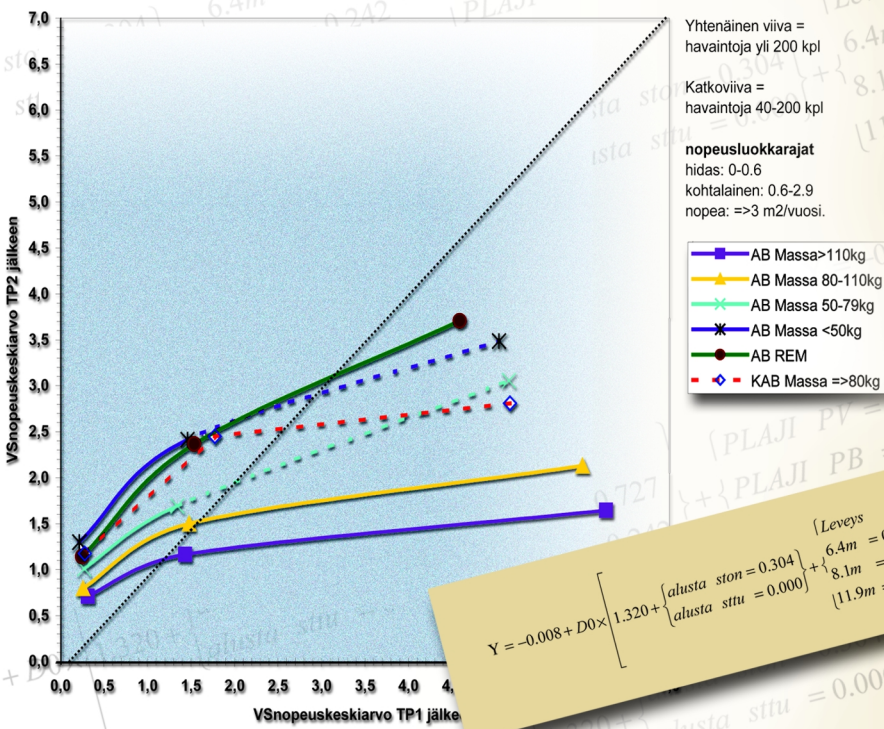


# Vaurioitumismallit kuntorekisteriaineistossa rakenteen suunnitteluohjeita varten (1999 - 2001)

Vauriosumman nopeuskeskiarvo ennen ja jälkeen TP2, kun TP1 = AB



$$Y = -0.008 + D0 \times \left[ 1.320 + \begin{cases} \text{alusta ston} = 0.304 \\ \text{alusta sttu} = 0.000 \end{cases} \right] + \begin{cases} 6.4m = 0.727 \\ 8.1m = 0.242 \\ 11.9m = 0.000 \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} \text{KVL R} \\ \text{PLAJI PV} = 0.895 \\ \text{PLAJI PB} = 0.656 \\ \text{PLAJI AB} = 0.000 \end{array} \right\} + \begin{cases} 34 \text{ ajon / d} \\ 111 \text{ ajon / d} \\ 279 \text{ ajon / d} \end{cases} + \begin{cases} \text{Etelä} = -0.076 \\ \text{Pohjoinen} = 0.000 \end{cases}$$



Tiehallinnon selvityksiä 79/2001

**Vaurioitumismallit kuntorekisteriaineistossa  
rakenteen suunnitteluohjeita varten  
(1999 - 2001)**

TIEHALLINTO

Helsinki 2001

Tiehallinnon selvityksiä 79/2001  
ISSN 1457-9871  
ISBN 951-726-841-6  
TIEH 3200725

Edita Oy  
Helsinki 2001

Julkaisua myy:  
Tielaitos, julkaisumyynti  
telefaksi 0204 22 2652  
e-mail [julkaisumyynti@tiehallinto.fi](mailto:julkaisumyynti@tiehallinto.fi)

TIEHALLINTO  
Tie- ja liikennetekniikka  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelinvaihte 0204 22 150

**Seppo Järvinen: Vaurioitumismallit kuntorekisteriaineistossa rakenteen suunnitteluohjeita varten (1999-2001).** Helsinki 2001. Tiehallinto, Tiehallinnon selvityksiä 79/2001. 80 s. +18 liitt. ISBN 951-726-841-6. ISSN 1457-9871. TIEH 3200725.

**Avainsanat:** Kurre, päällysrakenne, rakenteen suunnittelu, tien kunto, vaurioituminen  
**Aiheluokka:** 32, 70

## Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa on kehitetty kahden tyyppisiä malleja:

- 1) TP1 mallit rakennetuille teille, joilla ennustetaan tuleva vaurioitumiskehitys yhden toimenpiteen jälkeen. Näitä käytetään uuden tai raskaasti parannetun tien vaurioitumisen ennustamiseen. Esimerkkinä on vauriosummamalli ikäeksponentilla 1.4, kun pääselittäjänä on D0 (rakentamisen jälkeen).

$$VS = P \cdot ikä^{1.4} \times \left( -0.008 + D0 \times \left[ 1.320 + \left\{ \begin{array}{l} \text{alusta ston} = 0.304 \\ \text{alusta sttu} = 0.000 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Leveys} \\ 6.4m = 0.727 \\ 8.1m = 0.242 \\ 11.9m = 0.000 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{PLAJI PV} = 0.895 \\ \text{PLAJI PE} = 0.656 \\ \text{PLAJI AB} = 0.000 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{KVLR} \\ 34 \text{ ajon/d} = 0.000 \\ 111 \text{ ajon/d} = -0.083 \\ 279 \text{ ajon/d} = 0.577 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Etelä} = -0.076 \\ \text{Pohjoinen} = 0.000 \end{array} \right\} \right] \right)$$

- 2) TP2 mallit, joilla pyritään ennustetaan kunnostuksen vaikutus olemassa olevan tien vaurioitumisnopeuteen. Kaava on muotoa

$$VS \text{ (kunnostuksen jälkeen)} = P \cdot ikä^{1.4} * f(\text{kunnostustapa, edellinen VSnopeus, edellinen D0})$$

VS on vauriosumma, joka sisältää verkkohalkeamat (m<sup>2</sup>) ja muut halkeamat (m = 0.1...1 m<sup>2</sup>). TP1-mallissa P.ikä on päällysteen ikä rakentamisen jälkeen ja TP2-mallissa kunnostuksen jälkeen. Edellinen VSnopeus on kunnostamista edeltävä vaurioitumisnopeus ja se lasketaan kaavalla **VS/(P.ikä inventointihetkellä)<sup>1.4</sup>**. Tunnus 'alusta ston' tarkoittaa, että yksikerroksisen päällysteen alla on sitomaton kerros.

Vastaavat TP1-mallit on tehty myös IRI:lle sekä vähäliikenteisen tien uran itseisarvolle sekä poikittaiselle epätasaisuudelle. Viimeksi mainitut eivät ole kovin käyttökelpoisia.

Tässä tutkimuksessa on selvitetty kuntomuuttujan kasvua iän suhteen kaavan **X=a\*P.ikä<sup>p</sup>** mukaisesti. Vauriosummalle saatiin eri osa-aineistolla ja eri laskutavoilla eksponenteiksi 1.0, 1.4 tai 2.0. Muilla vauriotyypeillä eksponentti on 0.1...1.

Aineistona on Tiehallinnon kuntorekisteri, joka kattaa kaikki päällystetyt yleiset tiet. Suomessa on yleisiltä päällystetyiltä teiltä 450 000 kpl vaurio-, 480 000 kpl IRI- ja ura- ja 200 000 kpl pudotuspainolaitehavaintoa. Tässä tutkimuksessa voitiin käyttää TP1-mallien tekoon 14700 kpl 100-metrin havaintoja. TP2-mallien tekemisessä pystyttiin hyödyntämään 36000 kpl 100-metrin havaintoja.

**Seppo Järvinen: Vaurioitumismallit kuntorekisteriaineistossa rakenteen suunnitteluohjeita varten (1999-2001).** [Deficiency models based on Kurre-data for the guidelines to the design of road structure (1999-2001) ]. Helsinki 2001. The Finnish Road Administration. 80 p. + 18 app. ISBN 951-726-841-6. ISSN 1457-9871. TIEH 3200725.

**Keywords:** Kurre, structure of pavement, designing of structure, road condition, deterioration

## Abstract

Deficiency models based on Kurre-data for the guidelines to the design of road structure.

There have been developed two types of models on this study:

1. For constructed roads TP1 models that are used to predict the forthcoming damage development after one measure. These models are used in the prediction of the deficiency development for new or heavily reconstructed road. One model, for example, is sum of deficiency -model using exponential value of 1.4 for age variable and main predictor as D0 (after construction).

$$VS = P.ik\ddot{a}^{1.4} \times \left( -0.008 + D0 \times \left[ 1.320 + \left\{ \begin{array}{l} \text{alusta ston} = 0.304 \\ \text{alusta sttu} = 0.000 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Leveys} \\ 6.4m = 0.727 \\ 8.1m = 0.242 \\ 11.9m = 0.000 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{PLAJI PV} = 0.895 \\ \text{PLAJI PB} = 0.656 \\ \text{PLAJI AB} = 0.000 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{KVL R} \\ 34 \text{ ajon/d} = 0.000 \\ 111 \text{ ajon/d} = -0.083 \\ 279 \text{ ajon/d} = 0.577 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Etelä} = -0.076 \\ \text{Pohjoinen} = 0.000 \end{array} \right\} \right] \right)$$

2. TP2 models are aimed at to predict the effect of road maintenance action to the speed of deficiency of the road. The formula of this model is as follows.

$$VS \text{ (kunnostuksen jälkeen)} = P.ik\ddot{a}^{1.4} * f(\text{kunnostustapa, edellinen VSnopeus, edellinen D0})$$

VS means the sum of deficiency consisting of alligator cracks (m<sup>2</sup>) and other cracks (m=0,1-1 m<sup>2</sup>). The age of the pavement is P.ikä after construction in the TP1 model and after road maintenance action in the TP2 model. VSnopeus refers to the speed of deficiency before road maintenance action and it is calculated with the formula: **VSnopeus=VS/(P.ikä at the moment of observation)<sup>1.4</sup>**. 'Alusta ston' means that there is an unbounded layer under a single pavement layer.

There has been made similar TP1 models for IRI, absolute value of rut and transverse unevenness of low traffic volume roads. Model that was mentioned last is not very applicable.

The change of the condition variable with age has been studied in this study according to formula: **X=a\*P.ikä<sup>b</sup>**. The exponent value of the sum of deficiency got values of 1.0, 1.4 and 2.0 with different sub-datasets and calculation procedures. With other types of deficiency the exponent value varied between 0.1-1.

The road condition register of the Finnish Road Administration covering all paved public roads was used in this study. There are 450 000 deficiency observations, 480 000 IRI and rut observations and 200 000 falling weight deflectometer observations in the Finnish database of which 14 700 100-meter observations could be used for the calculation of TP1 models and 36 000 100-meter observations could be used for the calculation of TP2 models.

## **Esipuhe**

Tässä raportissa on tutkittu yleisten päällystettyjen teiden vaurioitumista KUR-RE-aineiston pohjalta.

Tarkastelussa tuotettuja vaurioitumismalleja on tarkoitus käyttää Tiehallinnossa tierakenteiden suunnitteluohjeen, laatuvaatimusten ja arvonmuutosperusteiden kehittämiseen. Saatuihin malleihin yhdistetään muiden tutkimusten tuloksia, jotka koskevat mm. sitomattoman kantavan kerroksen laadun ja toisaalta stabilointien vaikutusta tien vaurioitumisnopeuteen.

Raportin on kirjoittanut FM Seppo Järvinen Inframan Oy:stä ja työhön ovat osallistuneet asiantuntijapanoksellaan FT Antti Kanto Inframan Oy:stä sekä tilaajana DI Kari Lehtonen ja DI Tuomo Kallionpää Tiehallinnon tie- ja liikennetekniikkayksiköstä. Lisäksi työtä ovat ohjanneet DI Pertti Virtala ja DI Ismo Isoheiniemi Tiehallinnon tiestötietoyksiköstä.

Helsingissä, joulukuussa 2001

Tiehallinto  
Tie- ja liikennetekniikka





Tiivistelmä  
 Esipuhe

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	11
2	KÄYTETYT TUTKIMUSAINEISTOT	12
2.1.	Uuden tai kunnostetun tien aineisto, josta vaurioennuste tien ominaisuuksien perusteella (=TP1)	12
2.1.1.	Selittävien tekijöiden luokittelu	13
2.1.2.	Seurausmuuttujien määrittely	14
2.1.3.	Aineiston ongelmia	15
2.2.	Aineisto, josta vaurioennuste edeltävän vaurioitumisnopeuden ja kunnostustavan perusteella (=TP2)	17
2.2.1.	Selittävien tekijöiden luokittelu	18
2.2.2.	Seurausmuuttujien määrittely	19
3	MENETELMÄT	20
3.1.	Graafit	20
3.2.	Taulukot	20
3.3.	Sakkomallit (=yleistetty lineaarinen malli)	20
4	KUNTOMUUTTUJAN MÄÄRÄN KEHITYS IÄN FUNKTIONA	22
4.1.	Havainnot riippumattomia (ei aikasarja)	22
4.1.1.	Vauriosumma	23
4.1.2.	IRI	24
4.1.3.	Ura	25
4.2.	Havainnot riippuvia (aikasarja)	26
4.2.1.	Vauriosumma	27
4.2.2.	IRI	28
4.2.3.	Ura	29
4.3.	Yhteenvedo ikäeksponenttitutkimuksesta	30
5	VAURIOENNUSTE TIEN OMINAISUUKSIEN MUKAAN (=TP1)	31
5.1.	Vauriosumma	31
5.1.1.	D0-malli rakennetuille teille (potenssi=2)	31
5.1.2.	SCI300-malli rakennetuille teille (potenssi=2)	33
5.1.3.	D0-malli rakennetuille teille (potenssi=1.4)	35
5.1.4.	SCI300-malli rakennetuille teille (potenssi=1.4)	38
5.1.5.	D0-malli rakennetuille teille (potenssi=1)	40
5.1.6.	SCI300-malli rakennetuille teille (potenssi=1)	45
5.1.7.	Poikkeavat havainnot vauriosummamalleissa	48
5.1.8.	Rakentamattomien ja rakennettujen teiden vertailu	49
5.1.8.1.	Vauriosumman ikäeksponentti 2.0	50
5.1.8.2.	Vauriosumman ikäeksponentti 1.4	53
5.1.8.3.	Vauriosumman ikäeksponentti 1.0	56
5.1.8.4.	IRI:n kasvunopeus	59
5.1.9.	Muut tarkastelut	61

5.2.	Yhteenveto vauriomalleista tien ominaisuuksien perusteella (=TP1) rakennetuille teille	62
5.2.1.	Vauriosumman kasvunopeus	62
5.2.1.1.	Pääselittäjänä D0	62
5.2.1.2.	Pääselittäjänä SCI300	63
5.2.2.	IRI:n kasvumalli	64
5.2.3.	Uran itseisarvon kasvumalli	65
6	VAURIOENNUSTE EDELTÄVÄN VAURIOITUMISNOPEUDEN JA KUNNOSTUSTAVAN PERUSTEELLA (=TP2)	66
6.1.	Vauriosumma	66
6.1.1.	Vauriosummakuvat, joissa ei D0-luokitusta	67
6.1.1.1.	Vauriosumman nopeusmediaanit (Ikäeksponentti 1 ja mittausten ikä>3))	67
6.1.1.2.	Vauriosumman nopeuskeskiarvot (Ikäeksponentti 1 ja mittausten ikä>3))	68
6.1.1.3.	Vauriosumman nopeusmediaanit (Ikäeksponentti 1.4 ja mittausten ikä>3))	70
6.1.1.4.	Vauriosumman nopeuskeskiarvot (Ikäeksponentti 1.4 ja mittausten ikä>3)	71
6.1.2.	Vauriosummakuvat, joissa on D0-luokitus (ikäeksponentti 1.4)	73
6.2.	IRI-määrä	74
6.2.1.	IRI:n määräkeskiarvot (mittausten ikä >3 vuotta)	74
6.2.2.	IRI:n nopeuskeskiarvot (mittausten ikä >5 vuotta)	75
6.3.	Uran itseisarvon ja poikittaisen epätasaisuuden kasvu, kun KVL<800	77
6.3.1.	Poikittaisen epätasaisuuden määräkeskiarvot (mittausten ikä >3 vuotta)	77
6.3.2.	Uraitseisarvon nopeusmediaanit (mittausten ikä >5 vuotta)	79
6.4.	Yhteenveto vaurioennusteista edeltävän vaurioitumisnopeuden ja kunnostustavan perusteella (=TP2)	80
7	LIITTEET	
Liite 1.	Uuden tai kunnostetun tien vaurioaineiston kuvaus (=TP1)	
Liite 2.	Uuden tai kunnostetun tien IRI- ja ura-aineiston kuvaus (=TP1)	
Liite 3.	Uuden tai kunnostetun tien (=TP1) vaurionopeusjakaumia	
Liite 4.	Toimenpiteen vaikutusaineisto (=TP2)	
Liite 5.	Toimenpiteen vaikutusaineiston kuntomuuttujien kasvunopeudet	
Liite 6.	Uuden tai kunnostetun tien vaurioaineiston vauriosumma-komponenttitarkastelu	

## 1 JOHDANTO

Tässä esitettyjä vaurioitumismalleja on tarkoitus käyttää hyväksi Tiehallinnon laatimissa tien rakenteen suunnitteluohjeessa. Saatuihin malleihin yhdistetään muiden tutkimusten tuloksia, jotka koskevat sitomattoman kantavan kerroksen laadun ja toisaalta bitumistabiloinnin vaikutusta tien vaurioitumisnopeuteen.

Malleja on kahta tyyppiä.

- TP1 mallit, joilla ennustetaan tuleva vaurioitumiskehitys yhden toimenpiteen jälkeen. Näitä käytetään uuden tai raskaasti parannetun tien vaurioitumisen ennustamiseen.
- TP2 mallit, joilla pyritään ennustetaan kunnostuksen vaikutus olemassa olevan tien vaurioitumisnopeuteen.

Malleilla voidaan arvioida kuinka kauan kestää, että vauriomäärä saavuttaa määrätyn vauriomäärärajan. Malleilla pyritään selvittämään paljonko seuraava kunnostus aikaistuu ja paljonko tienpitäjän tulevat kunnostuskustannukset kasvavat, jos tien mitoituksessa tingitään. Tuloksia voidaan käyttää tien mitoituksen lähtökohtana ja arvonmuutoksia määritettäessä. Mallin antamaa vaurioitumisnopeutta voitaisiin käyttää myös laatuvaatimuksena alemman asteisilla teillä entisen tavoitekantavuuden sijaan. Tällöin urakoitsija saisi valita pidetäänkö vaurioitumisnopeus kurissa taipumaa pienentämällä vai muilla mallien tuntemilla parametreilla.

Vaurioitumismallit on laskettu vauriosummalle, IRI:lle ja (KVL<800 ajon/d teillä) uran itseisarvolle. Pääselittäjänä on TP1-malleissa taipuma.

## 2 KÄYTETYT TUTKIMUSAINIESTOT

### 2.1. Uuden tai kunnostetun tien aineisto, josta vaurioennuste tien ominaisuuksien perusteella (=TP1)

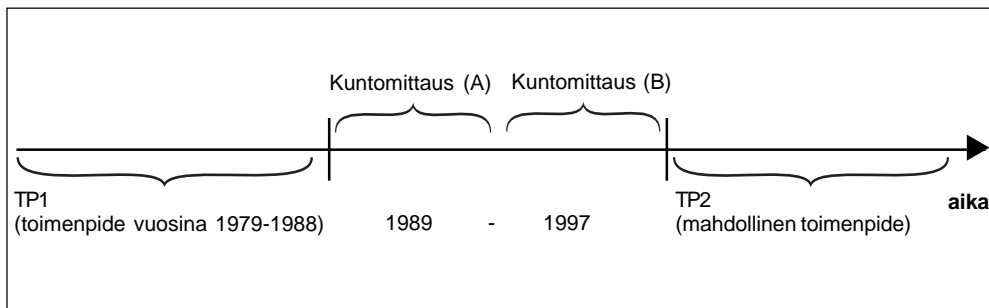
Aineistolla pyritään ennustamaan uuden tai raskaasti parannetun tien tuleva vauriokehitys. Aineistoon sisällytettiin tiet, joiden päällystäminen tai tekninen parannustyö on tehty vuosina 1979 - 1988. Samoilta tiekohteilta on kerätty kaksi kuntomittausta vuosilta 1989 - 1997.

Taipumatiedoista riittää että yksikin mittaus löytyy 100-metrin osuudelta. Tällöin taipumamittauksen on oltava vuosilta 1989 - 1997, ja enintään jälkimmäisen vauriomittauksen mittausvuodelta (näin mahdollinen TP1:n jälkeinen toimenpide ei sekoita havaintoja).

Aineiston taipumat D0:aa lukuunottamatta ovat lämpötilakorjaamattomia. D300 on laskettu VTT:n kaavalla

$$d300=2.426+0.384*d200+0.864*d450-0.229*d600.$$

SCI300 taipumaero on siten D0-D300, jossa D300 on laskettu em. kaavalla. Päällysteen leveys tieosalle x on nimenomaisen osan keskimääräinen leveys pyöristettynä pyöristyssäännön mukaisesti.



Kuva 1. Uuden tai kunnostetun tien aineiston periaate.

Aineiston keskeisten muuttujien jakaumat on esitetty luvuissa liitteissä 1-3.

### 2.1.1. Selittävien tekijöiden luokittelu

Tien rakennetietoja pyritään kuvaamaan hallinnollisen- ja teknisen toimenpiteen avulla seuraavasti:

- 1) Tie on **rakentamaton**, jos sen hallinnollinen toimenpide on
  - yksityistien muuttaminen maantiekseksi
  - yksityistien muuttaminen paikallistiekseksisekä teknisenä toimenpiteenä ainoastaan kevyt rakenteen parantaminen.
- 2) Tie on **rakennettu**, jos sen teknisenä toimenpiteenä on ainoastaan rakentaminen (uusi tieyhteys).
- 3) Tie luokitellaan rakennetyypiltään **muu-luokkaan**, jos sen hallinnollista toimenpidettä
  - ei tunneta
  - tai se on jokin muu kuin rakentamattoman tien määrittelyissä on esitetty

**JA SAMANAIKAISESTI** tien tekniselle toimenpiteelle pätee, että

  - toimenpidettä ei tunneta
  - toimenpiteenä on suuntauksen parantaminen tai raskas rakenteen parantaminen.

### Oheisten ehtojen mukaan on muodostettu homogeenisia osaryhmiä.

- a) **KVL:** <800, 800 - 1500, yli 1500
- b) **KVL\_R (raskaan liikenteen määrä):** <80, 80-149, yli 150
- c) **Toimenpide TP1:**
  - 1 Ab + ston (kun menetelmänä on 11 eli ensimmäinen kulutuskerros)
  - 2 Ab + Muu (kun menetelmänä on jokin muu kuin ensimmäinen kulutuskerros)
  - 3 Pab-b + ston (kun menetelmänä on 11 eli ensimmäinen kulutuskerros)
  - 4 Pab-b + Muu (kun menetelmänä on jokin muu kuin ensimmäinen kulutuskerros)
  - 5 Pab-v/o + ston (kun menetelmänä on 11 eli ensimmäinen kulutuskerros)
  - 6 Pab-v/o + Muu (kun menetelmänä on jokin muu kuin ensimmäinen kulutuskerros)
- d) **Tiealue:** Pohjoinen+koillinen (piirit 8, 9, 10, 12 ja 14),  
Etelä ja lounas (piirit 1, 2, 3 ja 4)
- e) **D0B-taipuma:** alle 500, 500-1000 ja yli 1000

- f) **D900B-taipuma:** alle 80, 80-179 ja 180-
- h) **Päällystenleveys:** alle 6m, 6-7.4m, 7.5m - 8.8 m, 8.9m - 10m, 10.1m-
- j) **Rakennetyyppi:** rakentamaton, rakennettu tai suuntausparannettu, muu
- k) **HavaintoikäB:** 0-4 v., 5-7 v., 8-10 v., yli 10 v.
- l) **SCI300B taipumaero:** alle 200, 200-400 ja yli 400
- m) **Alusta:** sitomaton (=ensimmäinen kulutuskerros), sidottu (=muu).

### 2.1.2. Seurausmuuttujien määrittely

Vaurionopeus vauriosummalle ja verkkohalkeamien kasvunopeudelle määritellään seuraavasti:

TP1:n jälkeinen vauriosumman kasvunopeus

$$Vsnop_1 = \frac{Vauriosumma_B}{ikä_B^k}, \text{ missä } k=1, 1.4 \text{ tai } 2.0$$

ikä<sub>B</sub> = vähintään 4 vuotta.

$$Vernop_1 = \frac{Verkkohalkeama_B}{(ikä_B - 4)^k}, \text{ missä } k=1, 1.4 \text{ tai } 2.0$$

ikä<sub>B</sub> = vähintään 5 vuotta.

IRI:n kasvunopeus lasketaan

$$IRInop_1 = \frac{IRI_B - IRI_A}{(ikä_B - ikä_A)}, \text{ missä } IRI_B \geq IRI_A.$$

Uran kasvunopeus lasketaan

$$|Uranop|_1 = \left\{ \frac{|URA_B|}{ikä_B} \right.$$

### 2.1.3. Aineiston ongelmia

#### PVI-tiedonkeruun käytännöt

Tässä tutkimuksessa on pyritty ennustamaan vauriosumman, IRI:n ja uran kehittymistä erikseen valittujen selittäjien avulla. Ongelmia tähän työhön on aiheutunut

- 1) kuntotiloja tuottavien mittausmenetelmien sisäisestä epätarkkuudesta
  - a. Päällystevaurioiden tuotantomittauksessa vauriosumman mittausvirhe on useita kymmeniä prosentteja.
  - b. PTM-mittarilla tuotettujen IRI:n ja uran mittausvirhe on vähintään 10 prosentin tasoa. Peräkkäisissä IRI-mittauksissa on hyvin paljon aiheutonta epätasaisuuden pienenemistä. Tämä johtunee osin siitä, että tehtyjä korjaustoimenpiteitä on jäänyt kirjaamatta. Mittaustulosten sijaintitietous voi myös aiheuttaa epätarkkuutta peräkkäisiin IRI-arvoihin (matkamittauksen epäonnistuminen). Ura-arvojen epäloogisuuksiin voi olla yksi syy myös reunapainumat.
  - c. PPL-tiedot kerätään vain pistekohtaisesti siten, että yksi ainoa piste edustaa koko 100-metrin tiejaksoa (tai pidempää tieosuutta max=500m).
- 2) toinen epäkohta on, että esimerkiksi vauriotietojen tarkkaa sijaintia ei rekisteröidä. PTM-tiedot ovat aina kaistakohtaisia kun vauriotiedot koskevat koko ajorataa. PPL-tieto on aina yhden kaista pistekohtainen tieto. Tällöin tarkan syy-seuraussuhteen osoittaminen on melko mahdotonta tällä tavoin kerätystä aineistosta.

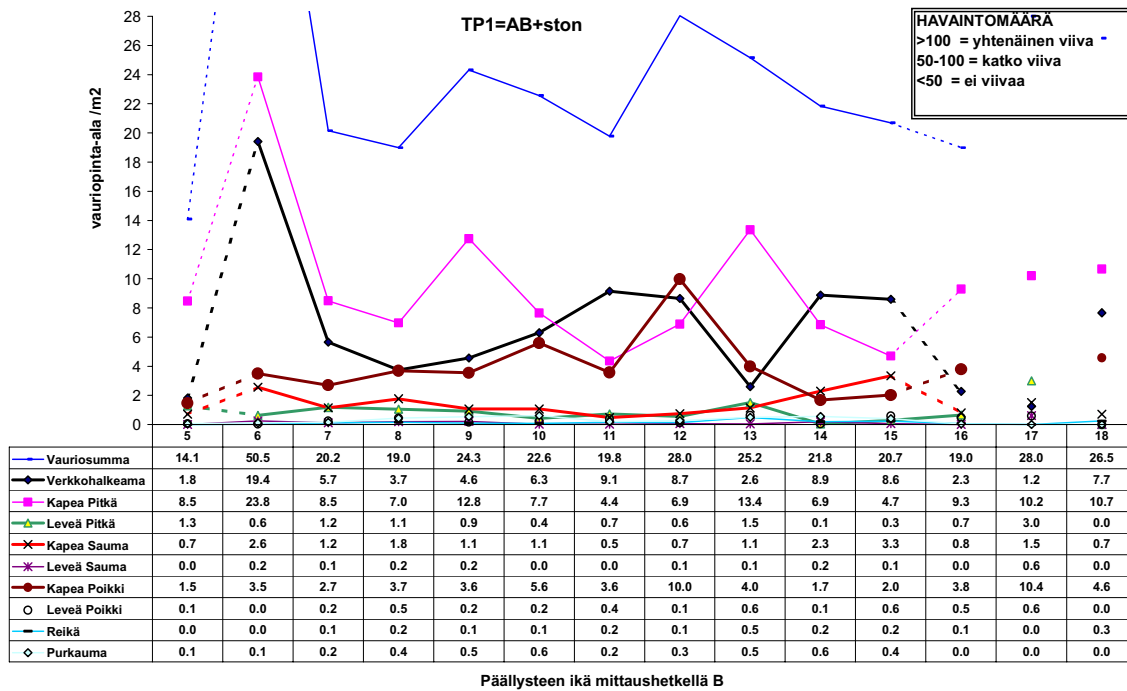
Parannusehdotuksena kohtien 1 ja 2 epäkohtiin olisi että hankitaan optinen PVI-laite, joka erittelee vauriokomponenttien sijaintitiedot. Toiseksi PPL-mittaukset olisi saatava jatkuviksi siten, että mittauspisteitä esimerkiksi 100-metrin tiejaksoilla olisi 10 kappaletta. Tässä tutkimuksessa on käytetty taipumatietoa vain sellaisilta 100-metrin tiejaksoilta, joilta se on mitattu.

**Tien kunnan rappeuma-aineiston (=TP1) tilastoyksikkönä on 100 metrin tieosuus.**

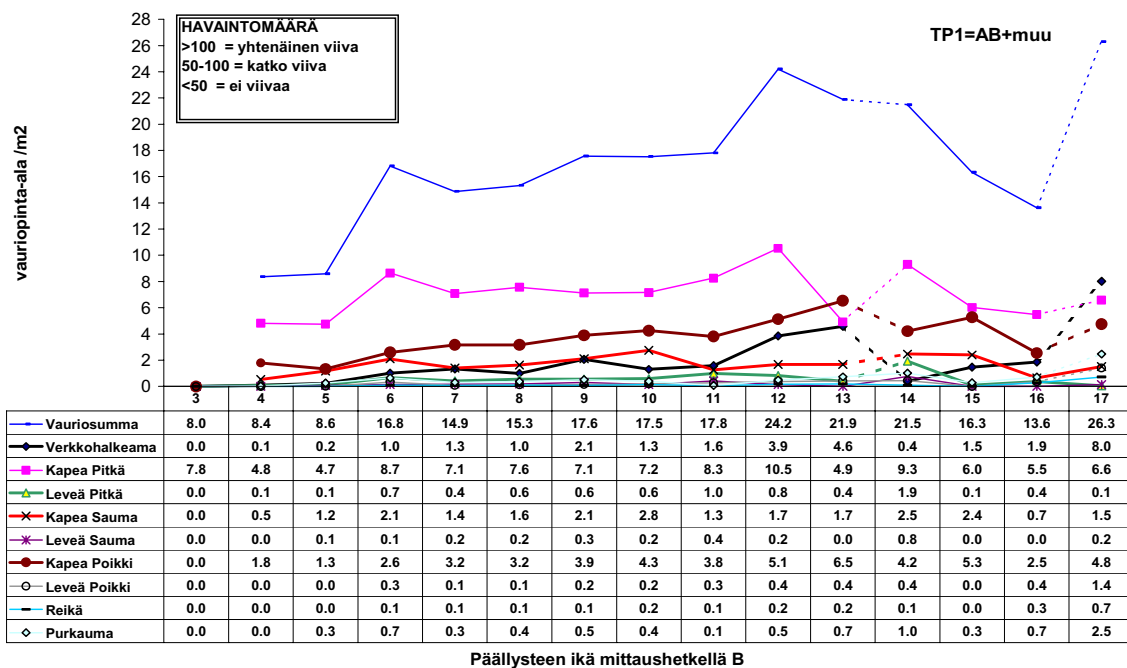
Vaurioinventointi tehdään yleensä tiestölle 3 vuoden välein. Tähän vaikuttaa kuitenkin suuresti tielle kohdistuva liikennesuorite: vähäliikenteisillä alemman luokan teillä käydään useammin mittaamassa päällystevauriot kuin vilkasliikenteisillä ylemmän luokan teillä. Niinpä voidaankin sanoa, että valta- ja kantateitä, jotka ovat yleensä AB-päällysteisiä -inventoidaan vain 6-7 vuoden ikäisinä ensimmäistä kertaa. PAB-päällysteiset tiet voidaan inventoida jo 3-4 vuoden ikäisinä, jolloin todennäköisesti esiintyy jo säästä aiheutuvia vaurioita.

AB-teiden tyyppivauriot ovat pääasiassa kapeita pituus- ja poikkihalkeamia. Vauriosummatasot ovat parin kymmenen neliön luokkaa. PAB-B teillä on jo pikkuisen verkkohalkeamia edellä mainittujen vauriotyyppien lisäksi. PAB-V-teillä on eniten verkkohalkeamia, toiseksi eniten kapeaa pituushalkeamaa ja jonkin verran reikiä sekä purkauksia.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eri päällystelajien ja alustatyyppien vauriotyyppikeskiarvot eri ikäisillä päällysteillä on esitetty liitteessä 1.

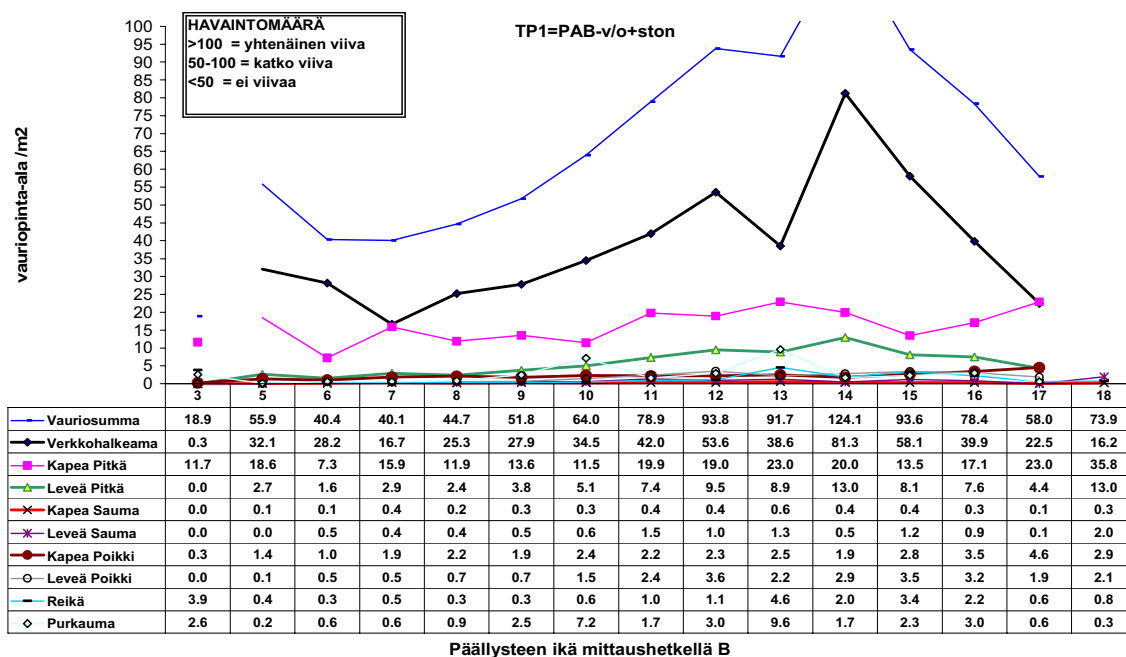


Kuva 2. Vauriosummakomponenttien keskiarvot eri ikäisillä päällysteillä, kun AB-tie ja sitomaton alusta. Kyseessä ei ole yhden tien kehitys vaan eri ikäisinä inventoitujen havaintojen keskiarvot. Viisi - kuusi vuotta vanhoina inventoitujen teiden joukossa on vain nopeasti vaurioituvia teitä, koska hitaasti vaurioituvia ei inventoida näin nuorina.



Kuva 3. Vauriosummakomponenttien keskiarvot eri ikäisten päällysteiden suhteen, kun AB-tie ja muu alusta. Kyseessä ei ole yhden tien kehitys vaan eri ikäisinä inventoitujen havaintojen keskiarvot. Yli 14-vuotiaita päällysteitä ei ole juurikaan inventoitu, koska ne on jo kunnostettu (suuren vauriomäärän vuoksi).



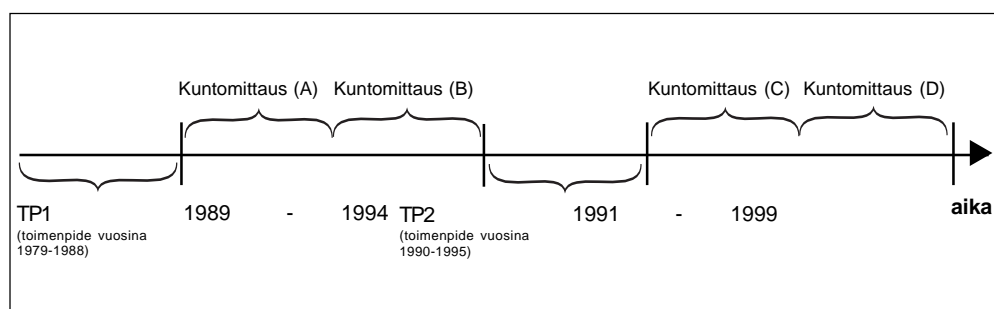


Kuva 4. Vauriosummakomponenttien keskiarvot eri ikäisten päällysteiden suhteen, kun PAB-V/O -tie ja sitomaton alusta. Kyseessä ei ole yhden tien kehitys vaan eri ikäisinä inventoitujen havaintojen keskiarvot. Viisi-kuusi vuotiaina inventoidaan yleensä vain nopeasti vaurioituneita teitä ja yli 14 vuotiaissa vain hitaasti vaurioituneita, koska nopeasti vaurioituneet on jo kunnostettu.

## 2.2. Aineisto, josta vaurioennuste edeltävän vaurioitumisnopeuden ja kunnostustavan perusteella (=TP2)

Aineistolla pyritään ennustamaan kevyen toimenpiteen vaikutus alkuperäiseen vaurioitumisnopeuteen. Aineistoon sisällytettiin tiet, joiden päällystäminen tai tekninen parannustyö on tehty vuosina 1979 - 1988. Samoilta tiekohtilta on kerätty enintään kaksi kuntomittausta edellisen toimenpiteen (=TP1) jälkeen. Kuntomittausten (A, B) jälkeen on tehty toimenpide vuosina 1990 - 1995 (=TP2). Toimenpiteen TP2 jälkeen on vielä enintään kaksi kuntomittausta (C, D).

Aineiston kaikki taipumat ovat lämpötilakorjattuja.



Kuva 5. Aineisto, jossa toimenpidettä edeltävä ja seuraava vaurionopeus tiedossa.

Aineiston minimiehto on, että mittaukset B ja D löytyvät. Keskeisten muuttujien jakaumat on esitetty liitteessä 4.

