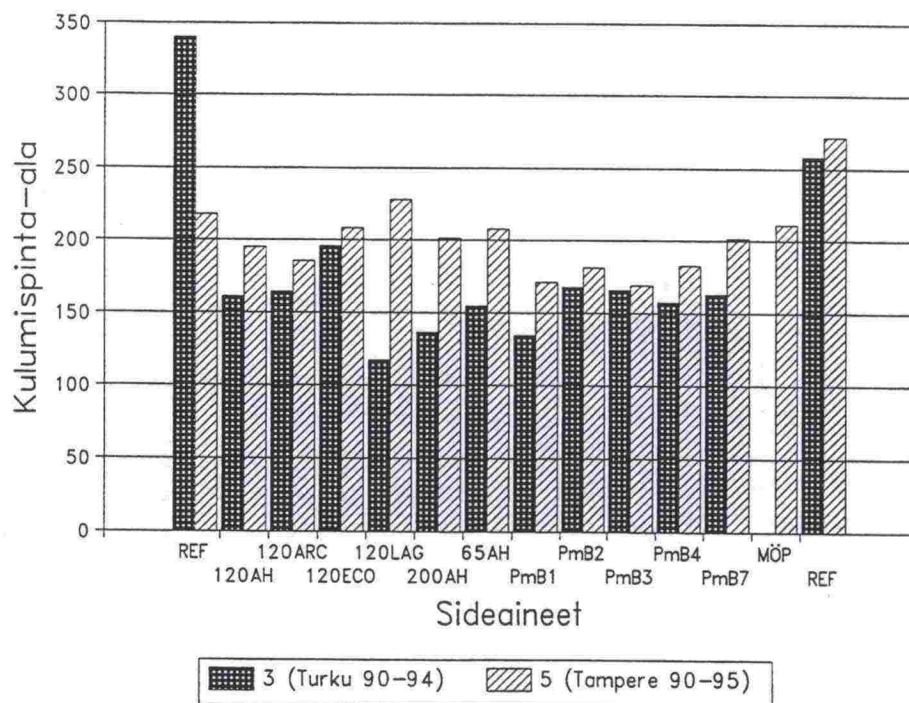
Sideaineiden vaikutus kulumiseen on kiviainekseen verrattuna pientä. Tästä johtuen mittaustarkkuus rajoittaa erojen havaitsemista. Kuvassa 26 on esitetty sideainekoetien (ASTO 3 Vt 9 Turku ja ASTO 5 Vt 9 Tampere) tulokset. Siinä nähdään, että sideaineiden keskinäiset erot ovat pieniä verrattuna referenssimassan kulumiseen hajontaan.

Kuvassa 27 on kahden eri sideainekoetien tulokset yhdistetty siten, että varsinaisten koeosuuksien keskiarvo on 1. Sen jälkeen on laskettu kullekin sideaineelle keskiarvo. Sideaineet, jotka poikkeavat joukosta, ovat kumibitumi (PmB1) keskimääräistä alhaisemmalla kulumisellaan ja 120 ECO-bitumi keskimääräistä korkeammalla kulumistuloksellaan.

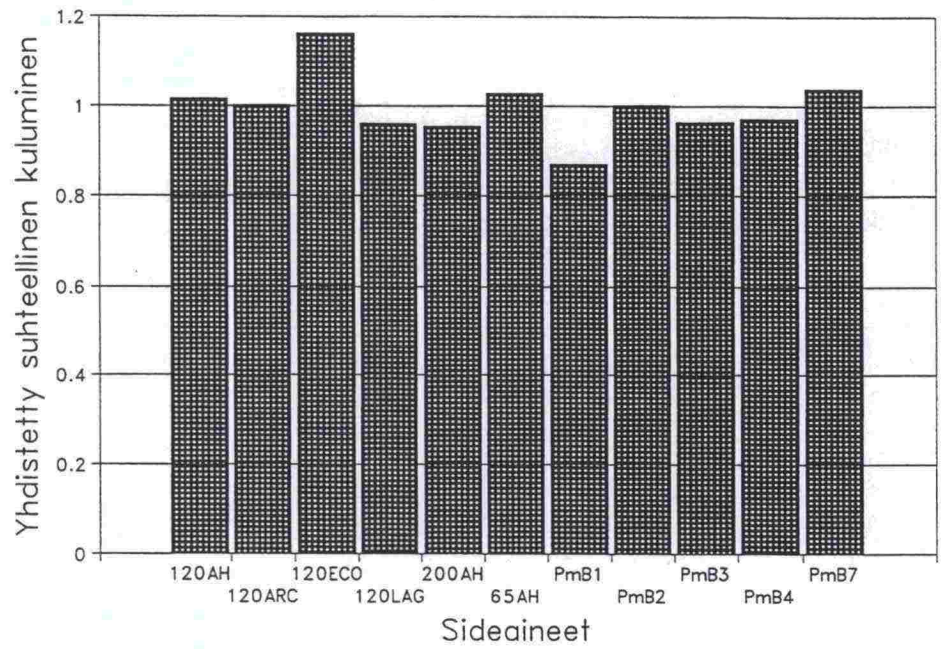
Taulukossa 7 ja kuvassa 28 on laskettu kulumissuhteita muilta erilaisilta sideaineita sisältäviltä koeteiltä. Myös siellä ECO-bitumi kuluu enemmän kuin esim. 120 LAG-bitumi (keskimäärin 7%). Kumibitumin (PmB1) voidaan arvioida kuluvan 10 % vähemmän kuin normaalibitumi.

Taulukko 7. Sideaineiden vaikutus kulumiseen.

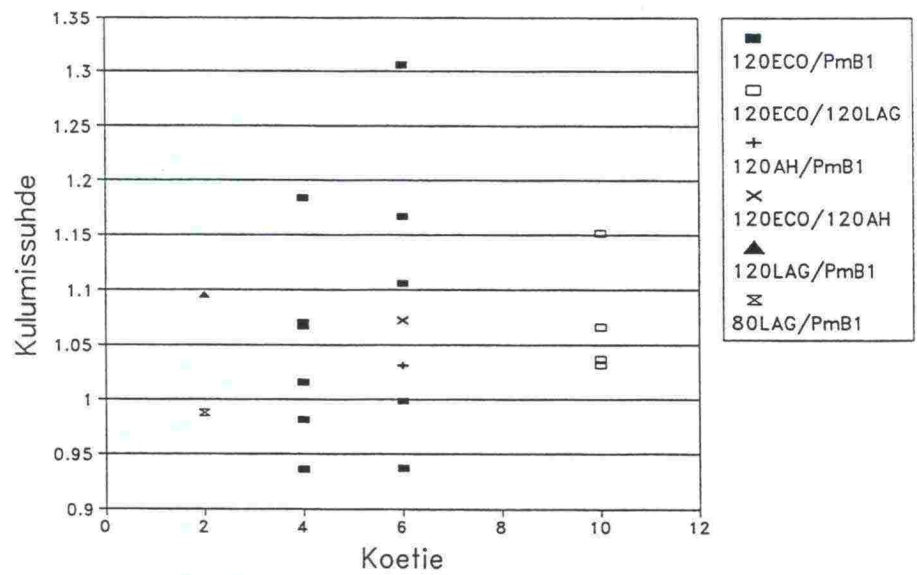
Perussideaine	vertailusideaine	vaikutus (%)	havaintojen lkm
PmB1	120 ECO	+ 4 (+ 10)	12 (6, ASTO 6)
PmB 1	120 AH	+ 3	1
PmB1	120 LAG	+ 10	1
PmB 1	80 LAG	- 1	1
120 AH	120 ECO	+7	1
120 LAG	120 ECO	+ 3	2
120 LAG	120 ECO	+ 11	2 (tartukkeella)



Kuva 26. Kuluminen sideainekoeteillä.



Kuva 27. Sideaineekoeteiden yhdistetty suhteellinen kuluminen.



Kuva 28. Sideaineiden kulumissuhteet eri koeteillä.



### 3.4.2 Sideaineiden vaikutus deformaatioon

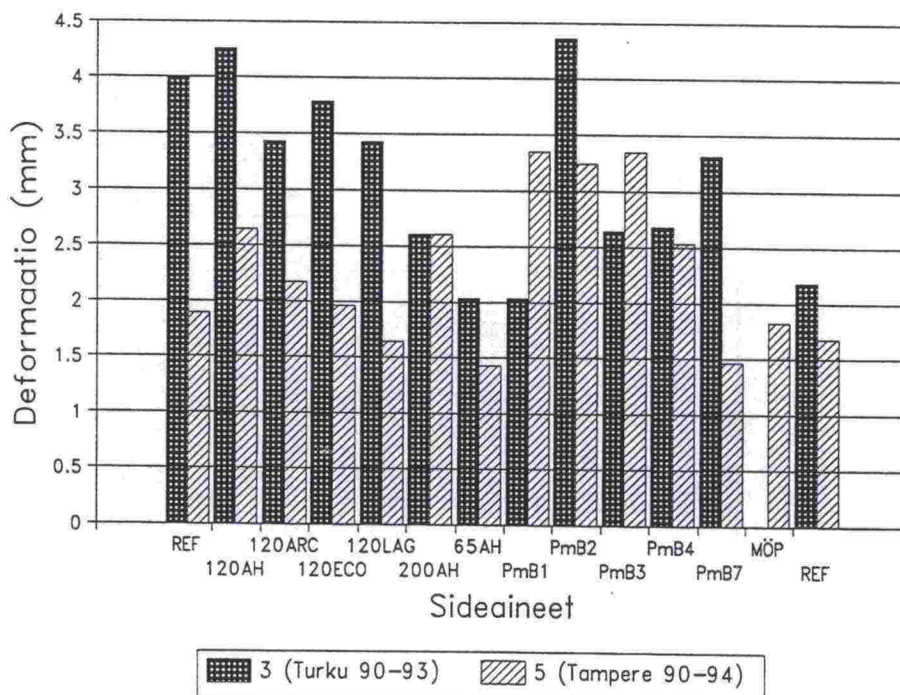
Turun koetien referenssisuosuuksien deformaatiotulokset erosivat toisistaan niin paljon, ettei sen perusteella voida arvioida sideaineiden deformaatiokestävyyttä. Tampereen koetien ja yhdistettyjen tulosten perusteella B-65 AH saa pienimmät deformaatioarvot. Kumibitumi PmB1 sijoittui yllättäen keskimääräisesti. Sen sijaan muilla koeteilla PmB1 paransi deformaatiokestävyyttä n. 30% verrattuna normaaliin sideaineeseen (B-120).

Sideaineeseen lisättävää gilsoniittia on kokeiltu vain yhdessä paikassa. Sen perusteella gilsoniitti (lisättyä B-80 bitumiin, n. 10%) vähentää deformaatiota 30 % kumibitumiin (PmB1) verrattuna.

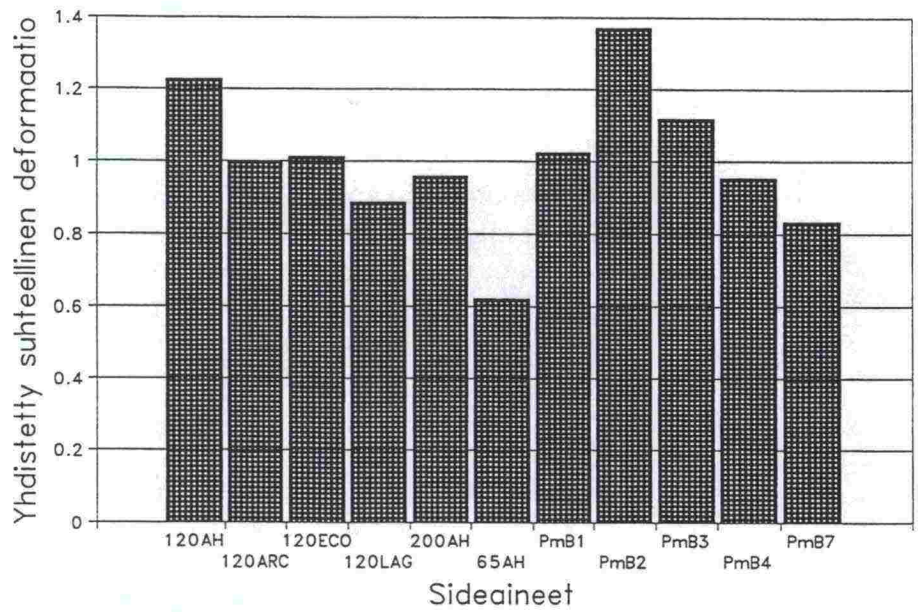
Tunkeumaltaan erilaisia sideaineita ei ollut samoilla koeteilla enempää kuin enintään kolme, joten sen vaikutusta deformaatiokestävyyteen on vaikea arvioida. Tampereen koetiellä oli referenssimassojen välillä suhteellisen pieni ero, joten sen tulosten perusteella on arvioitu suhteelliset deformaatioarvot tunkeuman (25 °C) perusteella (taulukko 8).

Taulukko 8 .Suhteellinen deformaatio tunkeuman perusteella.

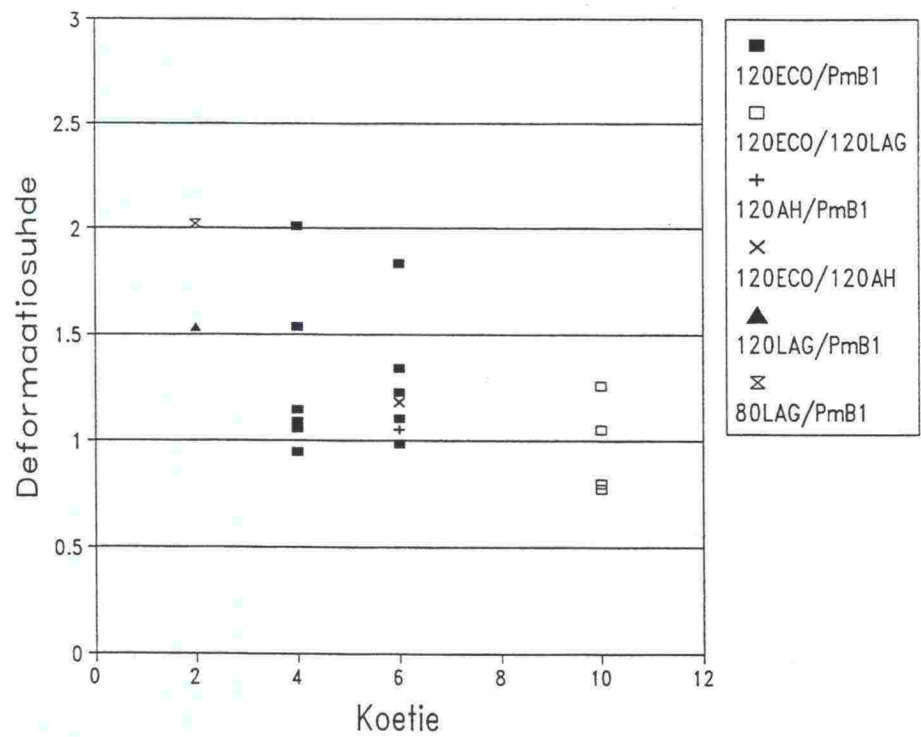
Tunkeuma 25 °C, 0,10 mm	suhteellinen deformaatio
200	1,35
120	1,00
80	0,80
65	0,75



Kuva 29. Deformaatio sideainekoeteillä.



Kuva 30. Sideaineenkoeteiden yhdistetty suhteellinen deformaatio.



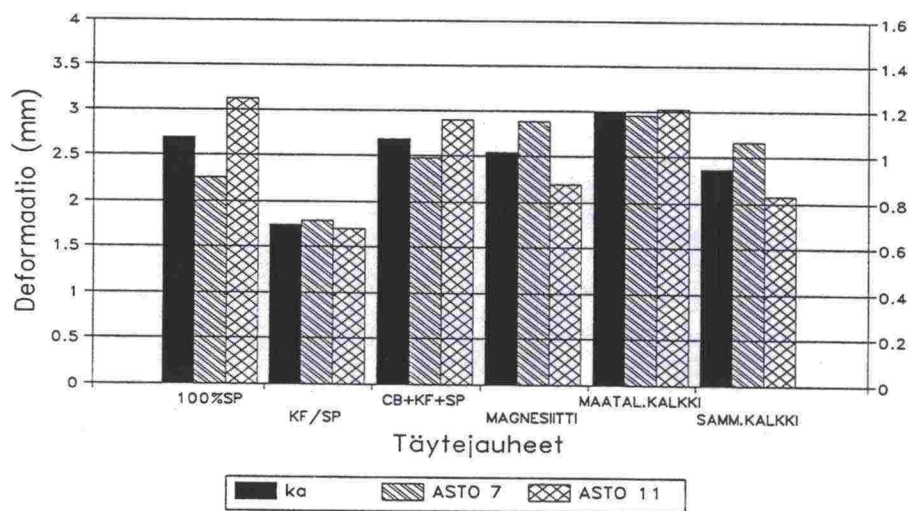
Kuva 31. Sideaineiden deformaatiosuhteet eri koeteillä.



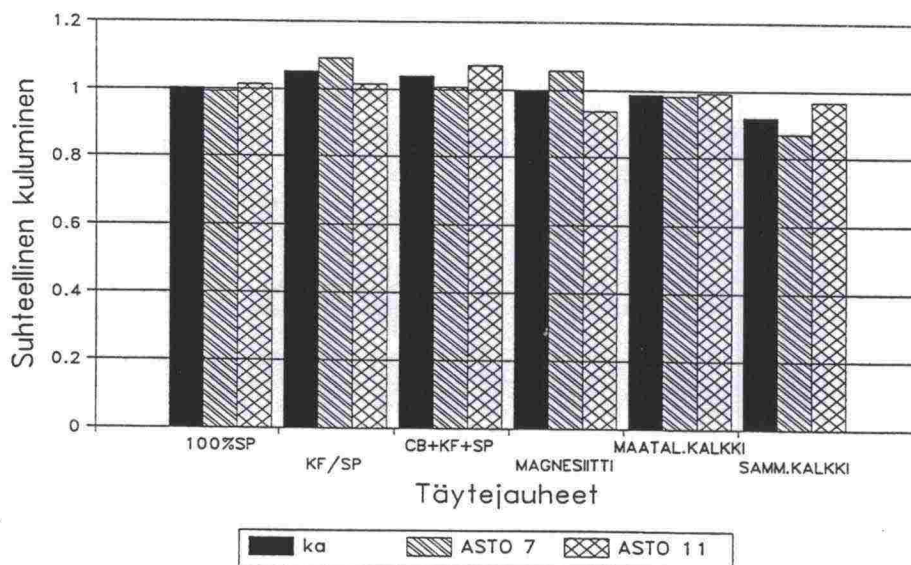
## 3.5 Lisäaineet

### 3.5.1 Täytejauheet

Deformaatiotuloksissa oli eroja eri täytejauheilla (kuva 32). Pienin deformaatio oli normaalilla kalkkifillerin ja suodatinpölyn yhdistelmällä (KF/SP). Tämä saattaa johtua siitä, että massa suhteitettiin vain tällä täytejauheella. On todennäköistä, että jos muut täytejauheet olisivat suhteitettu erikseen, niiden deformaatio olisi ollut samanlainen kuin KF/SP:llä. Täytejauhe ei vaikuta kulumiseen (kuva 33).



Kuva 32. Täytejauheen vaikutus deformaatioon ASTO-koeteillä 7 (vt 12) ja 11 (vt 5). (HUOM. Vain kalkkikiven ja suodatinpölyn yhdistelmä (KF/SP) on suhteitettuna).



Kuva 33. Täytejauheen vaikutus kulumiseen ASTO-koeteillä 7 (vt 12) ja 11 (vt 5).

### 3.5.2 Tartuke

Tartuntakoetiellä oli referenssimassojen kulumistulosten välillä pienet hajonnat (kuva 34). Laguna-bitumiin ja vulkaniitin (35) yhdistelmässä tartuke vähensi kulumista 14 % (kuva 34). Myös koetiellä ASTO 9 tartukkeellinen referenssimassa kului vähemmän kuin referenssimassa ilman tartuketta.

ASTO-raportissa "Bitumin ja kiviaineksen välinen tartunta asfalttipäällysteessä" /1/ on esitetty halkaisuvetolujuuskokeen tuloksia. Siinä suhteellinen tartunta A-bitumilla (ECO) on kuudella eri kivellä keskimäärin 0,81, AH-bitumilla 0,76 ja lagunabitumilla 0,63 (taulukko 9).

Taulukko 9. Sideaineiden keskimääräiset tartunta-arvot

Tartuntatesti	120 A	120 AH	120 LAG
Halkaisuvetolujuus	0,81	0,76	0,63
Hallbergin koe	0,49	0,46	0,34
Rullapullokoe	0,47	0,55	0,62

Sideaineella AH tehty halkaisuvetolujuus antoi diabaasille suhteellisen tarttuvuuden 0,88, vulkaniitille 0,83 ja sideainekoetien granodioriitille 0,54 (taulukko 10).

Edellä mainitut tulokset tukevat sitä, että tiettyjen huonon tartunnan omaavien kiviainesten ja sideaineiden yhdistelmälle tartukkeella voi olla merkitystä kulumiseen. Asia on selvitettävä suhteituksen yhteydessä.

Taulukko 10. Suhteellisia tartunta-arvoja

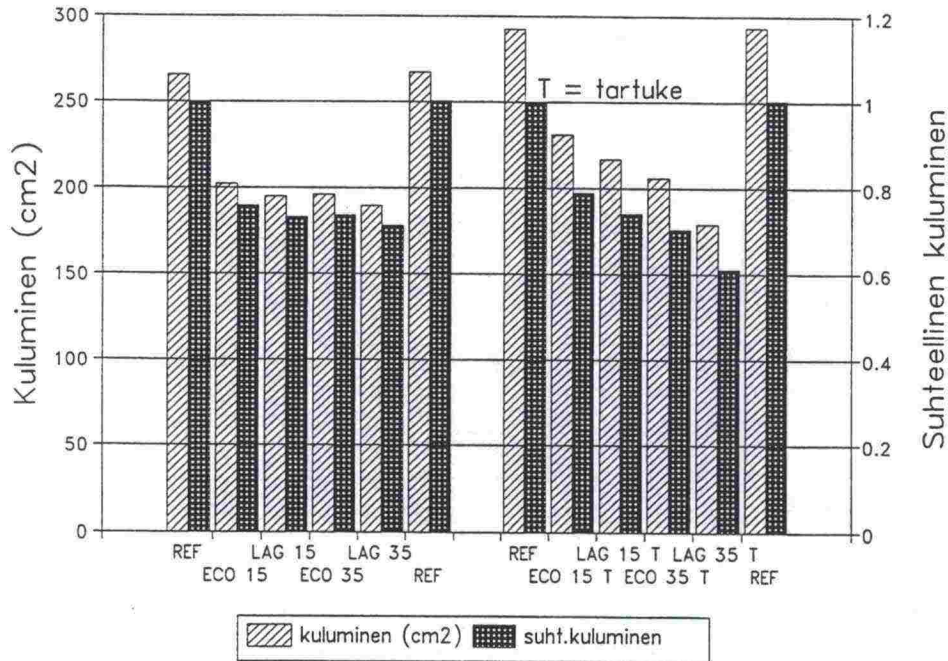
Tartuntatesti	granodioriitin suht. tartunta eri bitumeilla			diabaasin suht. tartunta eri bitumeilla			vulkaniitin suht. Tartunta eri bitumeilla		
	120 A	120 AH	120 LAG	120 A	120 AH	120 LAG	120 A	120 AH	120 LAG
Halkaisuvetolujuus	0,71	0,54	0,52	0,86	0,88	0,67		0,83	
Hallbergin koe	0,12	0	0,11	0,42	0,33	0,55			
Rullapullokoe	0,17	0,12	0,15	0,44	0,74	0,99			

Saman raportin Hallbergin kokeen ja rullapullokokeen tuloksissa ei ollut vulkaniittia mukana. Hallbergin kokeen mukaan A (ECO) -bitumin tartunta on parempi kuin LAG-bitumin (kuten halkaisuvetolujuuskokeessa) ja rullapullokokeessa tulokset ovat päinvastaisessa järjestyksessä.