### 2.2.1. Selittävien tekijöiden luokittelu

#### Oheisten ehtojen mukaan on muodostettu homogeenisia osaryhmiä.

- a) **KVL:** <800, 800 - 1500, yli 1500
- b) **KVL\_R (raskaan liikenteen määrä):** <80, 80-149, yli 150
- c) **Toimenpide TP1:** AB, PAB-B, PAB-V/o.
- c) **Toimenpide TP2:**
- 1 Ab + LTA + massa >110 kg
  - 2 Ab + LTA + massa 80-110 kg
  - 3 Ab + LTA + massa 50-79 kg
  - 4 Ab + LTA + massa <50 kg
  - 5 Ab + REM
  - 6 PAB-B + LTA + massa =>80kg
  - 7 PAB-B + LTA + massa < 80 kg
  - 8 PAB-B + Karhinta + massa => 50 kg
  - 9 PAB-B + Karhinta + massa < 50 kg
  - 10 PAB-V/o + Karhinta + massa =>40 kg
  - 11 PAB-V/o + Karhinta + massa <40 kg
  - 12 PAB-V/o + LTA + massa => 80 kg
  - 13 PAB-V/o + LTA + massa < 80 kg
- d) **Tiealue:** Pohjoinen+koillinen (piirit 8, 9, 10, 12 ja 14),  
Etelä ja lounas (piirit 1, 2, 3 ja 4)
- e) **D0D-taipuma:** alle 500, 500-1000 ja yli 1000
- f) **D900D-taipuma:** alle 80, 80-179 ja 180-
- h) **Päällysteenleveys:** alle 6m, 6-7.4m, 7.5m - 8.8 m, 8.9m - 10m, 10.1m-
- j) **Rakennetyyppi:** rakentamaton, rakennettu tai suuntausparannettu, muu
- k) **HavaintoikäD:** 0-4 v., 5-7 v., 8-10 v., yli 10 v.
- l) **SCI300B taipumaero:** alle 200, 200-400 ja yli 400
- m) **Alusta:** sitomaton (=ensimmäinen kulutuskerros), sidottu (=muu).
- n) **Vsnop<sub>1</sub>** TP1 jälkeinen vauriosumman kasvunopeus
- o) **IRInop<sub>1</sub>** TP1 jälkeinen IRI:n kasvunopeus
- p) **Uranop<sub>1</sub>** TP1 jälkeinen uran kasvunopeus

## 2.2.2. Seurausmuuttujien määrittely

Vaurionopeus vauriosummalle ja verkkohalkeamien kasvunopeudelle määritellään seuraavasti:

TP2:n jälkeinen vauriosumman kasvunopeus

$$Vsnop_2 = \frac{Vauriosumma_D}{ikä_D^k}$$

,missä  $k=1.0, 1.4$  tai  $2.0$

$ikä_D =$  vähintään 4 vuotta.

$$Vernop_1 = \frac{Verkkohalkeama_B}{(ikä_B - 4)^k}$$

,missä  $k= 1.0, 1.4$  tai  $2.0$

$ikä_D =$  vähintään 5 vuotta.

Irin kasvunopeus lasketaan

$$IRInop_2 = \left\{ \frac{IRI_D - IRI_C}{(ikä_D - ikä_C)} \right.$$

,missä  $IRI_D \Rightarrow IRI_C$ .

Uran kasvunopeus lasketaan, kun  $KVL < 800$

$$|Uranop|_2 = \left\{ \frac{|URA_D - 2|}{ikä_D} \right.$$

Uuden tien alku-ura on 2 mm.

Poikittaisen epätasaisuuden kasvunopeus lasketaan, kun  $KVL < 800$

$$Petanop_2 = \left\{ \frac{PETA_D - 1}{ikä_D} \right.$$

,missä alku-arvona uuden tien osalta on käytetty 1 mm (Kevyt-tieprojekti).

### 3 MENETELMÄT

#### 3.1. Graafit

Tässä tutkimuksessa on käytetty pääosin keskiarvo- tai mediaaniprofiilikuvia. Jokaisessa kuvan pisteessä on takana tietty jakauma, jota kuvan piste esittää. Jos pisteen taustalla oleva jakauma on muodoltaan vino, niin on perusteltua esittää ja tulkita yhtäaikaan sekä mediaani että keskiarvokuvat. Optimitilanteessa keskiarvopisteet ja mediaanipisteet ovat täysin samat (=symmetrinen normaali-jakauma).

Graafien tehtävä on havainnollistaa käytettyä tutkimusaineistoa sekä testata tehtyjen tilastomallien järkevyyttä.

#### 3.2. Taulukot

Taulukot on tehty, samoin kuin graafitkin, tutkimusaineiston havainnollistamiseksi. Päätöksenteko ei saa perustua pelkkään taulukkoon, koska siinä esitetty informaatio on liian suppeaa. Taulukoista nähdään kätevästi aineiston havaintomääräkeskittymät ja mahdolliset alustavat vaurioiden ja tieolosuhde-tekijöiden syy - seuraussuhteet

#### 3.3. Sakkomallit (=yleistetty lineaarinen malli)

Sakkomalli on toiselta nimeltään yleistetty lineaarinen malli (=GLM), jossa valitut selittäjät joko lisäävät tai vähentävät selitettävän muuttujan Y keskimääräistä tasoa. Selittäjät voivat olla joko jatkuvia tai luokitettuja - kunhan ne ovat järjestysasteikollisia.

Regressiomallin ja sakkomallin yksi ero on siinä, että sakkomallissa luokitetun selittäjän luokkatason vaikutus vasteen Y keskimääräiseen arvoon ei tarvitse olla vakio. Seuraava esimerkki valaisee regressio- ja sakkomallin eroja.

$$Y_{\text{REG}} = \begin{cases} 1.4 \\ + 0.6 \times \text{Plaji} (AB=1, PAB=2, SOP=3) \\ + 0.09 \times \text{KVL\_R} (KVL\_R=1, KVL\_R=2, KVL\_R=3) \\ + 0.6 \times \text{SCI300} \end{cases}$$

Kaavan  $Y_{\text{REG}}$  mukaisesti mikäli tiellä olisi KVL\_R:n luokkatason 2 mukainen raskaan liikenteen määrä - sitä vastaava vaikutus Y-muuttujaan olisi  $2 \times 0.09$  eli 0.18 suuruista etumerkkeineen. Eli luokkatason muutos vaikuttaa vakio-muutoksen Y-muuttujan keskimääräiseen tasoon.

$$Y_{\text{sakko}} = \left\{ \begin{array}{l} -1 \\ + \left\{ \begin{array}{l} 0.0 \text{ (jos AB)} \\ 0.9 \text{ (jos PAB)} \\ 1.2 \text{ (jos SOP)} \end{array} \right. \\ + \left\{ \begin{array}{l} 0.0 \text{ (jos KVL\_R = 1)} \\ 0.04 \text{ (jos KVL\_R = 2)} \\ 0.32 \text{ (jos KVL\_R = 3)} \end{array} \right. \\ + 0.2 \times \text{SCI300} \end{array} \right.$$

Mallia tulkitaan siten, että jos selittäjiä ei oteta huomioon, vaurionopeus regressiomallissa olisi 1.4 m<sup>2</sup>/vuosi. Sitten tuohon vakioarvoon on lisättävä kunkin tieolosuhteen aiheuttama muutos keskimääräisessä nopeudessa. Esimerkiksi jos päällystelajina onkin SOP niin tällöin regressiokerroin 0.6 kerrotaan 3:lla (AB=0.6, PAB=1.2 ja SOP=1.8) ja päällystelaji SOP:n vaikutukseksi saadaan 1.8 m<sup>2</sup>/vuosi nopeuslisää. Tällöin vakion ja päällystelajin muodostama nopeusennuste olisi jo 3.2 m<sup>2</sup>/vuosi. Samalla tavalla kaikkien merkitsevien selittäjien vaikutus nopeuteen on additiivisesti laskettavissa riippuen toki muuttujan saamasta arvosta. Esimerkiksi jos sakkomallissa tiellä on raskaanliikenteen määrä luokkatasoa 2 vastaavaa - vaikuttaa ko. muuttuja selitettävän muuttujan Y keskimääräiseen tasoon vain 0.04 yksikön verran (vrt. regressiomallin vaikutus 0.18).

Regressiomallin päällystelajiluokasta toiseen siirtyminen muuttaa vaurionopeutta aina vakiohyppäyksen verran. Sakkomallissa näin ei tarvitse olettaa vaan muutoksen suuruus on täysin laskennallinen.

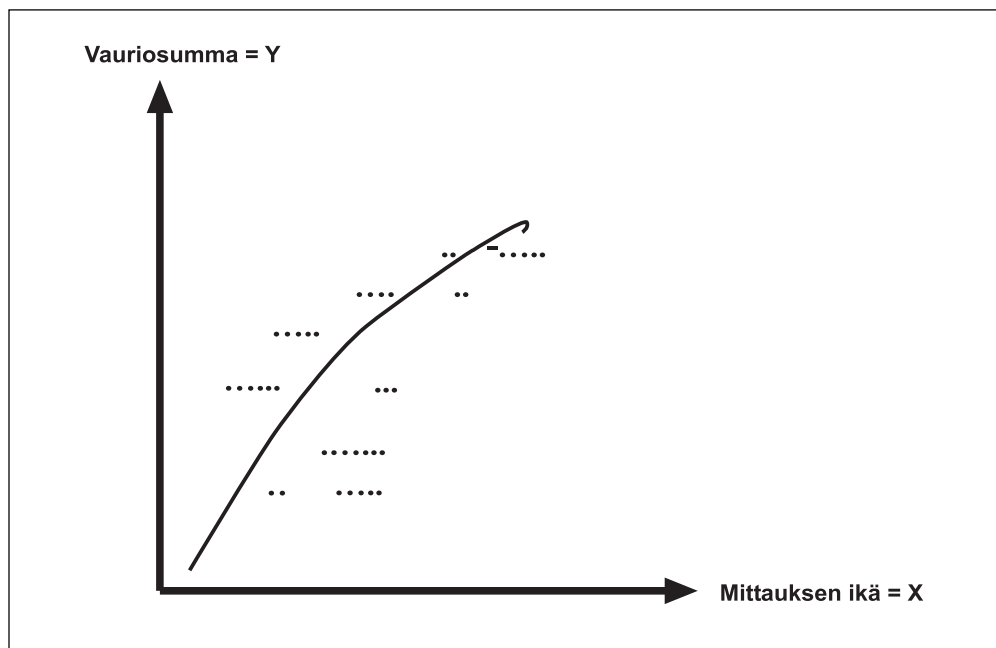
## 4 KUNTOMUUTTUJAN MÄÄRÄN KEHITYS IÄN FUNKTIONA

Eksponttiselvityksen tuloksia käytetään kuntomuuttujan nopeuskaavoissa (sekä TP1 että TP2 mallit).

Tämän luvun tarkoituksena on selvittää, mikä on kuntomuuttujan määrän kehitys iän funktiona: kiihtyykö vai hidastuu nopeus.

### 4.1 Havainnot riippumattomia (ei aikasarja)

Tässä luvussa esitetyssä aineistossa kaikki satametriset ovat toisistaan riippumattomia eli ikäfunktio sovitetaan pisteparveen, josta matemaattisen optimointiprosessin tuloksena saadaan parametrit  $a$  ja  $b$  ( $Y = a \times X^b + c$ ).



Kuva 6. Esimerkki pisteparvesta.

Aineistossa on siis samaan joukkoon sijoitettu eri teiden vaurioarviot ja inventoihetket, joiden perusteella lasketaan yhtälöstä

$$y = a \times \text{IKÄ}^b + c$$

,missä

$$c = \begin{cases} \text{vauriosummalle} = 0 \\ \text{IRI:lle} = 1.5 \\ \text{Uralle} = 2 \end{cases}$$

$y$  = kuntomuuttujan saama arvo  
 $a$  = kerroin  
 $b$  = ikäeksponentti

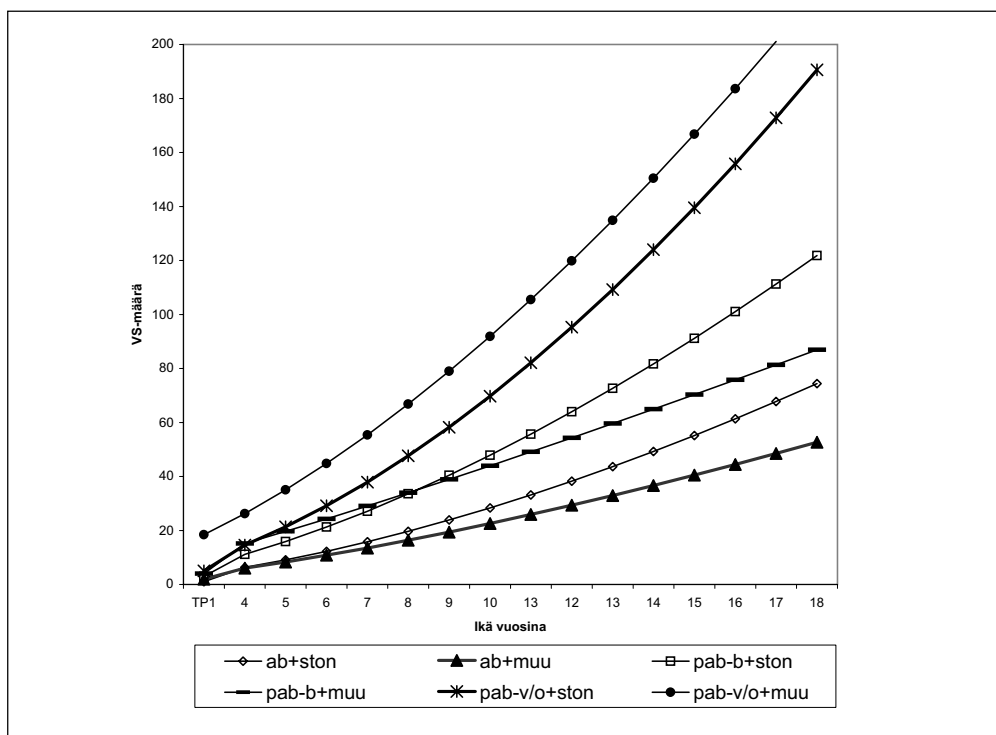
Yhtälöstä optimoidaan Gauss - Newtonin numeerisen menetelmän avulla parametrit a ja b.<sup>2</sup> Numeerinen menetelmä sopii mainiosti tilanteeseen, jossa funktio-  
muoto on tiedossa, mutta sen parametrit tuntemattomia.

IRI:n alkuarvona on käytetty 1.5:ttä ja uralla vastaavasti kahta milliiä.

#### 4.1.1. Vauriosumma

Taulukko 1. Vauriosumma eri ikäisinä inventoiduissa päällysteissä, kun käytetään TP1:stä luokittelijana  $(VS-0)=a \cdot IKÄ^b$ .

TP1	kerroin (95%ala;95%yläraja)	eksponentti (95%ala;95%yläraja)
ab+ston	0.65 (0.32;0,99)	1.64 (1.39;1.89)
ab+muu	0.82 (0.69;0,94)	1.44 (1.36;1.51)
pab-b+ston	1.23 (0.75;1.71)	1.59 (1.40;1.78)
pab-b+muu	3.04 (2.23;3,86)	1.16 (1.02;1.29)
pab-v/o+ston	1.36 (1.08;1.65)	1.71 (1.60;1.81)
pab-v/o+muu	2.03 (1.38;2.67)	1.59 (1.43;1.75)



Kuva 7. Vauriosumman määrä eri toimenpiteen suhteen. Inventointi-ikä keskittyy AB-teillä välille 4-13 vuotta ja PAB-B teillä 5-14 vuotta sekä PAB-V teillä 5-16 vuotta.

Kuvassa 7 on x-akselilla päällysteen ikä ja y-akselilla vauriosumman ennustettu määrä. Eri toimenpiteillä näyttäisi olevan pikkuisen eri alkuarvo vaurioitumiselle.

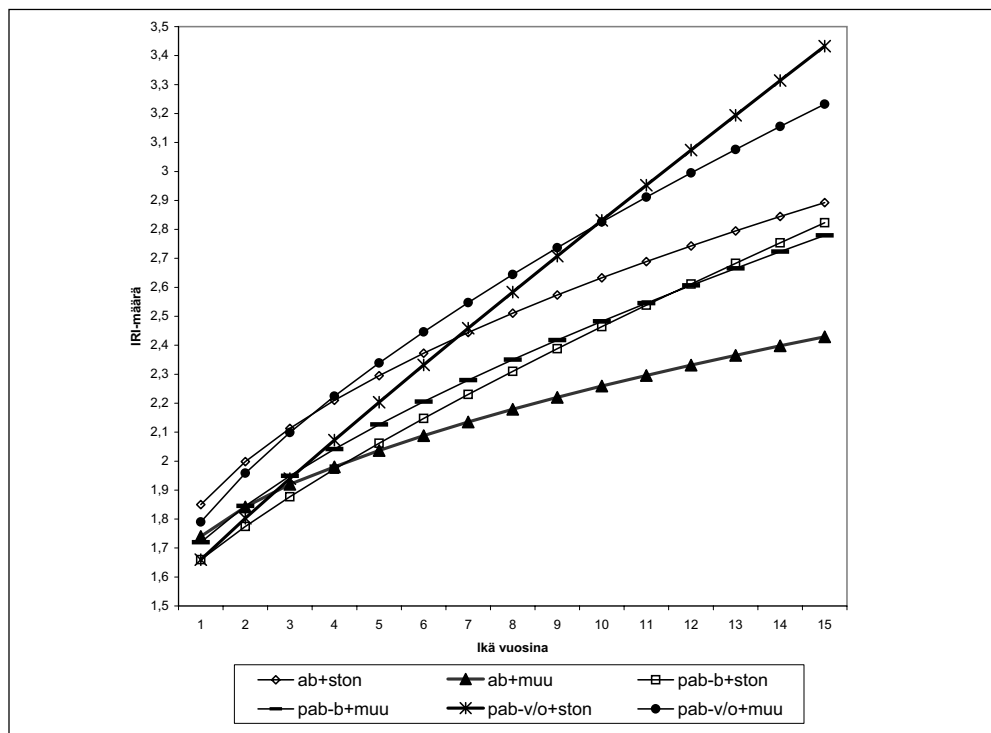
<sup>2</sup> SAS-manuaali vol 2.

On syytä muistaa, että aineistossa voi olla tekijöitä, joilla on vaikutusta vaurionopeuden funktiomuotoon iän suhteen: nuorena inventoidaan yleensä vain nopeasti vaurioituneita teitä ja vanhana vain hitaasti vaurioituneita, koska nopeasti vaurioituneet on jo kunnostettu.

#### 4.1.2. IRI

Taulukko 2. IRI eri ikäisinä inventoiduissa päällysteissä, kun käytetään TP1:stä luokittelijana ( $(IRI-1.5)=a*IKÄ^b$ ).

TP1	kerroin (95%ala;95%yläraja)	eksponentti (95%ala;95%yläraja)
ab+ston	0.35 (0.24;0.45)	0.51 (0.37;0.64)
ab+muu	0.24 (0.22;0.25)	0.50 (0.47;0.53)
pab-b+ston	0.16 (0.09;0.22)	0.78 (0.60;0.96)
pab-b+muu	0.22 (0.20;0.23)	0.65 (0.62;0.68)
pab-v/o+ston	0.16 (0.14;0.18)	0.92 (0.87;0.96)
pab-v/o+muu	0.29 (0.28;0.31)	0.66 (0.64;0.68)



Kuva 8. IRI:n määrä eri toimenpiteen suhteen.

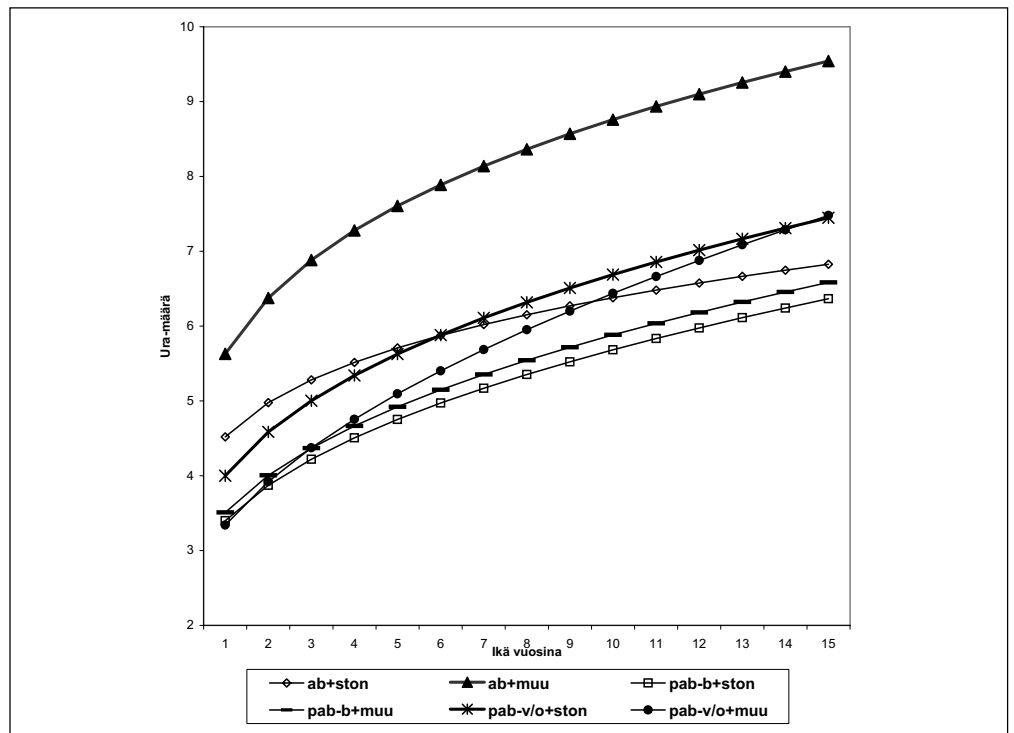
IRI:n kasvu on melkein lineaarista PAB-B ja PAB-V/o-teillä. AB-teillä IRI:n kasvu näyttäisi hidastuvan iän kasvaessa.



### 4.1.3. Ura

Taulukko 3. Ura eri ikäisinä inventoiduissa päällysteissä, kun käytetään TP1:stä luokittelijana (URA-2)= $a \cdot IKÄ^b$ .

TP1	kerroin (95%ala;95%yläraja)	eksponentti (95%ala;95%yläraja)
ab+ston	2.52 (1.91;3,13)	0.24 (0.12;0.36)
ab+muu	3.63 (3.55;3,70)	0.27 (0.26;0.28)
pab-b+ston	1.40 (0.80;2.00)	0.41 (0.21;0.61)
pab-b+muu	1.51 (1.40;1.62)	0.41 (0.38;0.45)
pab-v/o+ston	2.00 (1.67;2.34)	0.37 (0.29;0.44)
pab-v/o+muu	1.34 (1.24;1.44)	0.52 (0.48;0.55)

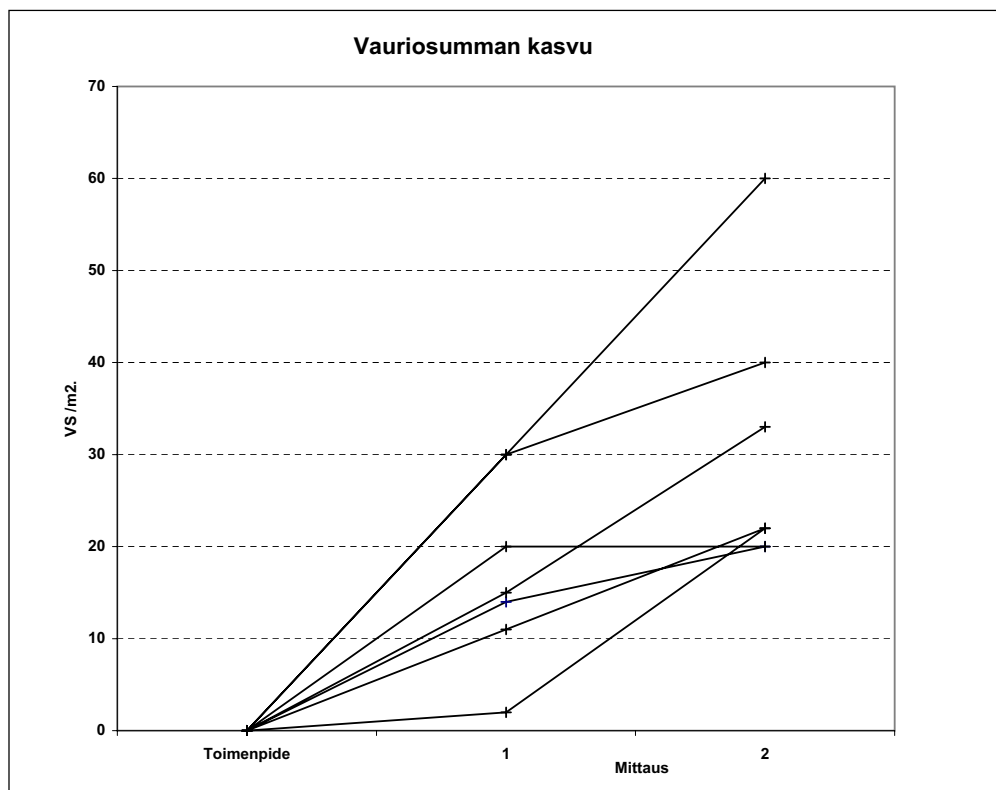


Kuva 9. Uran ikäfunktiot eri toimenpiteen suhteen. Uran kasvu hidastuu selvästi kaikilla toimenpiteillä iän kasvaessa.

Kuvan 9 tarkastelussa ei ole rajoitettu KVL:ää mitenkään. Myöhemmät tarkastelut koskevat vain teitä, joiden KVL<=800 ajon/d.

## 4.2 Havainnot riippuvia (aikasarja)

Tässä luvussa esitetyssä aineistossa tarkastellaan kerrallaan yhtä 100-metristä, jonka vauriot tunnetaan kolmelta hetkeltä (kunnostushetkellä tie on vaurioton). Tällöin saadaan jokaiselle tilastoyksikölle (100-metrin tiepätkä) oma kerroin ja eksponentti. Toimenpideluokittain valitaan sitten näistä tilastoyksiköittäisistä kertoimista ja eksponenteista niiden mediaanit (populaation tunnusluvuksi). Tällöin voidaan ehkä kohdata kuvassa 4 mainitut ongelmat.

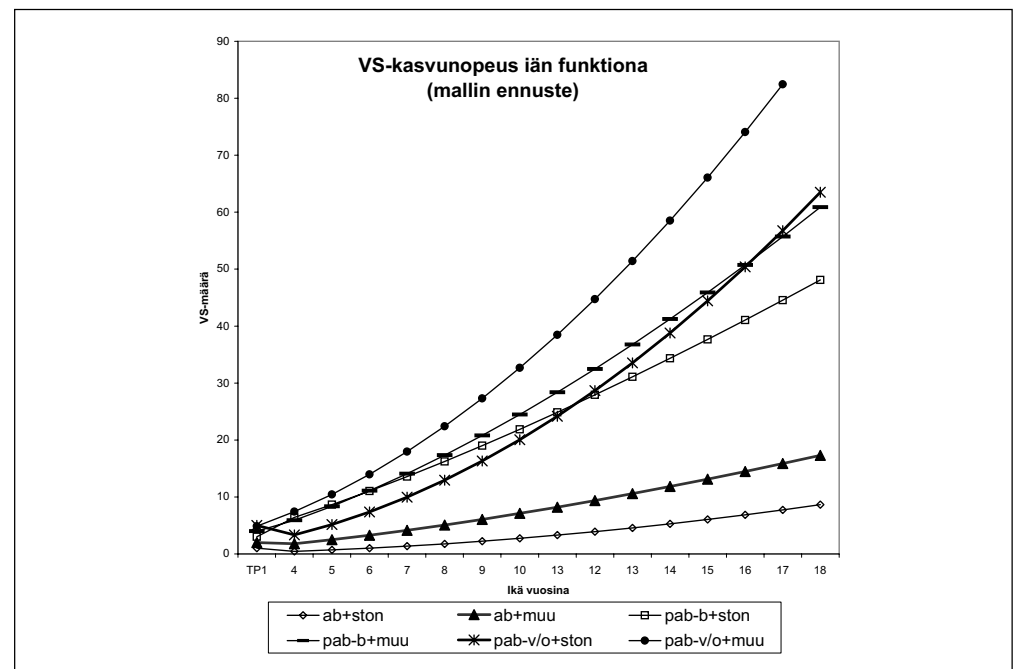


Kuva 10. Esimerkki aikasarja-aineistosta. Tässä kuvassa on 7 tietä, jotka kukin on mitattu kahdesti. Mittauspisteiden kautta piirretään paraabelit, joille lasketaan kertoimet 'a' ja eksponentit 'b'.

#### 4.2.1. Vauriosumma

Taulukko 4. Vauriosumman ikäsovitus kahden mittauksen kautta, kun ensimmäinen mittaus on vähintään 4 vuotta vanha.  $VS = a \cdot IKÄ^b$

EkspONENTTI 'b'						
TP1	N	Keski-hajonta	Keskiarvon 95 %:n alaraja	Keskiarvo	Keskiarvon 95 %:n yläraja	Mediaani
ab+ston	1464	1.83	2.15	2.25	2.34	1.96
ab+muu	9730	1.75	1.84	1.87	1.91	1.51
kab+ston	3098	1.94	1.78	1.85	1.92	1.34
kab+muu	2268	1.85	1.96	2.03	2.11	1.55
pab+ston	7987	2.49	2.48	2.53	2.59	1.96
pab+muu	2992	1.99	2.25	2.32	2.39	1.88
KerROIN 'a'						
TP1	N	Keski-hajonta	Keskiarvon 95 %:n alaraja	Keskiarvo	Keskiarvon 95 %:n yläraja	Mediaani
ab+ston	1464	1319.45	41.91	109.50	177.09	0.03
ab+muu	9730	634.31	74.81	87.41	100.02	0.22
kab+ston	3098	4913.43	438.99	612.01	785.03	1.00
kab+muu	2268	1988.93	324.32	406.17	488.03	0.69
pab+ston	7987	24472.35	559.06	1095.77	1632.48	0.22
pab+muu	7987	5516.48	433.03	554.01	675.00	0.36



Kuva 11. Vauriosumman ikäfunktiot eri toimenpiteen suhteen.

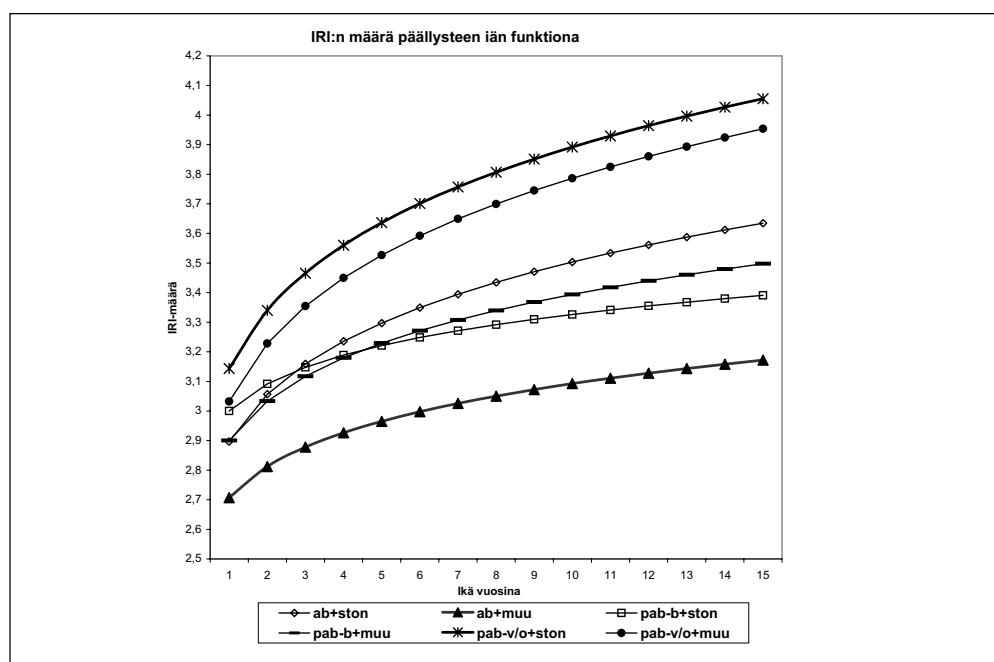
Kuvan 11 laskennassa on käytetty eksponentin **b** ja kertoimen **a** mediaania.

## 4.2.2. IRI

Osoittautuu, että sekä IRI:n kasvu että urautuminen hidastuu lievästi ajan kassaessa. Kuitenkin laskelmissa tätä ei tarvitse huomioida.

Taulukko 5. IRI:n ikäsovitus kahden mittauksen kautta.  $IRI = a * IKÄ^b$ .

EkspONENTTI 'b'						
TP1	N	Keskijajonta	Keskisarvon 95 %:n alaraja	Keskisarvo	Keskisarvon 95 %:n yläraja	Mediaani
ab+ston	1521	0.79	0.18	0.22	0.26	0.16
ab+muu	62410	0.96	0.25	0.26	0.27	0.12
kab+ston	1512	0.54	0.11	0.13	0.16	0.09
kab+muu	34806	0.65	0.21	0.21	0.22	0.13
pab+ston	18469	0.99	0.21	0.23	0.24	0.16
pab+muu	54811	0.68	0.27	0.27	0.28	0.17
KerROIN 'a'						
TP1	N	Keskijajonta	Keskisarvon 95 %:n alaraja	Keskisarvo	Keskisarvon 95 %:n yläraja	Mediaani
ab+ston	1521	15004.57				1.40
ab+muu	62410	-				1.21
kab+ston	1512	166.21				1.50
kab+muu	34806	128014.71				1.40
pab+ston	18469	-				1.64
pab+muu	54811	4974.89				1.53



Kuva 12. IRI:n ikäfunktiot eri toimenpiteen suhteen. Kuvan laskennassa on käytetty eksponentin  $b$  ja kertoimen  $a$  mediaania.

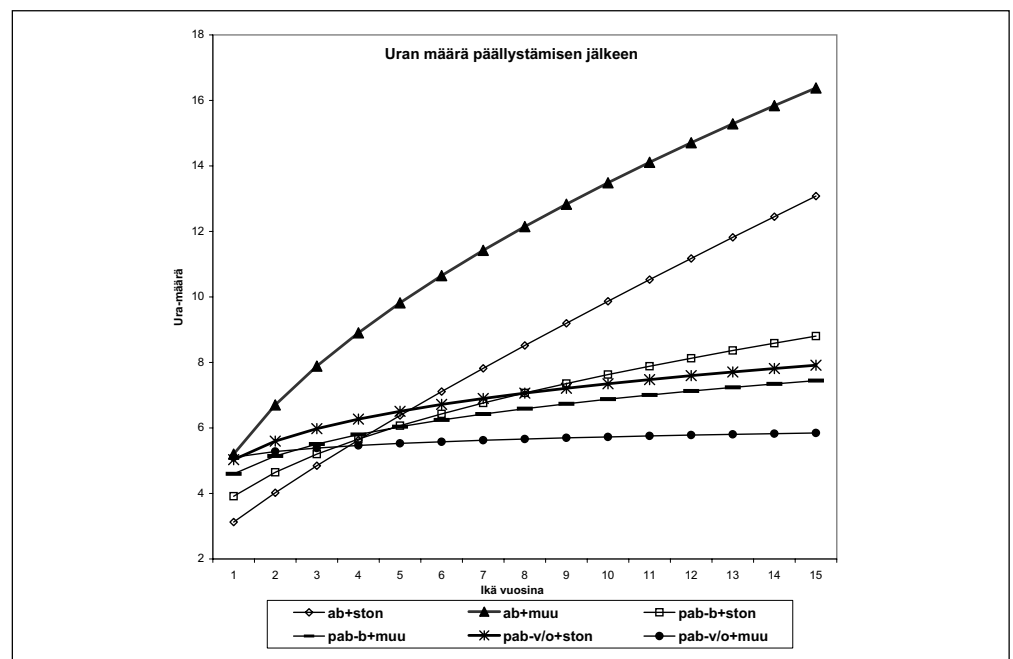
#### 4.2.3. Ura

Taulukko 6. Uran ikäsovitus kahden mittauksen kautta.  $Ura = a * IKÄ^b$ .

Eksponentti 'b'						
TP1	N	Keski-hajonta	Keskiarvon 95 %:n alaraja	Keskiarvo	Keskiarvon 95 %:n yläraja	Mediaani
ab+ston	1521	4.15	1.06	1.26	1.45	0.84
ab+muu	62410	3.45	0.64	0.67	0.69	0.55
kab+ston	1512	2.99	0.20	0.35	0.49	0.47
kab+muu	34806	3.69	0.21	0.25	0.29	0.27
pab+ston	18469	4.85	0.00	0.04	0.08	0.25
pab+muu	54811	4.20	-0.05	-0.01	0.02	0.08

Kerros 'a'						
TP1	N	Keski-hajonta	Keskiarvon 95 %:n alaraja	Keskiarvo	Keskiarvon 95 %:n yläraja	Mediaani
ab+ston	1521					1.40
ab+muu	62410					1.21
kab+ston	1512					1.50
kab+muu	34806					1.40
pab+ston	18469					1.64
pab+muu	54811					1.53



Kuva 13. Uran ikäfunktiot eri toimenpiteen suhteen.

Kuvassa 13 laskennassa on käytetty eksponentin b ja kertoimen a mediaania. Ura-ennusteet on laadittu kahdenmittauksen välisen kehityksen perusteella. Kaikkiin kuvan arvoihin on lisättävä uuden päällysteen alku-uran oletusarvo 2 mm.

### 4.3 Yhteenveto ikäeksponenttitutkimuksesta

Ikäeksponenttia käytetään rappeuma-aineistossa (=TP1) ja toimenpiteen vaikutusaineistossa (=TP2) tilastomallien selitettävän muuttujan laskennassa (jakajan potenssina). Tästä syystä on perusteltua tutkia huolellisesti, mikä mahdollinen kuntomuuttujan kasvun ikäriippuvuus on.

Taulukko 7. Vauriosumman ikäeksponentin yhteenvetotaulukko.

<b>VAURIOSUMMA</b>				
	<b>Riippumaton aineisto (luku 4.1)</b>		<b>Riippuva aineisto (luku 4.2)</b>	
<b>Toimenpide (=TP1)</b>	<b>Keskiarvo</b>	<b>Mediaani</b>	<b>Keskiarvo</b>	<b>Mediaani</b>
AB + ston	1.64	-	2.25	1.96
AB + muu	1.44	-	1.87	1.51
PAB-B+ston	1.59	-	1.85	1.34
PAB-B+muu	1.16	-	2.03	1.55
PAB-V/o +ston	1.71	-	2.53	1.96
PAB-V/o + muu	1.59	-	2.32	1.88
<b>IRI</b>				
AB + ston	0.51	-	0.22	0.16
AB + muu	0.50	-	0.26	0.12
PAB-B+ston	0.78	-	0.13	0.09
PAB-B+muu	0.65	-	0.21	0.13
PAB-V/o +ston	0.92	-	0.23	0.16
PAB-V/o + muu	0.66	-	0.27	0.17

Luvussa 5 esiteltävät vaurioitumismallit tehtiin kolmelle eri ikäeksponentille 1, 1.4 ja 2, joista voi valita myöhemmin sopivimman.

Luvun 5 malleissa oletetaan, että IRI kasvaa suoraviivaisesti ensimmäisestä havainnosta (3-7 vuotta vanhoina) toiseen (7-12 vuotta vanhoina). IRI:n eksponenttina iän suhteen oli 1.0 sen jälkeen kun on ylitetty noin kolmen vuoden ikä.

	<b>Riippumaton aineisto (luku 4.1)</b>		<b>Riippuva aineisto (luku 4.2)</b>	
<b>Toimenpide (=TP1)</b>	<b>Keskiarvo</b>	<b>Mediaani</b>	<b>Keskiarvo</b>	<b>Mediaani</b>
<b>URA</b>				
AB + ston	0.24	-	1.26	0.84
AB + muu	0.27	-	0.67	0.55
PAB-B+ston	0.41	-	0.35	0.47
PAB-B+muu	0.41	-	0.25	0.27
PAB-V/o +ston	0.37	-	0.04	0.25
PAB-V/o + muu	0.52	-	-0.01	0.08

## 5 VAURIOENNUSTE TIEN OMINAISUUKSIEN MUKAAN (=TP1)

### 5.1 Vauriosumma

#### 5.1.1 D0-malli rakennetuille teille (potenssi=2)

Tässä luvussa esitetään **vauriosummanopeuden sakko-malli kun ikäeksponenttina on kaksi**. Selitysasteeksi saatiin 18 %. Tilastollisen testin<sup>3</sup> mukaan D0:n suhteen lineaarisen mallin oletukset eivät pidä paikkansa kun ikäeksponenttina käytetään kahta.

Aineistossa oli havaintoja, joiden vaurioitumiskehitys oli jostain syystä muista poikkeavaa. Tyypillisesti tällaiset havainnot olivat sellaisia, että niiden vaurioitumiskehitykseen vaikuttavat muutkin kuin tässä tutkimuksessa tarkastellut muutujat. Näiden poikkeushavaintojen sisällyttäminen analyysiin vääristää saatuja tuloksia myös normaaleissa tapauksissa. Jotta saadut tulokset vastaisivat mahdollisimman hyvin teiden normaalia vaurioitumiskehitystä, mallista poistettiin havainnot, joilla studentisoitu residuaali oli itseisarvoltaan suurempi kuin 2.5 jonka jälkeen malli estimoitiin uudelleen. Analyysistä poistetut tiet (3 % aineistosta) olivat tyypillisesti kapeita (<7.5m), vähäliikenteisiä, PAB-V/o-päällysteisiä teitä sitomattomalla alustalla ja Pohjois-Suomesta<sup>4</sup>. Ennen karsintaa selitysaste oli 12 %.

Taulukoissa 8 - 10 on esitetty tulokset. Parametrit on esitetty vain niiltä osin, kun selittäjä on tilastollisesti merkittävä. Mallin tai yksittäisen selittäjän hyvyttä voidaan arvioida

$$\frac{NR^2}{p}$$

tunnusluvulla, jossa on testattavien parametrien lukumäärä.

Se voidaan mieltää luvuksi, joka kertoo kuinka monikertaisesti testattava malli on parempi kuin sellainen malli, jossa testattavien selittäjien arvot on korvattu satunnaisluvuilla. Ohjeellisesti tunnusluvun tulisi olla suurempi kuin 4, kun  $p = 1$ ; suurempi kuin 3, kun  $p = 2$  tai  $3$ ; suurempi kuin 2, kun  $p > 4$ . Joka tapauksessa tunnusluvun tulisi olla suurempi kuin 1.<sup>5</sup>

Taulukko 8. Vauriosummanopeus-sakkomalli kun D0 on pääselittäjänä.

	DF	Neliösumma	Mean Square	F-arvo
Malli	9	605.59	67.28778	364.74
Virhe	14741	2719.405	0.184479	
Corrected Total	14750	3324.995		
	Selitysaste	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
	0.18	108.6415	0.42951	0.395346

<sup>3</sup> Ramsay:n RESET-testi

<sup>4</sup> Katso luku 5.1.7

<sup>5</sup> Maddala, Introduction to Econometrics, Prentice Hall 1992, s.121

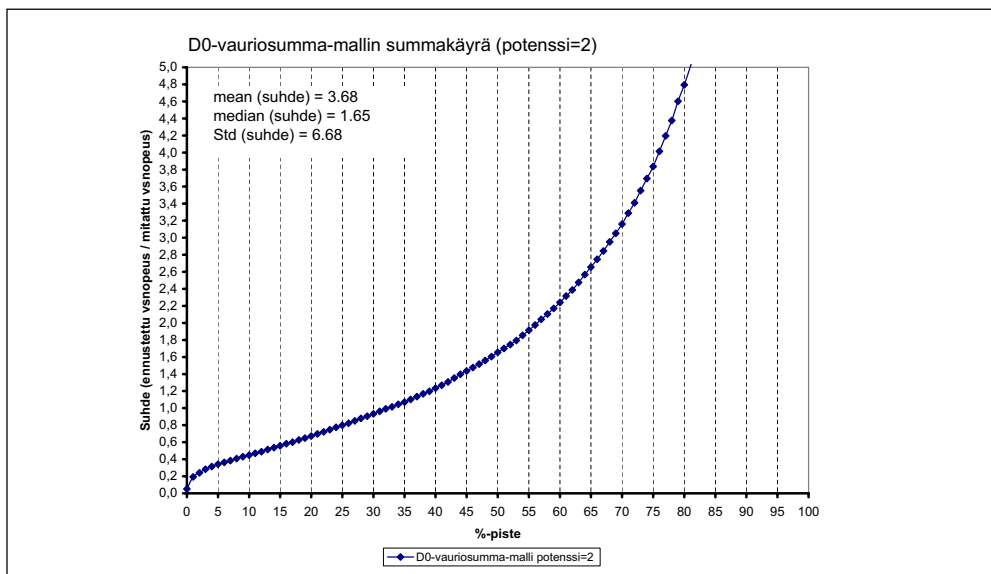
Taulukko 9.

Selittäjän vaikutus koko mallin selitysasteeseen (=0.18). Kokomallin  $\frac{NR^2}{p}$ -tunnusluku saa arvon 295.

Source	DF	Selitysaste	$\frac{NR^2}{p}$
D0	1	0.161	2374.8
D0*ALUSTA	1	0.005	73.8
D0*Luokitettu leveys	2	0.004	29.5
D0*PLAJI	2	0.007	51.6
D0*Luokitettu KVLRL	2	0.003	22.1
D0*ALUE	1	0.001	14.8

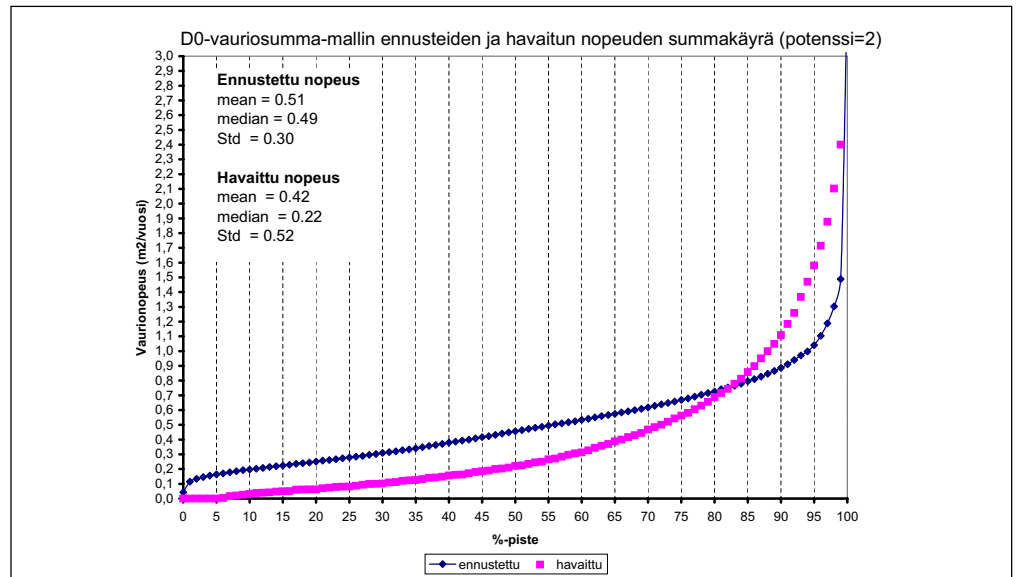
Taulukko 10. Parametritaulu.

Parametri	Arvo	95 % luottamusvälin alaraja	95 % luottamusvälinyläraja	Keski- virhe	t-arvo
Vakio	-0.004	-0.028	0.021	11.79	-0.29
D0	0.401	0.377	0.425	1.52	6.59
D0*ALUSTA ston	0.044	0.020	0.068	6.71	2.82
D0*ALUSTA sttu	0.000			.	.
D0* leveys<7.5m	0.231	0.206	0.255	3.46	4.32
D0* leveys 7.5 - 10m	0.091	0.067	0.115	0.26	1.73
D0* leveys >10m	0.000			.	.
D0*PLAJI PAB-V/o	0.241	0.217	0.265	11.49	10.98
D0*PLAJI PAB-B	0.172	0.148	0.196	8.00	7.90
D0*PLAJI AB	0.000			.	.
D0* suuri KVLRL	0.200	0.176	0.224	1.99	5.52
D0* kohtalainen KVLRL	-0.027	-0.051	-0.002	-2.08	-1.56
D0* pieni KVLRL	0.000			.	.
D0* etelä	-0.053	-0.077	-0.029	5.57	-4.09
D0* pohjoinen	0.000			.	.



Kuva 14. D0-mallin summakäyrä ennustetun ja mitatun vaurionopeuden suhteesta.





Kuva 15. D0-mallin ennustetun ja havaitun vaurionopeuden summakäyrät.

### 5.1.2. SCI300-malli rakennetuille teille (potenssi=2)

Tässä luvussa esitetään vauriosummanopeuden sakko-malli kun ikäeksponentti on kaksi. Selitysasteeksi saatiin 14 %. Tilastollisen testin<sup>6</sup> mukaan SCI300:n suhteen lineaarisen mallin oletukset eivät pidä paikkansa kun ikäeksponenttina käytetään kahta.

Aineistossa oli havaintoja, joiden vaurioitumiskehitys oli jostain syystä muista poikkeavaa. Tyypillisesti tällaiset havainnot olivat sellaisia, että niiden vaurioitumiskehitykseen vaikuttavat muutkin kuin tässä tutkimuksessa tarkastellut muuttujat. Näiden poikkeushavaintojen sisällyttäminen analyysiin vääristää saatuja tuloksia myös normaaleissa tapauksissa. Jotta saadut tulokset vastaisivat mahdollisimman hyvin teiden normaalia vaurioitumiskehitystä, mallista poistettiin havainnot, joilla studentisoitu residuaali oli itseisarvoltaan suurempi kuin 2.5 jonka jälkeen malli estimoitiin uudelleen. Analyysistä poistetut tiet (3 % aineistosta) olivat tyypillisesti kapeita (<7.5m), vähäliikenteisiä, PAB-V/o-päälysteisiä teitä sitomattomalla alustalla ja Pohjois-Suomesta<sup>7</sup>. Ennen karsintaa selitysaste oli 9 %.

Taulukoissa 11 - 13 on esitetty tulokset. Parametrit on esitetty vain niiltä osin, kun selittäjä on tilastollisesti merkittävä. Mallin tai yksittäisen selittäjän hyvyttä voidaan arvioida  $\frac{NR^2}{p}$  tunnusluvulla, jossa  $p$  on testattavien parametrien lukumäärä. Se voidaan mieltää luvuksi, joka kertoo kuinka monikertaisesti testattava malli on parempi kuin sellainen malli, jossa testattavien selittäjien arvot on korvattu satunnaisluvuilla. Ohjeellisesti tunnusluvun tulisi olla suurempi kuin 4, kun  $p = 1$ ; suurempi kuin 3, kun  $p = 2$  ja 3 suurempi kuin 2, kun  $p \geq 4$ . Joka tapauksessa tunnusluvun tulisi olla suurempi kuin 1.<sup>8</sup>

<sup>6</sup> Ramsay:n RESET-testi

<sup>7</sup> Katso luku 5.1.7

<sup>8</sup> Maddala, Introduction to Econometrics, Prentice Hall 1992, s.121

Taulukko 11. Vauriosummanopeus-sakkomalli kun SCI300 on pääselittäjänä.

	DF	Neliösumma	Mean Square	F-arvo
Malli	9	449.2343	49.91492	261.87
Virhe	14737	2808.988	0.190608	
Corrected Total	14746	3258.222		

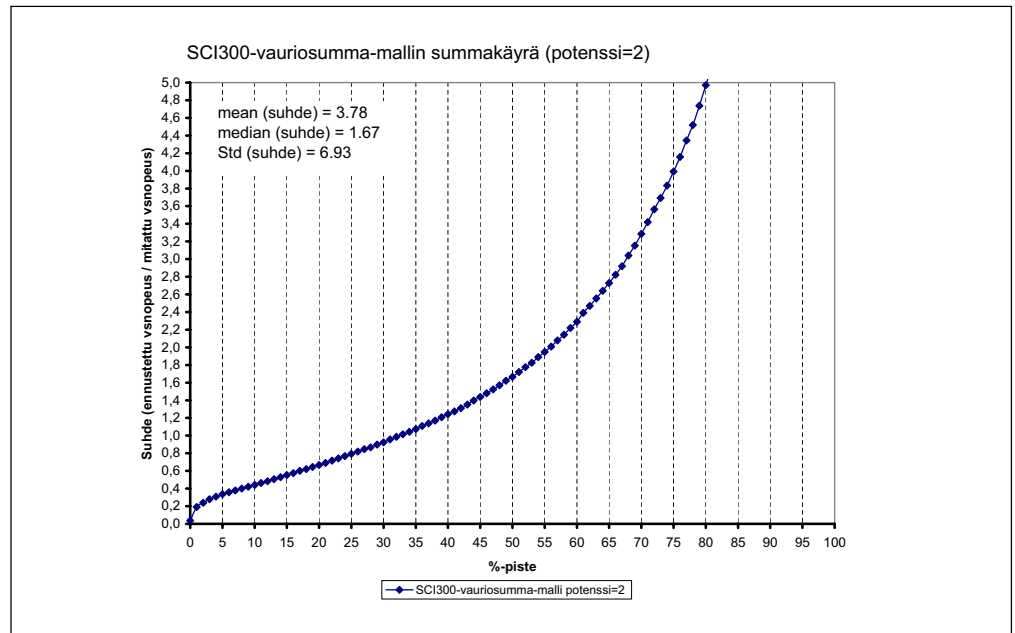
Selitysaste	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.14	110.9112	0.436587	0.393636

Taulukko 12. Selittäjän vaikutus koko mallin selitysasteeseen (=0.14). Kokomallin  $\frac{NR^2}{p}$  -tunnusluku saa arvon 229.

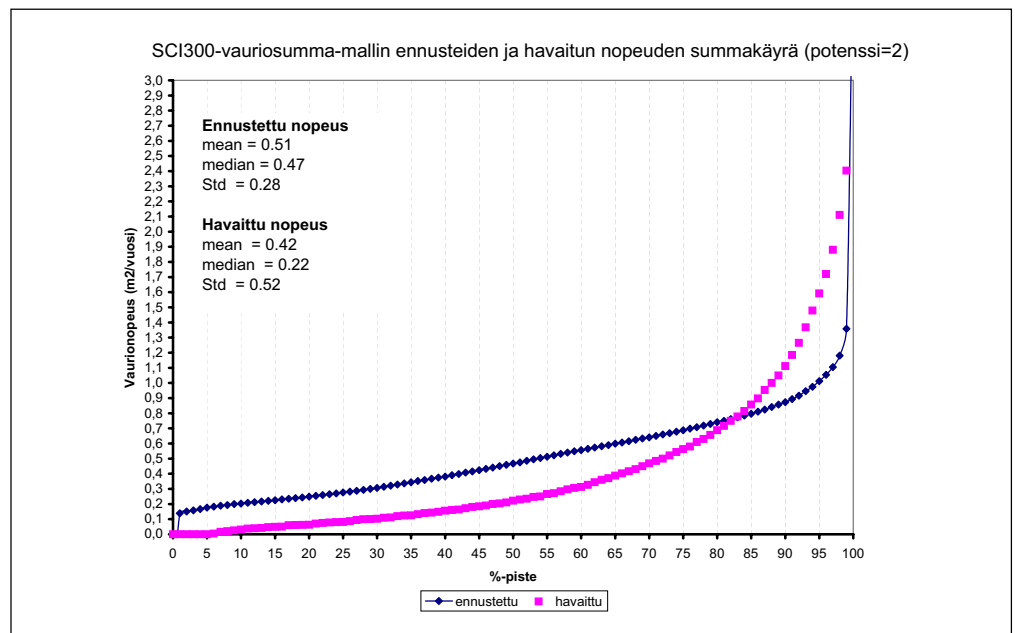
Source	DF	Selitysaste	$\frac{NR^2}{p}$
SCI300	1	0.116	1710.5
SCI300*ALUSTA	1	0.004	59.0
SCI300*Luokitettu leveys	2	0.007	51.6
SCI300*PLAJI	2	0.008	59.0
SCI300*Luokitettu KVLR	2	0.002	14.7
SCI300*ALUE	1	0.001	14.7

Taulukko 13. Parametritaulu.

Parametri	Arvo	95 % luottamusvälin alaraja	95 % luottamusvälin yläraja	Keski- virhe	t-arvo
Vakio	0.147	0.124	0.170	0.01	12.50
SCI300	0.219	0.196	0.242	0.15	1.42
SCI300*ALUSTA ston	0.084	0.061	0.108	0.03	2.43
SCI300*ALUSTA sttu	0.000			.	.
SCI300* leveys<7.5m	0.588	0.565	0.611	0.14	4.23
SCI300* leveys 7.5 - 10m	0.195	0.172	0.218	0.14	1.41
SCI300* leveys >10m	0.000			.	.
SCI300*PLAJI PAB-V/o	0.541	0.518	0.564	0.05	10.59
SCI300*PLAJI PAB-B	0.356	0.333	0.379	0.05	7.01
SCI300*PLAJI AB	0.000			.	.
SCI300* suuri KVLR	0.277	0.254	0.300	0.09	2.99
SCI300* kohtalainen KVLR	0.126	-0.149	-0.103	0.04	-3.31
SCI300* pieni KVLR	0.000			.	.
SCI300* etelä	-0.119	-0.142	-0.096	0.03	-4.15
SCI300* pohjoinen	0.000			.	.



Kuva 16. SCI300-mallin summakäyrä ennustetun ja mitatun vaurionopeuden suhteesta.



Kuva 17. SCI300-mallin ennustetun ja havaitun vaurionopeuden summakäyrät.

### 5.1.3. D0-malli rakennetuille teille (potenssi=1.4)

Tässä luvussa esitetään **vauriosummanopeuden sakko-malli kun ikäeksponenttina on 1.4**. Selitysasteeksi saatiin 20 %. Tilastollisen testin<sup>9</sup> mukaan D0:n suhteen lineaarisen mallin oletukset pitävät paikkansa kun ikäeksponenttina käytetään 1.4:ää.

Aineistossa oli havaintoja, joiden vaurioitumiskehitys oli jostain syystä muista poikkeavaa. Tyypillisesti tällaiset havainnot olivat sellaisia, että niiden vaurioi-

tumiskehitykseen vaikuttavat muutkin kuin tässä tutkimuksessa tarkastellut muuttujat. Näiden poikkeushavaintojen sisällyttäminen analyysiin vääristää saatuja tuloksia myös normaaleissa tapauksissa. Jotta saadut tulokset vastaisivat mahdollisimman hyvin teiden normaalia vaurioitumiskehitystä, mallista poistettiin havainnot, joilla studentisoitu residuaali oli itseisarvoltaan suurempi kuin 2.5 jonka jälkeen malli estimoitiin uudelleen. Analyysistä poistetut tiet (3 % aineistosta) olivat tyypillisesti kapeita (<7.5m), vähäliikenteisiä, PAB-V/o-päällysteisiä teitä sitomattomalla alustalla ja Pohjois-Suomesta<sup>10</sup>. Ennen karsintaa selityssaste oli 15 %.

Taulukoissa 14 - 16 on esitetty tulokset. Parametrit on esitetty vain niiltä osin, kun selittäjä on tilastollisesti merkittävä. Mallin tai yksittäisen selittäjän hyvyttä voidaan arvioida  $\frac{NR^2}{p}$  tunnusluvulla, jossa  $p$  on testattavien parametrien lukumäärä. Se voidaan mieltää luvuksi, joka kertoo kuinka monikertaisesti testattava malli on parempi kuin sellainen malli, jossa testattavien selittäjien arvot on korvattu satunnaisluvuilla. Ohjeellisesti tunnusluvun tulisi olla suurempi kuin 4, kun  $p = 1$ ; suurempi kuin 3, kun  $p = 2$  tai 3 suurempi kuin 2, kun  $p > 4$ . Joka tapauksessa tunnusluvun tulisi olla suurempi kuin 1.<sup>11</sup>

Taulukko 14. Vauriosummanopeus-sakkomalli kun D0 on pääselittäjänä.

	DF	Neliösumma	Mean Square	F-arvo
Malli	9	8268.05315	918.67257	429.63
Virhe	14709	31452.27752	2.1383	
Corrected Total	14718	39720.33067		

Selitysaste	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.208	103.5336	1.462293	1.412385

Taulukko 15. Selittäjän vaikutus koko mallin selityssasteeseen (=0.20). Kokomallin  $\frac{NR^2}{p}$  -tunnusluku saa arvon 340.

Source	DF	Selitysaste	$\frac{NR^2}{p}$
D0	1	0.181	2664.0
D0*ALUSTA	1	0.011	161.9
D0*Luokitettu leveys	2	0.006	44.2
D0*PLAJI	2	0.009	66.2
D0*Luokitettu KVLR	2	0.002	14.7
D0*ALUE	1	0.001	14.7

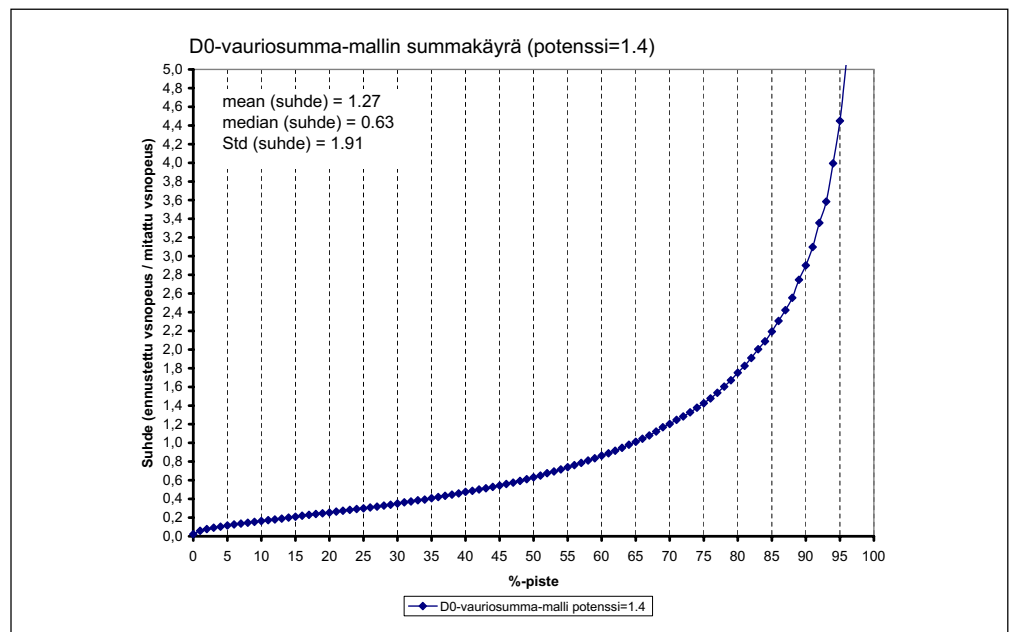
<sup>9</sup> Ramsay:n RESET-testi

<sup>10</sup> Katso luku 5.1.7

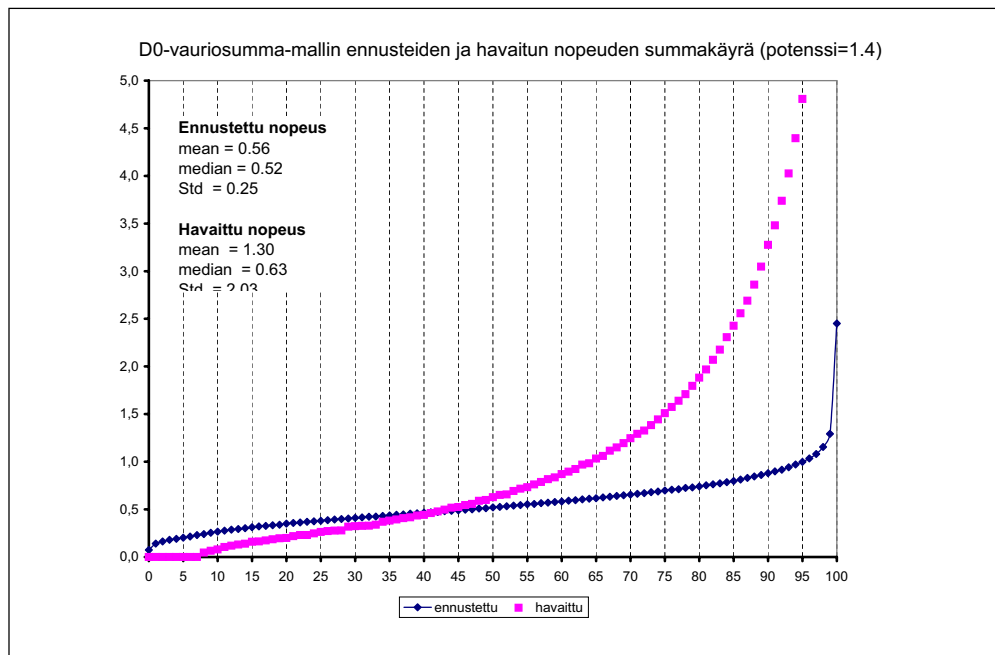
<sup>11</sup> Maddala, Introduction to Econometrics, Prentice Hall 1992, s.121

Taulukko 16. Parametritaulu.

Parametri	Arvo	95 % luottamus- välin alaraja	95 % luottamus- välin yläraja	Keski- virhe	t-arvo
Vakio	-0.008	-0.009	-0.008	0.0421	-0.20
D0	1.320	1.316	1.323	0.2076	6.36
D0*ALUSTA ston	0.304	0.303	0.304	0.0528	5.75
D0*ALUSTA sttu	0.000			.	.
D0* leveys<7.5m	0.727	0.724	0.730	0.1819	4.00
D0* leveys 7.5 - 10m	0.242	0.239	0.245	0.1796	1.35
D0* leveys >10m	0.000			.	.
D0*PLAJI PAB-V/o	0.895	0.894	0.896	0.0748	11.97
D0*PLAJI PAB-B	0.656	0.655	0.657	0.0741	8.86
D0*PLAJI AB	0.000			.	.
D0* suuri KVL	0.577	0.575	0.579	0.1231	4.69
D0* kohtalainen KVL	-0.083	-0.084	-0.082	0.0581	-1.43
D0* pieni KVL	0.000			.	.
D0* etelä	0.076	0.075	0.077	0.0443	1.71
D0* pohjoinen	0.000			.	.



Kuva 18. D0-mallin summakäyrä ennustetun ja mitatun vaurionopeuden suhteesta.



Kuva 19. D0-mallin ennustetun ja havaitun vaurionopeuden summakäyrät.

#### 5.1.4. SCI300-malli rakennetuille teille (potenssi=1.4)

Tässä luvussa esitetään **vauriosummanopeuden sakko-malli kun ikäeksponentti on 1.4**. Selitysasteeksi saatiin 16 %. Tilastollisen testin<sup>12</sup> mukaan SCI300:n suhteen lineaarisen mallin oletukset pitävät paikkansa kun ikäeksponenttina käytetään 1.4:ää.

Aineistossa oli havaintoja, joiden vaurioitumiskehitys oli jostain syystä muista poikkeavaa. Tyypillisesti tällaiset havainnot olivat sellaisia, että niiden vaurioitumiskehitykseen vaikuttavat muutkin kuin tässä tutkimuksessa tarkastellut muuttujat. Näiden poikkeushavaintojen sisällyttäminen analyysiin vääristää saatuja tuloksia myös normaaleissa tapauksissa. Jotta saadut tulokset vastaisivat mahdollisimman hyvin teiden normaalia vaurioitumiskehitystä, mallista poistettiin havainnot, joilla studentisoitu residuaali oli itseisarvoltaan suurempi kuin 2.5 jonka jälkeen malli estimoitiin uudelleen. Analyysistä poistetut tiet (3 % aineistosta) olivat tyypillisesti kapeita (<7.5m), vähäliikenteisiä, PAB-V/oppäällysteisiä teitä sitomattomalla alustalla ja Pohjois-Suomesta<sup>13</sup>. Ennen karsintaa selitysaste oli 12 %.

Taulukoissa 17 - 19 on esitetty tulokset. Parametrit on esitetty vain niiltä osin, kun selittäjä on tilastollisesti merkittävä. Mallin tai yksittäisen selittäjän hyvyttä voidaan arvioida  $\frac{NR^2}{p}$  tunnusluvulla, jossa on testattavien parametrien lukumäärä. Se voidaan mieltää luvuksi, joka kertoo kuinka monikertaisesti testattava malli on parempi kuin sellainen malli, jossa testattavien selittäjien arvot on korvattu satunnaisluvuilla. Ohjeellisesti tunnusluvun tulisi olla suurempi kuin 4, kun  $p = 1$ ; suurempi kuin 3, kun  $p = 2$ ; suurempi kuin 2, kun  $p > 4$ . Joka tapauksessa tunnusluvun tulisi olla suurempi kuin 1.<sup>14</sup>

<sup>12</sup> Ramsay:n RESET-testi

<sup>13</sup> Katso luku 5.1.7

<sup>14</sup> Maddala, Introduction to Econometrics, Prentice Hall 1992, s.121

Taulukko 17. Vauriosummanopeus-sakkomalli kun SCI300 on pääselittäjänä.

	DF	Neliösumma	Mean Square	F-arvo
Malli	9	6397.55959	918.67257	429.63
Virhe	14705	32511.48566	2.1383	
Corrected Total	14714	38909.04524		

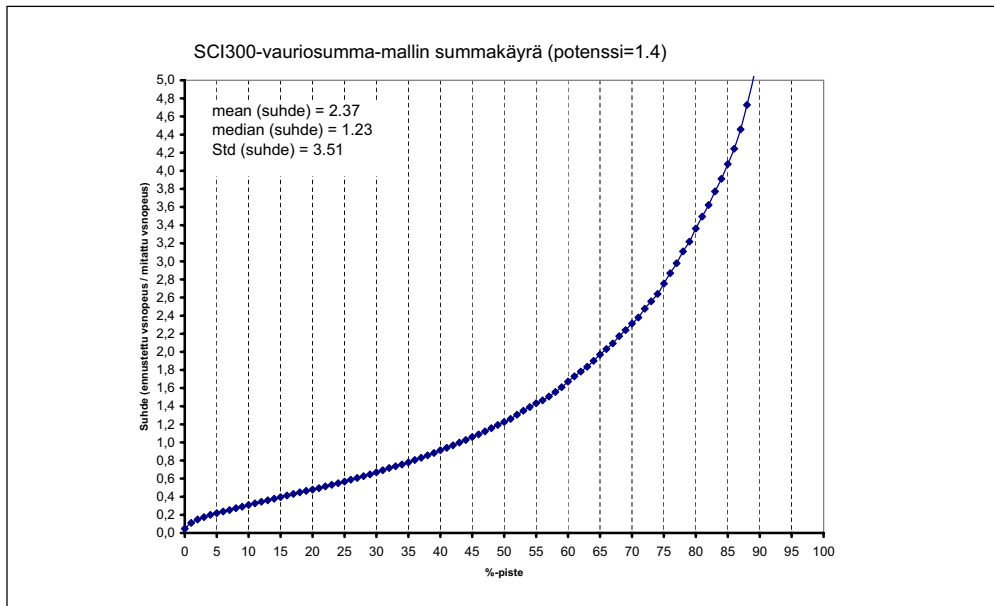
Selitysaste	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.16	105.7104	1.486914	1.412385

Taulukko 18. Selittäjän vaikutus koko mallin selitysasteeseen (=0.14). Kokomallin  $\frac{NR^2}{p}$  -tunnusluku saa arvon 261.

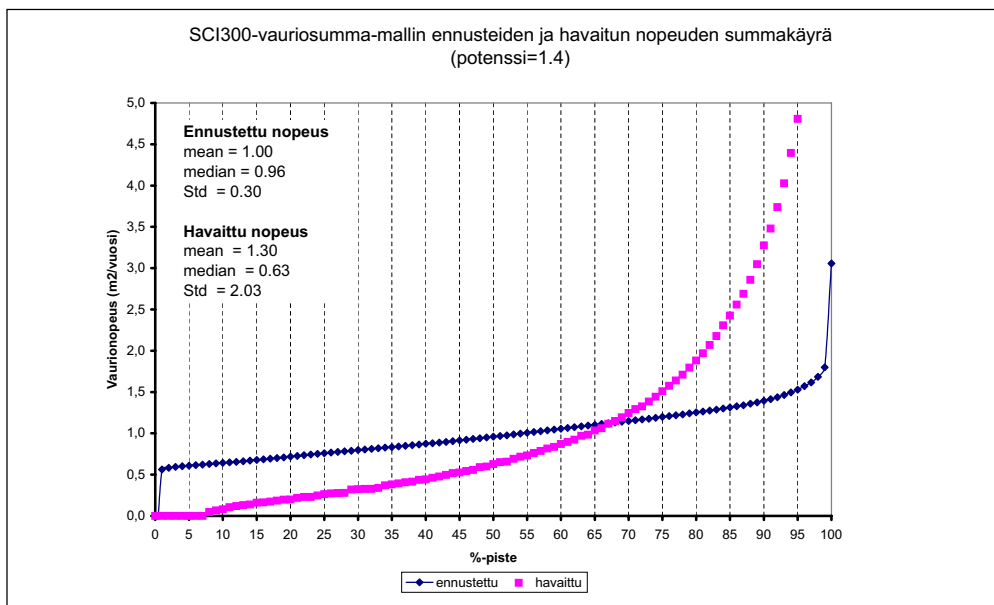
Source	DF	Selitysaste	$\frac{NR^2}{p}$
SCI300	1	0.136	2001.1
SCI300*ALUSTA	1	0.007	103.0
SCI300*Luokitettu leveys	2	0.008	58.9
SCI300*PLAJI	2	0.008	58.9
SCI300*Luokitettu KVLRL	2	0.001	7.4
SCI300*ALUE	1	0.001	14.6

Taulukko 19. Parametritaulu.

Parametri	Arvo	95 % luottamusvälin alaraja	95 % luottamusvälin yläraja	Keski- virhe	t-arvo
Vakio	0.482	0.481	0.482	0.040	11.97
SCI300	0.764	0.755	0.772	0.527	1.45
SCI300*ALUSTA ston	0.587	0.585	0.589	0.118	4.98
SCI300*ALUSTA sttu	0.000			.	.
SCI300* leveys<7.5m	1.855	1.847	1.862	0.473	3.92
SCI300* leveys 7.5 - 10m	0.423	0.416	0.431	0.471	0.9
SCI300* leveys >10m	0.000			.	.
SCI300*PLAJI PAB-V/o	1.959	1.957	1.962	0.174	11.28
SCI300*PLAJI PAB-B	1.378	1.375	1.381	0.173	7.98
SCI300*PLAJI AB	0.000			.	.
SCI300* suuri KVLRL	0.850	0.845	0.855	0.315	2.7
SCI300* kohtalainen KVLRL	-0.357	-0.359	-0.355	0.129	-2.76
SCI300* pieni KVLRL	0.000			.	.
SCI300* etelä	0.135	0.133	0.136	0.098	1.37
SCI300* pohjoinen	0.000			.	.



Kuva 20. SCI300-mallin summakäyrä ennustetun ja mitatun vaurionopeuden suhteesta.



Kuva 21. SCI300-mallin ennustetun ja havaitun vaurionopeuden summakäyrät.

### 5.1.5. D0-malli rakennetuille teille (potenssi=1)

Tässä luvussa esitetään **vauriosummanopeuden sakko-malli kun ikäeksponentti on yksi**. Selitysasteeksi saatiin 22 % mikä on aineiston sisältämän epätarkkuuden huomioonottaen hyvä tulos. Samoin tilastollisen testin15 mukaan D0:n suhteen lineaarisen mallin oletukset pitävät hyvin paikkansa kun ikäeksponenttina käytetään ykköstä. Toisin sanoen epälineaarisuutta ei esiinny selittäjän ja selitettävän välillä.



Aineistossa oli havaintoja, joiden vaurioitumiskehitys oli jostain syystä muista poikkeavaa. Tyypillisesti tällaiset havainnot olivat sellaisia, että niiden vaurioitumiskehitykseen vaikuttavat muutkin kuin tässä tutkimuksessa tarkastellut muutujat. Näiden poikkeushavaintojen sisällyttäminen analyysiin vääristää saatuja tuloksia myös normaaleissa tapauksissa. Jotta saadut tulokset vastaisivat mahdollisimman hyvin teiden normaalia vaurioitumiskehitystä, mallista poistettiin havainnot, joilla studentisoitu residuaali oli itseisarvoltaan suurempi kuin 2.5 jonka jälkeen malli estimoitiin uudelleen. Analyysistä poistetut tiet (3 % aineistosta) olivat tyypillisesti kapeita (<7.5m), vähäliikenteisiä, PAB-V/o-päällysteisiä teitä sitomattomalla alustalla ja Pohjois-Suomesta<sup>16</sup>. Ennen karsintaa selitysaste oli 16 %.

Taulukoissa 20 - 22 on esitetty tulokset. Parametrit on esitetty vain niiltä osin, kun selittäjä on tilastollisesti merkittävä. Mallin tai yksittäisen selittäjän hyvyttä voidaan arvioida  $\frac{NR^2}{p}$  tunnusluvulla, jossa on testattavien parametrien lukumäärä. Se voidaan mieltää luvuksi, joka kertoo kuinka monikertaisesti testattava malli on parempi kuin sellainen malli, jossa testattavien selittäjien arvot on korvattu satunnaisluvuilla. Ohjeellisesti tunnusluvun tulisi olla suurempi kuin 4, kun  $p = 1$ ; suurempi kuin 3, kun  $p = 2$  tai  $3$ ; suurempi kuin 2, kun  $p \geq 4$ . Joka tapauksessa tunnusluvun tulisi olla suurempi kuin 1.<sup>17</sup>

Taulukko 20. Vauriosummanopeus-sakkomalli kun D0 on pääselittäjänä.

	DF	Neliösumma	Mean Square	F-arvo
Malli	9	49239.55	5471.061	469.94
Virhe	14706	171207.6	11.642	
Corrected Total	14715	220447.1		

Selitysaste	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.22	101.8666	3.412041	3.349517

Taulukko 21. Selittäjän vaikutus koko mallin selitysasteeseen (=0.22). Kokomallin  $\frac{NR^2}{p}$  -tunnusluku saa arvon 360.

Source	DF	Selitysaste	$\frac{NR^2}{p}$
D0	1	0.191	2810.6
D0*ALUSTA	1	0.013	191.3
D0*Luokitettu leveys	2	0.007	51.5
D0*PLAJI	2	0.009	66.2
D0*luokitettu KVL R	2	0.001	7.4
D0*ALUE	1	0.001	14.7

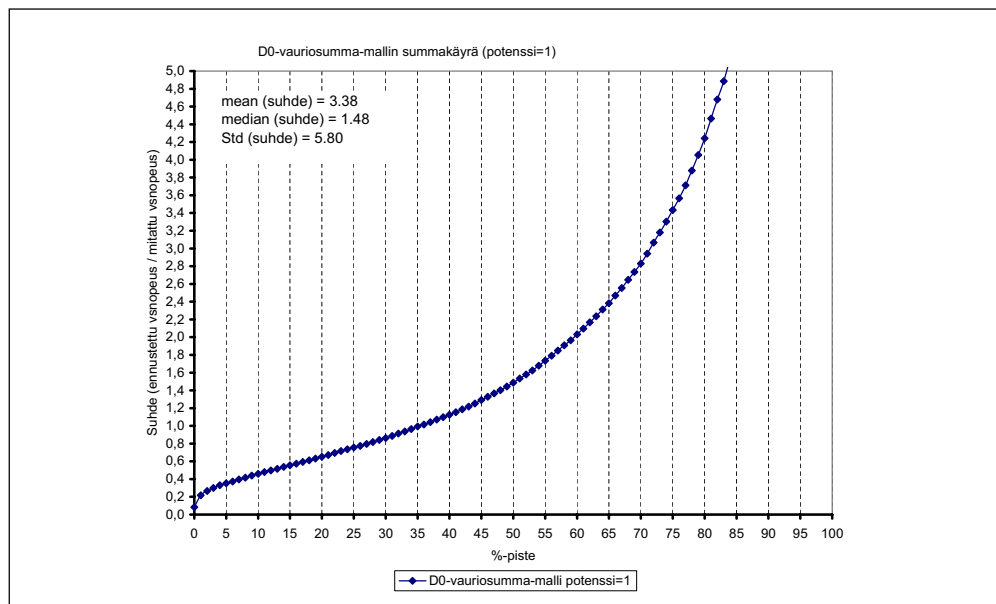
<sup>15</sup> Ramsay:n RESET-testi

<sup>16</sup> Katso luku 5.1.7

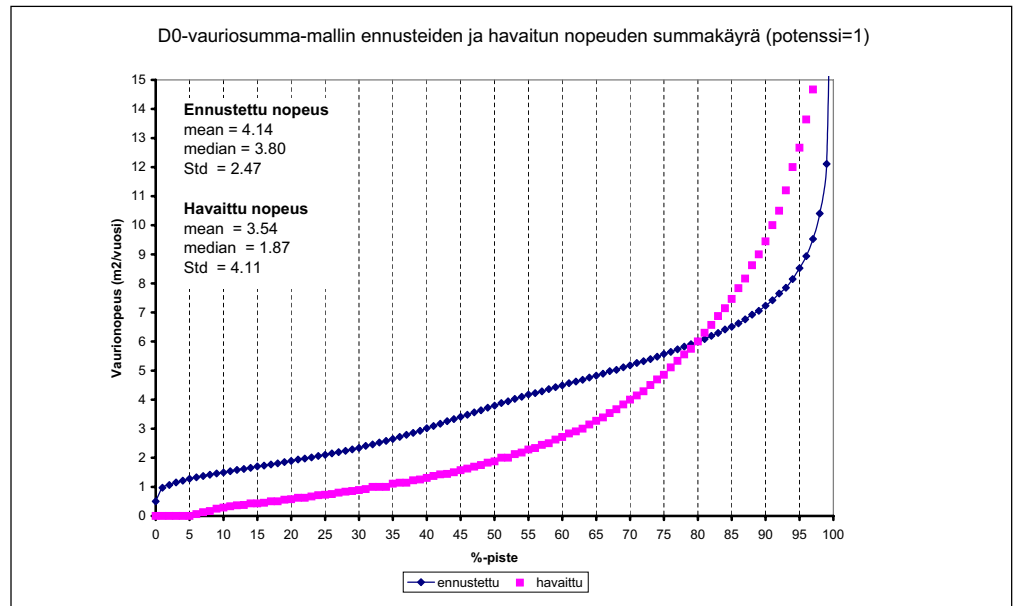
<sup>17</sup> Maddala, Introduction to Econometrics, Prentice Hall 1992, s.121

Taulukko 22. Parametritaulu.