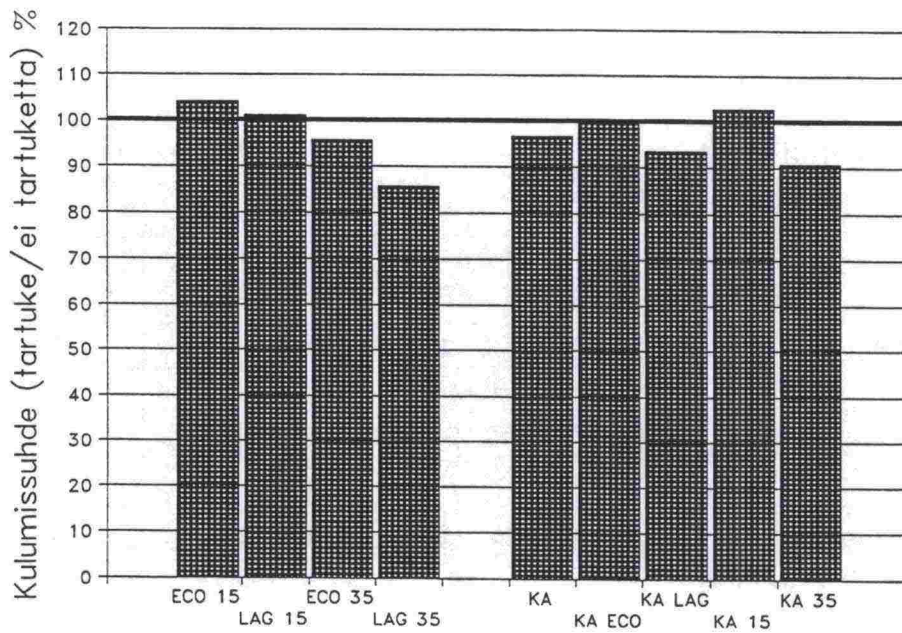
Erot tartuntatesteissä johtuvat kokeiden erilaisista luonteista. Halkaisuvetolujuuskokeissa tartunnan mittana käytetään märkien ja kuivien koekappaleiden lujuuksien suhdetta. Hallbergin kokeessa tutkitaan hienon kiviaineksen tartuntaa vedenpaineen aiheuttaman bitumia syrjäyttävän voiman avulla.



Rullapullokokeessa testataan bitumin ja kiviaineksen välistä tartuntaa vedenkestävyysskokeella, jossa mukana on myös pyörivästä liikkeestä aiheutuva mekaaninen kulutus.

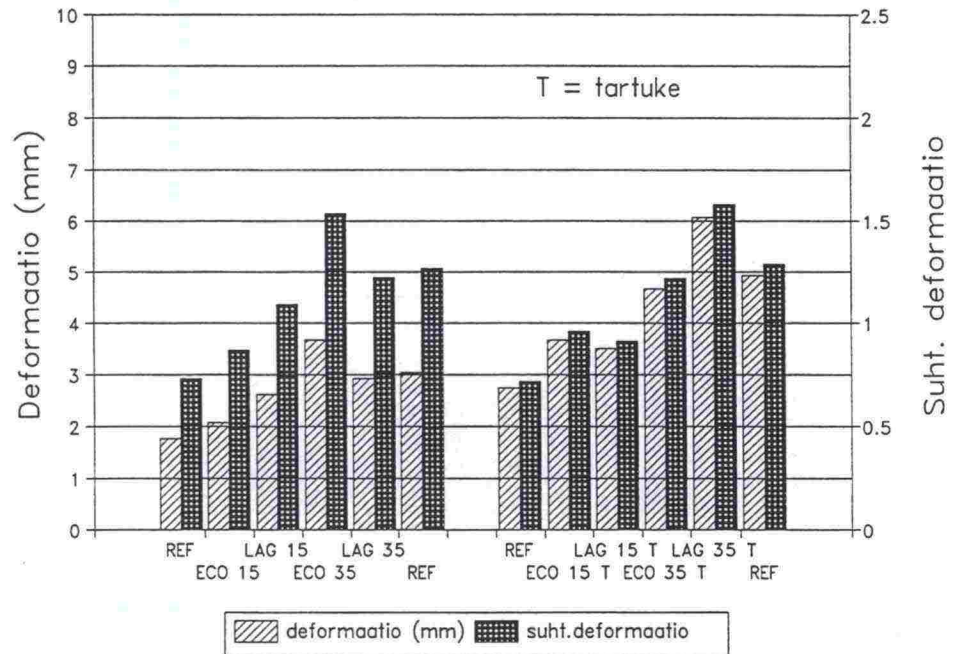


Kuva 34. Tartukekoetien (ASTO 10, Vt 5) tulokset.

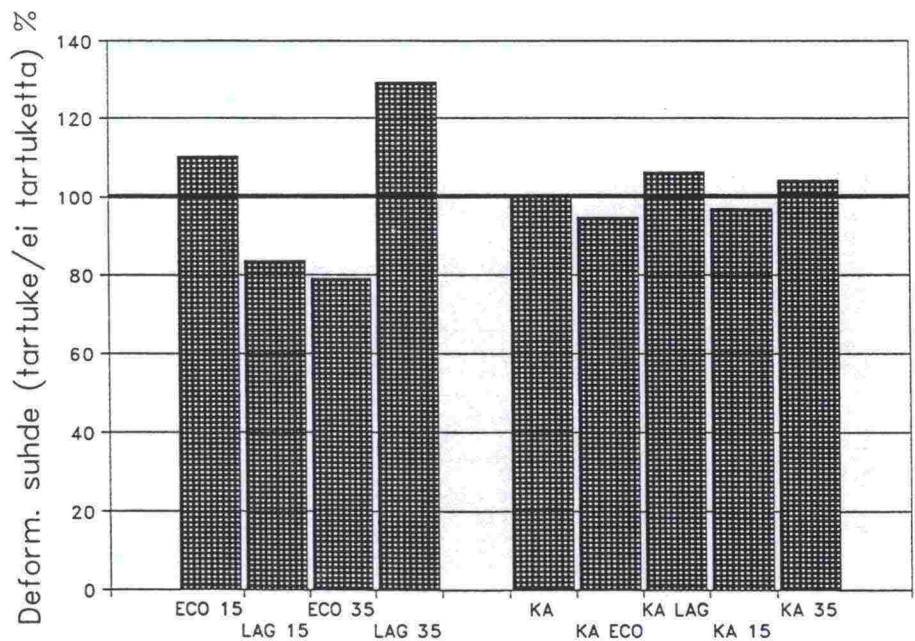


Kuva 35. Tartukkeen vaikutus kulumiseen.

Deformaatiotuloksissa referenssiosuuksien välillä on niin suuret erot, ettei voida luotettavasti arvioida tartukkeen vaikutusta deformaatioon (kuva 36).



Kuva 36. Tartukkeen vaikutus deformaatioon.

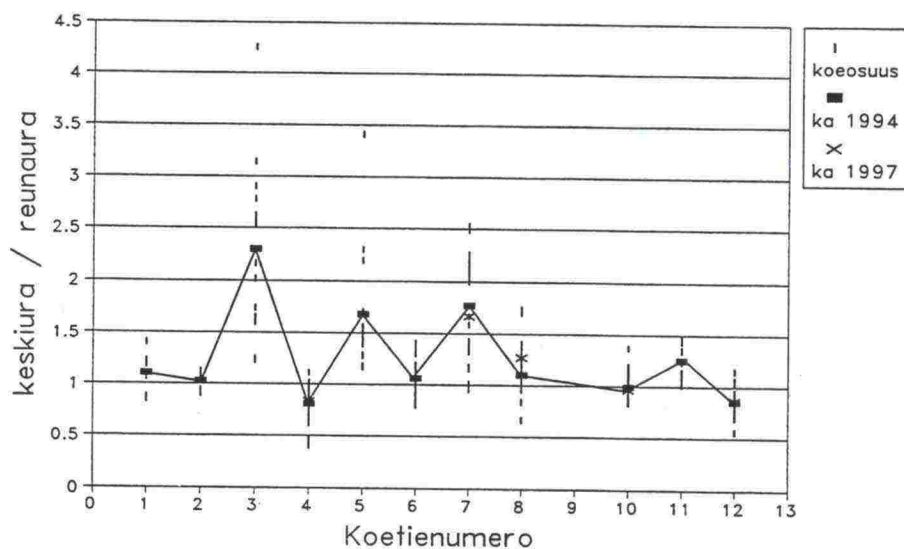


Kuva 37. Tartukkeen vaikutus deformaatioon.

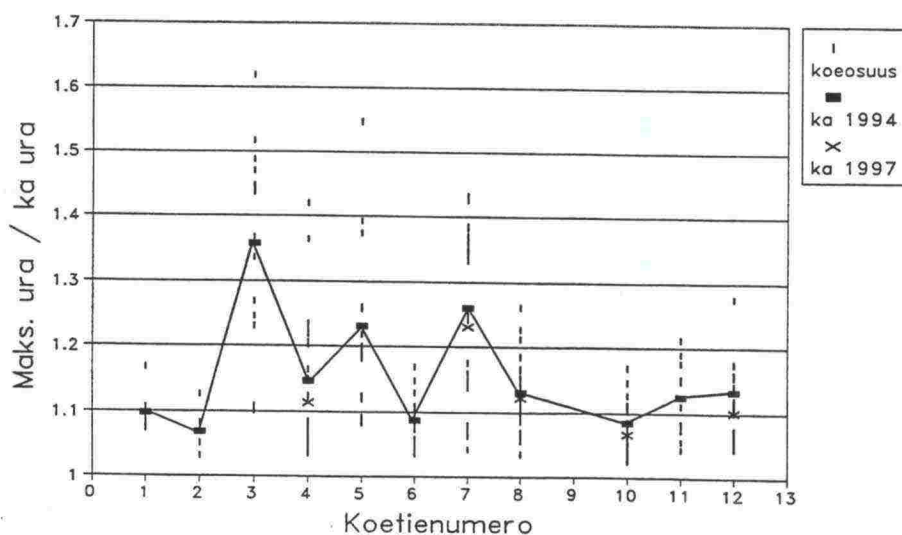
### 3.6 Urasyvyys

Koeteiden mittauksissa ilmoitetaan yleensä maksimiuran sijasta keskiuran ja reunauran keskiarvo, jolla voidaan luotettavammin vertailla eri osuuksia keskenään. Tien geometria, kaltevuus ym. vaikuttavat keski- ja reunauran suhteeseen. Koeteiltä ei mitattu kaltevuuksia. Kuvassa 38 on esitetty keski- ja reunauran suhde. Suhteiden keskiarvot eri koeteilla vaihtelivat välillä 0,81 - 2,30 keskiarvon ollessa 1,27.

Päällystämiskriteerinä on PTM-auton tuottama maksimiuran arvo. Kuvassa 39 on esitetty maksimiuran ja keskiarvouran suhde. Teiden keskiarvot vaihtelivat välillä 1,07 - 1,36 keskiarvon ollessa 1,16.