Parametri	Arvo	95 % luottamus- välin alaraja	95 % luottamus- välin yläaraja	Keski- virhe	t-arvo
Vakio	-0.039	-0.232	0.154	0.098	-0.40
D0	3.166	2.973	3.359	0.484	6.54
D0*ALUSTA ston	0.837	0.644	1.030	0.122	6.85
D0*ALUSTA sttu	0.000			.	.
D0* leveys<7.5m	1.557	1.364	1.750	0.424	3.67
D0* leveys 7.5 - 10m	0.340	0.147	0.532	0.419	0.81
D0* leveys >10 m	0.000			.	.
D0* PLAJI PAB-V/o	2.112	1.919	2.305	0.174	12.16
D0* PLAJI PAB-B	1.564	1.371	1.757	0.172	9.07
D0* PLAJI AB	0.000			.	.
D0* suuri KVLR	1.038	0.845	1.231	0.288	3.61
D0* kohtalainen KVLR	-0.183	-0.376	0.010	0.136	-1.35
D0* pieni KVLR	0.000			.	.
D0* etelä	0.547	0.354	0.740	0.104	5.28
D0* pohjoinen	0.000			.	.



Kuva 22. D0-mallin summakäyrä ennustetun ja mitatun vaurionopeuden suhteesta.



Kuva 23. D0-mallin ennustetun ja havaitun vaurionopeuden summakäyrät.

Taulukko 23. D0-vauriosummamallin testitaulukko D0-luokituksen suhteen (ikäeksponentti=1).

Jos havaintomäärä on <500 niin testitaulukon tiedot on pienellä kirjasinkoolla merkitty. Päättyläsäntösarakkeen symbolijako muodostuu siten, että jos suhteen keskiarvo on välillä 0.9-1.1 niin merkinä on '=' ja jos keskiarvo on pienempi kuin 0.9 niin merkinä on '<' ja vastaavasti taas suurempi kuin 1.1 niin merkinä on '>'.

Suhde = havaittu/ennuste	d0_luokka	Keskiarvo	Keskiarvo	N	Keskiarvo	Päätely	25 %	50 %	75 %
		Ennuste	Havainto		Havainto / Ennuste	Ka	Ero	25 %	50 %
<b>TP1</b>	<b>d0_luokka</b>								
1:ab+ston	1: d0 0 - 0.499	<b>17.7</b>	<b>18.9</b>	675	<b>1.21</b>	>	<b>0.30</b>	<b>0.63</b>	<b>1.48</b>
	2: d0 0.500 - 1.000	30.3	34.2	390	1.31	>	0.18	0.53	1.58
	3: d0 1.001-	66.2	17.0	5	0.39	<	0.03	0.06	0.23
2:ab+muu	1: d0 0 - 0.499	<b>17.0</b>	<b>14.3</b>	3563	<b>0.90</b>	=	<b>0.27</b>	<b>0.58</b>	<b>1.17</b>
	2: d0 0.500 - 1.000	<b>28.7</b>	<b>19.8</b>	1248	<b>0.73</b>	<	<b>0.17</b>	<b>0.43</b>	<b>0.96</b>
	3: d0 1.001-	53.2	49.2	23	0.86	<	0.15	0.54	1.31
3:pab-b+ston	1: d0 0 - 0.499	<b>23.9</b>	<b>26.9</b>	845	<b>1.15</b>	>	<b>0.19</b>	<b>0.64</b>	<b>1.50</b>
	2: d0 0.500 - 1.000	<b>38.2</b>	<b>53.4</b>	1179	<b>1.40</b>	>	<b>0.29</b>	<b>0.94</b>	<b>1.93</b>
	3: d0 1.001-	81.0	131.4	28	1.78	>>	0.42	1.30	2.06
4:pab-b+muu	1: d0 0 - 0.499	<b>25.8</b>	<b>23.0</b>	683	<b>0.90</b>	=	<b>0.19</b>	<b>0.56</b>	<b>1.18</b>
	2: d0 0.500 - 1.000	<b>40.6</b>	<b>41.2</b>	815	<b>1.10</b>	=	<b>0.30</b>	<b>0.79</b>	<b>1.62</b>
	3: d0 1.001-	65.9	47.4	38	0.66	<	0.19	0.55	1.13
5:pab-v/o+ston	1: d0 0 - 0.499	<b>29.3</b>	<b>36.7</b>	1225	<b>1.24</b>	>	<b>0.21</b>	<b>0.66</b>	<b>1.74</b>
	2: d0 0.500 - 1.000	<b>45.6</b>	<b>67.1</b>	3605	<b>1.43</b>	>	<b>0.32</b>	<b>1.02</b>	<b>1.98</b>
	3: d0 1.001-	89.7	129.9	427	1.45	>	0.62	1.14	2.02
6:pab-v/o+muu	1: d0 0 - 0.499	28.4	37.8	276	1.51	>	0.28	0.71	1.63
	2: d0 0.500 - 1.000	<b>43.9</b>	<b>52.2</b>	1231	<b>1.31</b>	>	<b>0.27</b>	<b>0.69</b>	<b>1.60</b>
	3: d0 1.001-	83.5	77.0	167	1.03	=	0.33	0.63	1.57

Nähdään, että TP-luokissa 1, 3 ja 5 (sitomaton alusta) havaittu vaurionopeus on suurempi kuin ennustettu. Sama koskee muutenkin PAB-V-teitä. Sidotulla

alustalla olevat AB ja PAB-B päällysteet vaurioituvat keskimäärin ennusteen mukaisesti. Havaitun ja ennustetun vaurionopeuden suhde ei riipu taipuma-luokasta.

Taulukko 24. D0-vauriosummamallin testitaulukko KVLR-luokituksen suhteen (ikäeksponentti=1).

Jos havaintomäärä on <500 niin testitaulukon tiedot on pienellä kirjasinkoolla merkitty. Päätteilyäntösarakkeen symbolijako muodostuu siten, että jos suhteen keskiarvo on välillä 0.9-1.1 niin merkinä on '=' ja jos keskiarvo on pienempi kuin 0.9 niin merkinä on '<' ja vastaavasti taas suurempi kuin 1.1 niin merkinä on '>'.

Suhde = havaittu/ennuste		Keskiarvo		Keskiarvo Päätteily					
		Ennuste	Havainto	N	Suhde		25 %	50 %	75 %
TP1	d0_luokka				Ka	Ero	25 %	50 %	75 %
1:ab+ston	1: KVLR<80	<b>25.2</b>	<b>12.0</b>	615	<b>1.07</b>	=	<b>0.22</b>	<b>0.53</b>	<b>1.38</b>
	2: KVLR 80-150	18.6	12.0	320	1.60	>	0.30	0.68	1.80
	3: KVLR 151-	19.9	13.0	135	1.15	>	0.27	0.68	1.48
2:ab+muu	1: KVLR<80	<b>25.5</b>	<b>13.0</b>	1055	<b>0.87</b>	<	<b>0.25</b>	<b>0.55</b>	<b>1.12</b>
	2: KVLR 80-150	<b>19.0</b>	<b>10.0</b>	1220	<b>0.89</b>	<	<b>0.26</b>	<b>0.56</b>	<b>1.19</b>
	3: KVLR 151-	<b>18.6</b>	<b>9.0</b>	2559	<b>0.84</b>	<	<b>0.23</b>	<b>0.53</b>	<b>1.07</b>
3:pab-b+ston	1: KVLR<80	<b>34.4</b>	<b>22.0</b>	1528	<b>1.19</b>	>	<b>0.22</b>	<b>0.72</b>	<b>1.67</b>
	2: KVLR 80-150	28.3	27.0	414	1.73	>>	0.41	0.98	2.14
	3: KVLR 151-	28.8	22.5	110	1.32	>	0.28	0.87	2.07
4:pab-b+muu	1: KVLR<80	<b>36.4</b>	<b>23.0</b>	1138	<b>1.00</b>	=	<b>0.25</b>	<b>0.69</b>	<b>1.41</b>
	2: KVLR 80-150	29.5	17.5	394	1.00	=	0.23	0.70	1.47
	3: KVLR 151-	30.5	32.5	4	1.03	=	0.21	0.95	1.85
5:pab-v/o+ston	1: KVLR<80	<b>45.9</b>	<b>41.0</b>	5039	<b>1.39</b>	>	<b>0.31</b>	<b>0.96</b>	<b>1.93</b>
	2: KVLR 80-150	34.9	24.0	211	1.37	>	0.22	0.76	1.86
	3: KVLR 151-	30.0	5.0	7	0.19	<	0.10	0.17	0.19
6:pab-v/o+muu	1: KVLR<80								
	2: KVLR 80-150	<b>46.1</b>	<b>28.0</b>	1570	<b>1.29</b>	>	<b>0.27</b>	<b>0.65</b>	<b>1.54</b>
	3: KVLR 151-	32.1	34.0	104	1.75	>>	0.54	1.14	2.71

Havaitun ja ennustetun vaurionopeuden suhde ei riipu liikennemääräluokasta.

Taulukko 25. D0-vauriosummamallin testitaulukko alue luokituksen suhteen (ikäeksponentti=1).

Jos havaintomäärä on <500 niin testitaulukon tiedot on pienellä kirjasinkoolla merkitty. Päätelysääntösarakkeen symbolijako muodostuu siten, että jos suhteen keskiarvo on välillä 0.9-1.1 niin merkinä on '=' ja jos keskiarvo on pienempi kuin 0.9 niin merkinä on '<' ja vastaavasti taas suurempi kuin 1.1 niin merkinä on '>'.

Suhde = havaittu/ennuste		Keskiarvo	Keskiarvo	N	Keskiarvo	Päätely	25 %	50 %	75 %
		Ennuste	Havainto		Suhde			Suhde	Suhde
TP1	d0_luokka				Ka	Ero	25 %	50 %	75 %
1:ab+ston	1: etelä	21.8	23.8	390	1.22	>	0.26	0.70	1.55
	2: pohjoinen	<b>22.9</b>	<b>24.9</b>	680	<b>1.25</b>	>	<b>0.26</b>	<b>0.55</b>	<b>1.46</b>
2:ab+muu	1: etelä	<b>19.7</b>	<b>15.6</b>	2262	<b>0.84</b>	<	<b>0.23</b>	<b>0.54</b>	<b>1.09</b>
	2: pohjoinen	<b>20.7</b>	<b>16.1</b>	2572	<b>0.87</b>	<	<b>0.26</b>	<b>0.54</b>	<b>1.13</b>
3:pab-b+ston	1: etelä	<b>30.7</b>	<b>39.0</b>	673	<b>1.21</b>	>	<b>0.18</b>	<b>0.80</b>	<b>1.75</b>
	2: pohjoinen	<b>33.9</b>	<b>45.7</b>	1379	<b>1.35</b>	>	<b>0.28</b>	<b>0.81</b>	<b>1.81</b>
4:pab-b+muu	1: etelä	<b>38.0</b>	<b>37.6</b>	807	<b>1.06</b>	=	<b>0.34</b>	<b>0.81</b>	<b>1.57</b>
	2: pohjoinen	<b>30.9</b>	<b>28.5</b>	729	<b>0.94</b>	=	<b>0.19</b>	<b>0.50</b>	<b>1.24</b>
5:pab-v/o+ston	1: etelä	<b>47.6</b>	<b>70.9</b>	2562	<b>1.53</b>	>	<b>0.50</b>	<b>1.17</b>	<b>2.05</b>
	2: pohjoinen	<b>43.4</b>	<b>59.7</b>	2695	<b>1.25</b>	>	<b>0.19</b>	<b>0.67</b>	<b>1.77</b>
6:pab-v/o+muu	1: etelä	<b>42.7</b>	<b>52.4</b>	687	<b>1.49</b>	>	<b>0.31</b>	<b>0.81</b>	<b>2.19</b>
	2: pohjoinen	<b>47.0</b>	<b>52.3</b>	987	<b>1.20</b>	>	<b>0.26</b>	<b>0.61</b>	<b>1.23</b>

Havaitun ja ennustetun vaurionopeuden suhde on etelässä hiukan suurempi kuin pohjoisessa.

Muista tarkasteluissa on havaittu, että havaitun ja ennustetun vaurionopeuden suhde on suurin nuorina inventoiduissa teissä. Tämä johtuu siitä, että nuorina inventoidaan yleensä vain nopeasti vaurioituneita teitä.

### 5.1.6. SCI300-malli rakennetuille teille (potenssi=1)

Tässä luvussa esitetään **vauriosummanopeuden sakko-malli kun ikäeksponentti on yksi**. Selitysasteeksi saatiin 18 %. Analyysissä todettiin, että sakko-malli ikäeksponentilla kaksi antaa huonomman tuloksen selitysasteen osalta myös SCI300:aa käytettäessä. Samoin tilastollisen testin 18 mukaan SCI300:n suhteen lineaarisen mallin oletukset pitävät hyvin paikkansa kun ikäeksponenttina käytetään ykköstä. Toisin sanoen epälineaarisuutta ei esiinny selittäjän ja selitettävän välillä.

Aineistossa oli havaintoja, joiden vaurioitumiskehitys oli jostain syystä muista poikkeavaa. Tyypillisesti tällaiset havainnot olivat sellaisia, että niiden vaurioitumiskehitykseen vaikuttavat muutkin kuin tässä tutkimuksessa tarkastellut muuttujat. Näiden poikkeushavaintojen sisällyttäminen analyysiin vääristää saatuja tuloksia myös normaaleissa tapauksissa. Jotta saadut tulokset vastaisivat mahdollisimman hyvin teiden normaalia vaurioitumiskehitystä, mallista poistettiin havainnot, joilla studentisoitu residuaali oli itseisarvoltaan suurempi kuin 2.5

jonka jälkeen malli estimoitiiin uudelleen. Analyysistä poistetut tiet (3 % aineistosta) olivat tyypillisesti kapeita (<7.5m), vähäliikenteisiä, PAB-V/o-päällysteisiä teitä sitomattomalla alustalla ja Pohjois-Suomesta<sup>19</sup>. Ennen karsintaa selityssaste oli 13 %.

Taulukoissa 26 - 28 on esitetty tulokset. Parametrit on esitetty vain niiltä osin, kun selittäjä on tilastollisesti merkittävä. Mallin tai yksittäisen selittäjän hyvyttä voidaan arvioida  $\frac{NR^2}{p}$  tunnusluvulla, jossa  $p$  on testattavien parametrien lukumäärä. Se voidaan mieltää luvuksi, joka kertoo kuinka monikertaisesti testattava malli on parempi kuin sellainen malli, jossa testattavien selittäjien arvot on korvattu satunnaisluvuilla. Ohjeellisesti tunnusluvun tulisi olla suurempi kuin 4, kun  $p = 1$ ; suurempi kuin 3, kun  $p = 2$  tai  $3$ ; suurempi kuin 2, kun  $p > 4$ . Joka tapauksessa tunnusluvun tulisi olla suurempi kuin 1.<sup>20</sup>

Taulukko 26. Vauriosummanopeus-sakkomalli kun SCI300 on pääselittäjänä.

	DF	Neliösumma	Mean Square	F-arvo
Malli	9	39151.57	4350.174	361.21
Virhe	14703	177071.3	12.0432	
Corrected Total	14712	216222.8		

Selityssaste	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.18	103.9914	3.470332	3.337135

Taulukko 27. Selittäjän vaikutus mallin selityssasteeseen (=0.18). Kokomallin  $\frac{NR^2}{p}$  tunnusluku saa arvon 294.

Source	DF	Selityssaste	$\frac{NR^2}{p}$
SCI300	1	0.150	2206.8
SCI300*Luokitettu leveys	1	0.010	147.1
SCI300*PLAJI	2	0.010	73.6
SCI300*luokitettu KVLR	2	0.009	66.2
SCI300*ALUE	1	0.001	14.7
SCI300*Luokitettu leveys	2	0.002	14.7

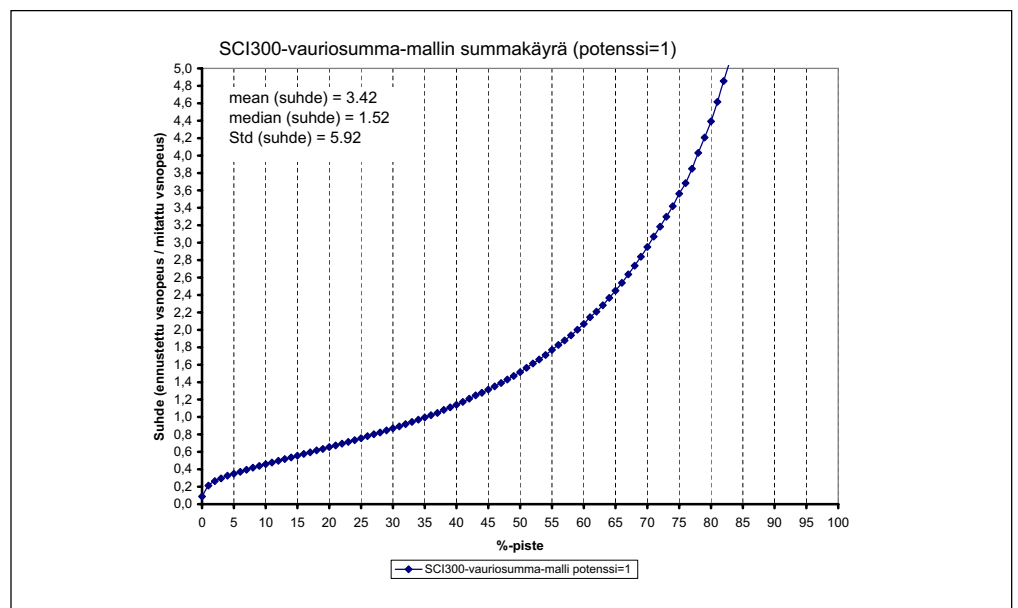
<sup>18</sup> Ramsay:n RESET-testi

<sup>19</sup> Katso luku 5.1.7

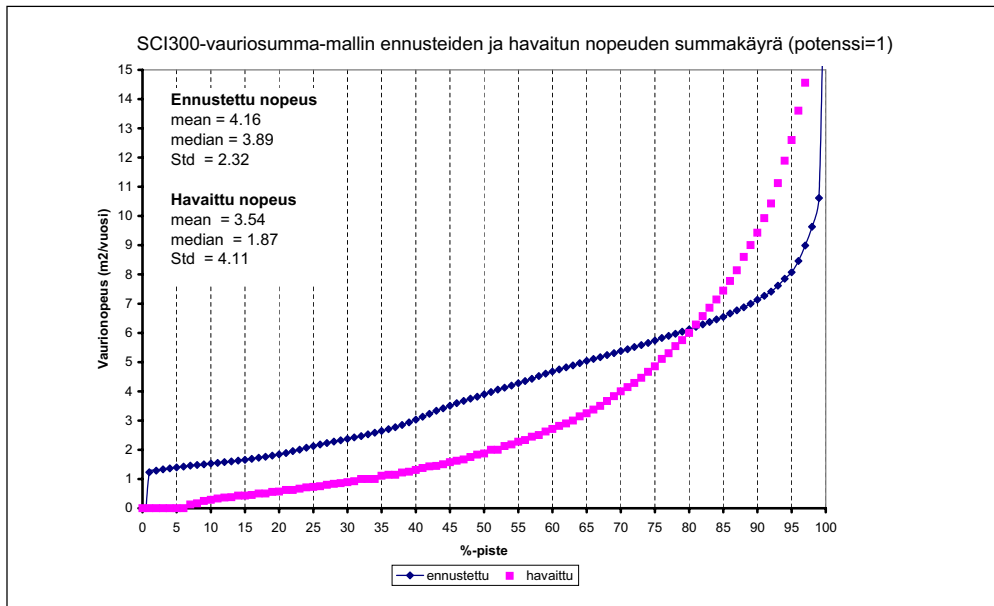
<sup>20</sup> Maddala, Introduction to Econometrics, Prentice Hall 1992, s.121

Taulukko 28. Parametritaulu.

Parametri	Arvo	95 % luottamus- välin alaraja	95 % luottamus- välin yläraja	Keski- virhe	t-arvo
Vakio	1.108	0.924	1.292	0.0940	11.79
SCI300	1.872	1.688	2.056	1.2291	1.52
SCI300*ALUSTA ston	1.839	1.655	2.024	0.2743	6.71
SCI300*ALUSTA sttu	0.000			.	.
SCI300* leveys<7.5m	3.820	3.635	4.004	1.1042	3.46
SCI300* leveys 7.5 - 10m	0.286	0.102	0.470	1.1004	0.26
SCI300* leveys >10m	0.000			.	.
SCI300*PLAJI PAB-V/o	4.651	4.467	4.835	0.4048	11.49
SCI300*PLAJI PAB-B	3.222	3.038	3.406	0.4026	8.00
SCI300*PLAJI AB	0.000			.	.
SCI300* suuri KVL	1.465	1.281	1.649	0.7349	1.99
SCI300* kohtalainen KVL	-0.629	-0.813	-0.445	0.3018	-2.08
SCI300* pieni KVL	0.000			.	.
SCI300* etelä	1.278	1.094	1.462	0.2294	5.57
SCI300* pohjoinen	0.000			.	.



Kuva 24. SCI300-mallin summakäyrä ennustetun ja mitatun vaurionopeuden suhteesta.



Kuva 25. SCI300-mallin ennustetun ja havaitun vaurionopeuden summakäyrät.

### 5.1.7. Poikkeavat havainnot vauriosummamalleissa

Luvuissa 5.1.1 - 5.1.6 on esitetty tien vaurioitumismalleja. Aineistossa on esiintynyt kuitenkin selvästi poikkeavia havaintoja, joista on esitetty yhteenveto- taulukko. Taulukossa on esitetty studentisoitun residuaalin prosenttipisteitä eri taustaolosuhdeluokissa. Taulukosta nähdään samat johtopäätökset, mitä Ramsayn RESET-testitulokset esittää. Yleisesti sanotaan, että jos studentisoitu residuaali (ennusteen ja havaitun arvon ero) on liian suuri (itseisarvo noin 2.5) niin kyseessä voi olla poikkeava havainto.

Mittaushavaintojen perusteella toteutunut vauriokehitys on ollut selvästi nopeampaa mitä malli on ennustanut (positiiviset residuaalit).

	Studentisoitu residuaali (oltava välillä -2.5 ... + 2.5)									
	N	Ka	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Max
<b>Pleveys</b>										
<6.5m	10871	0.0	-1.1	-0.9	-0.6	-0.3	0.3	1.2	2.1	18.5
6.5-10.0	3794	0.0	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.2	0.6	1.0	5.9
10.1-	492	0.1	-0.4	-0.3	-0.2	0.0	0.2	0.5	0.7	1.9
<b>Alusta</b>										
Sitomaton	8029	0.0	-1.2	-1.0	-0.7	-0.3	0.3	1.3	2.2	12.8
Sidottu	7128	0.0	-0.8	-0.6	-0.3	-0.1	0.2	0.6	1.2	18.5
<b>Alue</b>										
Etelä	5975	0.0	-1.0	-0.8	-0.5	-0.2	0.2	1.0	1.7	10.5
Pohj.	9182	0.0	-1.1	-0.9	-0.5	-0.2	0.2	1.0	1.8	18.5
<b>KVL_R</b>										
suuri	1920	0.0	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.2	0.5	0.8	4.2
keski	6655	0.0	-0.8	-0.7	-0.4	-0.2	0.2	0.8	1.4	9.1
pieni	6582	0.0	-1.3	-1.1	-0.8	-0.3	0.4	1.4	2.4	18.5
<b>Plaji</b>										
1PV	5826	0.0	-1.3	-1.1	-0.8	-0.4	0.4	1.5	2.7	18.5
2PB	3169	0.0	-0.9	-0.8	-0.6	-0.3	0.3	1.1	1.7	8.2
3AB	6162	0.0	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.5	0.9	4.7



Edellä kuvatut mallit eivät sisällä rakentamattomia teitä, vaan luvun 2.1.1 luokat rakennettu ja muu.

### 5.1.8. Rakentamattomien ja rakennettujen teiden vertailu

Tässä luvussa tarkastellaan taulukoiden avulla päällysteluokittain rakentamattomien ja rakennettujen teiden välisiä eroja. Erot lasketaan erikseen myös taipuma-luokittain, jotta nähdään aiheuttaako eron rakennetyyppi vai rakentamattomien teiden suurempi taipuma. Rakennettuja ja sellaisiksi rinnastettavia muita teitä on tässä aineistossa noin 70 % (rakennetut ja muu-luokka yhteensä). Aineis-tossa on yllättävän paljon rakentamattomia AB-teitä: vaurioaineistossa 1200 km ja epätasaisuusaineistossa 900 km.

Taulukossa aineisto on jaettu osajoukkoihin päällysteen lajin, ilmaston ja taipuman avulla. Sarakeluokittelijana on rakennetyyppi: muu, rakentamaton ja rakennettu. Taulukossa siis lasketaan vaurio- ja IRI:n kasvunopeuskeskiarvoja tietyissä luokkakombinaatioissa.

Tarkoituksena on verrata ensimmäiseksi sitä, että eroaako rakennetyyppi muu keskimäärin rakennetuista teistä vaurionopeuden tai IRI:n kasvunopeuden suh-teen (keskiarvojen ero). Seuraavaksi lasketaan rakennettyyppien muu ja raken-nettu havaintomäärien geometriset keskiarvot ja kerrotaan niillä taipumaluokittain kasvunopeuksien keskiarvo-erot. Lopullisia - yhdistettyjä tunnuslukuja laske-taan "ylhäältä alaspäin" summaamalla D0-luokittaiset keskiarvo-erojen ja havaintomäärien geometristen keskiarvojen tulot yhteen, joka lopulta jaetaan havaintomäärien geometristen keskiarvojen summalla.

Toinen pyrkimys on osoittaa rakentamattomien teiden suurempi vaurioituminen verrattuna rakennettuihin teihin. Tässä tutkimuksessa käytettiin oletusta, että rakennetyyppi muu voidaan yhdistää rakennettuihin teihin. Seuraavissa hyöty-tilukoissa pyritään todistamaan tätä väitettä. Lopuksi rakentamattomien tei-den vaurionopeuksia verrataan rakennettujen ja muu-luokan vaurionopeuksiin.

## 6.1.8.1 Vauriosumman ikäeksponentti 2.0

Taulukko 29. Vauriosummanopeuden keskiarvoja rakennetyypin mukaan, kun ikäeksponentti on 2.0.

			Rak.tieto Data					
			muu		Rakenta-		Raken-	Havain-
plaji	tiealue	d0luokka	VSnop_ka	Havaintoja	VSnop_ka	Havaintoja	VSnop_ka	havaintoja
AB	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,30	4497	0,26	2820	0,28	454
		2:D0 500-1000	0,39	1014	0,34	1666	0,41	201
		3:D0 >1000	0,53	68	0,40	75	0,60	10
		4: Ei mitattu	0,26	8662	0,27	6098	0,31	1045
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,28	14241	0,28	10659	0,32
2:pohj+koillinen	1:D0<500	1:D0<500	0,32	7253	0,26	329	0,22	349
		2:D0 500-1000	0,41	2165	0,35	219	0,39	263
		3:D0 >1000	0,21	15	3,36	4	0,54	3
		4: Ei mitattu	0,32	19851	0,31	1044	0,33	1150
2:pohj+koillinen Yhteensä			0,33	29284	0,31	1596	0,32	1765
AB Yhteensä			0,32	43525	0,29	12255	0,32	3475
PAB-B	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,48	1047	0,49	1099	0,23	245
		2:D0 500-1000	0,65	1399	0,75	1958	0,41	231
		3:D0 >1000	0,53	39	0,86	144	0,58	4
		4:Ei mitattu	0,43	4063	0,57	3960	0,29	1043
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,48	6548	0,61	7161	0,30
2:pohj+koillinen	1:D0<500	1:D0<500	0,29	2123	0,56	192	0,23	342
		2:D0 500-1000	0,48	2549	1,08	383	0,31	342
		3:D0 >1000	1,09	58	1,54	9		
		4:Ei mitattu	0,37	9681	0,83	1096	0,28	1540
2:pohj+koillinen Yhteensä			0,38	14411	0,86	1680	0,28	2224
PAB-B Yhteensä			0,41	20959	0,66	8841	0,29	3747
PAB-V/o	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,41	910	0,71	555	0,27	507
		2:D0 500-1000	0,72	2030	1,21	1974	0,65	669
		3:D0 >1000	1,05	188	1,82	328	0,68	23
		4:Ei mitattu	0,64	5124	0,93	3725	0,40	2190
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,64	8252	1,04	6582	0,43
2:pohj+koillinen	1:D0<500	1:D0<500	0,35	1386	0,97	252	0,20	419
		2:D0 500-1000	0,82	5198	1,23	2185	0,67	1231
		3:D0 >1000	1,73	468	2,38	580	2,04	33
		4:Ei mitattu	0,76	15268	1,20	5219	0,52	4372
2:pohj+koillinen Yhteensä			0,77	22320	1,29	8236	0,53	6055
PAB-V/o Yhteensä			0,73	30572	1,18	14818	0,50	9444

Taulukko 30. Rakennetyypeittäisiä keskiarvoeroja vauriosummankasvunopeudelle, kun ikäeksponentti on 2. Sarakkeessa M, N ja O on keskenään vertailtujen havaintomäärien geometriset keskiarvot. Sarakkeissa P, Q ja R on kerrottu nopeuserokeskiarvoilla havaintomäärien geometriset keskiarvot. Havaintomäärien geometrinen keskiarvo on merkitty nollaksi, kun taipumaa ei tunneta.

plaji	tiealue	d0luokka	Nopeuserot			Havaintomäärien geometrinen keskiarvo					
			J=muu-rttu	K=rtou-rttu(jamuu)	L=rtou-rttu	M=(muu-rttu)^0.5	N=(rtou-rttu(jamuu))^0.5	O=(rtou-rttu)^0.5	P=J*M	Q=K*N	R=L*O
AB	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,02	-0,04	-0,02	1429	3737	1131	22,1	-137,5	-25,7
		2:D0 500-1000	-0,02	-0,05	-0,07	451	1423	579	-10,9	-71,2	-40,6
		3:D0 >1000	-0,07	-0,14	-0,20	26	76	27	-1,8	-10,6	-5,5
		4: Ei mitattu	-0,05	0,01	-0,04	0	0	2524	0,0	0,0	0,0
	1:etelä+lounas Yhteensä			-0,03	-0,01	-0,04	1906	5236	4262	9	-219
2:pohj+koillinen	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,10	-0,06	0,03	1591	1581	339	155,2	-94,9	11,2
		2:D0 500-1000	0,02	-0,06	-0,04	755	729	240	18,8	-43,3	-8,9
		3:D0 >1000	-0,33	3,10	2,82	7	8	3	-2,2	26,3	9,8
		4: Ei mitattu	0,00	-0,01	-0,02	0	0	1096	0,0	0,0	0,0
2:pohj+koillinen Yhteensä			0,01	-0,02	0,00	2352	2319	1678	172	-112	12
AB Yhteensä			0,00	-0,03	-0,03	4259	7555	5940	181,3	-331,3	-59,7
PAB-B	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,24	0,06	0,25	506	1192	519	121,6	71,3	132,0
		2:D0 500-1000	0,24	0,13	0,34	568	1786	673	137,0	241,1	229,9
		3:D0 >1000	-0,06	0,33	0,27	12	79	24	-0,7	25,6	6,5
		4: Ei mitattu	0,14	0,17	0,28	0	0	2032	0,0	0,0	0,0
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,18	0,16	0,31	1087	3057	3248	258	338
2:pohj+koillinen	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,05	0,28	0,33	852	688	256	46,8	191,3	83,4
		2:D0 500-1000	0,18	0,62	0,78	934	1052	362	166,1	654,1	281,7
		3:D0 >1000	1,09	0,45	1,54	0	23	0	0,0	10,4	0,0
		4: Ei mitattu	0,09	0,46	0,54	0	0	1299	0,0	0,0	0,0
2:pohj+koillinen Yhteensä			0,10	0,49	0,58	1786	1763	1917	213	856	365
PAB-B Yhteensä			0,13	0,26	0,37	2873	4820	5165	470,8	1193,8	733,5
PAB-V/o	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,14	0,35	0,44	679	887	530	96,2	307,5	232,2
		2:D0 500-1000	0,07	0,51	0,56	1165	2308	1149	83,4	1168,2	643,5
		3:D0 >1000	0,37	0,81	1,14	66	263	87	24,2	212,9	98,7
		4: Ei mitattu	0,24	0,36	0,53	0	0	2856	0,0	0,0	0,0
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,21	0,46	0,61	1910	3458	4623	204	1689
2:pohj+koillinen	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,16	0,65	0,77	762	674	325	118,9	441,7	251,8
		2:D0 500-1000	0,16	0,43	0,56	2530	3748	1640	399,6	1622,4	919,4
		3:D0 >1000	-0,31	0,62	0,34	124	539	138	-38,3	335,7	46,4
		4: Ei mitattu	0,24	0,50	0,68	0	0	4777	0,0	0,0	0,0
2:pohj+koillinen Yhteensä			0,23	0,57	0,75	3416	4961	6880	480	2400	1218
PAB-V/o Yhteensä			0,24	0,50	0,68	5326	8420	11503	684,0	4088,5	2191,9

Aluksi verrataan tapausta muu tapaukseen rakennettu ja tutkitaan, voidaanko luokat yhdistää. Ensimmäiseksi tarkastellaan tapausta, jossa D0 tunnetaan. Taipumaluokittain vähennetään tapauksen muu vaurionopeudesta tapauksen rakennettu vaurionopeus. Lasketaan päällystetyypeittäin erotusten keskiarvo painottaen taipumaluokan erotusta vertailtavien osajoukkojen geometrisella keskiarvolla (taulukon 30 sarake M). Taulukosta 31 nähdään, että erotukset ovat niin pieniä, että luokat muu ja rakennettu voidaan yhdistää. Sarakkeista J ... L nähdään myös, ettei erotus kasva johdonmukaisesti taipuman kasvaessa tai vaurioitumisnopeuden kasvaessa. Silloin on perusteltua käyttää vaurioitumisnopeuden erotusta eikä suhdetta.

*Taulukko 31. Vaurionopeuden keskiarvoerot päällystelajien ja tiealueiden mukaan, kun ikäeksponentti on 2.0. Taulukossa olevat koko maan keskiarvoerot, joissa taipumaa ei ole mitattu, on laskettu havaintomäärillä painotettuina.*

	Muu-rakennettu	Rton - (muu ja Rttu)	Rton - (muu ja Rttu)	Rton - Rttu
	D0 mitattu	D0 mitattu	D0:aa ei mitattu	D0:aa ei mitattu
AB/Etelä	0.00	-0.04	0.01	-0.04
AB/Pohjoinen	0.07	-0.05	-0.01	-0.02
<b>AB/Koko maa</b>	<b>0.04</b>	<b>-0.04</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.03</b>
PAB-B/Etelä	0.24	0.11	0.17	0.28
PAB-B/Pohjoinen	0.12	0.49	0.46	0.54
<b>PAB-B/Koko maa</b>	<b>0.16</b>	<b>0.25</b>	<b>0.30</b>	<b>0.38</b>
PAB-V0/Etelä	0.11	0.49	0.36	0.53
PAB-V0/Pohjoinen	0.14	0.48	0.50	0.68
<b>PAB-V0/ Koko maa</b>	<b>0.13</b>	<b>0.49</b>	<b>0.45</b>	<b>0.63</b>

Seuraavaksi verrataan luokkaa rakentamaton yhdistettyyn luokkaan muu ja rakennettu. Vastaavasti lasketaan taipumaluokittain taipumaltaan tunnettujen tapausten erotusten painotettu keskiarvo. Verrataan vielä saatavaa erotusta taipumaltaan tuntemattoman vastaavan joukon erotukseen. Taulukosta 31 nähdään, että erotuksessa ei ole olennaista eroa tapausten Rton - (muu ja rttu) D0-mitattu ja D0:aa ei mitattu välillä. Sovellettaessa kohdan 5.1.1 ja 5.1.2 malleja vaurioitumisnopeutta tulisi kasvattaa Ab-teillä 0; PAB-B-teillä 0.25 ja PAB-V/o-teillä 0.39 yksikköä, kun kysymyksessä on rakentamaton tie. Vaikutus on suuri (50 ... 100%), sillä mallien antama vaurioitumisnopeus on kuvan 15 mukaan tavallisesti 0.3 ... 0.7 m<sup>2</sup>/v<sup>2</sup>.

### 5.1.8.2. Vauriosumman ikäeksponentti 1.4

Tässä tehdään samat tarkastelut kuin kohdassa 5.1.8.1.

Taulukko 32. Vauriosummanopeuden keskiarvoja rakennetyypin mukaan, kun ikäeksponenttina on 1.4.

			Rak.tieto Data					
			muu		Rakenta-		Raken-	
			maton		nettu			
plaji	tiealue	d0luokka	VSnop_ka	Havaintoja	VSnop_ka	Havaintoja	VSnop_ka	Havaintoja
AB	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,88	4497	0,84	2820	0,89	454
		2:D0 500-1000	1,30	1014	1,14	1666	1,30	201
		3:D0 >1000	2,13	68	1,54	75	1,73	10
		4: Ei mitattu	0,82	8662	0,91	6098	1,00	1045
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,88	14241	0,93	10659	1,01
2:pohj+koillinen	1:D0<500	1:D0<500	0,99	7253	0,86	329	0,74	349
		2:D0 500-1000	1,29	2165	1,20	219	1,32	263
		3:D0 >1000	0,66	15	11,43	4	2,26	3
		4: Ei mitattu	1,00	19851	1,02	1044	1,09	1150
2:pohj+koillinen Yhteensä			1,02	29284	1,04	1596	1,06	1765
AB Yhteensä			0,97	43525	0,94	12255	1,03	3475
PAB-B	1:etelä+lounas	1:D0<500	1,46	1047	1,50	1099	0,78	245
		2:D0 500-1000	2,02	1399	2,29	1958	1,37	231
		3:D0 >1000	1,78	39	2,67	144	1,93	4
		4: Ei mitattu	1,40	4063	1,72	3960	0,97	1043
	1:etelä+lounas Yhteensä			1,55	6548	1,86	7161	1,00
2:pohj+koillinen	1:D0<500	1:D0<500	0,96	2123	1,74	192	0,80	342
		2:D0 500-1000	1,60	2549	3,53	383	1,05	342
		3:D0 >1000	3,93	58	5,08	9		
		4: Ei mitattu	1,23	9681	2,66	1096	0,94	1540
2:pohj+koillinen Yhteensä			1,26	14411	2,76	1680	0,93	2224
PAB-B Yhteensä			1,35	20959	2,03	8841	0,96	3747
PAB-V/o	1:etelä+lounas	1:D0<500	1,50	910	2,20	555	0,90	507
		2:D0 500-1000	2,58	2030	3,67	1974	2,07	669
		3:D0 >1000	3,87	188	5,61	328	2,08	23
		4: Ei mitattu	2,33	5124	2,93	3725	1,31	2190
	1:etelä+lounas Yhteensä			2,34	8252	3,23	6582	1,40
2:pohj+koillinen	1:D0<500	1:D0<500	1,21	1386	3,10	252	0,66	419
		2:D0 500-1000	2,71	5198	3,94	2185	2,20	1231
		3:D0 >1000	5,94	468	7,39	580	6,93	33
		4: Ei mitattu	2,50	15268	3,84	5219	1,73	4372
2:pohj+koillinen Yhteensä			2,54	22320	4,10	8236	1,78	6055
PAB-V/o Yhteensä			2,49	30572	3,71	14818	1,64	9444

Taulukko 33. Rakennetyypeittäisiä keskiarvoeroja vauriosummankasvunopeudelle, kun ikäeksponentti on 1.4. Sarakkeessa M, N ja O on keskenään vertailtujen havaintomäärien geometriset keskiarvot. Sarakkeissa P, Q ja R on kerrottu nopeuserokeskiarvoilla havaintomäärien geometriset keskiarvot. Havaintomäärien geometrinen keskiarvo on merkitty nollaksi, kun taipumaa ei tunneta.

plaji	tiealue	d-luokka	Nopeuserot			Havaintomäärien geometrinen keskiarvo					
			J=(muu-rttu)	K=(rtton-rttujamu)	L=(rtton-rttu)	M=(muu*rttu) <sup>0.5</sup>	N=(rtton*rttujamu) <sup>0.5</sup>	O=(rtton*rttu) <sup>0.5</sup>	P=J*M	Q=K*N	R=L*O
AB	1:etelä+lounas	1:D0<500	-0,01	-0,04	-0,05	1429	3737	1131	-14,4	-157,0	-57,9
		2:D0 500-1000	-0,01	-0,16	-0,17	451	1423	579	-3,9	-230,3	-97,9
		3:D0 >1000	0,40	-0,54	-0,19	26	76	27	10,4	-41,5	-5,3
		4: Ei mitattu	-0,18	0,08	-0,09	0	0	2524	0,0	0,0	0,0
	1:etelä+lounas Yhteensä			-0,13	0,04	-0,08	1906	5236	4262	-8	-429
2:pohj+koillinen	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,25	-0,12	0,12	1591	1581	339	391,1	-187,2	39,4
		2:D0 500-1000	-0,03	-0,10	-0,13	755	729	240	-25,9	-69,8	-30,3
		3:D0 >1000	-1,60	10,50	9,17	7	8	3	-10,7	89,1	31,8
		4: Ei mitattu	-0,09	0,02	-0,07	0	0	1096	0,0	0,0	0,0
2:pohj+koillinen Yhteensä			-0,04	0,02	-0,02	2352	2319	1678	355	-168	41
AB Yhteensä			-0,06	-0,03	-0,09	4258,7	7554,95	939,9	346,6	-596,7	-120,2
PAB-B	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,68	0,17	0,72	506	1192	519	345,2	204,3	375,6
		2:D0 500-1000	0,66	0,36	0,92	568	1786	673	372,4	645,8	621,3
		3:D0 >1000	-0,15	0,87	0,74	12	79	24	-1,8	68,8	17,8
		4: Ei mitattu	0,43	0,40	0,75	0	0	2032	0,0	0,0	0,0
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,54	0,42	0,86	1087	3057	3248	716	919
2:pohj+koillinen	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,16	0,81	0,95	852	688	256	137,7	555,3	242,5
		2:D0 500-1000	0,55	2,00	2,49	934	1052	362	512,2	2108,8	900,4
		3:D0 >1000	3,93	1,16	5,08	0	23	0	0,0	26,4	0,0
		4: Ei mitattu	0,29	1,47	1,72	0	0	1299	0,0	0,0	0,0
2:pohj+koillinen Yhteensä			0,33	1,54	1,83	1786	1763	1917	650	2691	1143
PAB-B Yhteensä			0,39	0,74	1,07	2873,2	4819,85	165,1	1365,7	3609,5	2157,5
PAB-V/o	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,61	0,91	1,30	679	887	530	412,7	806,7	689,5
		2:D0 500-1000	0,51	1,21	1,59	1165	2308	1149	591,8	2798,7	1832,3
		3:D0 >1000	1,79	1,94	3,54	66	263	87	117,9	510,1	307,2
		4: Ei mitattu	1,02	0,91	1,63	0	0	2856	0,0	0,0	0,0
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,93	1,16	1,82	1910	3458	4623	1122	4115
2:pohj+koillinen	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,55	2,01	2,44	762	674	325	417,7	1358,6	791,3
		2:D0 500-1000	0,51	1,33	1,74	2530	3748	1640	1281,1	4994,4	2857,0
		3:D0 >1000	-0,99	1,39	0,46	124	539	138	-122,9	747,3	64,0
		4: Ei mitattu	0,78	1,51	2,12	0	0	4777	0,0	0,0	0,0
2:pohj+koillinen Yhteensä			0,76	1,72	2,32	3416	4961	6880	1576	7100	3712
PAB-V/o Yhteensä			0,84	1,42	2,07	5326,3	8419,61	1502,8	2698,2	11215,7	6541,3

Taulukko 34. Vaurionopeuden keskiarvoerot päällystelajien ja tiealueiden mukaan, kun ikäeksponentti on 1.4. Taulukossa olevat koko maan keskiarvoerot, joissa taipumaa ei ole mitattu, on laskettu havaintomäärillä painotettuina.

	<b>Muu- rakennettu</b>	<b>Rton - (muu ja Rttu)</b>	<b>Rton - (muu ja Rttu)</b>	<b>Rton - Rttu</b>
	D0 mitattu	D0 mitattu	D0:aa ei mitattu	D0:aa ei mitattu
AB/Etelä	0.00	-0.08	0.08	-0.09
AB/Pohjoinen	0.15	-0.07	0.02	-0.07
AB/Koko maa	0.08	-0.08	0.05	-0.08
PAB-B/Etelä	0.66	0.30	0.40	0.75
PAB-B/Pohjoinen	0.36	1.53	1.47	1.72
PAB-B/Koko maa	0.48	0.75	0.87	1.13
PAB-V0 /Etelä	0.59	1.19	0.91	1.63
PAB-V0/Pohjoinen	0.46	1.43	1.51	2.12
PAB-V0/ Koko maa	0.51	1.33	1.31	1.93

Nähdään, että ikäeksponentilla 1.4 erotus on noin kolminkertainen verrattuna ikäeksponentilla 2 laskettuun erotukseen. Tulos on odotusten mukainen. Kohdan 5.1.3 ja 5.1.4 malleja sovellettaessa vaurioitumisnopeutta on suurennettava AB-teillä 0; PAB-B-teillä 0.75 ja PAB-V/o-teillä 1.33 yksikköä, kun kyseessä on rakentamaton tie. Vaikutus on suuri (noin 50 %), sillä vaurioitumisnopeus on kuvan 19 mukaan tavallisesti 0.5 ... 2.0 m<sup>2</sup> / v<sup>1.4</sup>.

## 5.1.8.3. Vauriosumman ikäeksponentti 1.0

Tässä tehdään samat tarkastelut kuin kohdassa 5.1.8.1.

Taulukko 35. Vauriosummanopeuden keskiarvoja rakennetyypin mukaan, kun ikäeksponenttina on 1.0.

			Rak.tieto Data					
			muu		Rakenta-		Raken-	
			maton		nettu			
plaji	tiealue	d0luokka	VSnop_ka	Havaintoja	VSnop_ka	Havaintoja	VSnop_ka	Havaintoja
AB	1:etelä+lounas	1:D0<500	1,85	4497	1,85	2820	1,94	454
		2:D0 500-1000	2,97	1014	2,59	1666	2,89	201
		3:D0 >1000	5,51	68	3,85	75	3,56	10
		4: Ei mitattu	1,77	8662	2,06	6098	2,21	1045
	1:etelä+lounas Yhteensä			1,90	14241	2,10	10659	2,22
2:pohj+koillinen	1:D0<500 2:D0 500-1000 3:D0 >1000 4: Ei mitattu	1:D0<500	2,12	7253	1,94	329	1,66	349
		2:D0 500-1000	2,81	2165	2,76	219	3,06	263
		3:D0 >1000	1,44	15	26,24	4	5,89	3
		4: Ei mitattu	2,17	19851	2,29	1044	2,45	1150
2:pohj+koillinen Yhteensä			2,21	29284	2,34	1596	2,39	1765
AB Yhteensä			2,10	43525	2,13	12255	2,31	3475
PAB-B	1:etelä+lounas	1:D0<500	3,13	1047	3,20	1099	1,76	245
		2:D0 500-1000	4,41	1399	4,89	1958	3,14	231
		3:D0 >1000	4,11	39	5,78	144	4,36	4
		4: Ei mitattu	3,16	4063	3,63	3960	2,21	1043
	1:etelä+lounas Yhteensä			3,43	6548	3,95	7161	2,28
2:pohj+koillinen	1:D0<500 2:D0 500-1000 3:D0 >1000 4: Ei mitattu	1:D0<500	2,18	2123	3,79	192	1,84	342
		2:D0 500-1000	3,60	2549	7,85	383	2,41	342
		3:D0 >1000	9,44	58	11,29	9		
		4: Ei mitattu	2,76	9681	5,86	1096	2,10	1540
2:pohj+koillinen Yhteensä			2,85	14411	6,10	1680	2,11	2224
PAB-B Yhteensä			3,03	20959	4,36	8841	2,18	3747
PAB-V/o	1:etelä+lounas	1:D0<500	3,65	910	4,75	555	2,04	507
		2:D0 500-1000	6,20	2030	7,83	1974	4,60	669
		3:D0 >1000	9,44	188	12,02	328	4,52	23
		4: Ei mitattu	5,64	5124	6,42	3725	2,93	2190
	1:etelä+lounas Yhteensä			5,65	8252	6,98	6582	3,14
2:pohj+koillinen	1:D0<500 2:D0 500-1000 3:D0 >1000 4: Ei mitattu	1:D0<500	2,80	1386	6,79	252	1,51	419
		2:D0 500-1000	6,08	5198	8,73	2185	4,92	1231
		3:D0 >1000	13,79	468	16,10	580	15,81	33
		4: Ei mitattu	5,64	15268	8,49	5219	3,88	4372
2:pohj+koillinen Yhteensä			5,73	22320	9,04	8236	3,99	6055
PAB-V/o Yhteensä			5,71	30572	8,12	14818	3,68	9444



Taulukko 36. Rakennetyypeittäisiä keskiarvoeroja vauriosummankasvunopeudelle, kun ikäeksponentti on 1.0. Sarakkeessa M, N ja O on keskenään vertailujen havaintomäärien geometriset keskiarvot. Sarakkeissa P, Q ja R on kerrottu nopeuserokeskiarvoilla havaintomäärien geometriset keskiarvot. Havaintomäärien geometrinen keskiarvo on merkitty nollaksi, kun taipumaa ei tunneta.

plaji	tiealue	d-luokka	Nopeuserot			Havaintomäärien geometrinen keskiarvo					
			J=muu-rttu	K=rton-(rttu)jamuu	L=rton-rttu	M=(muu*rttu)^0.5	N=(rton*rttu)jamuu^0.5	O=(rton*rttu)^0.5	P=J*M	Q=K*N	R=L*O
AB	1:etelä+lounas	1:D0<500	-0,10	-0,01	-0,09	1429	3737	1131	-136,9	-27,1	-106,7
		2:D0 500-1000	0,08	-0,36	-0,29	451	1423	579	36,7	-514,0	-169,8
		3:D0 >1000	1,95	-1,41	0,29	26	76	27	50,8	-107,7	8,0
		4: Ei mitattu	-0,44	0,24	-0,15	0	0	2524	0,0	0,0	0,0
	1:etelä+lounas Yhteensä			-0,33	0,17	-0,12	1906	5236	4262	-49	-649
2:pohj+koillinen	1:D0<500	1:D0<500	0,46	-0,17	0,28	1591	1581	339	735,5	-262,5	93,2
		2:D0 500-1000	-0,25	-0,08	-0,30	755	729	240	-185,2	-56,6	-71,1
		3:D0 >1000	-4,45	24,06	20,35	7	8	3	-29,9	204,2	70,5
		4: Ei mitattu	-0,28	0,10	-0,16	0	0	1096	0,0	0,0	0,0
2:pohj+koillinen Yhteensä			-0,19	0,12	-0,05	2352	2319	1678	520	-115	93
AB Yhteensä			-0,20	0,01	-0,18	4258,7	7554,9	5939,9	471,0	-763,7	-176,0
PAB-B	1:etelä+lounas	1:D0<500	1,37	0,33	1,44	506	1192	519	695,2	390,0	747,0
		2:D0 500-1000	1,27	0,66	1,75	568	1786	673	719,8	1178,5	1174,5
		3:D0 >1000	-0,25	1,65	1,42	12	79	24	-3,1	129,9	34,2
		4: Ei mitattu	0,95	0,67	1,42	0	0	2032	0,0	0,0	0,0
	1:etelä+lounas Yhteensä			1,14	0,74	1,67	1087	3057	3248	1412	1698
2:pohj+koillinen	1:D0<500	1:D0<500	0,34	1,67	1,96	852	688	256	289,3	1145,6	501,6
		2:D0 500-1000	1,19	4,39	5,44	934	1052	362	1111,4	4617,9	1968,2
		3:D0 >1000	9,44	1,85	11,29	0	23	0	0,0	42,2	0,0
		4: Ei mitattu	0,65	3,19	3,75	0	0	1299	0,0	0,0	0,0
2:pohj+koillinen Yhteensä			0,74	3,36	3,99	1786	1763	1917	1401	5806	2470
PAB-B Yhteensä			0,85	1,46	2,18	2873,2	4819,8	5165,1	2812,7	7504,1	4425,5
PAB-V/o	1:etelä+lounas	1:D0<500	1,61	1,68	2,71	679	887	530	1091,5	1489,2	1438,2
		2:D0 500-1000	1,60	2,03	3,23	1165	2308	1149	1864,0	4674,9	3709,9
		3:D0 >1000	4,92	3,12	7,50	66	263	87	323,5	820,4	651,5
		4: Ei mitattu	2,71	1,59	3,49	0	0	2856	0,0	0,0	0,0
	1:etelä+lounas Yhteensä			2,51	2,06	3,84	1910	3458	4623	3279	6984
2:pohj+koillinen	1:D0<500	1:D0<500	1,29	4,29	5,28	762	674	325	979,3	2892,8	1714,4
		2:D0 500-1000	1,16	2,87	3,81	2530	3748	1640	2939,7	10766,56	252,2
		3:D0 >1000	-2,01	2,17	0,29	124	539	138	-250,1	1170,9	40,4
		4: Ei mitattu	1,76	3,24	4,61	0	0	4777	0,0	0,0	0,0
2:pohj+koillinen Yhteensä			1,75	3,67	5,05	3416	4961	6880	3669	14830	8007
PAB-V/o Yhteensä			2,03	2,89	4,44	5326,3	8419,6	11502,86	6947,7	21814,6	13806,6

Taulukko 37. Vaurionopeuden keskiarvoerot päällystelajien ja tiealueiden mukaan, kun ikäeksponentti on 1.0. Taulukossa olevat koko maan keskiarvoerot, joissa taipumaa ei ole mitattu, on laskettu havaintomäärillä painotettuina.

	Muu- rakennettu	Rton - (muu ja Rttu)	Rton - (muu ja Rttu)	Rton - Rttu
	D0 mitattu	D0 mitattu	D0:aa ei mitattu	D0:aa ei mitattu
AB/Etelä	0.03	0.12	0.24	-0.15
AB/Pohjoinen	0.22	-0.05	0.10	-0.16
AB/Koko maa	0.11	-0.10	0.19	-0.15
PAB-B/Etelä	1.30	0.56	0.67	1.42
PAB-B/Pohjoinen	0.78	3.29	3.19	3.75
PAB-B/Koko maa	0.98	1.56	1.77	2.33
PAB-V0/Etelä	1.72	2.02	1.59	3.49
PAB-V0/Pohjoinen	1.07	2.99	3.24	4.61
PAB-V0/ Koko maa	1.30	2.59	2.68	4.19

Nähdään, että ikäeksponentilla 1.0 erotus on noin kolminkertainen verrattuna ikäeksponentilla 1.4 laskettuun erotukseen. Tulos on odotusten mukainen. Kohdan 5.1.5 ja 5.1.6 malleja sovellettaessa vaurioitumisnopeutta on suurennettava AB-teillä 0; PAB-B-teillä 1.56 ja PAB-V/o-teillä 2.59 yksikköä, kun kyseessä on rakentamaton tie. Vaikutus on suuri (noin 30...50 %), sillä vaurioitumisnopeus on kuvan 23 mukaan tavallisesti  $1.0 \dots 5.0 \text{ m}^2 / \text{v}^{1.0}$ .

#### 5.1.8.4. IRI:n kasvunopeus

Tässä tehdään samat tarkastelut kuin kohdassa 5.1.8.1.

Taulukko 38. IRI:n kasvunopeuden keskiarvoja rakennetyypin mukaan.

			Rak.tieto Data					
			muu		Rakenta-		Raken-	
			maton		nettu			
plaji	tiealue	d0luokka	VSnop_ka	Havaintoja	VSnop_ka	Havaintoja	VSnop_ka	Havaintoja
AB	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,04	7032	0,09	1889	0,08	419
		2:D0 500-1000	0,08	996	0,12	911	0,13	170
		3:D0 >1000	0,00	41	0,33	33	0,10	10
		4: Ei mitattu	0,04	15489	0,09	4216	0,07	1056
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,04	23558	0,10	7049	0,08
2:pohj+koillinen	1:D0<500	1:D0<500	0,05	6462	0,08	340	0,03	343
		2:D0 500-1000	0,08	2151	0,07	263	0,09	263
		3:D0 >1000	0,21	19	0,14	7	0,00	2
		4: Ei mitattu	0,06	18946	0,08	1247	0,08	1296
2:pohj+koillinen Yhteensä			0,06	27578	0,08	1857	0,07	1904
AB Yhteensä			0,05	51136	0,09	8906	0,07	3559
PAB-B	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,04	1212	0,05	1097	0,02	220
		2:D0 500-1000	0,05	1332	0,06	2044	0,04	237
		3:D0 >1000	0,00	61	0,11	174	0,05	22
		4: Ei mitattu	0,03	4413	0,05	4466	0,03	1085
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,03	7018	0,05	7781	0,03
2:pohj+koillinen	1:D0<500	1:D0<500	0,03	1334	0,05	115	0,01	291
		2:D0 500-1000	0,05	1972	0,08	330	0,02	332
		3:D0 >1000	0,11	79	0,00	10	0,00	2
		4: Ei mitattu	0,05	6686	0,06	768	0,01	1628
2:pohj+koillinen Yhteensä			0,05	10071	0,06	1223	0,01	2253
PAB-B Yhteensä			0,04	17089	0,06	9004	0,02	3817
PAB-V/o	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,05	659	0,05	527	0,03	353
		2:D0 500-1000	0,09	1799	0,08	1768	0,04	592
		3:D0 >1000	0,12	193	0,13	302	0,09	46
		4: Ei mitattu	0,08	4352	0,07	3793	0,05	2011
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,08	7003	0,07	6390	0,05
2:pohj+koillinen	1:D0<500	1:D0<500	0,03	868	0,08	216	0,01	238
		2:D0 500-1000	0,07	4132	0,10	1815	0,04	999
		3:D0 >1000	0,13	553	0,18	322	0,08	40
		4: Ei mitattu	0,07	10793	0,09	4613	0,05	3291
2:pohj+koillinen Yhteensä			0,07	16346	0,10	6966	0,04	4568
PAB-V/o Yhteensä			0,07	23349	0,09	13356	0,04	7570

Taulukko 39. Rakennetyypeittäisiä keskiarvoeroja IRI:n kasvunopeudelle. Sarakkeessa M, N ja O on keskenään vertailtujen havaintomäärien geometriset keskiarvot. Sarakkeissa P, Q ja R on kerrottu nopeuserokeskiarvoilla havaintomäärien geometriset keskiarvot. Havaintomäärien geometrinen keskiarvo on merkitty nollaksi, kun taipumaa ei tunneta.

plaji	tiealue	d-luokka	Nopeuserot			Havaintomäärien geometrinen keskiarvo					
			J=muu-rttu	K=rtou-rttu (rtu j amuu)	L=rtou-rttu	M=(muu-rttu) <sup>0.5</sup>	N=(rtou-rttu) <sup>0.5</sup>	O=(rtou-rttu) <sup>0.5</sup>	P=J*M	Q=K*N	R=L*O
AB	1:etelä+lounas	1:D0<500	-0,04	0,05	0,01	1717	3752	890	-70,1	193,7	11,6
		2:D0 500-1000	-0,05	0,03	-0,01	411	1031	394	-19,0	28,2	-4,7
		3:D0 >1000	-0,10	0,31	0,23	20	41	18	-2,0	12,9	4,2
		4: Ei mitattu	-0,03	0,05	0,02	0	0	2110	0,0	0,0	0,0
	1:etelä+lounas Yhteensä			-0,04	0,05	0,02	2148	4823	3411	-91	235
AB	2:pohj+koillinen	1:D0<500	0,02	0,04	0,06	1489	1521	341	33,0	53,3	19,2
		2:D0 500-1000	-0,01	-0,01	-0,02	752	797	263	-5,6	-6,8	-4,0
		3:D0 >1000	0,21	-0,05	0,14	6	12	4	1,3	-0,6	0,5
		4: Ei mitattu	-0,02	0,02	0,01	0	0	1271	0,0	0,0	0,0
	2:pohj+koillinen Yhteensä			-0,01	0,02	0,01	2247	2330	1880	29	46
AB Yhteensä			-0,02	0,04	0,02	4395,3	7153,35	5290,9	-62,3	280,7	26,9
PAB-B	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,02	0,01	0,03	516	1253	491	11,5	16,5	15,7
		2:D0 500-1000	0,01	0,01	0,02	562	1791	696	5,2	19,5	13,1
		3:D0 >1000	-0,05	0,10	0,07	37	120	62	-1,7	12,4	4,3
		4: Ei mitattu	0,00	0,02	0,02	0	0	2201	0,0	0,0	0,0
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,00	0,02	0,02	1115	3164	3450	15	48
PAB-B	2:pohj+koillinen	1:D0<500	0,02	0,02	0,04	623	432	183	11,5	10,1	7,0
		2:D0 500-1000	0,03	0,03	0,06	809	872	331	25,6	29,3	20,1
		3:D0 >1000	0,11	-0,11	0,00	13	28	4	1,4	-3,2	0,0
		4: Ei mitattu	0,03	0,02	0,05	0	0	1118	0,0	0,0	0,0
	2:pohj+koillinen Yhteensä			0,03	0,02	0,05	1445	1333	1637	39	36
PAB-B Yhteensä			0,02	0,02	0,04	2559,6	4497,15	5087,0	53,6	84,5	60,2
PAB-V/o	1:etelä+lounas	1:D0<500	0,02	0,00	0,01	482	730	431	10,0	0,0	5,8
		2:D0 500-1000	0,04	0,00	0,03	1032	2056	1023	45,9	-0,9	33,8
		3:D0 >1000	0,04	0,02	0,05	94	269	118	3,5	4,1	5,4
		4: Ei mitattu	0,03	0,00	0,02	0	0	2762	0,0	0,0	0,0
	1:etelä+lounas Yhteensä			0,04	0,00	0,03	1609	3055	4334	59	3
PAB-V/o	2:pohj+koillinen	1:D0<500	0,02	0,05	0,07	455	489	227	10,0	26,1	16,0
		2:D0 500-1000	0,03	0,03	0,06	2032	3052	1347	65,2	102,9	80,2
		3:D0 >1000	0,05	0,05	0,10	149	437	113	7,9	22,8	11,6
		4: Ei mitattu	0,02	0,03	0,05	0	0	3896	0,0	0,0	0,0
	2:pohj+koillinen Yhteensä			0,03	0,03	0,05	2635	3977	5583	83	152
PAB-V/o Yhteensä			0,03	0,02	0,04	4243,5	7032,49	9917,2	142,5	155,1	152,8

*Taulukko 40. IRI:n kasvunopeuden keskiarvoerot päällystelajien ja tiealueiden mukaan. Taulukossa olevat koko maan keskiarvoerot, joissa taipumaa ei ole mitattu, on laskettu havaintomäärillä painotettuina.*

	Muu- rakennettu D0 mitattu	Rton - (muu ja Rttu) D0 mitattu	Rton - (muu ja Rttu) D0:aa ei mitattu	Rton - Rttu D0:aa ei mitattu	AB/
Etelä	-0.04	0.05	0.05		0.02
AB/Pohjoinen	0.01	0.02	0.02		0.01
AB/Koko maa	-0.01	0.04	0.04		0.01
PAB-B/Etelä	0.01	0.02	0.02		0.02
PAB-B/Pohjoinen	0.03	0.03	0.02		0.05
PAB-B/Koko maa	0.02	0.02	0.02		0.03
PAB-V0 /Etelä	0.04	0.00	0.00		0.02
PAB-V0/Pohjoinen	0.03	0.04	0.03		0.05
PAB-V0/ Koko maa	0.03	0.02	0.02		0.04

Kohdan 5.2.2 malleja käytettäessä IRI:n kasvunopeutta tulisi kasvattaa 0.02 yksikköä, kun kysymyksessä on rakentamaton tie. Vaikutus on 10 %:n luokkaa, sillä IRI:n kasvu on yleensä luokkaa 0.2 mm/m/vuosi.

### 5.1.9. Muut tarkastelut

Ikäeksponentilla 2 tehtiin myös muita taulukoiden 29-40 kaltaisia tarkasteluja, joissa verrattiin homogeenisten osajoukkojen vaurioitumisnopeuksia keskenään. Tulokset vastaavat kohdan 5.1.1 ja 5.1.2 vastaavia tuloksia. Ainoita poikkeuksia olivat eräät rakentamattomia teitä sisältävät PAB-V-teiden tapaukset, joissa vauriosumma oli suuri jo pienillä D0:n arvoilla. Tielevyden kasvu ei vähentänyt vaurioita johdonmukaisesti. Vertailu osoitti kuitenkin, että sakkomalli pystyy ottamaan huomioon muuttujien keskinäisiä riippuvuuksia.

Ikäeksponentilla 2.0 kokeiltiin myös D0:n suhteen epälineaarista mallia. Laskentamenettely tuotti kuitenkin lähes kaikille päällystetyypeille lähes lineaarisen mallin, minkä vuoksi jatkotarkasteluissa päädyttiin pelkkiin lineaarisiin malleihin. Kuvajaajat eivät kuitenkaan kulje aivan origon kautta, kuten eivät lopullisissakaan malleissa.

Muutamissa tarkasteluissa selitettiin vauriosumman kasvunopeuden sijaan verkko-  
 kohalkeamien lisääntymisnopeutta  $[\text{verkkohalk.m2} / (\text{ikä}-4\text{vuotta})^2]$  tai vauriosumman kasvunopeutta, josta oli poistettu leveät pituushalkeamat. Nämä mallit olivat epävakaampia kuin koko vauriosummalla lasketut mallit sekä osoittaja tai nimittäjä on usein hyvin pieni.

## 5.2. Yhteenveto vauriomalleista tien ominaisuuksien perusteella (=TP1) rakennetuille teille

### 5.2.1. Vauriosumman kasvunopeus

#### 5.2.1.1. Pääselittäjänä D0

Varsinaiset mallit koskevat vain rakennettuja teitä. Rakentamattomien PAB-B- ja PAB-V/o-teiden vaurioitumisnopeus on hieman suurempi.

Analyysissä todettiin, että koko aineistolla tehdyssä sakkomallissa oli liikaa poikkeavia havaintoja. Poikkeavia havaintoja tulisi karsia analyysistä pois vain selvien faktojen mukaan: tässä analyysissä tutkittiin ne taustaolosuhteet, joihin liittyi normaalista tien vaurioitumisesta poikkeavia kohteita. Poikkeavat havainnot poistettiin siten, että yli 2.5 suuruiset studentisoidut residuaalit hylättiin. Nämä analyysistä poistetut tiet (3 % aineistosta) olivat tyypillisesti kapeita (<7.5m), vähäliikenteisiä, PAB-V/o-päällysteisiä teitä sitomattomalla alustalla ja Pohjois-Suomesta<sup>21</sup>.

Vauriosummamalleista parhaan selitysasteen antoi ikäeksponenttia 1.0 käyttävä malli, joka olettaa, että vuotuinen vauriolisäys ei kasva tien vanhetessa. Ikäeksponenttia koskevissa tarkasteluissa todettiin kuitenkin, että seurattaessa yhden tien vaurioitumista vauriosumman kasvu kiihtyy siten, että ikäeksponentin keskiarvoksi tulee päällystetyypeittäin noin 2 ja mediaaniksi 1,5. Ristiriidan syynä on todennäköisesti se, että suuressa aineistossa nuorena on inventoitu vain nopeasti vaurioituneita teitä ja vanhana on inventoitu lähinnä hitaasti vaurioituneita teitä. Tämä on vääristänyt aineistoa hiukan. Ikäeksponenttitarkasteluissa (riippuva aineisto) käytettiin pelkästään aineistoa, jossa kaikilta teiltä oli useita vauriohavaintoja. Kumpikaan aineisto ei paljastanut, miten vaurioituminen etenisi, jos vauriosummat ylittäisivät selvästi nykyiset toimenpiderajat. Sellaista aineistoa ei ole riittävästi. Vaurioituminen ei kuitenkaan voine loputtomiin jatkua kiihtyvästi.

Kaikilla ikäeksponenteilla havaitaan, että taipuma, päällystelaji, leveys ja raskaan liikenteen määrä vaikuttavat vaurioihin loogisella tavalla. Tosin pienillä KVLR:n arvoilla vaurioitumisnopeus on käytännössä sama kuin keskisuurilla KVLR:n arvoilla. Vasta suurilla KVLR:n arvoilla vaurioituminen lisääntyy. Aikaisemmissa malleissa, joissa ei poistettu poikkeavia havaintoja, KVLR:n kasvu alkoi lisätä vaurioita jo pienemmällä liikennemäärällä siten, että esimerkiksi ikäeksponentilla 2.0 KVLR:n kaksinkertaistuminen aiheutti 0.2 yksikön lisän D0:n kerrotimeen.

• ikäeksponentilla 2.0 =18%.

$$Y = -0.004 + D0 \times \left[ 0.401 + \left\{ \begin{array}{l} \text{alusta ston} = 0.044 \\ \text{alusta sttu} = 0.000 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Leveys} \\ 6.4m = 0.231 \\ 8.1m = 0.091 \\ 11.9m = 0.000 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{PLAJI PV} = 0.241 \\ \text{PLAJI PB} = 0.172 \\ \text{PLAJI AB} = 0.000 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{KVLR} \\ 34 \text{ ajon / d} = 0.000 \\ 111 \text{ ajon / d} = -0.027 \\ 279 \text{ ajon / d} = 0.200 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Etelä} = -0.053 \\ \text{Pohjoinen} = 0.000 \end{array} \right\} \right]$$

Y = vauriosumman määrä / aika<sup>2.0</sup>.

Vaurioitumisnopeus on PAB-B-teillä 0.25 m2/v2 ja PAB-V/o-teillä 0.49 m2/v2 suurempi, kun kysymyksessä on rakentamaton tie.

<sup>21</sup> Katso luku 5.1.7

• ikäeksponentilla 1.4  $R^2=20.8\%$ .

$$Y = -0.008 + D0 \times \left[ 1.320 + \begin{cases} \text{alusta ston} = 0.304 \\ \text{alusta situ} = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{Leveys} \\ 6.4m = 0.727 \\ 8.1m = 0.242 \\ 11.9m = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{PLAJI PV} = 0.895 \\ \text{PLAJI PB} = 0.656 \\ \text{PLAJI AB} = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{KVLR} \\ 34 \text{ ajon/d} = 0.000 \\ 111 \text{ ajon/d} = -0.083 \\ 279 \text{ ajon/d} = 0.577 \end{cases} + \begin{cases} \text{Etelä} = -0.076 \\ \text{Pohjoinen} = 0.000 \end{cases} \right]$$

$Y = \text{vauriosumman määrä} / \text{aika}^{1.4}$ .

Vaurioitumisnopeus on PAB-B-teillä  $0.75 \text{ m}^2/\text{v}^{1.4}$  ja PAB-V/o-teillä  $1.33 \text{ m}^2/\text{v}^{1.4}$  suurempi, kun kysymyksessä on rakentamaton tie.

• ikäeksponentilla 1.0  $R^2=22\%$ .

$$Y = -0.039 + D0 \times \left[ 3.166 + \begin{cases} \text{alusta ston} = 0.837 \\ \text{alusta situ} = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{Leveys} \\ 6.4m = 1.557 \\ 8.1m = 0.340 \\ 11.9m = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{PLAJI PV} = 2.112 \\ \text{PLAJI PB} = 1.564 \\ \text{PLAJI AB} = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{KVLR} \\ 34 \text{ ajon/d} = 0.000 \\ 111 \text{ ajon/d} = -0.183 \\ 279 \text{ ajon/d} = 1.083 \end{cases} + \begin{cases} \text{Etelä} = 0.547 \\ \text{Pohjoinen} = 0.000 \end{cases} \right]$$

$Y = \text{vauriosumman määrä} / \text{aika}^{1.0}$ .

Vaurioitumisnopeus on PAB-B-teillä  $1.56 \text{ m}^2/\text{v}^{1.0}$  ja PAB-V/o-teillä  $2.59 \text{ m}^2/\text{v}^{1.0}$  suurempi, kun kysymyksessä on rakentamaton tie.

### 5.2.1.2. Pääselittäjänä SCI300

• ikäeksponentilla kaksi  $R^2=14\%$ .

$$Y = 0.147 + SCI300 \times \left[ 0.219 + \begin{cases} \text{alusta ston} = 0.084 \\ \text{alusta situ} = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{Leveys} \\ 6.4m = 0.588 \\ 8.1m = 0.195 \\ 11.9m = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{PLAJI PV} = 0.541 \\ \text{PLAJI PB} = 0.336 \\ \text{PLAJI AB} = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{KVLR} \\ 34 \text{ ajon/d} = 0.000 \\ 111 \text{ ajon/d} = -0.126 \\ 279 \text{ ajon/d} = 0.277 \end{cases} + \begin{cases} \text{Etelä} = -0.119 \\ \text{Pohjoinen} = 0.000 \end{cases} \right]$$

$Y = \text{vauriosumman määrä} / \text{aika}^{2.0}$ .

• ikäeksponentilla 1.4  $R^2=16\%$ .

$$Y = 0.482 + SCI300 \times \left[ 0.764 + \begin{cases} \text{alusta ston} = 0.587 \\ \text{alusta situ} = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{Leveys} \\ 6.4m = 1.855 \\ 8.1m = 0.423 \\ 11.9m = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{PLAJI PV} = 1.959 \\ \text{PLAJI PB} = 1.378 \\ \text{PLAJI AB} = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{KVLR} \\ 34 \text{ ajon/d} = 0.000 \\ 111 \text{ ajon/d} = -0.357 \\ 279 \text{ ajon/d} = 0.850 \end{cases} + \begin{cases} \text{Etelä} = 0.135 \\ \text{Pohjoinen} = 0.000 \end{cases} \right]$$

$Y = \text{vauriosumman määrä} / \text{aika}^{1.4}$ .

• ikäeksponentilla yksi  $R^2=18\%$ .

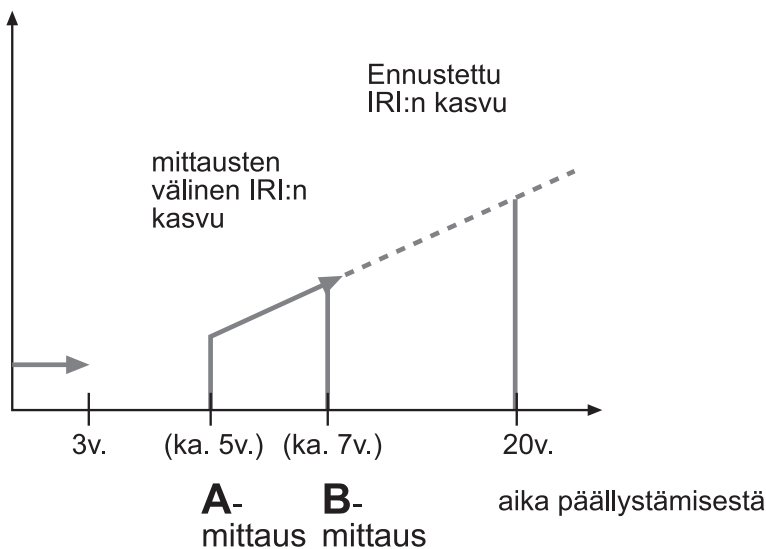
$$Y = 1.108 + SCI300 \times \left[ 1.872 + \begin{cases} \text{alusta ston} = 1.839 \\ \text{alusta situ} = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{Leveys} \\ 6.4m = 3.820 \\ 8.1m = 0.286 \\ 11.9m = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{PLAJI PV} = 4.651 \\ \text{PLAJI PB} = 3.222 \\ \text{PLAJI AB} = 0.000 \end{cases} + \begin{cases} \text{KVLR} \\ 34 \text{ ajon/d} = 0.000 \\ 111 \text{ ajon/d} = -0.629 \\ 279 \text{ ajon/d} = 1.465 \end{cases} + \begin{cases} \text{Etelä} = 1.278 \\ \text{Pohjoinen} = 0.000 \end{cases} \right]$$

$Y = \text{vauriosumman määrä} / \text{aika}^{1.0}$ .

D0:aan perustuvat mallit saavat paremman selitysasteen kuin SCI300:aan perustuvat mallit. Syynä voi olla se, että suurehko osa vaurioista on routanousun aiheuttamia, ja D0:n yhteys routanousuun on vahvempi kuin SCI300:n. Toinen selitys voi olla se, että SCI300 ja D0 on mitattu kesällä, eikä varsinkaan kesän SCI300 kuvaa pahimman vaurioitumisajan eli kevään tierakennetta. Erilaisissa epälineaarisisa kokeiluissa havaittiin, että vaurioitumisnopeus kasvaa D0:n ja SCI300:n suhteen lineaarisesti. Pienillä, alle 0.3 mm, taipumilla, vaurioituminen ei kuitenkaan enää ole hitaampaa kuin D0:n arvolla 0.3 mm.

### 5.2.2. IRI:n kasvumalli

Mallia käytetään siten, että tien pinnan IRI 3-vuotta vanhalle päällysteelle mitataan tai arvioidaan tietyypin perusteella. IRI:n kasvu tästä eteenpäin voidaan ennustaa tällä mallilla. Mallissa on osittain samoja tekijöitä kuin vauriosummaa koskevilla malleilla.



Kaaviossa A- ja B-mittauksien keskiarvot ovat KURRE-aineiston mukaan 5.4 ja 7.1 vuotta. Ensimmäinen mittaus tehdään tyypillisesti noin parin kolmen vuoden kuluessa päällystämisestä.

$$IRI = 3v.IRI + \left\{ \left( \frac{SCI300}{1mm} \right) * \left[ 0,35 + \left( \frac{Alusta}{eitukittu} \right) + \left( \frac{AB = 0}{PAB = 0,18} \right) + \left( \frac{Leveys}{eivaikutusta} \right) + \left( \frac{KVL R}{\begin{matrix} 22ajon/d = 0 \\ 85ajon/d = 0 \\ 285ajon/d = 0,22 \end{matrix}} \right) + 0,08 \right] * (ikä - 3v.) \right\}$$

$$IRI = 3v.IRI + \left\{ \left( \frac{D0}{1mm} \right) * \left[ 0,17 + \left( \frac{Alusta}{eitukittu} \right) + \left( \frac{AB = 0}{\begin{matrix} PAB - B = 0,03 \\ PAB - V = 0,09 \end{matrix}} \right) + \left( \frac{Leveys = 0}{\phantom{Leveys = 0}} \right) + \left( \frac{KVL R}{\begin{matrix} 22ajon/d = 0 \\ 85ajon/d = 0 \\ 285ajon/d = 0,09 \end{matrix}} \right) + \left( \frac{Alue}{\begin{matrix} etelä = 0,070 \\ pohjoinen = 0,075 \end{matrix}} \right) \right] * (ikä - 3v.) \right\}$$



Koska PAB-v teillä KVLr on pieni ja AB teillä usein suuri, malli on useimmiten  $D0 * 0,26 + 0,07$

Vähäliikenteisillä AB ja PAB-B-teillä se voi kuitenkin olla  $D0 * 0,20 + 0,07$

Koska D0 on yleensä 0,3...1,0 mm, saadaan kaavan alkuosaksi yleensä 0,13...0,26. IRI:n taso 3 vuotta vanhoilla teillä on keskimäärin 1.6 - 2.0 riippuen päällystelajista.

### 5.2.3. Uran itseisarvon kasvumalli

Kuntorekisteristä on saatu seuraava taipuman suhteen lineaarinen malli  $KVL < 800$  ajon/d teille, kun (vakio+kerroin \* D0-kaavan) vakio on pakotettu 0,33:ksi (oli 0,25...0,4 PAB-teillä ja 0,5 AB-teillä, joita oli vähän) ja D0:n kertoimet on muutettu vastaavasti:

$$\left( \frac{D0}{1mm} \right) * 0,3 + \left[ \begin{array}{l} \text{Alusta} \\ \text{sitomaton} = 0 \\ \text{vanhapääll} = 0,06 \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} AB = -0,09 \\ PAB - B = 0 \\ PAB - V = 0 \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Leveys} \\ 8,3m = ? \\ 6,1m = 0 \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} KVLr \\ 22 \text{ajon/d} = 0 \\ 85 \text{ajon/d} = ? \\ 285 \text{ajon/d} = ? \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Alue} \\ \text{et.} = 0 \\ \text{pohj.} = 0,11 \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Rakennetyyppi} \\ \text{rakennettu} = 0,33 \\ \text{rakentamaton}(PAB - V) = ? \end{array} \right]$$

Rakentamattomilta teiltä on hyvin vähän uramittauksia.