Kuva 38. Keskiuran ja reunauran suhde.

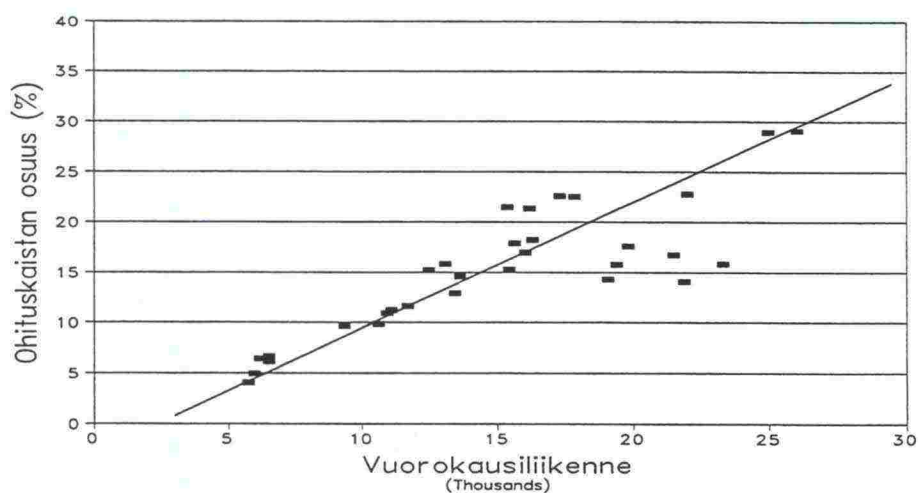


Kuva 39. Maksimiuran ja keskiarvouran suhde.

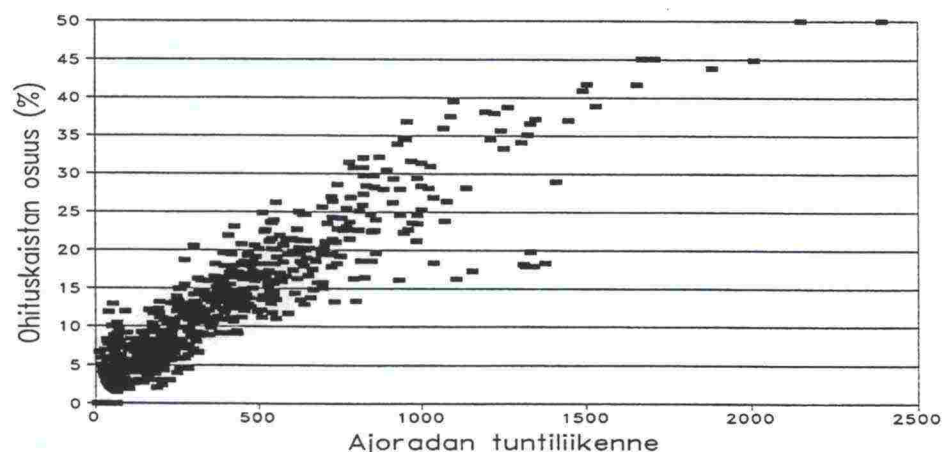


### 3.7 Liikennemäärän vaikutus vasemman kaistan liikenteeseen

Moottoriteiden vasemman ajoradan liikennemäärän osuuden selvittämiseksi koko poikkileikkauksen liikennemäärästä tutkittiin 11 moottoritiekohdetta eri puolella Suomea kolmena eri päivänä (2.1., 12.1. ja 15.1.1998). Kuvissa 40 ja 41 on esitetty vasemman ajokaistan osuuden riippuvuus vuorokausiliikenteestä ja tuntiliikenteestä.



Kuva 40. Vasemman kaistan liikennemäärän osuus suhteessa poikkileikkauksen vuorokausiliikennemäärään.



Kuva 41. Vasemman kaistan liikennemäärän osuus suhteessa suunnan tuntiliikennemäärään.

Liikenteen mittauspisteet (kaksi ensimmäistä numeroa ilmaisee piirin):

0108 KARHUNKORPI	0112 TREKSILÄ	0139 NUPURI
0227 KIRISMÄKI	0572 MUUMITALO	0531 VUOKSENNISKA
0429 RIIHIMÄKI, HERAJ	0437 HLINNA_MO3	0628 MURHAMÄKI
0802 KUOPIO	1201 OULU	



## 4 URAUTUMISEN LASKEMINEN

### Kulumismalli

Kulumismallin periaatteena on arvioida materiaalien perusteella massan SRK-arvo. Laskeminen alkaa kiviaineksen saatavissa olevista lujuusarvoista. Luvun 3.2 kaavoilla saadaan SRK-arvo EA 20- massalle (sideaineena B-80). SRK-arvoa korjataan massatyyppin mukaan kertoimella. Tämän jälkeen saatua SRK-arvoa voidaan korjata sideainekertoimella (myös lisäaine).

### Kiviainesmuunnos

Luotettavin arvo saadaan käyttämällä kuulamylyarvoa ja pistekuormitusindeksiä (luku 3.2). Muutoin käytetään kaavaa, jonka selityssaste on mahdollisimman suuri.

Teisko (Asto 8) kuulamyly = 11,6 ja pistekuormitusindeksi = 9,8 → SRK (EA 20, Teisko) = n. 34

### Massatyyppimuunnos

Massatyyppimuunnokseen käytetään luvun 3.3 taulukon 2 tai rakeisuuskäyrän läpäisyarvojen perusteella kaavan 12 arvoja.

AB 20 = EA 20 x 1,21 eli

SRK (AB 20 Teisko) = 34 x 1,21 = 41,1

### Sideainemuunnos

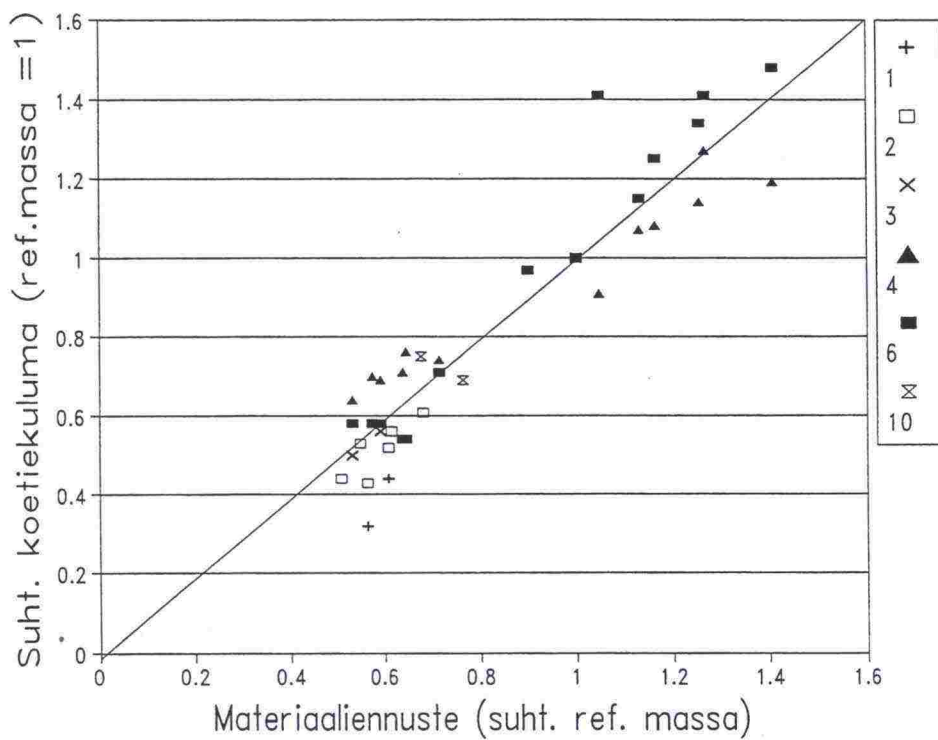
Tavallisille sideaineille ei määritetty eroa, vaikkakin 120 ECO on todennäköisesti keskimääräistä huonompi (kerroin 1,07). Nykyään ei edes ilmoiteta bitumin raaka-aineen alkuperää. Kumibitumi PmB1 pienensi kulumista n. 10 % (eli kerroin 0,9).

SRK (AB 20, Teisko, PmB1) = 41,1 x 0,9 = 37

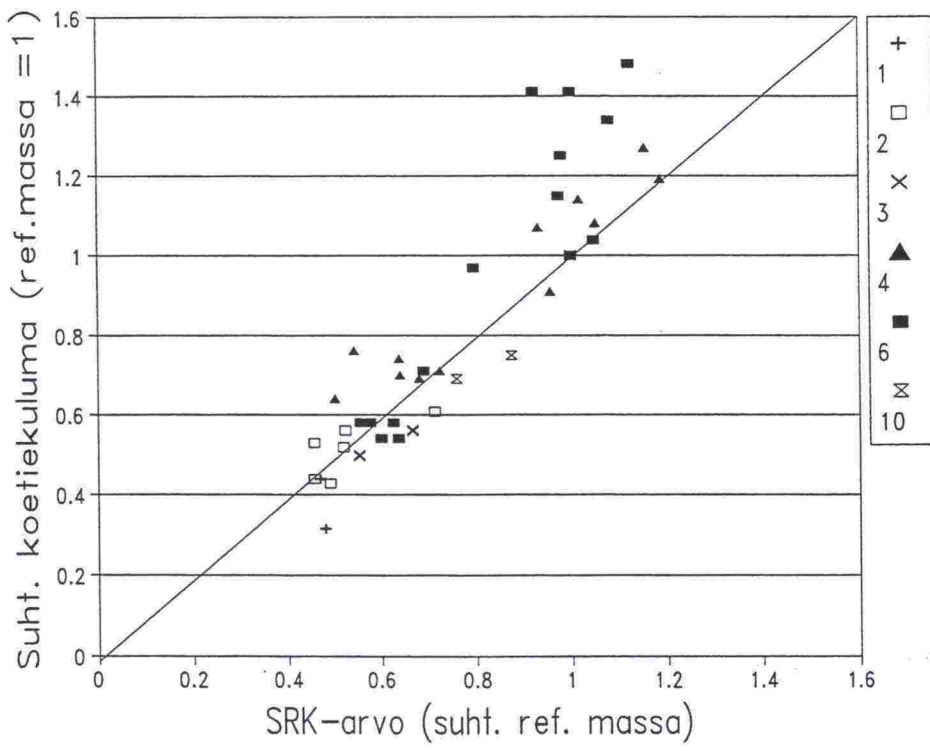
### Mallin testaus

Kulumismallia testattiin kuudella koetiellä (kuva 42). Mallin korrelaatio tiekuluman kanssa oli 0,94. Vastaavasti poranäytteen SRK-arvon korrelaatio oli 0,90 eli malli antoi paremman tuloksen.

Kuvasta näkyy myös, että massat käyttäytyvät eri tavalla eri teillä. Esim. koeteillä ASTO 4 ja ASTO 6 on 12 samanlaista massaa, mutta niiden kulumissuhde referenssimassaan on erilainen. ASTO 6:lla hyvä massa kuluu suhteessa referenssiin vähemmän ja huono enemmän kuin ASTO 4:llä.