Mallin testikuvaa ei esitetä. Malli pitäisi tehdä samalla tavalla kuin IRI, jolloin 3 ensimmäisen vuoden ura otetaan huomioon erikseen mittaamalla. Uran itseisarvon sijaan voisi olla parempi käyttää jotakin uudempaa uran tunnuslukua.

## 6 VAURIOENNUSTE EDELTÄVÄN VAURIOITUMISNOPEUDEN JA KUNNOSTUSTAVAN PERUSTEELLA (=TP2)

Aineistolla pyritään ennustamaan kevyen toimenpiteen vaikutus alkuperäiseen vaurioitumisnopeuteen. Toimenpiteen vaikutusaineiston kaikki taipumat ovat lämpötilakorjattuja. Keskeisten muuttujien jakaumat on esitetty liitteissä 4 ja 5.

Tarkasteluissa on esitetty TP2-toimenpiteen jälkeinen vaurionopeus edeltävän vaurionopeuden (=TP1 jälkeen) ja toimenpiteen TP2 rankkuuden mukaan.

Tässä on esitetty sekä vauriosummanopeuden keskiarvo että mediaani. Jos muuttujan jakauma on symmetrinen normaalijakauma, niin sen keskiarvo ja keskihajonta ovat tyhjentävät tunnusluvut: toisinsanoen kaikki oleellinen informaatio jakaumasta sisältyy näihin kahteen tunnuslukuun. Heti kun jakaumassa esiintyy joitakin harvinaisia havaintoja tai muita poikkeavia havaintoryhmiä - keskiarvon käyttöön liittyy tilastoharhaa. Mediaani on epäherkkä poikkeaville havainnoille: se kestää murtumatta useita kymmeniä prosentteja poikkeavia havaintoja. Murtumisella tarkoitetaan tunnusluvun herkkyyttä tuottaa virhetulkintoja. Keskiarvon murtumiseen riittää yksikin erittäin poikkeava havaintoja, kun mediaani "kestää" siis kymmeniä prosentteja "roskahavaintoja".

### 6.1. Vauriosumma

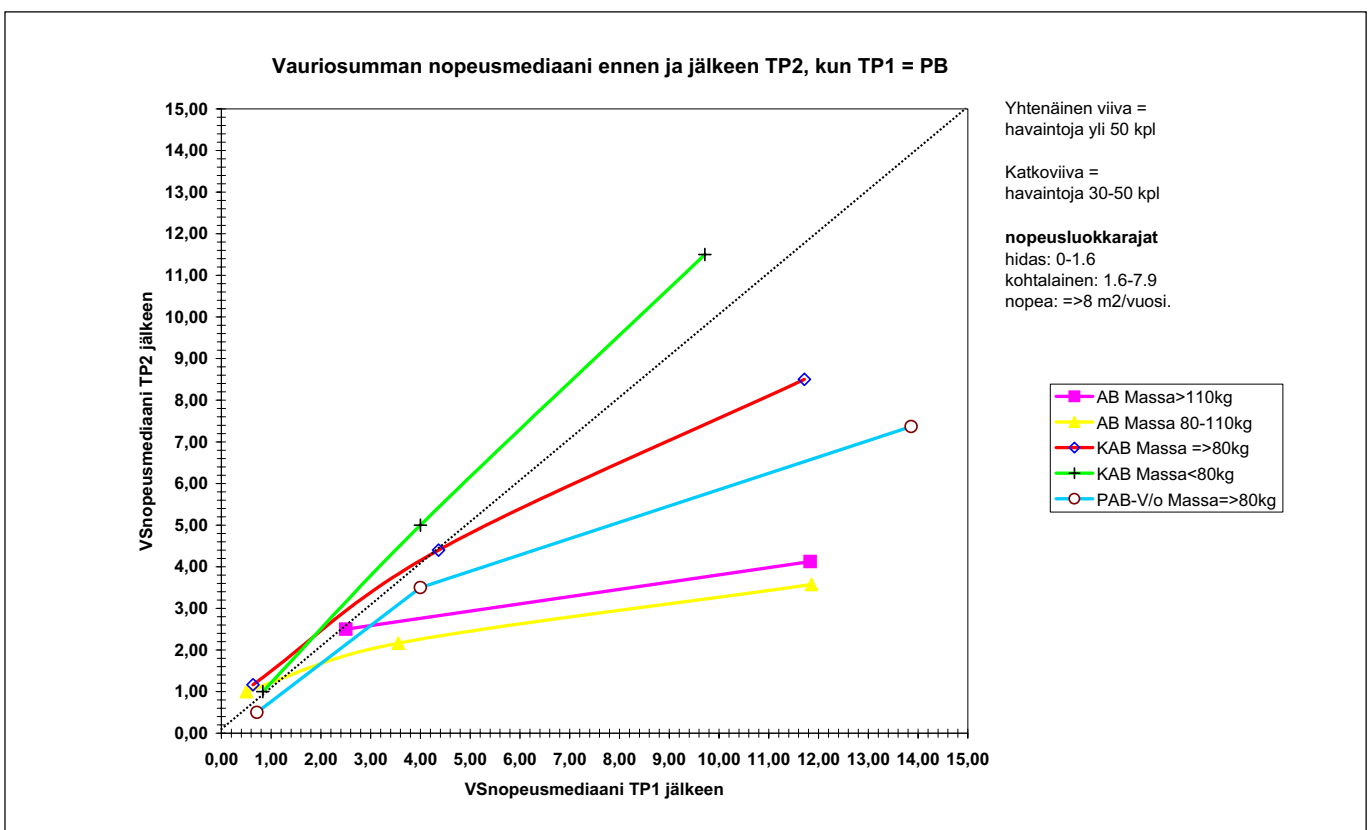
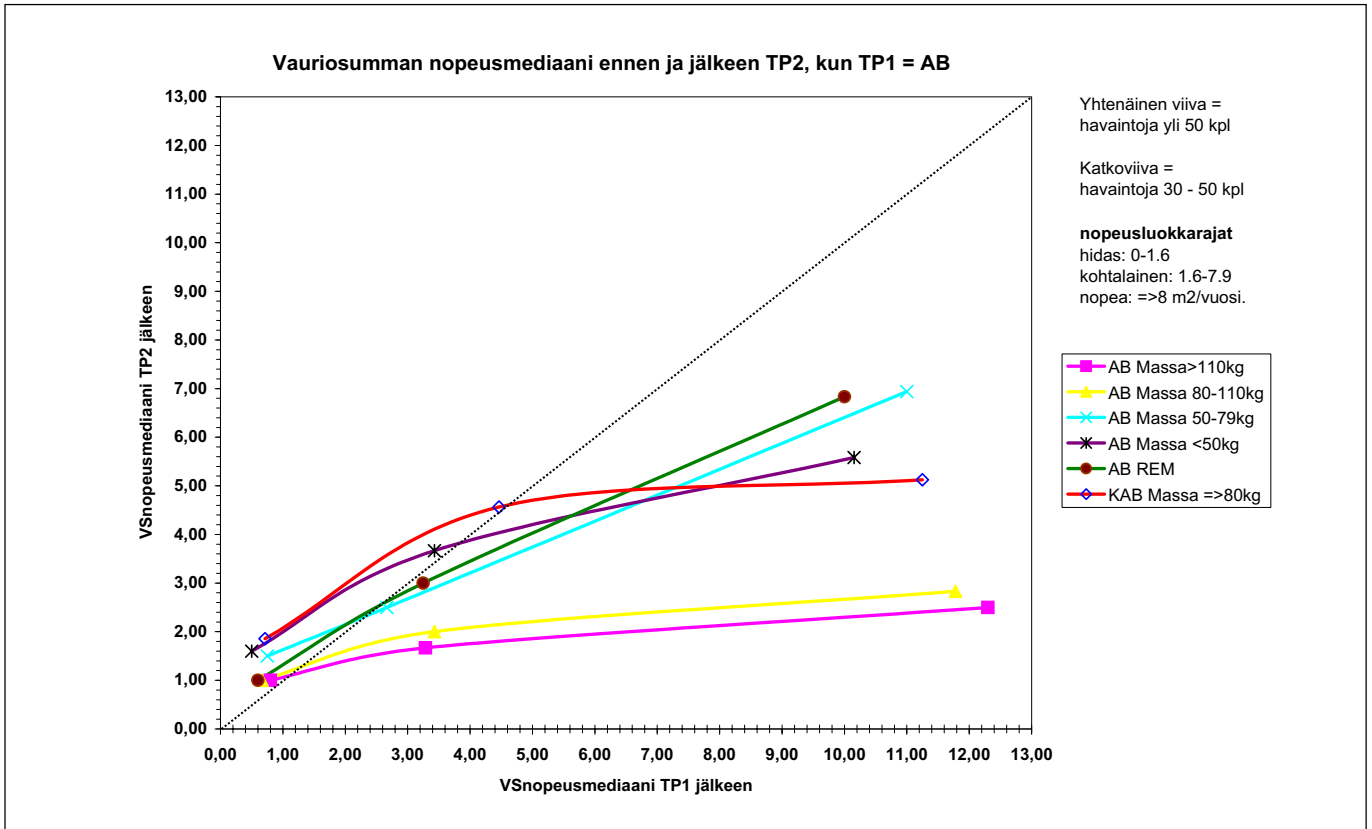
Tässä luvussa esitellään toimenpiteen vaikutusta vauriosumman kasvunopeuteen. Tarkastelujen tulokset esitetään keskiarvo- ja mediaanikuvina, joista näkyy karkeasti eri toimenpiteen parantava vaikutus kuntotilaan. Kuvasarjat on tehty vain ikäeksponenteille 1.0 ja 1.4. Kaikissa vauriosummatarkasteluissa päälysteen iät ovat vähintään 4 vuotta. Kuvasarjoja esitetään kahta erilaista: ilman D0-luokitusta ja D0-luokituksen kanssa.

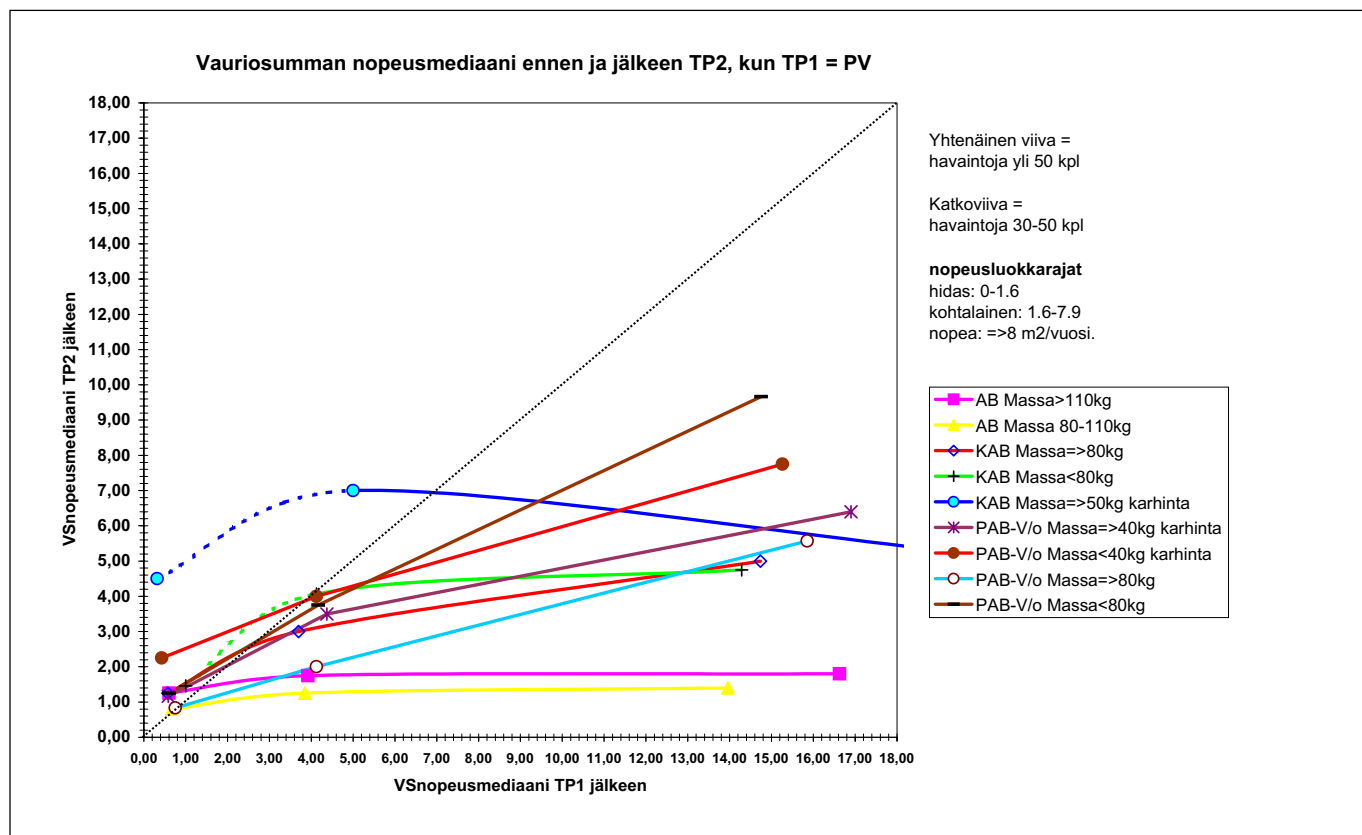
Malleja kokeiltaessa havaittiin, että toimenpiteen TP2 jälkeinen vaurioitumisnopeus riippuu selvimmin toimenpidettä TP2 edeltäneestä (=TP1 jälkeisestä) vaurioitumisnopeudesta sekä toimenpiteen TP2 rankkuudesta. Testien mukaan KVLR, leveys ja muut selittäjät eivät selitä erikseen, koska näiden vaikutus sisältyy jo TP2:ta edeltävään vaurioitumisnopeuteen. Poikkeuksena on D0: malli muuttuu, kun D0 on suuri. Toimenpiteen TP2 aikainen vauriomäärä tai toimenpiteen TP1 ja TP2 välinen aika eivät aineiston mukaan vaikuta TP2:n jälkeiseen vaurionopeuteen.

Seuraavissa kuvissa X-akselilla on edellisen toimenpiteen TP1 jälkeinen vaurionopeuden keskiarvo tai mediaani. Y-akselilla on myöhemmän toimenpiteen TP2 jälkeinen vaurionopeuden keskiarvo tai mediaani.

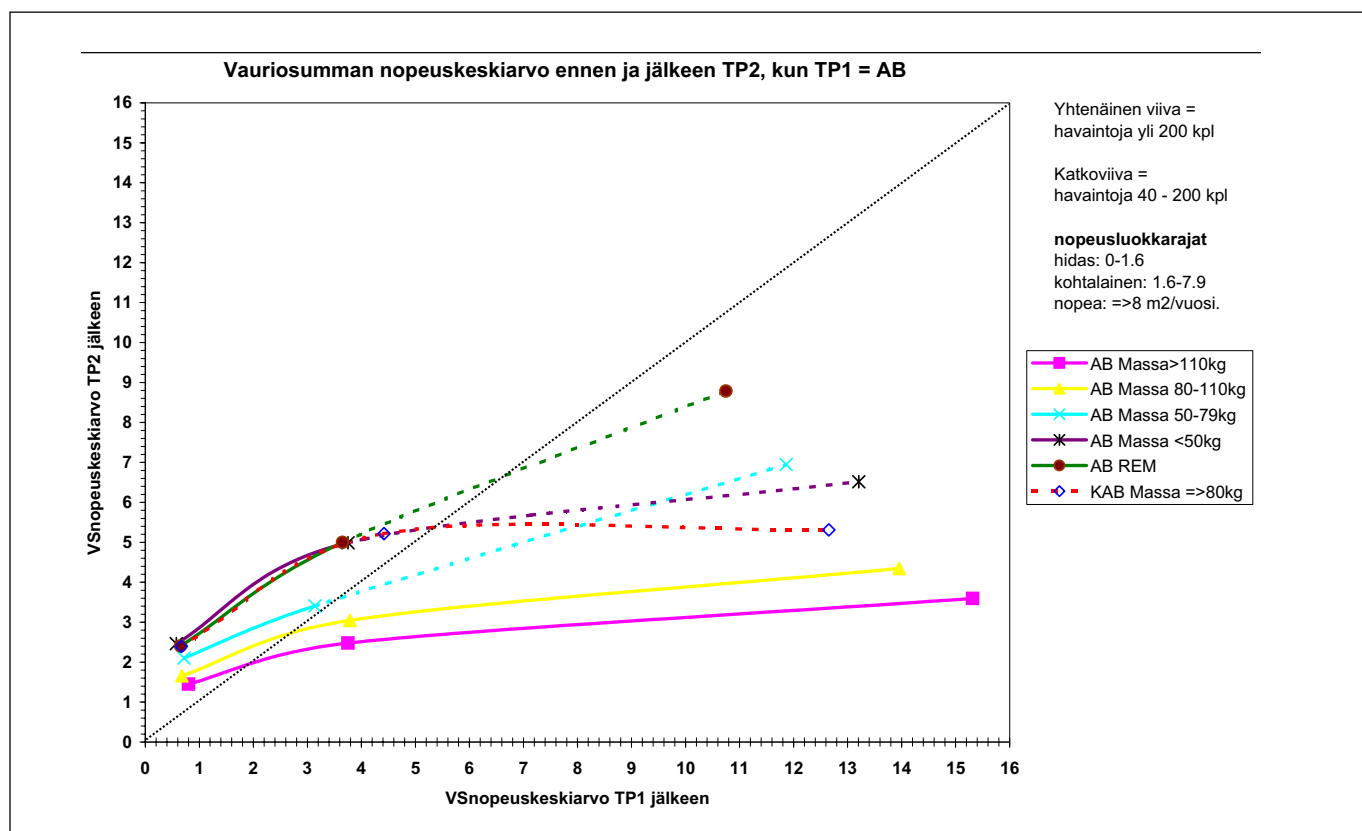
### 6.1.1. Vauriosummakuvat, joissa ei D0-luokitusta

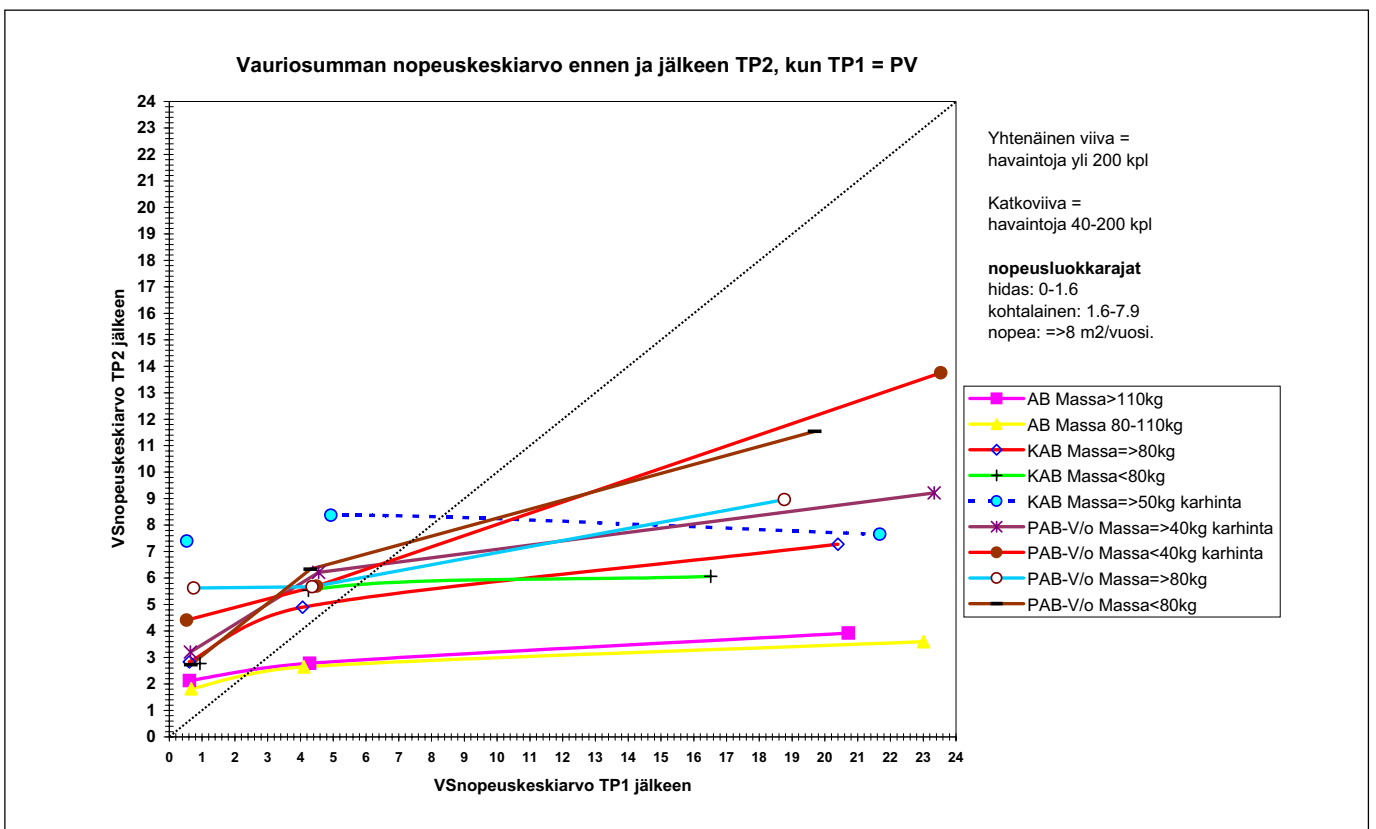
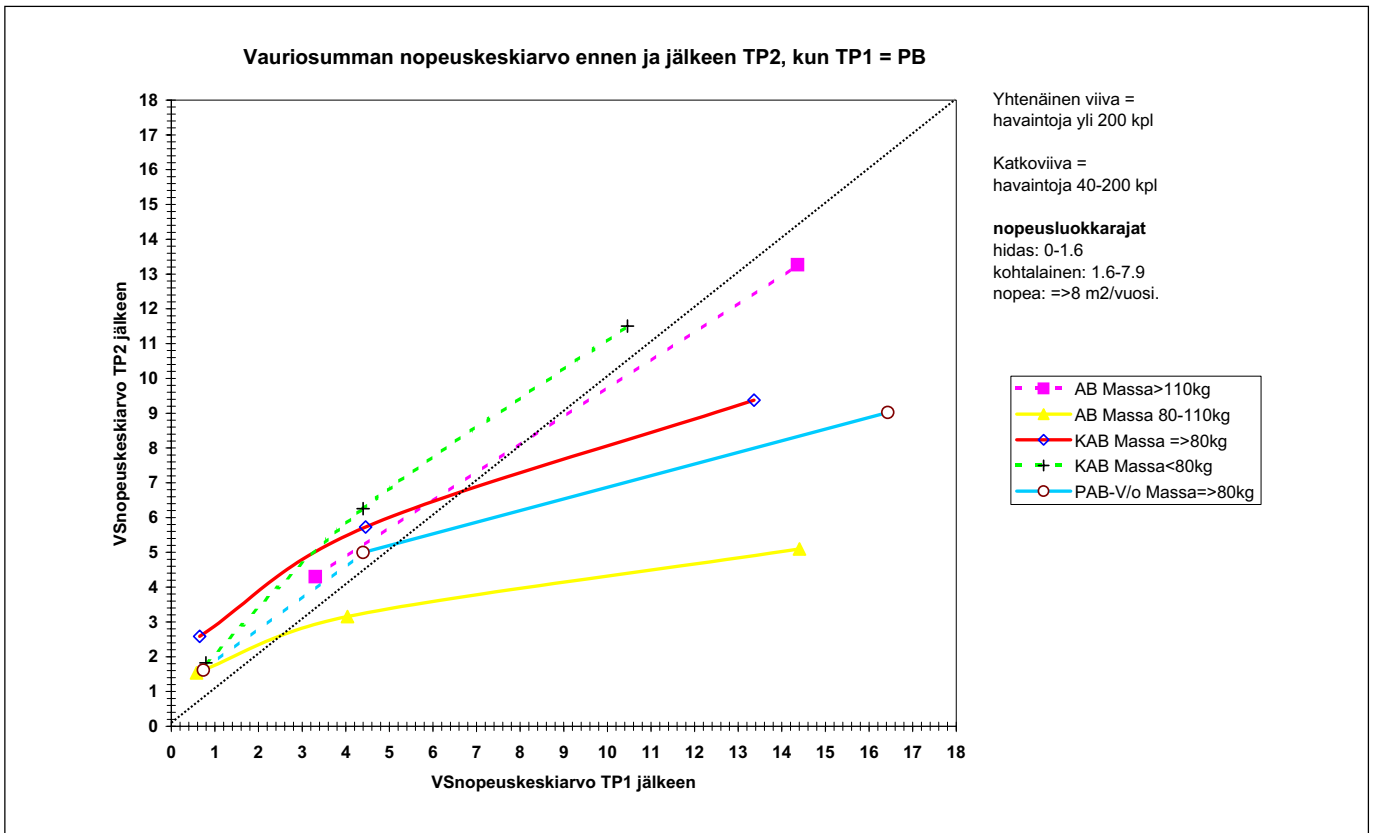
#### 6.1.1.1. Vauriosumman nopeusmediaanit (Ikäeksponentti 1 ja mittausten ikä>3))



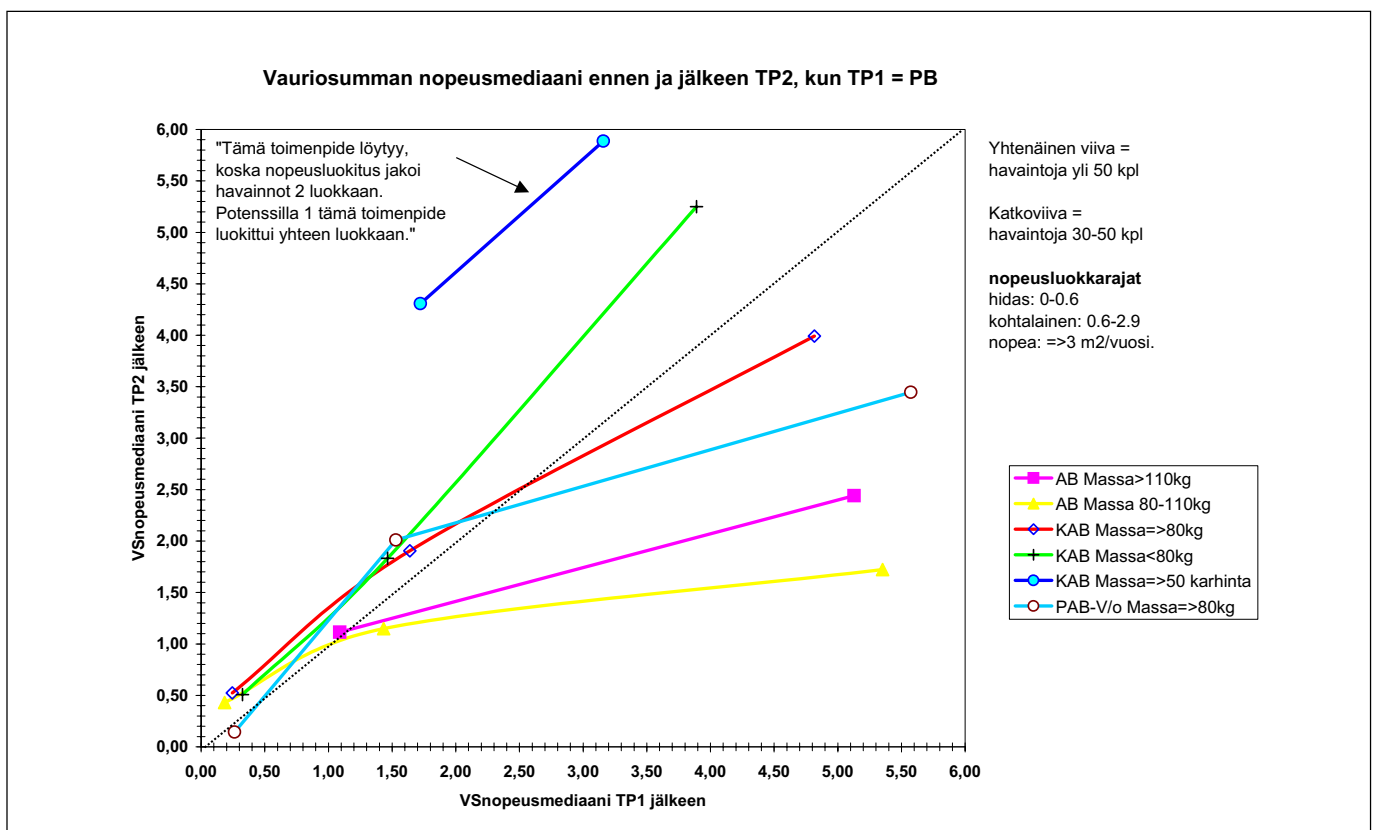
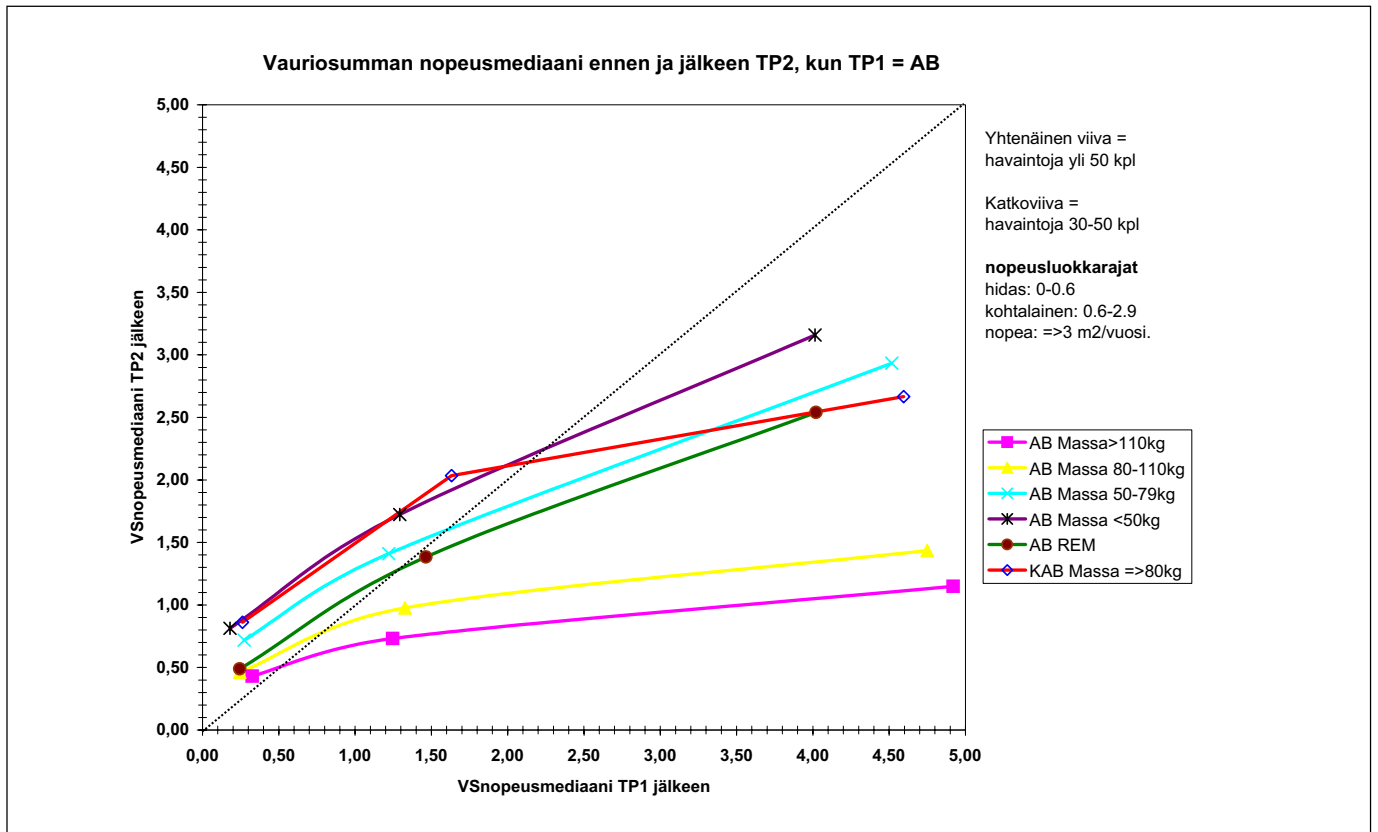


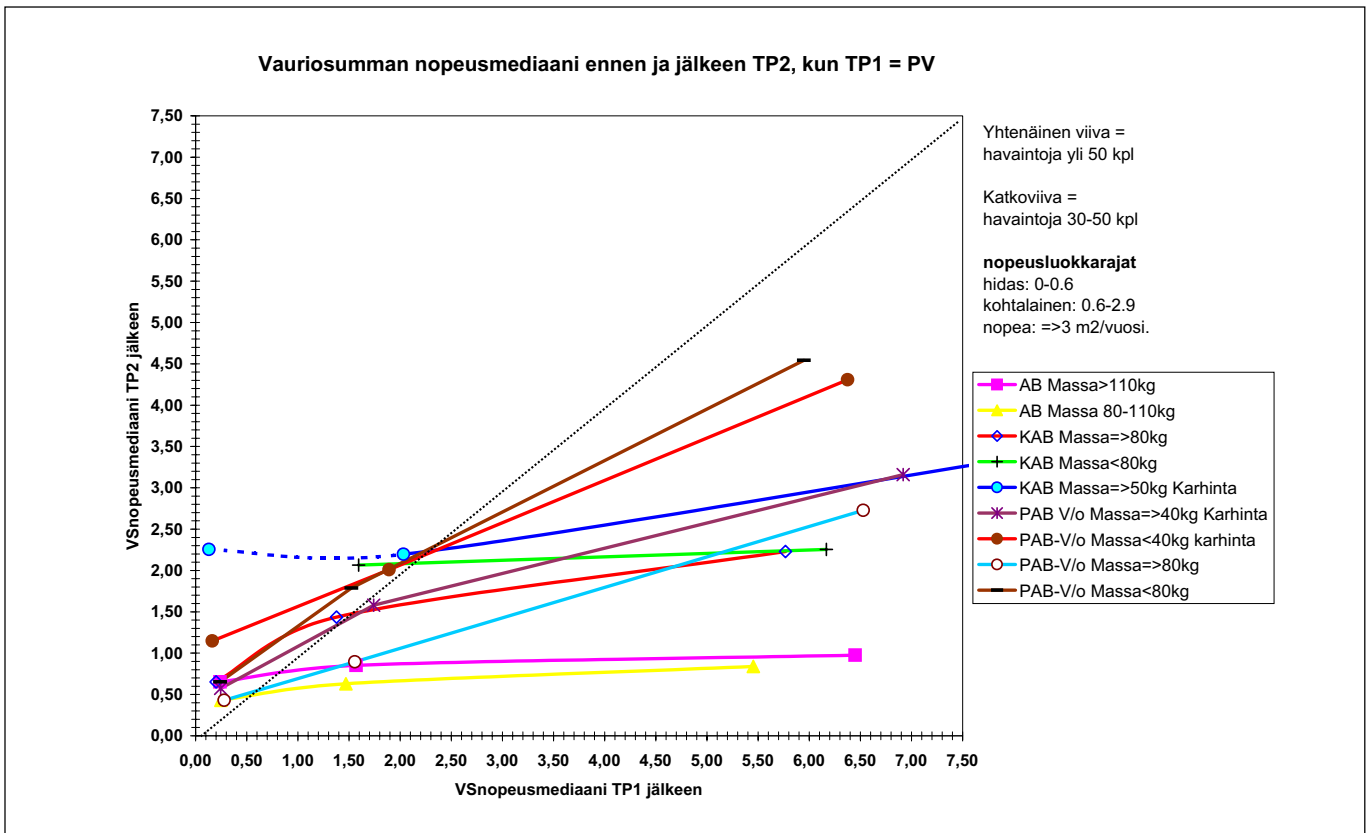
**6.1.1.2. Vauriosumman nopeuskeskiarvot (Ikäeksponentti 1 ja mittausten ikä>3)**



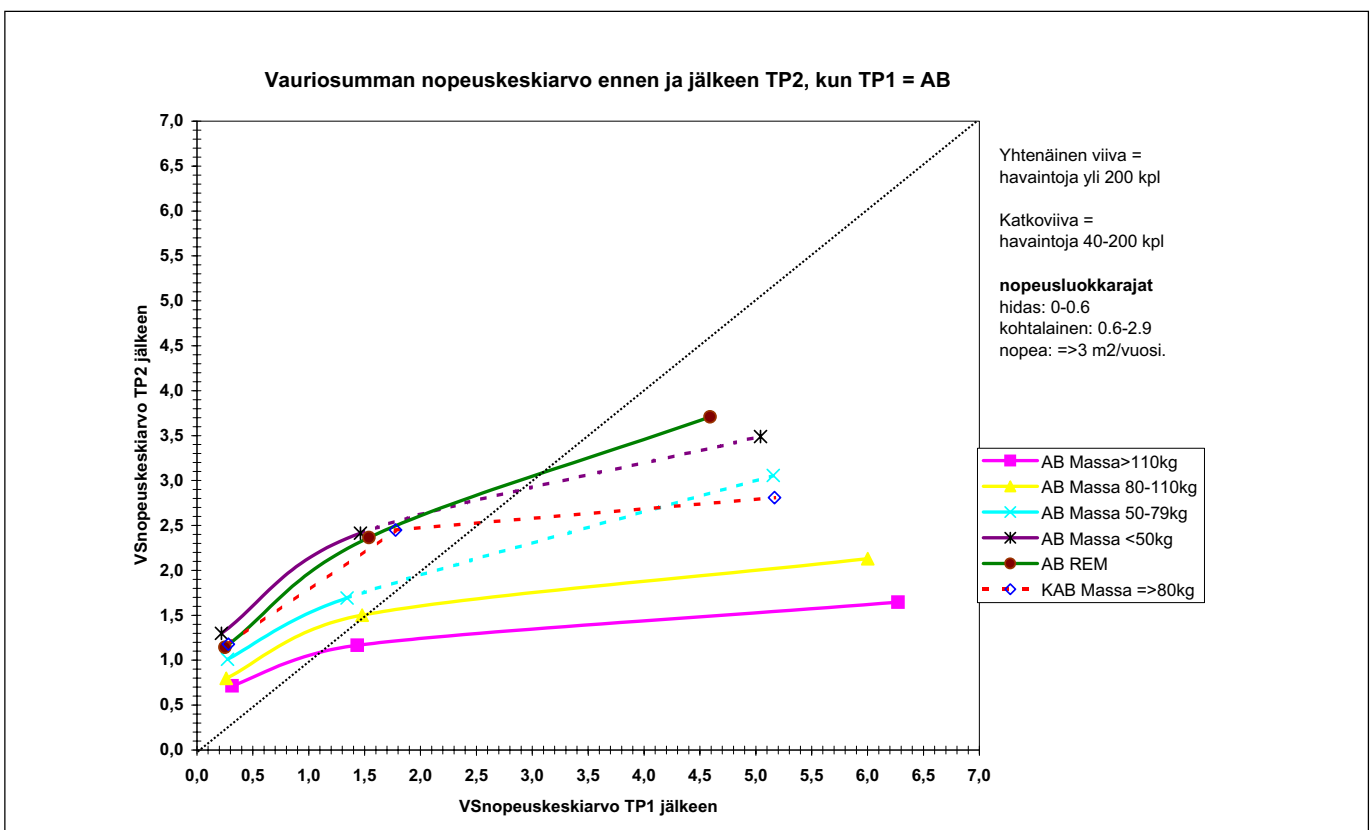


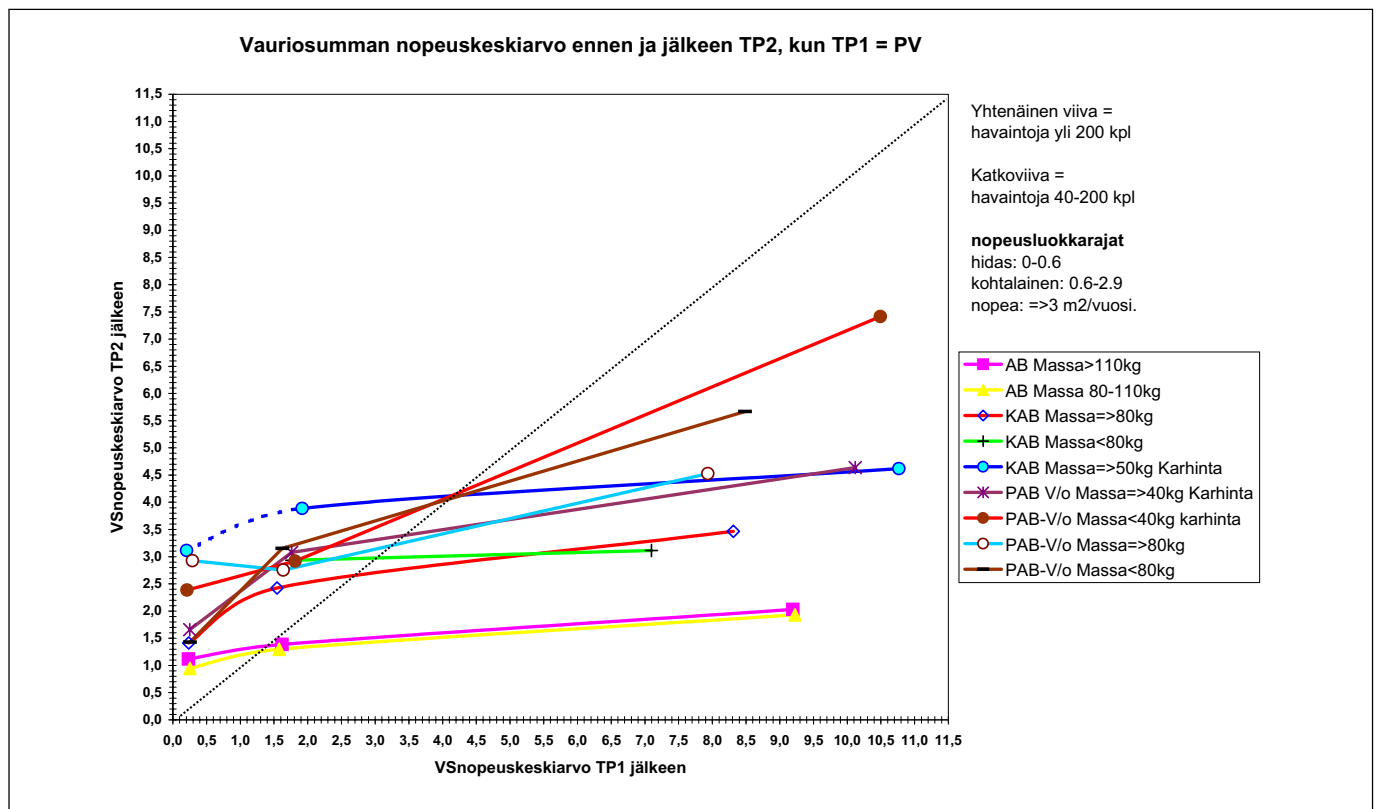
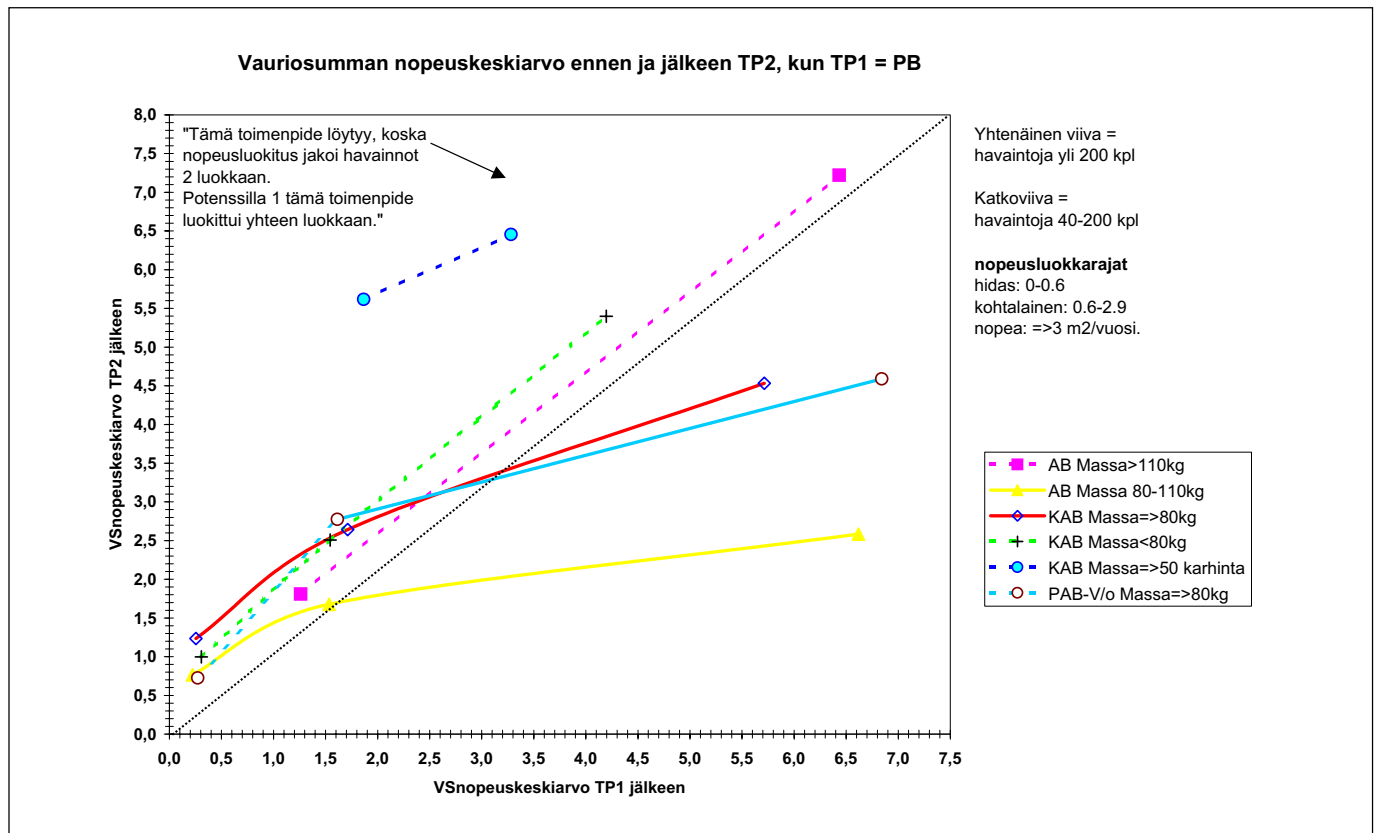
## 6.1.1.3. Vauriosumman nopeusmediaanit (lkäeksponentti 1.4 ja mittausten ikä&gt;3))





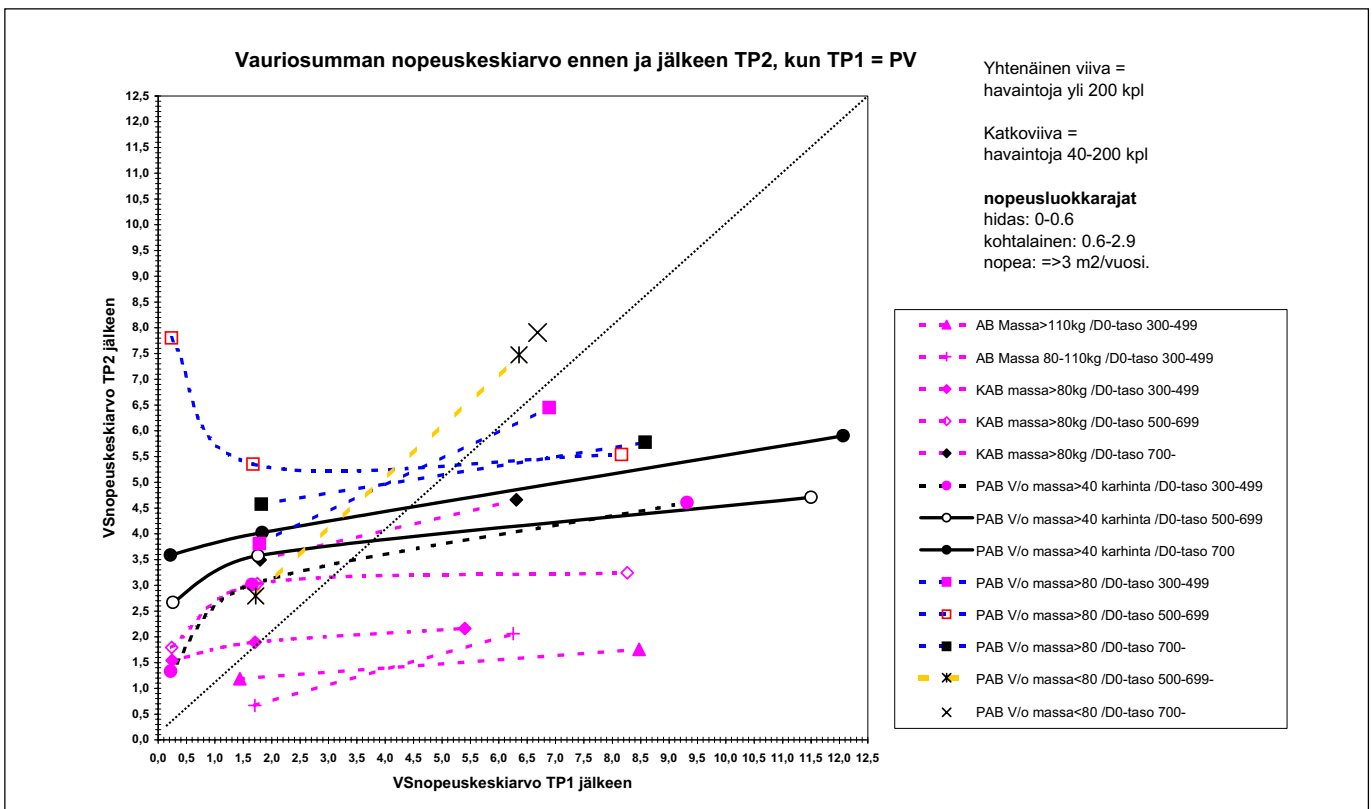
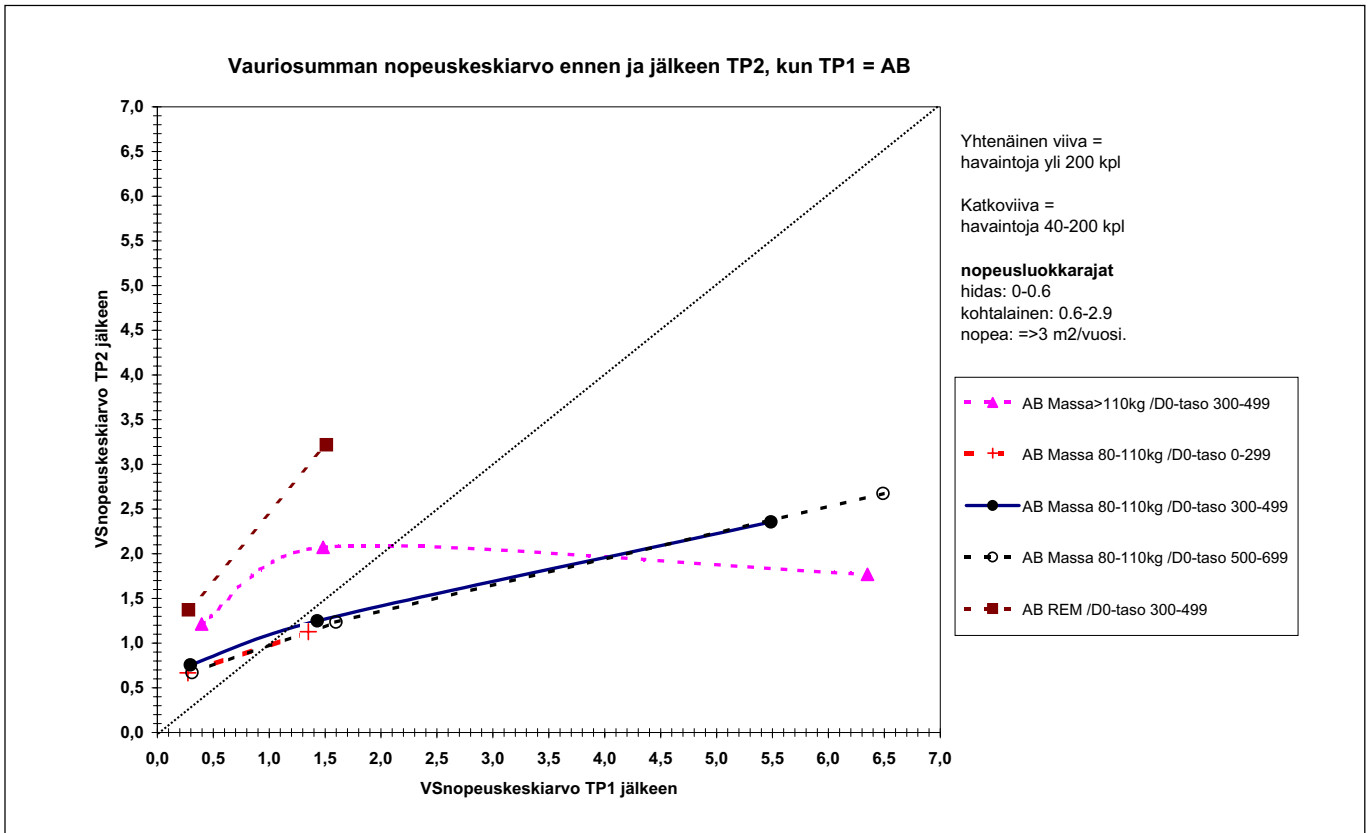
**6.1.1.4. Vauriosumman nopeuskeskiarvot (Ikäeksponentti 1.4 ja mittausten ikä>3)**







### 6.1.2. Vauriosummakuvat, joissa on D0-luokitus (ikäeksponentti 1.4)

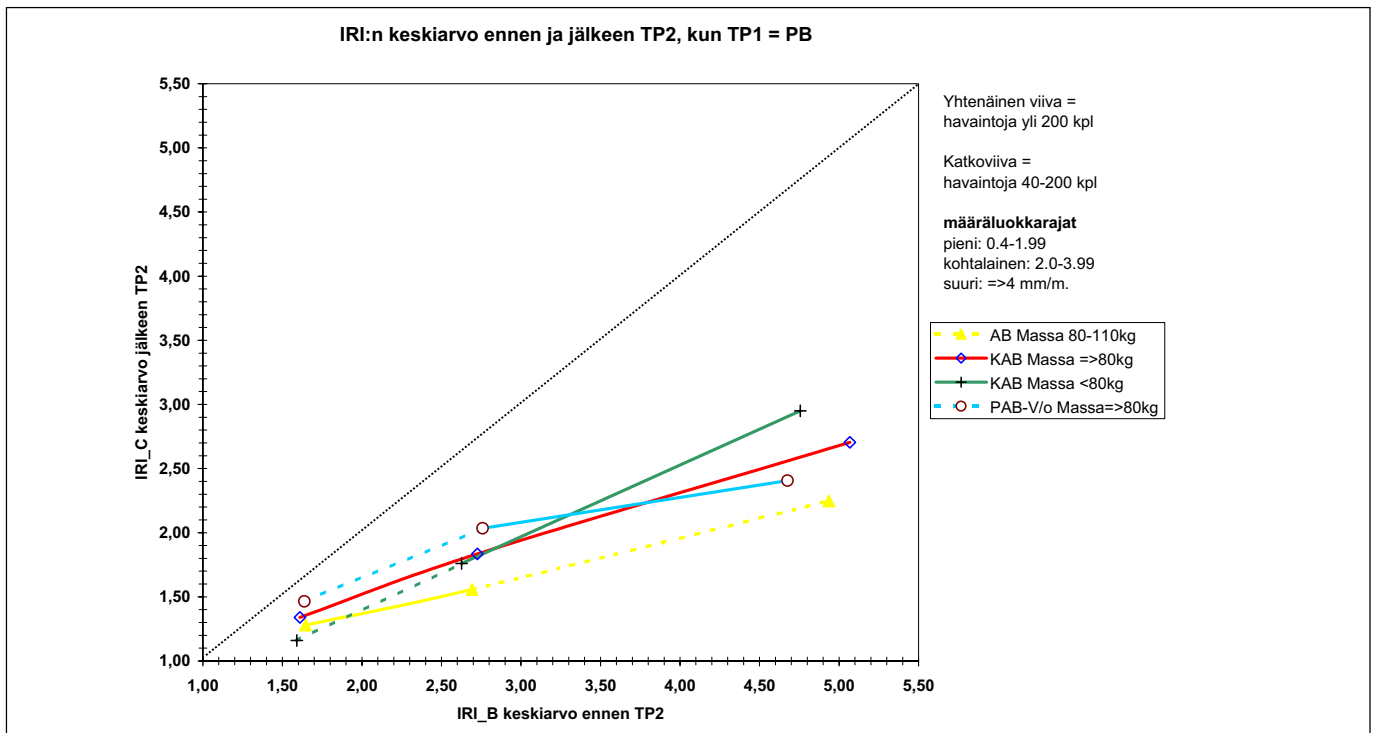
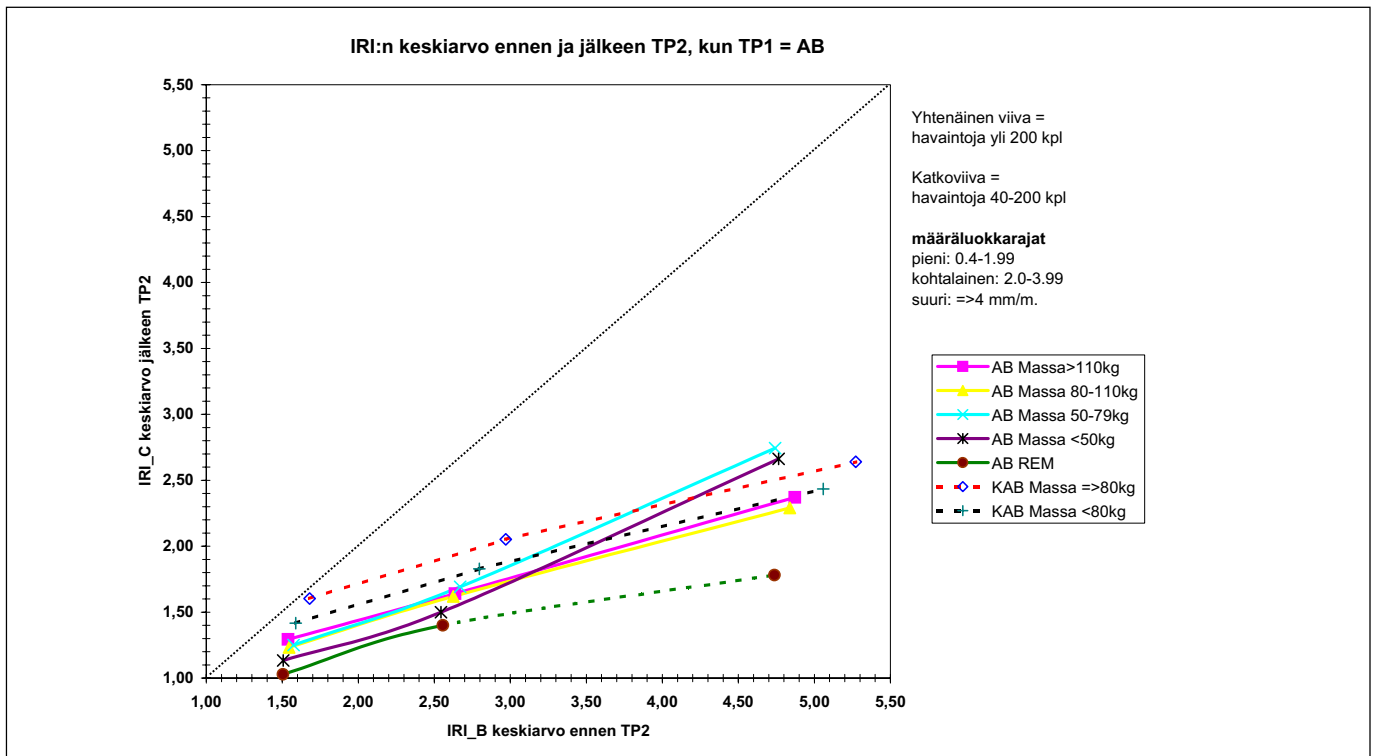


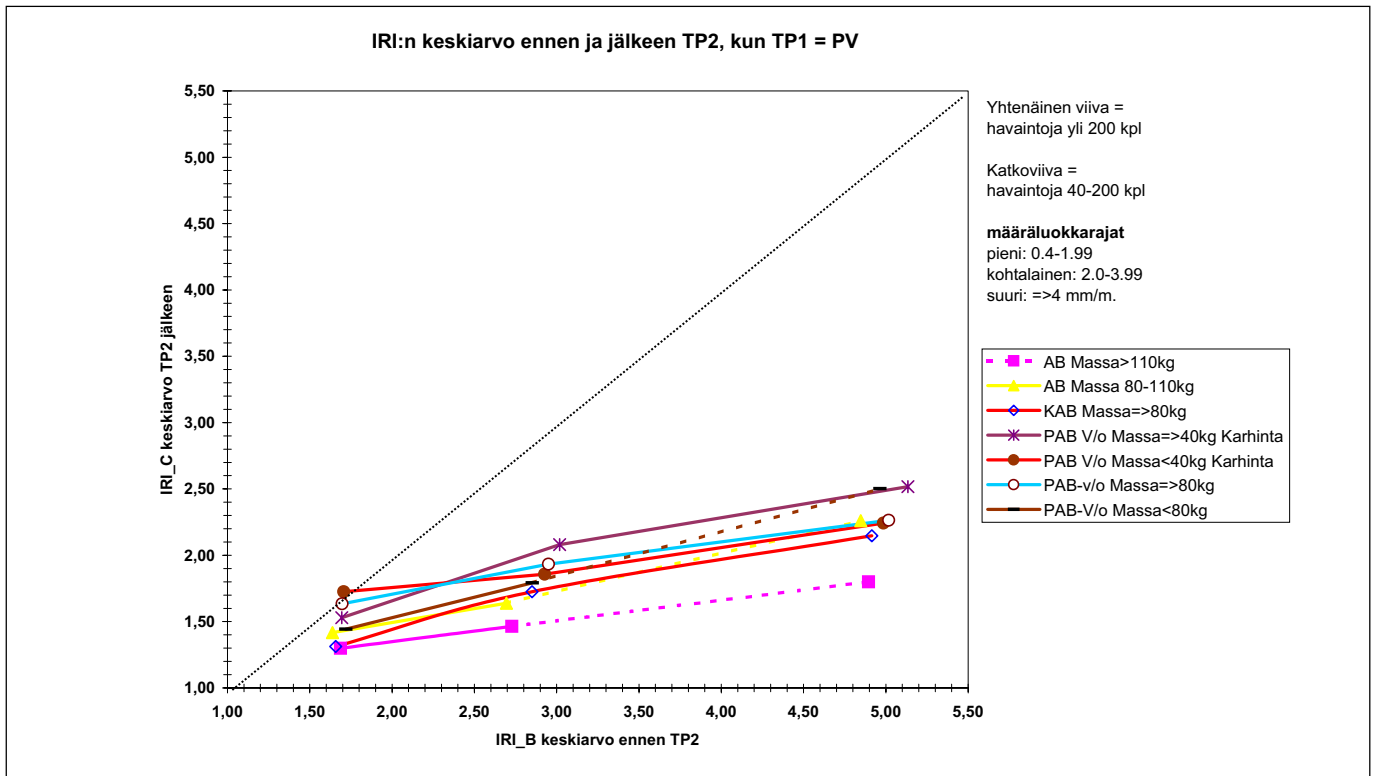
Kuvista näkyy melko selvästi D0-tason vaikutus toimenpiteen jälkeiseen vauriokehitykseen tapauksessa PAB-V/o massa>40kg karhinta. Ongelmaksi muodostuu se, ettei aineistoa ole kattavasti.

## 6.2. IRI-määrä

IRI:n kasvu myöhemmän toimenpiteen TP2 jälkeen ennustetaan luvun 5.2.2 mukaisella mallilla. Oheisten kuvien perusteella nähdään kuinka paljon eri toimenpiteet tasoittavat keskimäärin tietä heti toimenpiteen jälkeen. Mallissa ei ole otettu huomioon päällystykseen yhteydessä tehtyjä muita korjauksia.

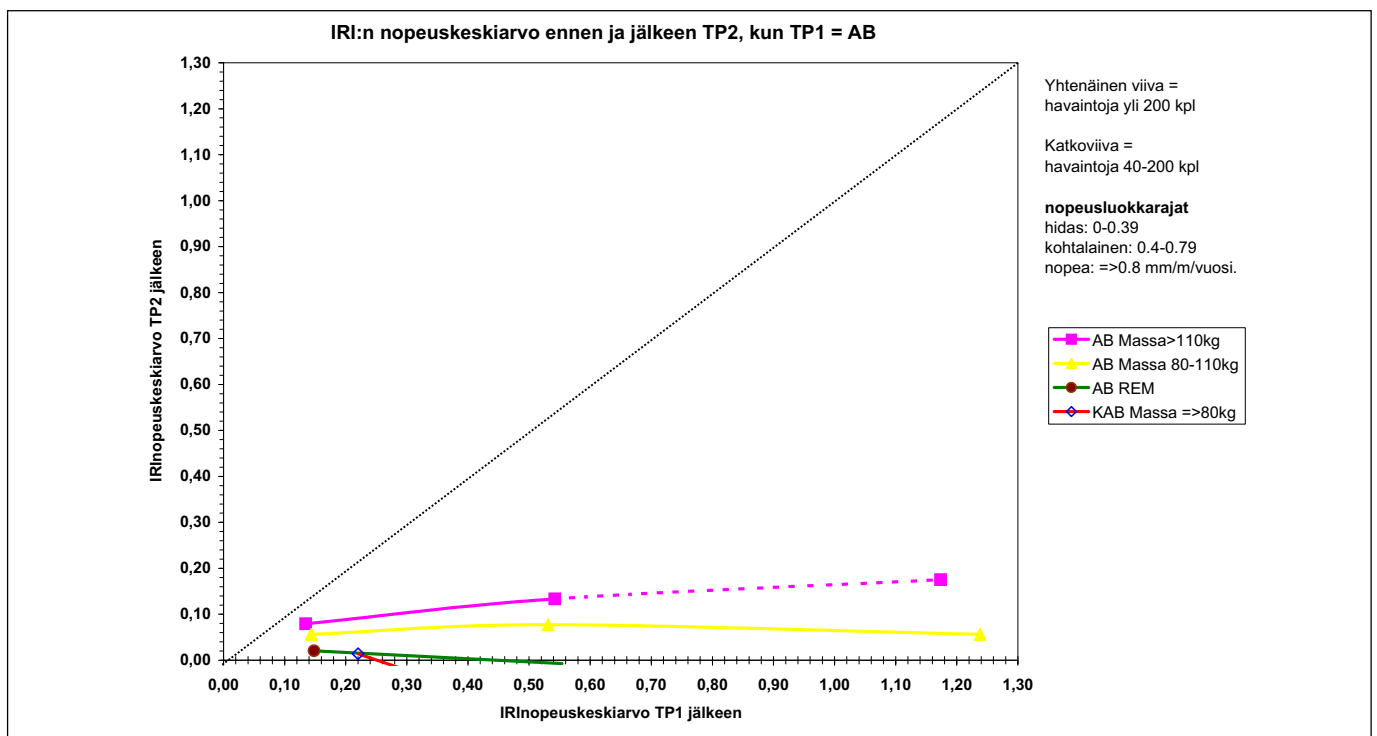
### 6.2.1. IRI:n määräkeskiarvot (mittausten ikä >3 vuotta)

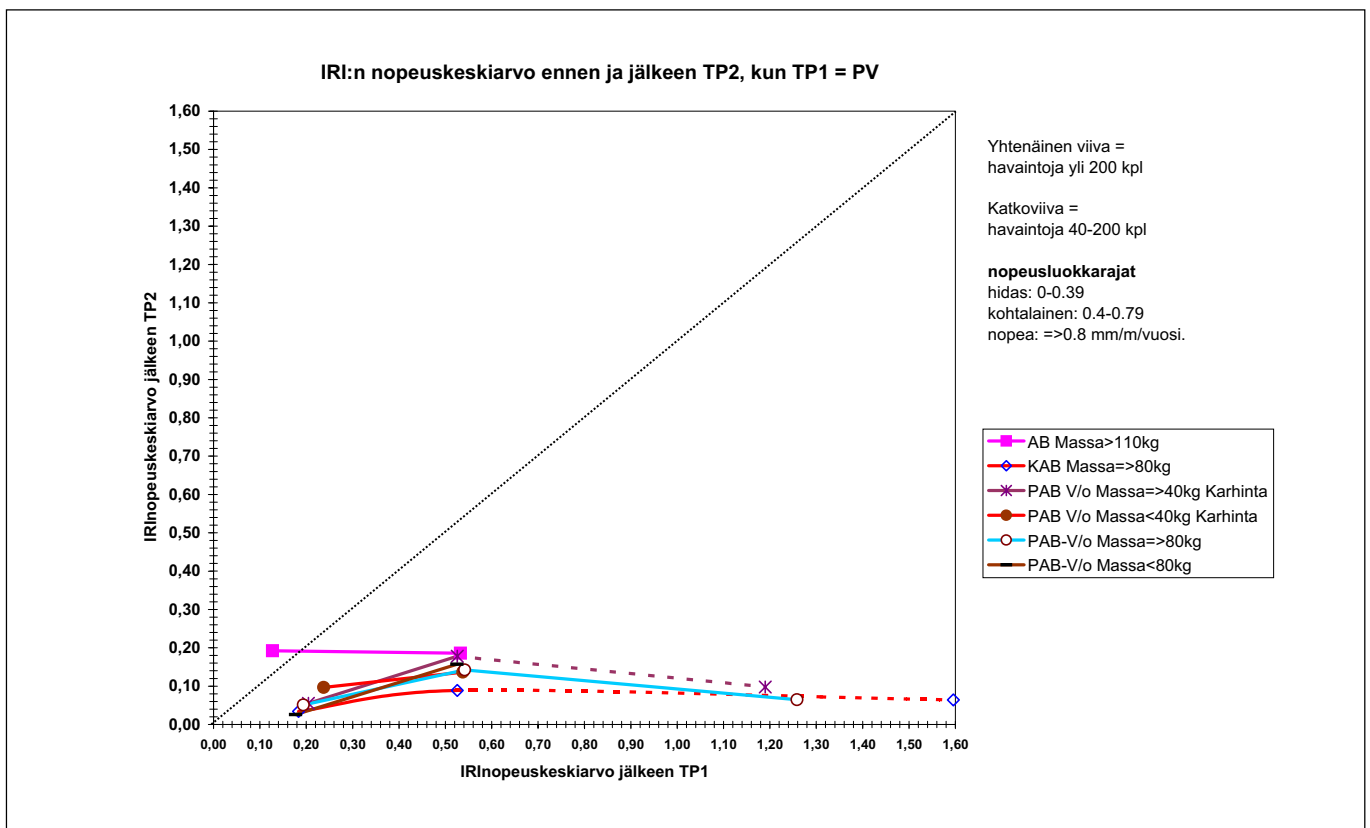
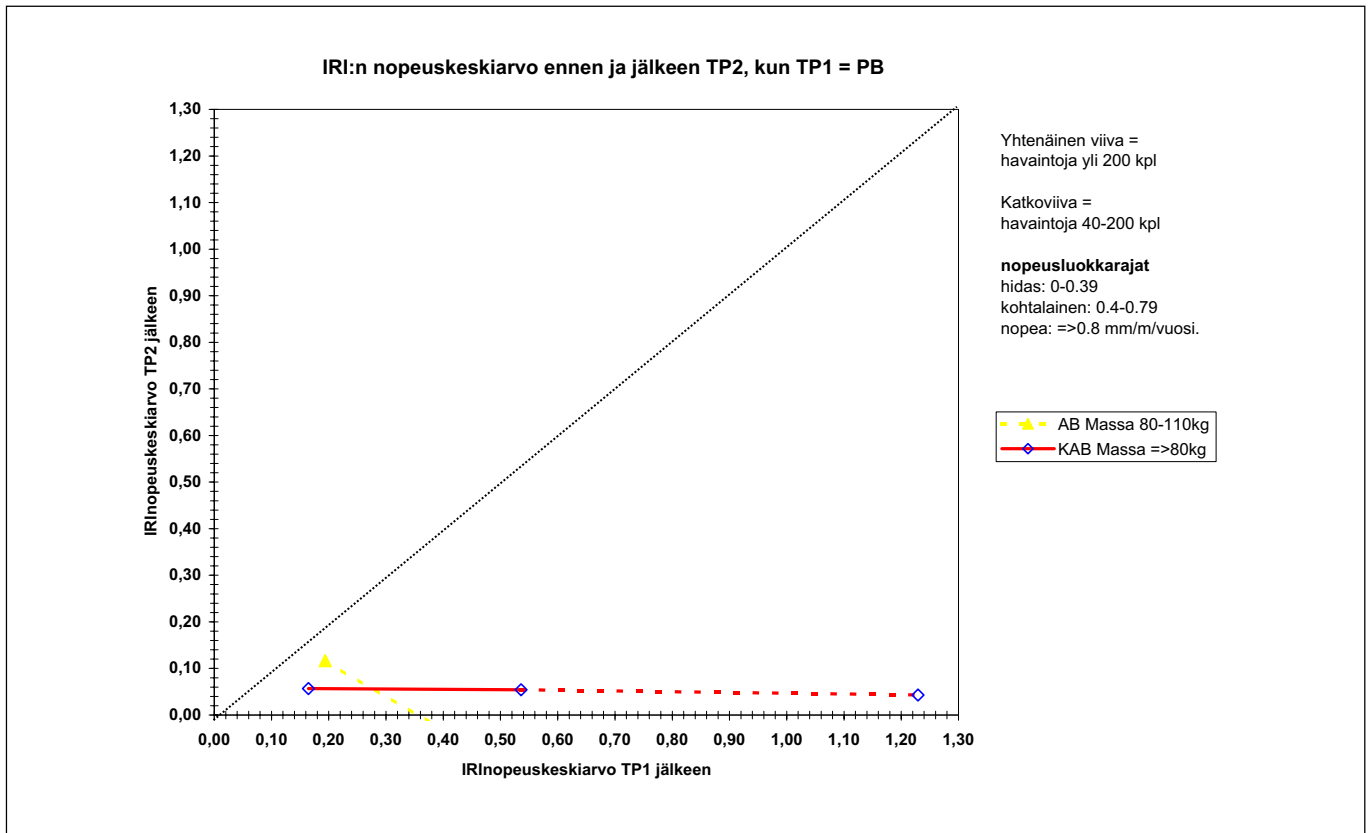




### 6.2.2. IRI:n nopeuskeskiarvot (mittausten ikä >5 vuotta)

Tässä esitetyt kuvat ovat melkoisen epäloogisia: IRI:n kasvunopeus on epänormaalin pieni eikä tulos riipu edellisestä IRI:n kasvunopeudesta. Silloin on parasta käyttää kohdan 5.2.2 malleja.



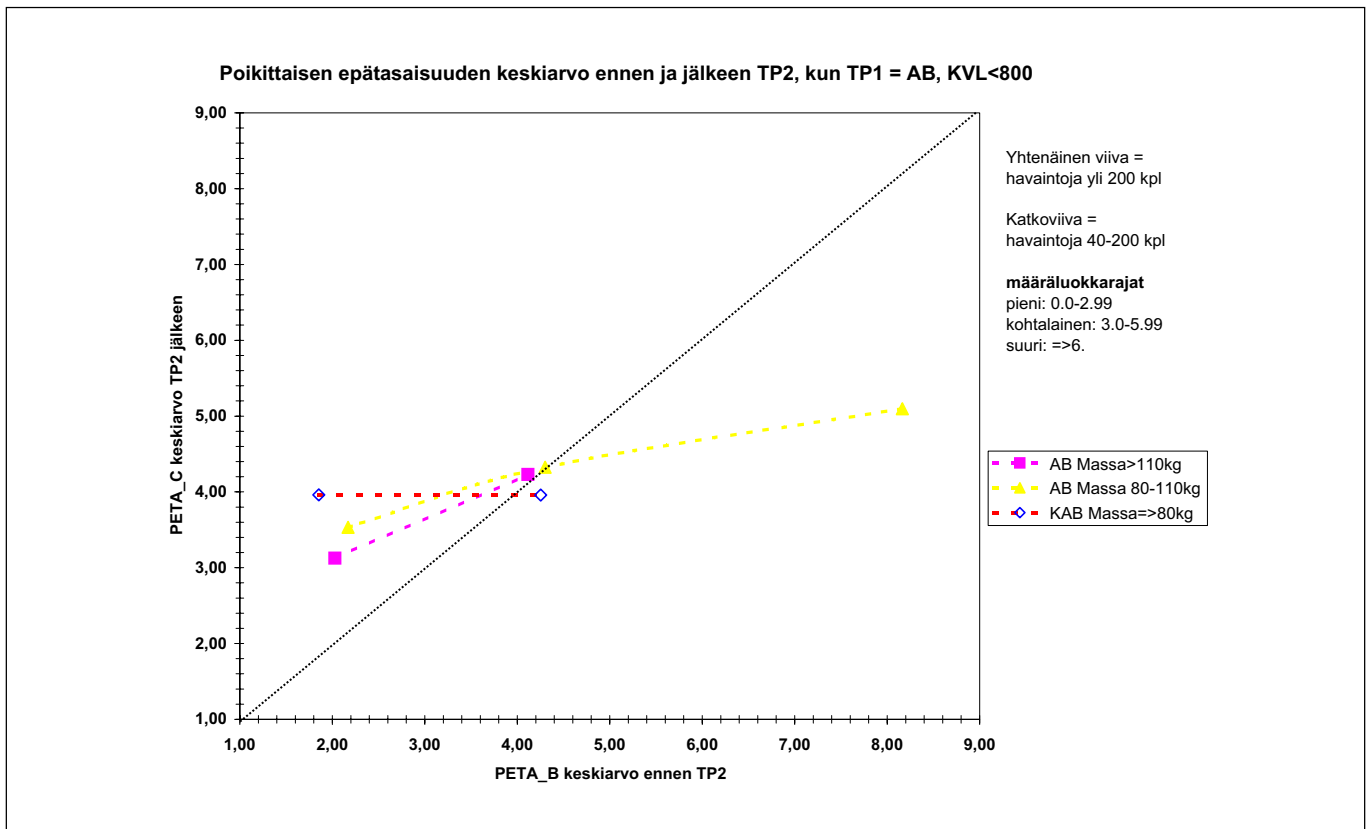


### 6.3. Uran itseisarvon ja poikittaisen epätasaisuuden kasvu, kun KVL<800

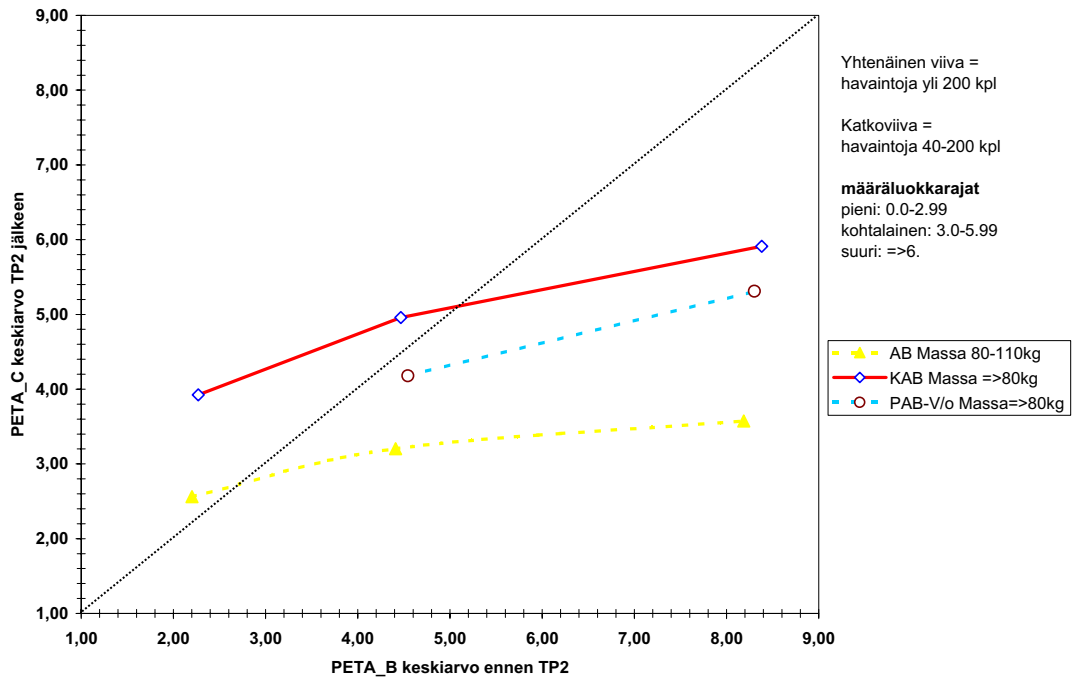
Uran itseisarvon tuloksia ei esitetä - sen sijaan näytetään muutama kuva poikittaisen epätasaisuuden kasvusta. Uran itseisarvo ja poikittainen epätasaisuus on melko lähellä toisiaan. Liikennemäärää rajoittamalla on karsittu kulumisesta aiheutuneet urat pois. Uran ja poikittaisen epätasaisuuden ikäeksponentiksi on valittu 1.0 vaikka todellisuudessa uran kasvu hidastuu ajan funktiona.