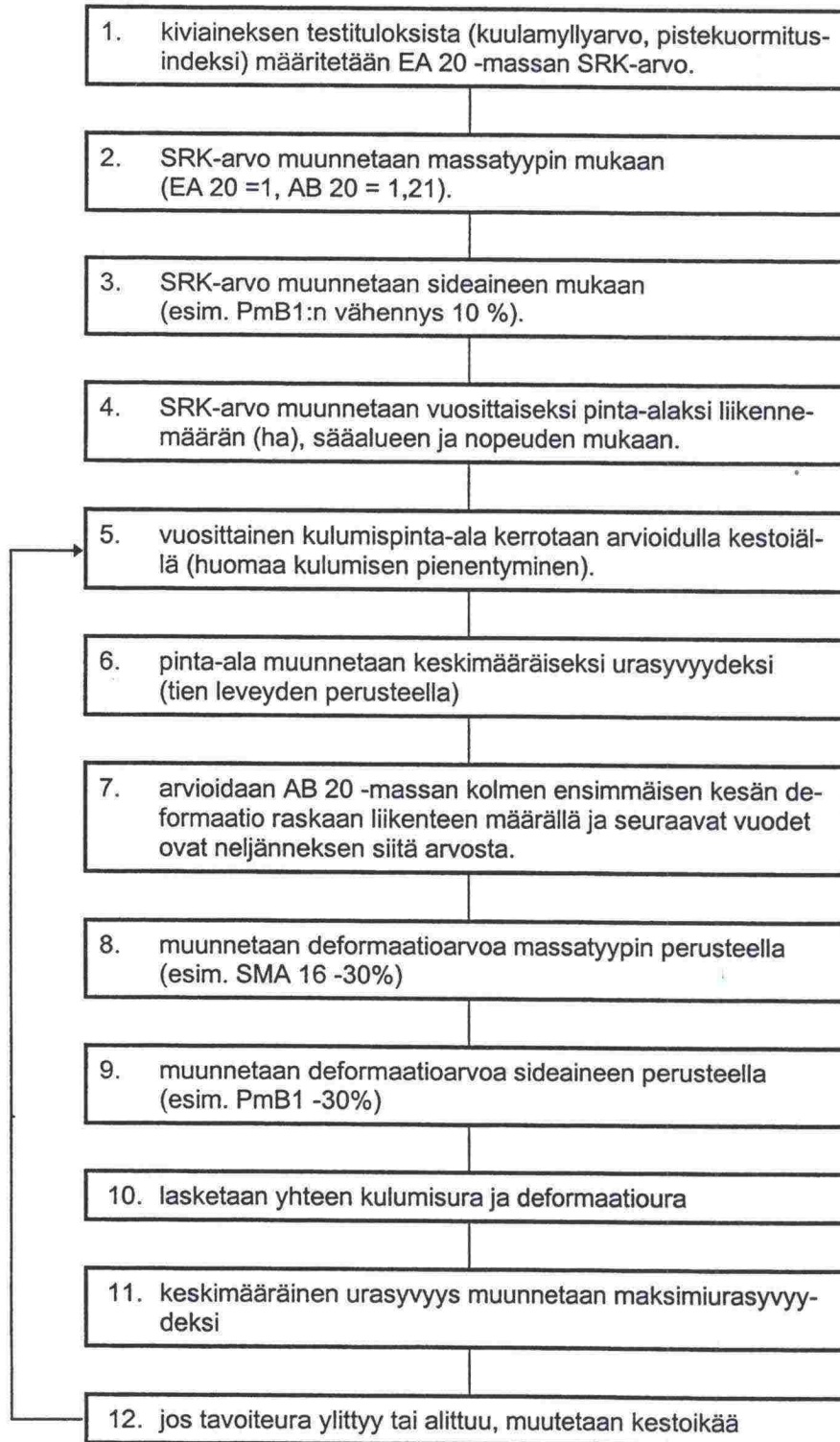
Kuva 42. Materiaalin mallin korrelaatio tiekulumaan (referenssi =1) eri koeteillä (1, 2, 3, 4, 6, 10).



Kuva 43. SRK-arvon korrelaatio tiekulumaan (referenssimassa =1) eri koeteillä (1, 2, 3, 4, 6, 10).

**Urautumisen laskemisen vaiheet**

Seuraavassa on esitetty urautumisen laskennan vaiheet:



### Esimerkkilaskelma

Alkuarvot:

kiviaines	kuulamylyarvo 7,6
massatyyppi	AB 20
sideaine	B-120 (AH)
kvl	5100
raskas liikenne	11%
tien leveys	8,0 m
sääalue	Varkaus
päällystyskriteeri	20 mm

1. kuulamyly = 7,6 → SRK (EA 20) = 26,2
2. AB 20 = 1,21 x EA 20 = 1,21 x 26,2 = 31,7
3. ei sideainemuutosta
4. vastaavalla liikennemäärällä ASTO-referenssimassa kului Varkaudessa keskimäärin 37 cm<sup>2</sup> talvessa vuosina 1991-1994. Referenssimassan laskennallinen SRK on kuulamylyyn perusteella 39,8, joten esimerkin massa kuluu  $31,7/39,8 \times 37 = 29,5$  cm<sup>2</sup>
5. arvioidaan kestoiksi 9 vuotta ja kuluminen on 30 % pienempää kuin vuosina 91-94, joten  $9 \times 29 \times 70 \% = 186$  cm<sup>2</sup>.
6. kulumisura on 8,0 m:n levyisellä tiellä 10,2 mm (0,073 x 183 -3)
7. deformaatio AB 20-massalla on kaavan 5 mukaan n. 1,8 mm kolmena kesänä. Loppujen kesien deformaation arvioidaan 1,8 / 4 eli n. 0,5 mm kesässä. Yhteensä deformaatio on 1,8 mm + 1,7 mm /4 x 5 kesää = 4,1 mm.
8. ei massamuunnosta
9. ei sideainemuunnosta
10. kokonaisura = 10,2 + 4,1 = 15,2 mm
11. maksimiurasyvyys = 1,16 x 15,2 mm = 17,7 mm
12. voidaan lisätä ainakin yksi vuosi kestoikään (siirrytään kohtaan 5).



### Uramallien rajoituksia

Mallit eivät sisällä läheskään kaikkia päällystysvaihtoehtoja. Koska tutkimusaineisto on suhteellisen pieni ja koetiet eivät kaikki onnistuneet toivotulla tavalla, on mallien käyttöön esitetty seuraavia rajoituksia:

- Koska kiviainekoeteiden massat eivät olleet erikseen suhteitettuja, tuloksiin liittyy epävarmuustekijöitä. Lisäksi mallit perustuvat raaka-aineteihin, joissa kiviaineksen muotoarvoa ei oteta huomioon.
- Massatyyppin kulumismalli perustuu yhden koetien tuloksiin, jossa oli vain yksi massatyyppi (SMA) ja yksi kiviaines (Koskenkylä). Mallin toimivuus pitäisi testata myös muilla kiviaineksilla.
- Tavallisille sideaineille ja lisäaineille (esim. tartuke) ei ole määritetty 1,0:sta poikkeavaa kulumiskerrointa, vaikka tutkimuksessa havaittiin eroja kulumiskestävydessä.
- Koska tutkimuksessa ei ollut samalla sääolosuhdealueella erilaisen liikennemäärän omaavia teitä, on vaikea arvioida liikennemäärän vaikutusta etenkin vilkkaimmilla teillä.
- Sääalueen tarkkoja rajoja ei tällaisella aineistolla pysty arvioimaan.
- Kulumisuran suhde pinta-alaan arvioidaan tien päällysteen leveyden perusteella. Aineistossa ei kuitenkaan ollut erilevyisiksi maalattuja ajoratoja.
- Sideaineen tunkeuman deformaatiokertoimet ja mm. Gilsoniitin vaikutus perustuvat vain yhden koetien tuloksiin. Lisäksi tien deformaatioon vaikuttavat vaihtelut kesien lämpimyydessä, raskaiden ajoneuvojen kuormissa (sora tai styroxia) jne.
- Mallit perustuvat suhteitettuun massaan. Jos massa ei ole suhteitettu, voivat tulokset olla huomattavan erilaiset.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuluminen on pienentynyt 30 % vuosien 1991-1993 keskiarvosta. Tuloksen luotettavuutta heikentää se, että pieneneminen on todettu samassa kulumisvaiheessa olevilta teiltä.

Kulumisuran kasvu pysyi vakiona, vaikka vuosittainen kulumispinta-ala pieneni. Ilmeisesti urien kasvaessa autoilijat ajavat enemmän urassa.

Sääalue vaikuttaa merkittävästi kulumisen. Itä-Suomessa kuluminen on n. 30 % hitaampaa kuin Lounais-Suomen rannikolla.

SRK-arvo ei anna kaikilla kiviaineksilla tarkkaa arvoa kulumisesta. Kuulamylyarvo ja siihen liitettyä pistekuormitusindeksi kuvaavat hyvin kiviaineksen kulumiskestävyyttä. Los Angeles-luku ei kuvaa hyvin yleisesti kiven kulumiskestävyyttä.

Massatyypin kulumismallilla voidaan arvioida kohtuullisen hyvin kulumista. Malli kaipaisi tarkennusta, koska esim. maksimiraekoetiellä oli vain SMA-tyyppisiä massoja.

SMA 16-massan deformaatio oli keskimäärin n. 30 % pienempi kuin AB 20-massalla.

Näyttää siltä, että sideaineen laatu vaikuttaa kulumiseen, joskin vähäisessä määrin. Aineiston vähyys ja mittaustarkeus eivät anna mahdollisuutta selvittää, mikä sideaineen laatuominaisuus vaikuttaa kulumiseen.

Jäykemmät sideaineet parantavat deformaatiokestävyyttä, kumibitumi (PmB1) n. 30% tavalliseen B-120 bitumiin verrattuna. Gilsoniitti lisättynä B-80 sideaineeseen (10%) pienensi deformaatiota 30 % kumibitumiin verrattuna.

Täytejauheilla ei ole vaikutusta kulumiseen. Jos täytejauhetta vaihdetaan, massa pitää suhteittaa uudestaan ja tulos pitää tarkistaa deformaatiokokein.

Erällä kiviaineksen ja sideaineen yhdistelmällä tartukkeen lisäys voi parantaa kulumiskestävyyttä.

Toiminnallinen suhteitus varmistaa kestävimmän päällysteen käytettävissä olevista materiaaleista. Lisäksi vaihtoehtoisten päällysteratkaisujen valinta helpottuu, jos vanhasta päällysteestä ja uusista vaihtoehdoista on olemassa materiaalitiedot ja toiminnallisen suhteituksen tulokset (SRK- ja pyöräuritus-tulokset).

Tien liikennemäärän, nopeuden ja sääolosuhteiden vaikutusta kulumiseen ei voinut selkeästi erottaa toisistaan aineiston vähäisyyden takia.

## 6 LÄHDELUETTELO

- /1/ Bitumin ja kiviaineksen välinen tartunta asfalttipäällysteessä, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tie- ja liikennelaboratorio n:o 776 Espoo 1990 Kari Pylkkänen, Pirjo Kuula-Väisänen.
- /2/ ASTO-kestopäällystekoeetiet, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Yhdyskuntatekniikka nro 422 Espoo 1997 Timo Kurki.
- /3/ ASTO-loppuraportti, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tie- ja liikennelaboratorio Espoo 1993 Timo Kurki, Kimmo Halttunen, Tuomo Kollanen, Leena Saarinen, Harri Spoof, Jarmo Vuorinen, Vesa Laitinen, Petri Peltonen, Heikki Jämsä, Asko Saarela.
- /4/ The Suitability of Rapakivi Granite Varieties of the Wiborg Batholith for the Production of Asphalt Pavements, FinnRa Research Reports 1/1995, Pekka Vallius
- /5/ Ilmastohavainnot 1990, Ilmatieteenlaitos, Helsinki 1991
- /6/ Ilmastohavainnot 1991, Ilmatieteenlaitos, Helsinki 1992
- /7/ Ilmastohavainnot 1992, Ilmatieteenlaitos, Helsinki 1993
- /8/ Ilmastohavainnot 1993, Ilmatieteenlaitos, Helsinki 1994
- /9/ Ilmastohavainnot 1994, Ilmatieteenlaitos, Helsinki 1995
- /10/ Ilmastohavainnot 1995, Ilmatieteenlaitos, Helsinki 1996
- /11/ Ilmastohavainnot 1996, Ilmatieteenlaitos, Helsinki 1997
- /12/ VTT Yhdyskuntatekniikan tekemät nastatutkimukset 1986 - 1997, Alkio, Sistonen, Unhola



Tie osuus	massa- tyyppi	side- aine	kivi ASTO- nro	Muuta	SRK TALVEN KULUMA (cm2)																SUHT. KULUMISPINTA-ALA ref. massojen ka. = 1												URASYVYDET (mm)											
					90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	90-93	90-94	90-95	90-97	90-93	90-94	90-95	S90	K91	S91	K92	S92	K93	S93	K94	S94	K95	S95	K96	S96	K97												
X/90	1	AB20/IV	120AH	8		44.3	68	31	29	38	30	35	35	128	165	195	265	0.97	0.98	0.98	0.9	1.9	2.1	4.2	4.5	6.5	6.6	9.4	11.8	12.1	14.4	17.3												
X/90	2	AB20/IV	120ECO	15		41.3	58	18	23	23	22	27	30	99	123	144	202	0.76	0.73	0.72	0.6	2.6	2.8	4.2	4.6	6.1	6.1	8.5	9.9	10.8	12.5	14.5												
X/90	3	AB20/IV	120LAG	15		38.1	46	26	24	21	19	20	38	96	117	137	195	0.73	0.70	0.68	0.7	1.8	2.3	3.3	3.9	5.5	5.3	7.3	8.1	9.1	10.1	11.5												
X/90	4	AB20/IV	120ECO	35		36.5	45	21	26	30	17	21	36	92	122	139	196	0.70	0.73	0.70	1.0	2.2	3.3	4.4	4.8	6.3	6.3	8.4	9.0	10.1	10.9	12.1												
X/90	5	AB20/IV	120LAG	35		32.8	49	18	27	23	19	18	35	94	118	136	190	0.72	0.70	0.68	1.0	1.9	2.2	2.8	3.6	4.3	4.2	5.4	5.9	6.9	7.9	9.0												
X/90	6	AB20/IV	120AH	8		45.2	64	35	35	37	33	19	43	134	171	204	267	1.03	1.02	1.02	0.9	2.2	2.8	4.9	5.3	7.0	7.3	9.5	11.6	12.4	13.7	15.7												
X/90	7	AB20/IV	120AH	8		43.9	74	41	46	34	29	25	42	162	195	225	292	1.06	1.05	1.03	1.6	3.5	3.8	6.2	6.5	8.8	8.7	10.9	13.2	13.8	16.3	18.6												
X/90	8	AB20/IV	120ECO	15	TARTUKE	40.7	71	24	28	26	28	23	31	123	149	177	231	0.81	0.80	0.81	1.7	2.5	3.1	4.5	5.0	5.7	5.9	7.3	8.6	9.3	10.7	12.1												
X/90	9	AB20/IV	120LAG	15	TARTUKE	37.0	52	27	29	32	27	23	27	108	140	166	217	0.71	0.75	0.76	2.1	3.1	3.4	5.1	5.6	7.1	6.9	9.2	10.4	11.1	13.5	15.0												
X/90	10	AB20/IV	120ECO	35	TARTUKE	34.3	51	28	27	26	30	19	23	107	133	163	206	0.70	0.71	0.75	1.9	2.7	3.5	4.7	5.4	6.5	6.6	7.9	9.2	10.3	11.4	12.9												
X/90	11	AB20/IV	120LAG	35	TARTUKE	32.7	46	23	21	23	24	21	21	90	113	137	179	0.59	0.61	0.63	2.1	2.1	3.0	3.7	4.9	5.2	5.6	6.4	7.4	9.0	10.0	10.8												
X/90	12	AB20/IV	120AH	8		45.3	63	45	35	34	36	30	50	143	177	213	293	0.94	0.95	0.97	1.6	3.1	4.0	6.2	6.8	8.8	9.1	11.5	14.0	15.4	17.5	20.4												
X/90	1	AB20/IV	120AH	8	KF5%	50.9	46	51	36	37	29			133	170	199		0.96	0.98	0.98	2.3	4.8	5.2	8.4	8.3	11.0	10.6	13.2	15.3															
X/90	2	AB20/IV	120AH	15	MAATAL.KAL	34.0	40	40	25	26	21			105	131	151		0.76	0.76	0.75	3.4	5.6	5.8	7.8	7.9	9.4	9.3	10.8	11.4															
X/90	3	AB20/IV	120AH	15	SAMM.KALKKI	36.3	35	45	21	24	22			101	126	147		0.73	0.73	0.73	2.4	3.4	3.9	5.6	5.8	7.0	6.5	7.9	9.4															
X/90	4	AB20/IV	120AH	15	MAGNESIITTI	36.5	30	35	28	25	25			92	117	143		0.67	0.68	0.70	1.7	3.5	4.0	5.7	6.1	7.6	7.6	8.6	10.2															
X/90	5	AB20/IV	120AH	8	KF5%	49.4	51	51	41	33				143	176			1.04	1.02		2.6	5.8	6.1	10.0	10.0	13.8	13.2	17.4																
X/90	6	AB20/IV	120AH	8	KF5%	46.5	57	32	55	40	26			144	184	210		1.11	1.10	1.08	1.6	3.8	4.1	7.0	7.0	9.5	9.2	11.8	13.7															
X/90	7	AB20/IV	120AH	15	KF/SP	41.9	33	34	31	25	25			98	123	148		0.75	0.74	0.76	1.8	3.1	3.2	4.9	4.9	6.4	6.1	7.5	9.0															
X/90	8	AB20/IV	120AH	15	SP100%	38.4	41	27	30	27	24			97	124	148		0.75	0.74	0.76	2.0	3.3	4.0	5.6	5.8	7.3	7.2	8.6	10.3															
X/90	9	AB20/IV	120AH	15	CB+KF+SP	34.4	51	28	26	30	21			105	135	156		0.81	0.81	0.80	2.4	4.0	4.5	6.1	5.9	7.3	7.3	8.6	10.0															
X/90	10	AB20/IV	120AH	8	KF5%	45.0	53	31	32	36	28			115	151	179		0.89	0.90	0.92	1.7	3.9	4.5	7.2	7.2	9.4	9.0	11.5	13.7															
XII/90	1	AB20/IV	120AH	8	8/8	39.7	39	42	29	25	36	21	21	110	135	171	212	1.03	1.04	1.01	1.1	1.6	2.1	3.9	4.0	6.0	5.7	7.0	9.9	11.1	12.4													
XII/90	2	AB20/IV	120AH	8	3/8	37.1	40	40	35	25	31	25	25	115	140	172	222	1.08	1.07	1.01	1.5	2.4	2.6	4.0	4.3	6.2	6.1	7.4	9.6	11.2	12.8													
XII/90	3	AB20/IV	120AH	8	S/M/HIEKKA	40.3	41	40	31	22	27	30	30	111	133	160	220	1.04	1.02	0.94	1.3	2.2	2.3	3.9	4.0	5.7	5.1	6.4	8.3	9.6	10.9													
XII/90	4	AB20/IV	120AH	8	3/25	36.0	37	36	37	21	37	17	17	110	131	168	202	1.03	1.00	0.99	2.4	3.6	3.8	5.4	5.3	7.0	7.0	7.8	9.9	11.2	12.6													
XII/90	5	AB20/IV	120AH	8	8/8	39.7	33	39	28	25	36	15	15	100	125	161	192	0.93	0.96	0.95	1.2	2.2	2.5	4.1	3.8	5.3	5.1	6.7	8.8	10.4	11.9													
XII/90	6	AB20/IV	120AH	8	25/25	39.5	44	47	35	25	33	28	28	127	153	185	241	1.19	1.17	1.09	1.3	2.3	2.7	4.3	4.3	6.2	6.1	7.1	9.0	10.6	12.1													
XII/90	7	AB20/IV	120AH	8	8/25	38.1	40	40	28	23	34	21	21	107	131	165	206	1.01	1.00	0.97	1.4	2.6	3.1	4.9	4.8	6.5	6.5	7.6	9.7	11.4	13.1													
XII/90	8	AB20/IV	120AH	8	8/HIEKKA	39.7	38	34	26	20	39	21	21	98	118	157	199	0.92	0.90	0.92	1.4	1.9	2.2	3.4	3.5	4.8	4.8	5.9	7.7	9.1	10.4													
XII/90	9	AB20/IV	120AH	8	3/HIEKKA	35.0	39	41	35	33	40	25	25	115	148	189	239	1.08	1.13	1.11	1.7	2.9	3.5	4.8	4.9	7.1	6.8	7.8	10.1	11.8	13.6													
XII/90	10	AB20/IV	120AH	8	8/8	38.9	39	38	33	21	37	17	17	111	132	169	202	1.04	1.01	0.99	1.9	3.4	3.8	5.4	5.2	7.0	6.8	8.1	10.4	12.0	13.7													
XII/90	11	AB20/IV	120AH	KS1		36.8	37	34	25	26	26	16	16	96	122	148	181	0.90	0.94	0.87	2.0	2.1	2.0	2.8	2.6	3.5	3.4	3.9	5.3	5.9	6.5													
XII/90	12	AB20/IV	120AH	KS1		35.6	36	34	24	24	21	18	18	93	117	138	175	0.87	0.90	0.81	1.7	2.0	2.0	2.8	2.6	3.5	3.2	3.8	4.7	5.3	5.9													





Tie osuus	massa- tyyppi	side- aine	kivi ASTO- nro	Muuta	SRK TALVEN KULUMA (cm2)																			SUHT. KULUMISPINTA-ALA			URASYVYYDET (mm)								
					ref. massojen ka. = 1																														
					90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	90-93	90-94	90-95	90-97	90-93	90-94	90-95	S90	K91	S91	K92	S92	K93	S93	K94	S94	K95	S95	K96	S96	K97			
IV/90	5	AB20/IV	120AH	8		42.1	49	56	28	31	40	28		133	165	205		0.92	0.92	0.92	1.5	2.4	3.1	5.5	5.5	7.1	7.2	9.4	9.9	11.6		13.9			
IV/90	6	ABE20	PmB1	27		42.0	33	62	31	40	38	25		126	165	203		0.86	0.92	0.91	1.5	1.9	2.2	4.0	4.1	6.3	5.8	8.1	8.7	9.9		12.8			
IV/90	7	SMA16	PmB1	27		40.9	56	61	35	43	44	31		151	195	238		1.04	1.08	1.07	2.0	2.8	3.4	5.9	5.8	8.5	8.5	11.3	11.7	13.9		17.3			
IV/90	12.1	ABE20	120ECO	27		46.2	52	68	30	49	42	27		149	199	241		1.03	1.10	1.08	2.3	3.1	4.1	6.1	6.4	9.2	9.1	12.4	13.1	15.3		18.4			
IV/90	12.2	ABE20	120ECO	27		46.2	56	83	35	50	41	28		175	225	265		1.20	1.25	1.19	1.5	2.0	2.3	4.8	4.7	6.4	6.5	9.4	10.3	12.5		15.1			
IV/90	13	AB20/IV	120ECO	24		28.0	33	54	19	25	33	21	20	107	132	165	206	0.73	0.73	0.74	2.0	1.7	2.5	4.0	4.3	5.3	5.3	6.4	7.6	8.3	10.0	11.1			
IV/90	14	AB20/IV	PmB1	24		23.8	27	70	18	25	28	17	15	115	140	168	200	0.79	0.78	0.76	1.9	1.7	2.1	3.1	2.9	3.7	3.8	4.6	5.3	6.0	7.1	7.8			
IV/90	15	ABE20	PmB1	24		22.0	27	60	13	25	19	23	9	100	125	144	176	0.69	0.70	0.64	2.1	2.0	2.3	2.7	2.5	3.3	3.3	3.6	4.4	4.5	6.1	6.3			
IV/90	16	AB20/IV	120AH	8		45.9	56	67	35	37	46	28	35	158	195	241	303	1.08	1.08	1.08	1.4	2.4	2.8	4.8	4.6	6.3	6.4	8.5	9.0	10.8	12.9	14.5			
IV/90	17	AB16	80AH+P	24	sideainesek.	34.2	30	51	18	28	26	26	14	99	127	153	193	0.68	0.71	0.69	1.1	1.1	1.6	2.4	2.4	3.5	3.5	4.6	5.3	5.5	7.4	7.9			
IV/90	1	AB20/IV	120AH	8		44.3	72	68	29	42	41	30	0	169	212	253		1.06	1.06	1.06	1.6	2.5	3.3	5.3	5.6	7.5	7.5	10.3	10.5	12.3	15.0				
IV/90	2	SMA16	PmB1	24		28.1	54	44	20	27	21	15	15	118	145	167	196	0.74	0.73	0.70	2.1	2.3	2.4	2.8	3.1	4.2	4.2	4.8	5.2	5.8	7.1	8.1			
IV/90	3	SMA16	120ECO	24		31.8	51	45	22	28	24	15	22	117	145	169	206	0.74	0.73	0.71	2.1	2.1	2.9	3.4	3.5	4.8	4.5	5.5	5.7	6.6	7.5	8.8			
IV/90	4	ABE20	120ECO	24		29.9	45	49	21	23	28	15	19	114	137	165	198	0.72	0.69	0.69	2.5	2.7	3.4	4.4	4.5	5.8	5.3	6.0	6.8	7.6	8.8	9.8			
IV/90	8	SMA16	120ECO	27		44.7	67	75	46	38				188	226			1.18	1.14	0.00	2.1	4.0	4.7	7.4	7.6	11.1	10.8	13.9	14.3						
IV/90	9	AB20/IV	120ECO	27		52.1	58	83	58	37				200	237			1.25	1.19	0.00	2.0	3.8	4.2	7.9	8.2	11.6	11.3	14.8	15.6						
IV/90	10	AB20/IV	PmB1	27		50.7	64	89	47	52				201	253			1.26	1.27	0.00	2.2	3.5	4.3	7.6	7.6	11.5	11.2	15.5	15.6						
IV/90	11	AB20/IV	120AH	8		43.3	45	72	32	37				149	186			0.94	0.94	0.00	1.7	2.9	3.6	5.5	5.4	7.8	7.5	10.0	10.6						
V/90	1	AB20/IV	120AH	8		49.1	55	57	39	38	28			151	189	217		0.92	0.92	0.89	1.4	2.5	2.2	4.1	4.1	5.9	6.4	8.0	8.4	10.6					
V/90	2	ABE20	PmB1	8		41.7	25	49	39	32	25			114	146	171		0.70	0.71	0.70	2.7	2.4	2.3	3.5	3.6	5.4	5.4	6.8	7.5	9.3					
V/90	3	ABE20	PmB3	8		38.1	27	48	35	33	25			110	144	169		0.67	0.70	0.69	3.3	2.9	2.5	3.6	3.9	5.7	5.6	7.5	7.8	9.5					
V/90	4	ABE20	PmB2	8		44.7	28	55	39	34	26			122	156	181		0.75	0.76	0.74	2.3	2.4	2.0	3.6	4.3	5.9	6.0	7.9	8.4	10.3					
V/90	5	ABE20	PmB4	8		38.9	46	48	28	34	27			121	155	183		0.74	0.75	0.75	1.8	1.9	1.6	2.7	3.3	4.3	4.5	5.7	5.9	7.6					
V/90	6	ABE20	PmB7	8		44.2	45	66	27	40	25			137	177	202		0.84	0.86	0.82	2.3	2.7	1.8	3.5	3.4	4.3	4.3	5.4	5.5	7.4					
V/90	7	ABE20	65AH	8		42.3	54	58	32	35	28			145	180	208		0.88	0.87	0.85	2.0	2.5	1.7	3.2	3.3	4.7	4.6	6.4	6.6	8.8					
V/90	8	ABE20	120AH	8		46.4	29	71	29	39	27			129	168	195		0.79	0.81	0.80	2.5	2.1	2.1	3.8	3.6	5.9	5.9	7.9	8.2	10.2					
V/90	9	ABE20	120ARC	8		46.8	26	71	27	34	29			123	157	186		0.75	0.76	0.76	1.8	2.0	2.0	4.1	4.0	6.1	6.1	8.0	8.6	10.7					
V/90	10	ABE20	200AH	8		46.9	31	71	33	38	28			135	173	201		0.83	0.84	0.82	2.0	2.4	2.3	4.5	4.5	6.8	6.5	8.6	9.6	11.4					
V/90	11	ABE20	120ECO	8		44.5	41	67	34	38	28			143	181	209		0.88	0.88	0.85	1.6	2.3	2.1	4.1	4.1	5.6	5.8	7.4	7.8	9.8					
V/90	12	ABE20	120LAG	8		41.0	58	67	36	33	33			161	195	228		0.99	0.94	0.93	2.0	2.2	1.8	3.8	3.5	4.5	4.6	6.0	6.3	7.9					
V/90	13	ABE20	MÖP	8	65AH + MÖP	40.3	39	63	34	37	37			137	174	211		0.84	0.84	0.86	1.8	2.4	2.1	3.9	3.9	6.0	5.8	7.7	8.3	10.0					
V/90	14	AB20/IV	120AH	8		45.4	40	86	50	47	49			176	223	272		1.08	1.08	1.11	1.3	2.8	2.9	5.9	6.3	9.6	9.2	12.1	12.5	15.4					
VI/90	1	AB20/IV	120AH	8		42.4	38	44	33	41	26			115	156	182		0.91	0.94	0.95	0.7	3.0	3.2	5.7	6.1	8.8	8.6	11.1	11.8	14.0					
VI/90	2	AB20/IV	PmB1	8		33.9	39	46	29	42	29			114	156	185		1.23	0.94	0.97	0.6	2.5	2.9	5.5	5.7	8.4	8.5	11.1	11.6	13.8					
VI/90	3	AB20/IV	PmB1	27		42.6	60	65	50	55	40			175	230	270		1.38	1.38	1.41	0.7	2.3	2.8	6.6	6.9	10.9	11.2	14.3	15.0	18.4					
VI/90	4	ABE20	PmB1	27		39.3	37	56	44	53	27			136	189	216		1.07	1.14	1.13	1.0	2.1	2.6	5.7	6.0	9.2	9.1	11.9	12.6	15.0					
VI/90	5	SMA16	PmB1	27		41.5	30	59	45	52	34			134	186	219		1.06	1.12	1.15	1.4	2.6	2.7	5.5	6.0	9.7	9.5	12.2	12.7	15.8					
VI/90	6	AB20/IV	PmB1	24		25.5	19	27	14	27	16			60	88	103		0.48	0.53	0.54	1.1	1.8	2.0	3.6	3.3	4.5	4.6	5.2	6.0	6.7					
VI/90	7	ABE20	PmB1	24		24.5	18	29	19	31	14			67	97	111		0.53	0.58	0.58	0.8	2.1	2.0	3.1	2.3	3.2	3.0	3.8	4.0	4.6					
VI/90	8	SMA16	PmB1	24		23.6	20	23	22	28	17			65	93	110		0.51	0.56	0.58	1.5	1.6	1.8	3.4	2.8	3.9	3.6	4.5	5.3	5.9					
VI/90	9	AB20/IV	120AH	8		43.9	47	58	33	38	23			139	177	200		1.09	1.06	1.05	1.7	2.9	3.6	7.2	6.4	9.0	8.8	10.9	11.8	14.1					
VI/90	10	AB20/IV	120AH	8		42.5	63	59	47	44	37			169	213	251		1.07	1.06	1.06	2.0	3.8	4.8	9.4	8.7	12.0	11.9	15.1	15.6	18.4					
VI/90	11	SMA16	120ECO	24		27.1	37	23	21	28	19			80	109	127		0.50	0.54	0.54	1.8	2.4	3.3	6.0	5.1	5.6	5.8	6.3	7.4	8.1					
VI/90	12	ABE20	120ECO	24		26.6	31	32	26	25	23			88	114	137		0.56	0.57	0.58	1.4	2.8	4.4	6.6	6.4	7.6	7.4	8.2	9.7	10.2					
VI/90	13	AB20/IV	120ECO	24		29.4	39	52	27	29	21			117	146	167		0.74	0.73	0.71	1.1	3.3	5.4	8.6	8.3	9.8	9.6	10.9	13.0	13.8					
VI/90	14	SMA16	120ECO	27		46.0	62	85	69	57	44			215	272	316		1.35	1.36	1.34	0.9	3.6	5.1	10.7	10.3	14.3	14.2	18.3	19.5	23.2					
VI/90	15	ABE20	120ECO	27		41.8	65	69	55	63	42			190	253	295		1.19	1.26	1.25	1.6	3.4	5.0	9.9	9.8	13.9	13.6	17.8	18.5	22.3					
VI/90	16	AB20/IV	120ECO	27		47.8	81	93	61	75				236	311			1.48	1.55		2.0	3.6	5.1	11.0	10.5	15.6	15.5	20.0	21.3						
VI/90	17</																																		

Tie osuus	massa- tyyppi	side- aine	kivi ASTO- nro	Muuta	SRK TALVEN KULUMA (cm2)																SUHT. KULUMISPINTA-ALA ref. massojen ka. = 1											URASYVYYDET (mm)												
					90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	90-93	90-94	90-95	90-97	90-93	90-94	90-95	S90	K91	S91	K92	S92	K93	S93	K94	S94	K95	S95	K96	S96	K97												
I/89	3		3		23.3	84	Talvet 89-91																											8.6										
I/89	6		6		26.1	90																												8.2										
I/89	8		8		30.7	110																												10.7										
I/89	10		10		38.2	123																												7.2										
I/89	11		11		35.7	129																												14.0										
I/89	14		14		44.2	151																												12.6										
I/89	15		15		29.2	76																												5.7										
I/89	17		17		38.5	134																												9.4										
I/89	19		19		28.4	76																												8.0										
I/89	20		20		38.0	131																												11.5										
I/89	21		21		40.7	127																												16.0										
I/89	23		23		37.2	121																												14.1										
I/89	25		25		31.4	111																												14.7										
I/89	32		32		28.4	127																												12.2										
I/89	35		35		26.3	82																												13.7										
I/90	1	AB20/IV	120AH	8	45.4	79	80	103					261				0.95		2.7	7.0	6.8	14.1	13.8	22.0																				
I/90	2	ABE20	80AH	6	75%SEP+ARB	21.5	41	25	27	14			93	107			0.34		3.4	5.0	5.2	7.0	7.0	8.2	8.6	9.7																		
I/90	3	ABE20	80AH	6	ARBOCEL	20.4	27	24	30	15			80	95			0.29		2.3	3.7	3.8	5.9	6.0	7.5	8.4	9.5																		
I/90	4	ABE20	80AH	6	DACRON	22.4	40	21	26	19			87	106			0.32		2.9	4.8	4.9	6.8	6.6	8.6	8.5	10.0																		
I/90	5	ABE20	80AH	6	WOLMIX	21.3	40	26	28	20			94	113			0.34		2.5	3.6	3.6	5.4	5.7	7.2	7.5	8.6																		
I/90	6	SMA16	80AH	6	ARBOCEL	21.9	31	37	49	21			118	138			0.43		2.8	4.6	4.9	7.9	7.3	10.8	11.0	11.5																		
I/90	7	SMA16	80AH	6	DACRON	19.8	57	35	33	31			125	156			0.46		3.1	5.4	5.6	8.5	7.9	11.2	10.8	13.9																		
I/90	8	SMA16	80AH	6	WOLMIX	21.1	43	35	38	22			117	139			0.43		2.5	4.4	5.0	7.3	7.3	10.0	10.1	12.1																		
I/90	9	AB20/IV	120AH	8		43.9	94	90	103				287				1.05		2.0	6.6	6.6	14.6	13.9	22.9																				
I/90	10	ABE20	80AH	6	75%SEP+ARB	20.1	46	23	20	19			90	109			0.33		2.2	3.8	3.3	5.0	5.3	6.6	6.8	7.8																		
II/90	1	AB20/IV	120AH	8		43.1	101	101					202				0.72	0.00	3.3	7.6	9.3	17.9	18.2																					
II/90	2	AB20/IV	120LAG	6		31.4	63	49	60				172				0.61	0.00	4.4	5.4	7.0	10.1	10.4	12.9																				
II/90	3	AB20/IV	PmB1	6		23.0	59	41	56	35			156	191			0.56	0.50	3.4	4.7	5.4	8.3	8.3	12.3	11.5	14.6																		
II/90	4	ABE20	80LAG	6		21.6	67	34	19	23			120	143			0.43	0.38	5.1	4.4	5.9	8.6	8.9	11.8	11.7	13.6																		
II/90	5	ABE20	PmB1	6		20.1	59	30	35	20			125	145			0.44	0.38	2.8	3.6	4.1	5.9	6.1	8.2	7.9	9.6																		
II/90	6	SMA16	PmB1	6	Saksalikäyrä	21.2	60	45	39	21			144	166			0.51	0.44	2.3	3.8	4.7	8.4	7.9	11.8	11.2	13.9																		
II/90	7	SMA16	PmB1	6		20.1	60	47	41	19			148	168			0.53	0.44	2.7	4.3	4.9	7.7	7.7	10.6	10.3	12.6																		
II/90	8	SMA16	80AH	6	gilsoniitti	22.8	63	44	38	19			145	164			0.52	0.43	1.9	3.3	3.6	6.2	6.1	8.1	8.1	10.3																		
II/90	9	AB20/IV	120AH	8		45.0	106	90	85				281				1.00	0.00	2.1	4.5	5.6	11.3	11.4	19.3																				
III/90	1	AB20/IV	120AH	8		46.2	73	106	86	75			265	340			1.16	1.14	2.7	4.9	6.0	10.7	10.9	16.7	16.7	21.5																		
III/90	2	ABE20	PmB2	24		29.4	59	56	30	23			145	168			0.63	0.56	3.0	3.9	4.7	6.0	6.4	7.9	8.1	9.3																		
III/90	3	ABE20	PmB3	24		21.8	45	66	29	25			141	166			0.61	0.55	2.1	2.7	3.3	4.9	4.7	6.0	6.1	7.3																		
III/90	4	ABE20	65AH	24		26.0	49	48	33	24			131	155			0.57	0.52	1.3	2.5	3.0	4.3	4.2	5.5	5.8	7.1																		
III/90	5	ABE20	120ARC	24		28.8	38	67	28	31			133	164			0.58	0.55	2.2	2.7	4.0	4.6	4.9	6.4	6.1	7.3																		
III/90	6	ABE20	120AH	24		28.7	38	55	35	33			129	161			0.56	0.54	3.3	3.3	4.6	5.9	5.6	8.0	7.9	9.0																		
III/90	7	ABE20	PmB4	24		24.0	41	68	25	23			134	157			0.58	0.53	1.7	1.8	2.6	3.6	3.5	5.0	5.1	6.3																		
III/90	8	ABE20	PmB7	24		25.9	31	84	25	23			139	163			0.61	0.54	1.6	1.8	2.9	4.4	4.4	5.7	6.3	7.9																		
III/90	9	ABE20	120ECO	24		27.9	47	88	31	30			166	196			0.73	0.66	2.0	1.8	3.1	4.8	5.0	6.3	6.5	8.4																		
III/90	10	ABE20	PmB1	24		23.8	40	52	23	19			115	135			0.50	0.45	1.6	1.6	2.2	3.2	3.0	4.1	4.1	4.8																		
III/90	11	ABE20	200AH	24		27.2	41	48	24	24			113	137			0.49	0.46	1.8	2.2	3.3	5.1	4.6	5.9	6.0	7.3																		
III/90	12	ABE20	120LAG	24		29.7	39	34	22	23			95	117			0.41	0.39	1.6	2.1	3.1	4.3	4.4	5.1	5.9	7.1																		
III/90	13	AB20/IV	120AH	8		40.1	64	82	47	66			193	258			0.84	0.86	1.6	3.8	4.8	9.1	8.7	13.8	13.8	20.1																		



## Ympäristö/vaikutukset

- TIEL 3200519 Yleisten teiden ympäristön tila. Kaupunkiseutujen pääväylät - Tilaselvitysten yhteenveto (TS 27/1998)
- TIEL 3200528 Moottoritien vaikutus Salminlahden linnustoon (TS 36/1998)
- TIEL 3200555 Ohikulkutie ja taajama (TS 9/1999)
- TIEL 4000185 Tielaitoksen ympäristön toimenpideohjelman 1997 - 2000 tarkistaminen. Tarkistamistarvetta koskevat kommentit (SJ 21/1998)
- Liikenne- ja autokantaennuste 1995-2020 - Ennusteen seuranta 1997 (SJ 22/1998)

## Tietekniikka

- TIEL 3200480 Kiviaineksen raemuodon vaikutus päällysteen kulutuskestävyyteen (TS 34/1997)
- TIEL 3200483 Kalkkikivijauheen laadun vaikutus asfalttipäällysteen ominaisuuksiin (TS 37/1997)
- TIEL 3200497 PAB-V-päällysteiden suunnittelu (TS 49/1997)
- TIEL 3200504 Asfalttipäällysteiden urautumisen mallintaminen. ASTO-koeteiden tulosten 1990 - 97 analysointi (TS 13/1998)
- TIEL 3200508 Hematiittifilleri SMA-päällysteessä. Työolosuhte- ja ympäristövaikutukset (TS 17/1998)

Hydraulisilla sideaineilla sidottujen materiaalien laadunvarmistus:

- TIEL 3200514 osa 1. Sementillä sidotut materiaalit - Kirjallisuusselvitys (TS 23/1998)
- TIEL 3200515 osa 2. Sementillä sidottujen materiaalien jäätymis-sulamiskestävyys (TS 24/1998)
- TIEL 3200516 osa 3. Koekappaleiden valmistuksen ja säilytyksen vaikutus sementillä sidotun materiaalin lujuuteen (TS 25/1998)
- TIEL 3200520 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Teiden pehmeikkötutkimukset (TS 28/1998)
- TIEL 3200527 Muovibitumikokeilut 1997 (TS 35/1998)
- TIEL 3200531 Liikennemerkkien tukien taipumaluokat prEN 12899-1 mukaan. Yleistä projektista - Tyyppisarjojen tukien rakennesuunnittelun tarkistus - Uudet taipumaluokat (TS 39/1998)
- TIEL 3200537 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Siltojen pohjatutkimukset (TS 1/1999)
- TIEL 3200539 Tiepenkereiden vetolujitteiden toiminta käyttötilassa (TS 47/1998)

Syvästabilointi Tielaitoksen kohteissa:

- TIEL 3200540 Osa 1: Toteutetut kohteet (TS 2/1999)
- TIEL 3200541 Osa 2: Laadunvalvontatutkimukset ja laadunvalvontien vaikutus (TS 3/1999)
- TIEL 4000192 Tien kantavan kerroksen suunnitteluratkaisun valinta (SJ 35/1998)
- TIEL 4000199 Selvitys tien häikäisysojista (SJ 5/1999)
- TIEL 4000200 Kelirikkoisen soratien kantavuuden parantamismenetelmiä. Bitumistabilointi ja raudoitettu murske. Loppuraportti. (SJ 6/1999)
- TIEL 4000201 Teiden talvihoidon yhteiskunnalliset vaikutukset. Yhteenveto tehdyistä selvityksistä. (SJ 9/1999)



## Tie- ja liikennetekniikka -yksikön julkaisuja 1998-1999

### OHJEET JA LAATUVAATIMUKSET

TIEL 2110013	Maaston ja kallion muotoilu - Maisemaohje
TIEL 2110014	Läjitysalueen suunnittelu - Läjitysalueohje
TIEL 2130016	Kevyen liikenteen suunnittelu
TIEL 2140009	Teiden suunnittelu V. Tiehen kuuluvat laitteet 5. Reunatuot
TIEL 2140010	Taajamapäälysteet ja reunatuot
TIEL 2140011	Päälysteiden suunnittelu.
TIEL 2140013	Teiden suunnittelu V. Tiehen kuuluvat laitteet 3. Meluesteet
TIEL 2140014	Teiden suunnittelu V. Tiehen kuuluvat laitteet 4. Aidat
TIEL 2150002-98	Ympäristötieto ja tietolähteet tiensuunnittelussa
TIEL 2150003-98	Vihertöiden toteuttaminen tieympäristössä
TIEL 2150008	Luonnon monimuotoisuus ja tienpito - Tieluonnon hoito-ohjelma
TIEL 2180003	Tiesuunnitelman pohjatutkimukset
TIEL 2210010-98	TYLT: Kovat pintaverhoustyöt, sadevesikourut, reunatuot ja sorapinta
TIEL 2212400-98	TYLT: Viherrakenteet
TIEL 2212802-98	TYLT: Päälystystyöt
TIEL 2212809-98	TYLT: Murskaustyöt
TIEL 2230018-98	Teiden talvihoito - Laadun määrittely 1998
TIEL 2240002-98	Yleiset arvonmuutosperusteet: Murskaustyöt
TIEL 2243560-98	Päälystystöiden yleiset arvonmuutosperusteet.

### SELVITYKSIÄ (=TS) JA SISÄISIÄ JULKAISUJA (=SJ):

#### Liikennetekniikka

TIEL 3200473	Tavallisen ja leveäkaistaisen moottoriliikennetien liikennevirran ominaisuudet - Vt 12 Lahti - Uusikylä (TS 26/1997)
TIEL 3200486	Kevyen liikenteen arkkitehtuuri (TS 41/1997)
TIEL 3200487	Ohituskaistojen turvallisuus (TS 3/1998)
TIEL 3200489	Liikenneturvallisuustarkastus. - Länsiväylä Paasikiventie - Kekkosen tie - Teiskontie (TS 2/1998)
TIEL 3200490	Linja-autoliikenne: Linja-autoliikenteen palvelutasotekijät (TS 42/1997)
TIEL 3200491	Linja-autoliikenne: Esimerkkejä linja-autopysäkeistä ja etuisuusjärjestelyistä (TS 43/1997)
TIEL 3200492	Linja-autoliikenne: Liityntä- ja saattoliikennejärjestelyt (TS 44/1997)
TIEL 3200493	Kevyen liikenteen alikulkujen turvallisuus ja sujuvuus (TS 45/1997)
TIEL 3200494	Pyöräilijöiden liittymäonnettomuustyyppit ja liittymien ominaisuudet (TS 46/1997)
TIEL 3200495	Linja-autoliikenne: Liikkumisesteisten huomioon ottaminen pysäkkien suunnittelussa (TS 47/1997)
TIEL 3200526	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uusien tietyyppivaihtoehtojen vertailu. Vt 5 välillä Vehmasmäki-Hiitulanlahti (TS 34/1998)
TIEL 4000181	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Laajennetun T-liittymän välityskyky (SJ 2/1998)
TIEL 4000182	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Välityskyky- ja palvelutasotarkastelujen tutkimussuunnitelma (SJ 3/1998)
TIEL 4000186	Tasoliittymät - Turvasaarekkeella varustetun liittymän suunnittelu (SJ 23/1998)
TIEL 4000187	Kevyen liikenteen verkon tarveselvitys (SJ 24/1998)
TIEL 4000188	Vapaa tila ja suojaetäisyys - Selvitys kehittämistarpeesta (SJ 6/1998)

JATKUUTAKA KANNEN SISÄSIVULLA

ISBN 951-726-500-x  
ISSN 0788-3722  
TIEL 3200555504