Tässäkin tapauksessa (kuten luvussa 6.2) havaintoja on liian vähän, jotta luotettavia analyysejä voisi edes tehdä.

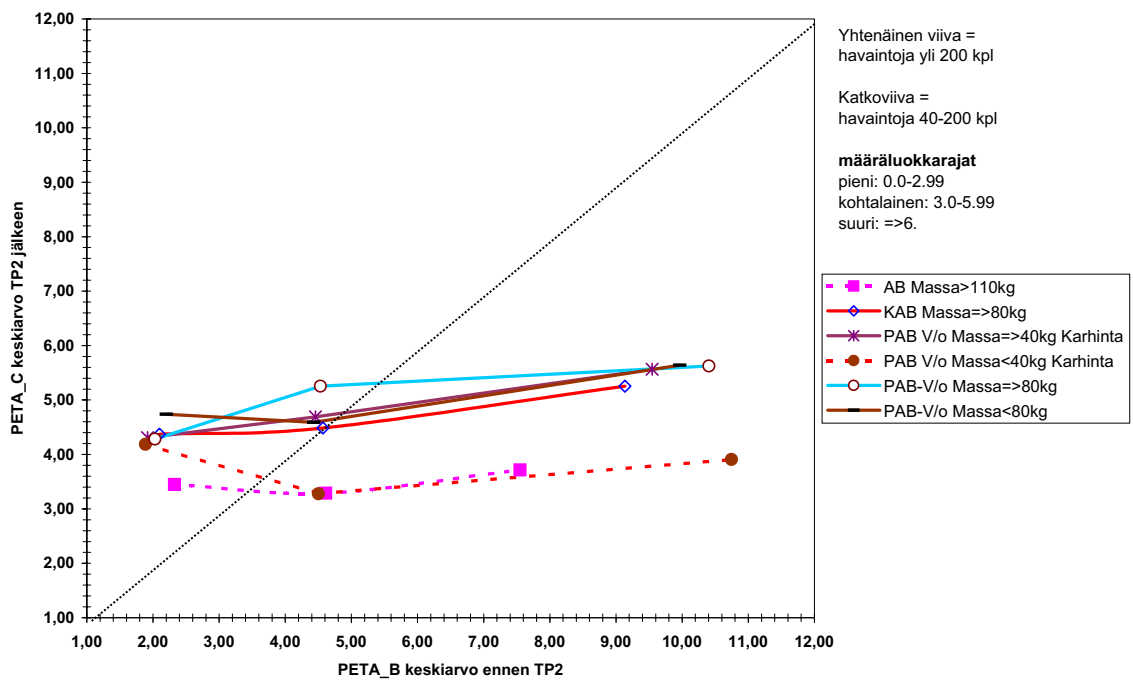
#### 6.3.1. Poikittaisen epätasaisuuden määräkeskiarvot (mittausten ikä >3 vuotta)



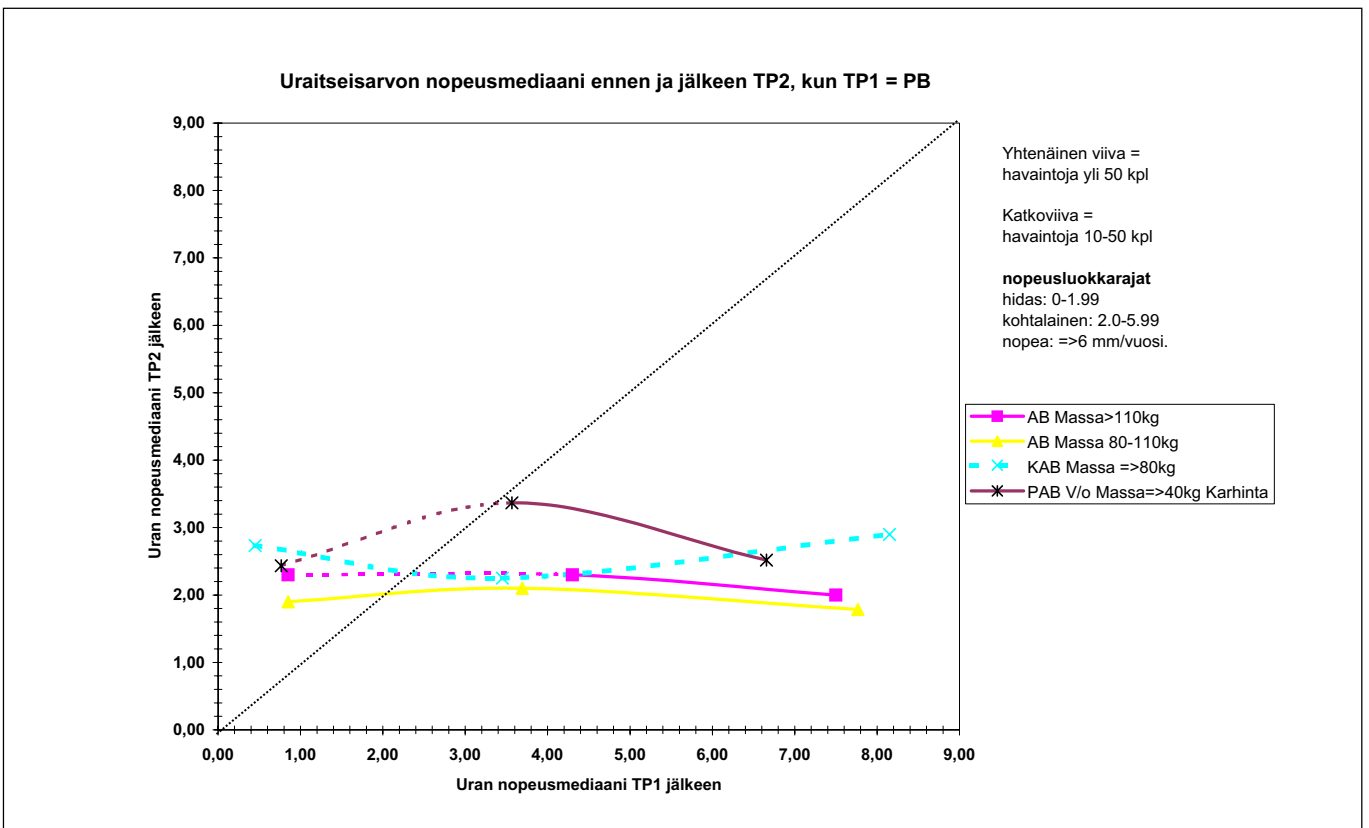
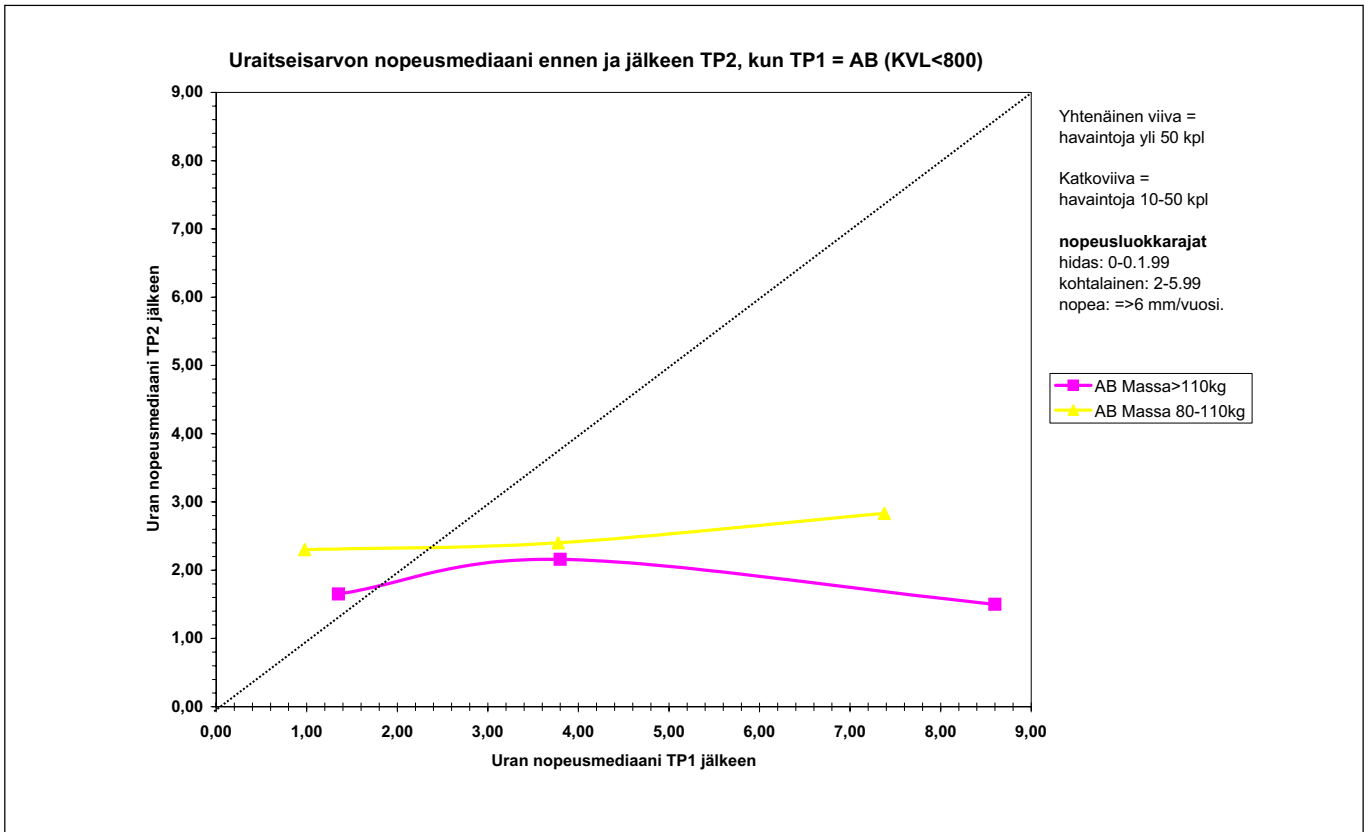
Poikittaisen epätasaisuuden keskiarvo ennen ja jälkeen TP2, kun TP1 = PB, KVL<800

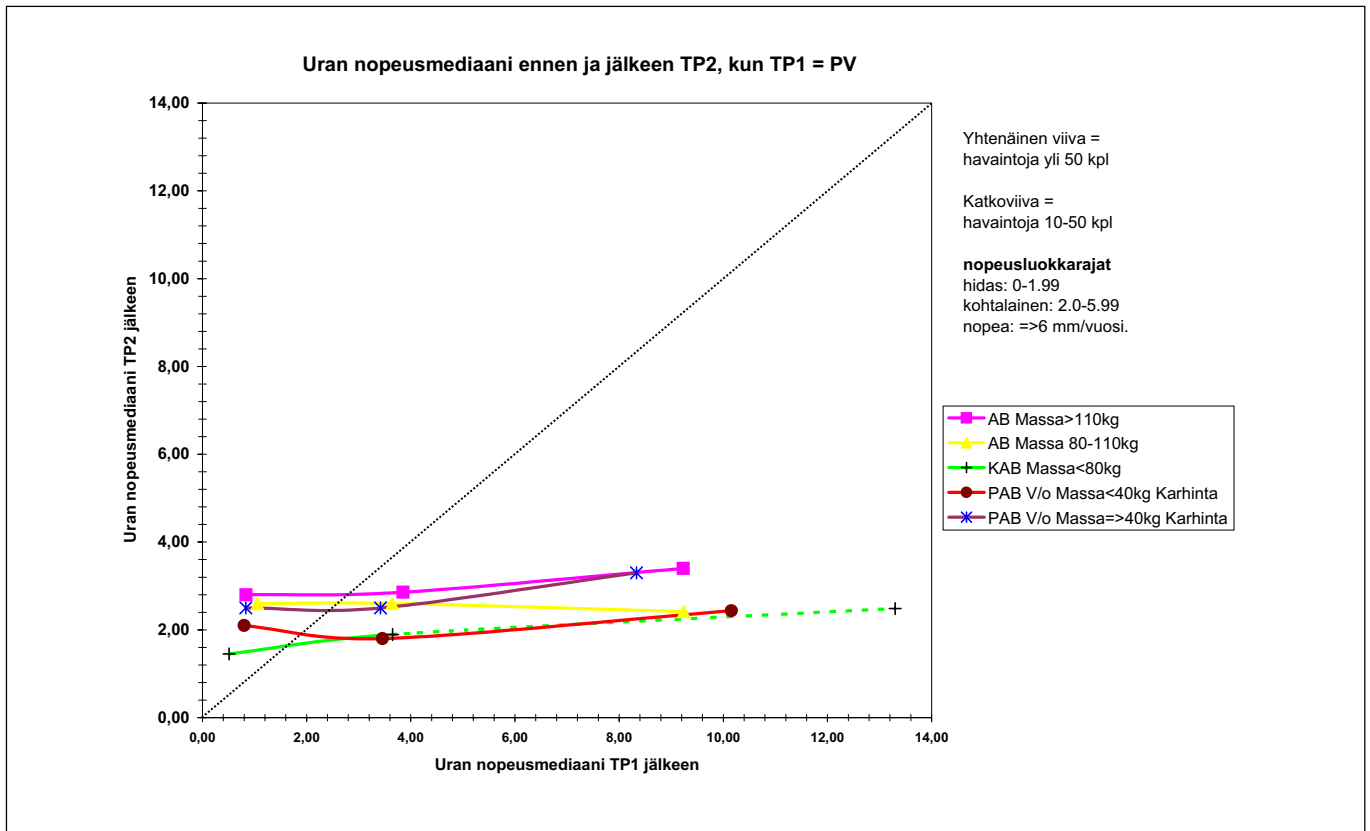


Poikittaisen epätasaisuuden keskiarvo ennen ja jälkeen TP2, kun TP1 = PV, KVL<800



### 6.3.2. Uraitseisarvon nopeusmediaanit (mittausten ikä >5 vuotta)





Uran kasvunopeus ei kuvien mukaan riipu edellisestä uran kasvunopeudesta. Silloin voidaan käyttää kohdan 5.2.3 mallia.

#### 6.4. Yhteenveto vaurioennusteista edeltävän vaurioitumisnopeuden ja kunnostustavan perusteella (=TP2)

Toimenpiteen vaikutusta on tutkittu ainoastaan graafisilla esityksillä - kuvista voidaan saada käsitys siitä, millainen toimenpiteen vaikutus voisi olla. IRI:ä ja uraa koskeva toimenpiteen vaikutusaineisto on liian pieni, jotta kattavia selvityksiä olisi mahdollista tehdä. Tästä syystä nämä vaikutusanalyysit ovat vain suuntaa antavia. Jatkossa, kunhan aineistomäärä hiukan kasvaa, on mahdollista tehdä varsinaiset vaikutusmallit.

Luvussa 6 esitetyistä kuvista nähdään kuitenkin selviä loogisia vaikutuksia kunto-tilaan. Vauriosumman osalta kuvat ovat selvimminkin loogiset: paksu päällystys hidastaa vaurioitumista tehokkaammin kuin ohut päällystys vastaavassa lähtötilanteessa. Jos vaurioitumisnopeus on peini - uusi kunnostuksen jälkeinen vaurioitumisnopeus voi olla aiempaa suurempi. Syynä on joko se, että vanha päällyste on ollut uutta sitkeämpi (väsymistä kestävämpi) tai että vanhasta päällysteestä ei ole inventoitaessa löydetty kaikkia vaurioita, mutta uudesta on ehkä havaittu liikaakin.

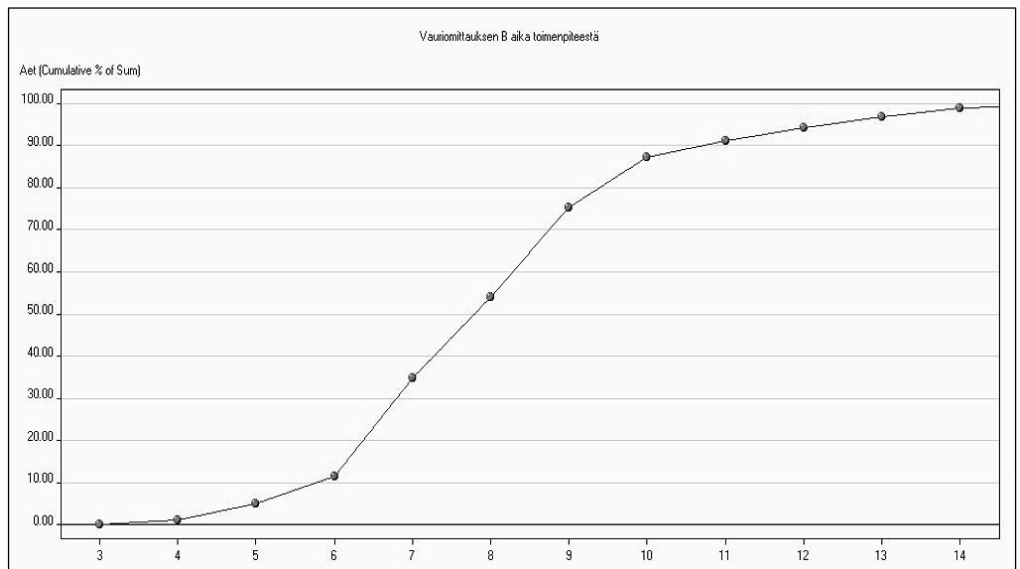
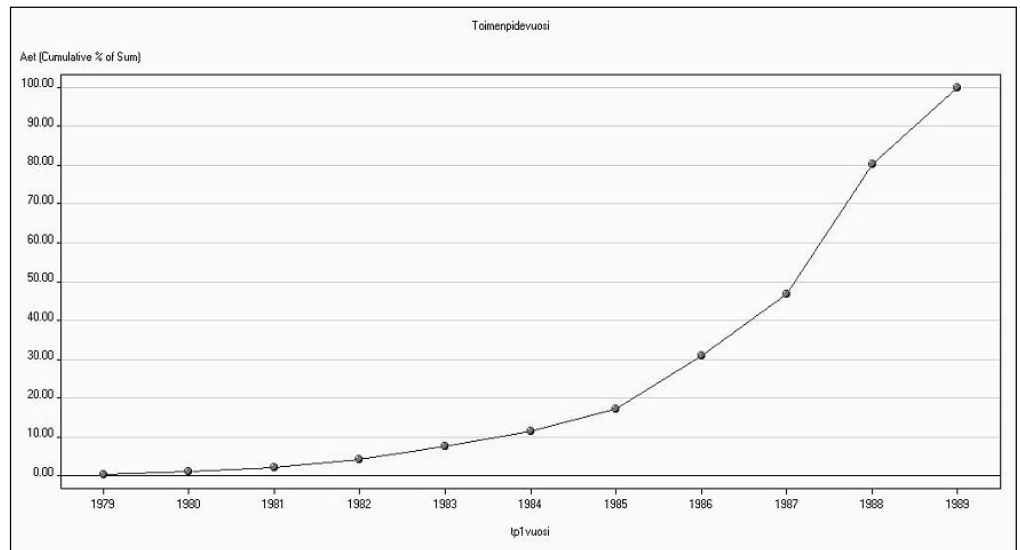
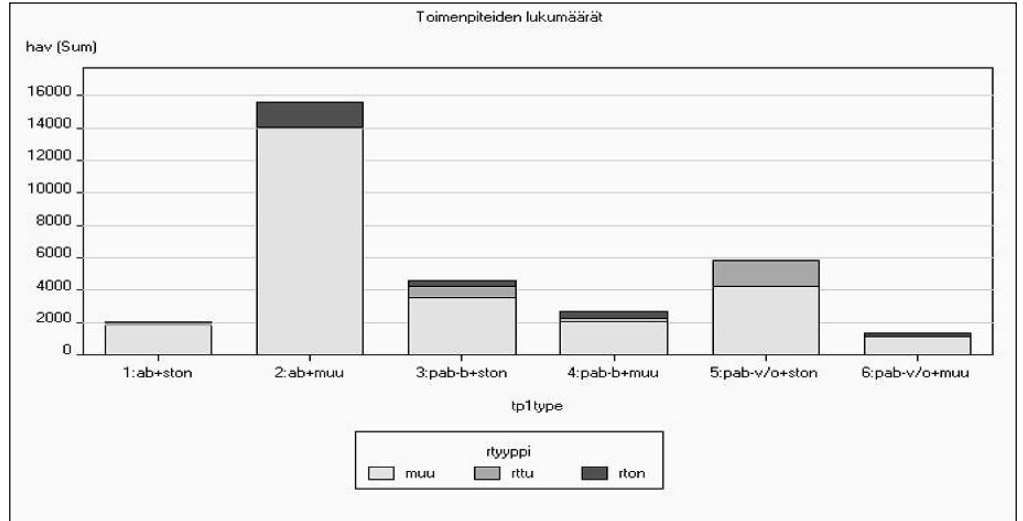
Vaurioiden kasvua koskevat mallit ovat käyttökelpoisia vain silloin, kun toimenpidettä sovelletaan tilanteessa, johon sitä on tyypillisesti käytetty aikaisemmin, koska mallit eivät ota kunnolla huomioon esimerkiksi routavaurioita. Tosin osa niistäkin näkyy mallissa suurena TP2:ta edeltävänä vaurioitumisnopeutena ja ehkä suurena D0:na, jos mittausta ei ole tehty kesän kuivana aikana.

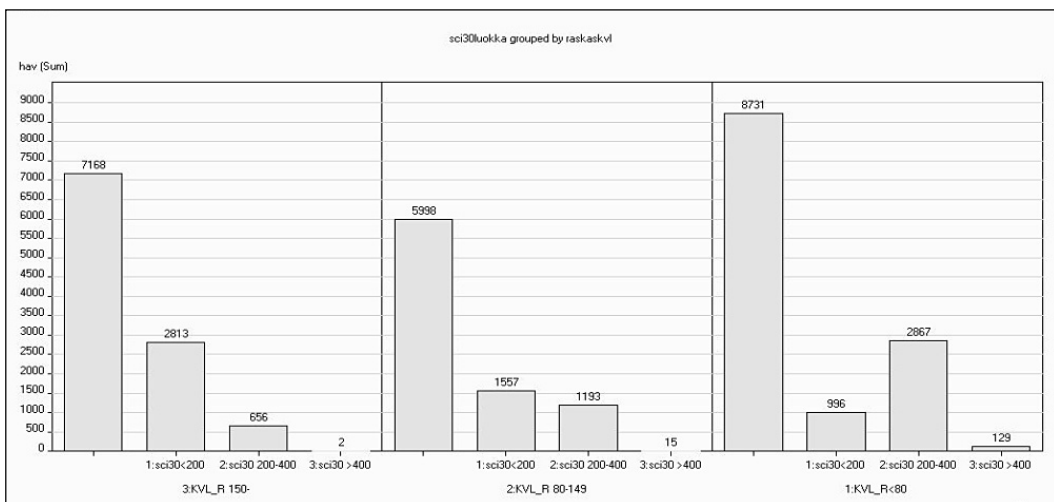
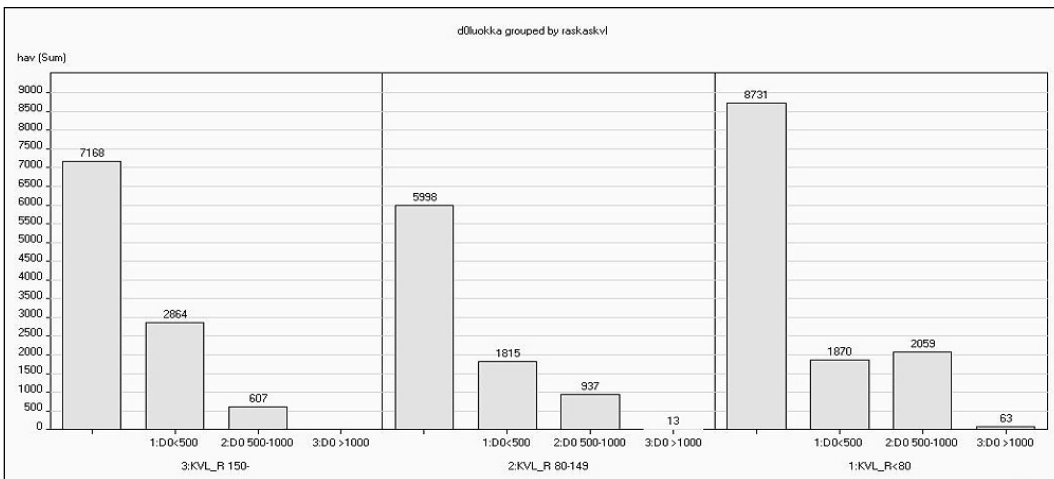
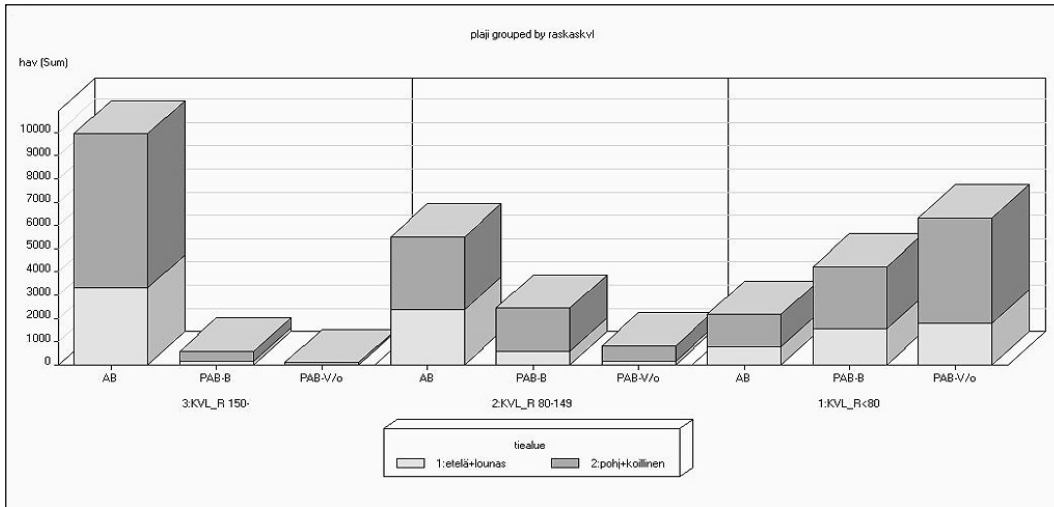


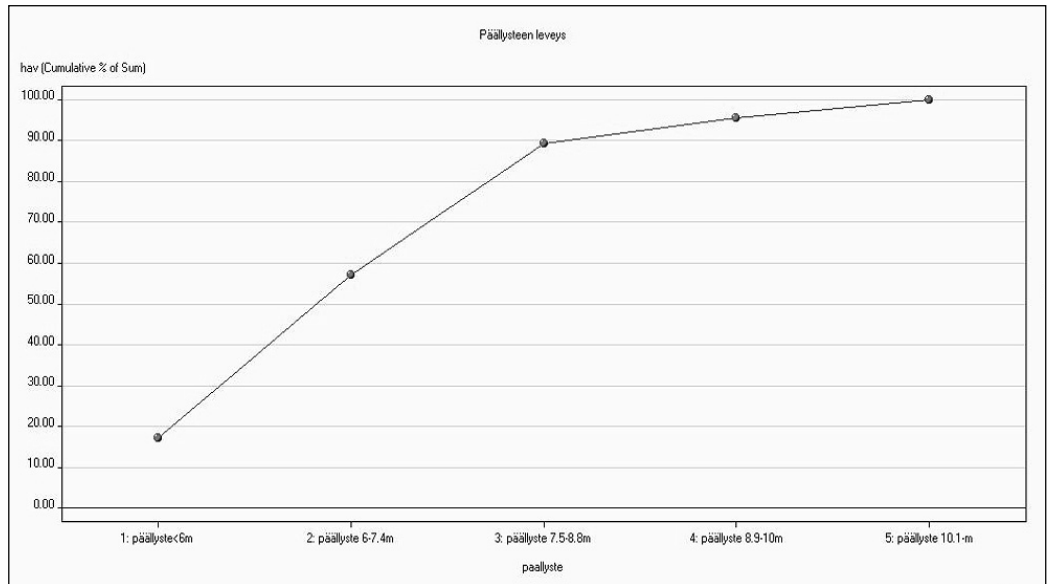
## **LIITTEET**



**Liite 1. Uuden tai kunnostetun tien vaurioaineiston kuvaus (=TP1)**



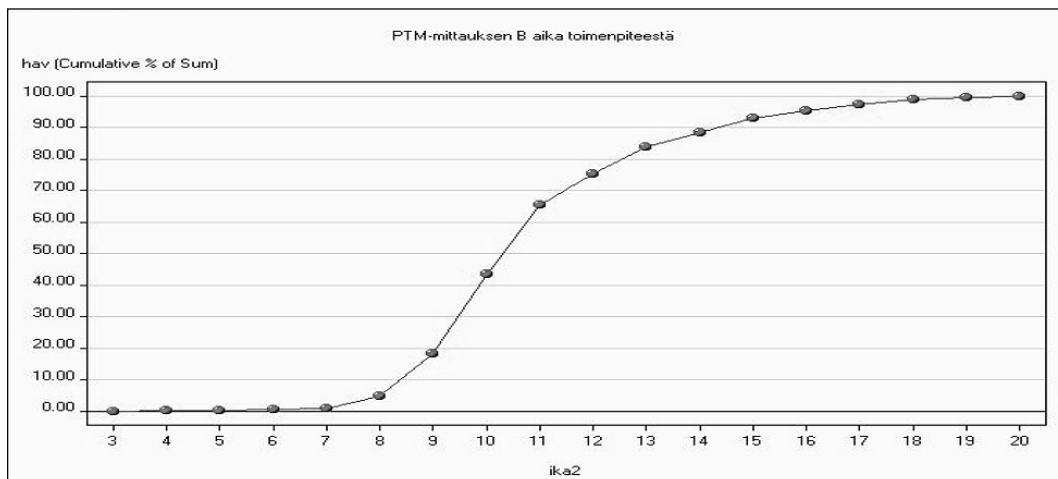
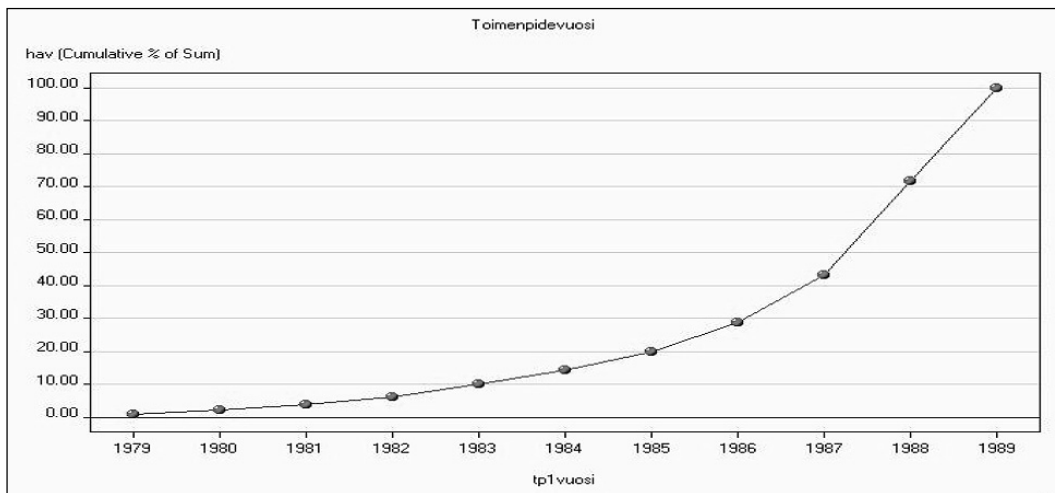
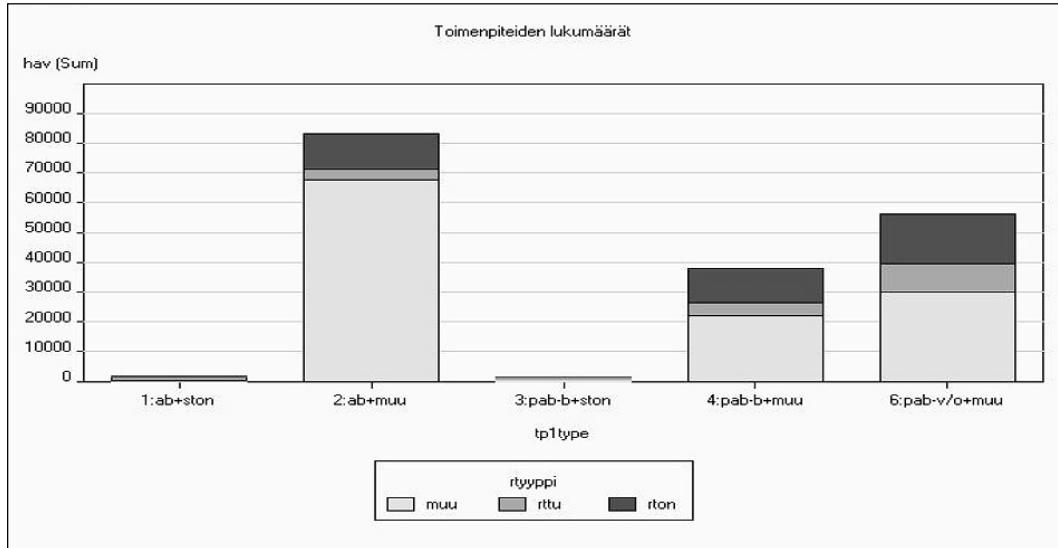


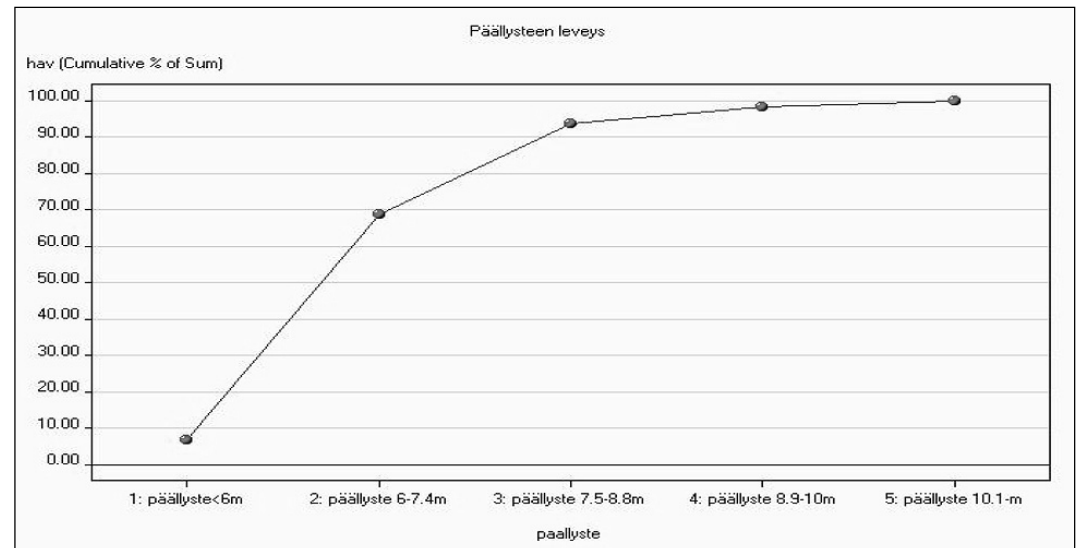
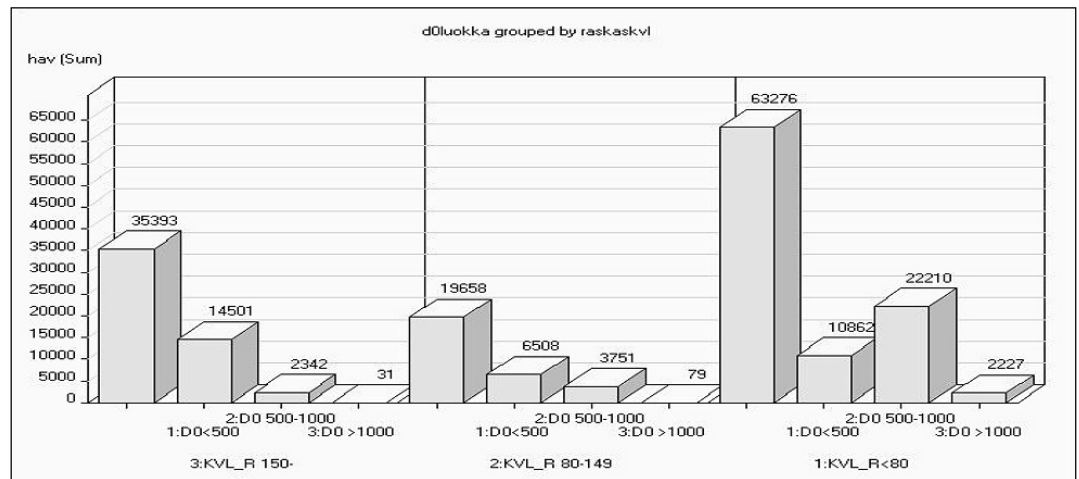
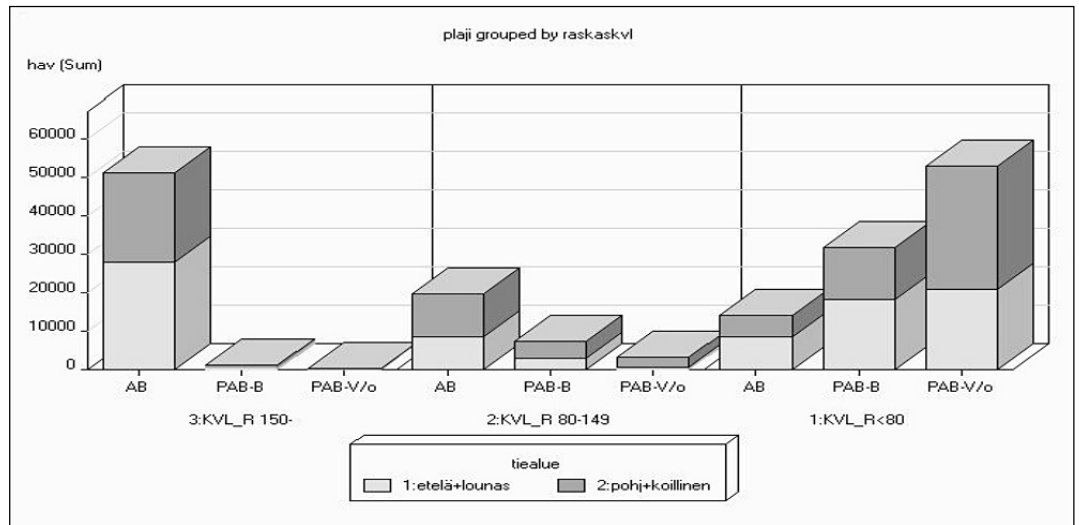


	raskaskvl		
	1:KVL_R<80	2:KVL_R 80-149	3:KVL_R 150-
	hav	hav	hav
	Sum	Sum	Sum
paallyste			
1: päällyste<6m	798.00	419.00	634.00
2: päällyste 6-7.4m	2712.00	1059.00	435.00
3: päällyste 7.5-8.8m	423.00	1190.00	1423.00
4: päällyste 8.9-10m	18.00	64.00	578.00
5: päällyste 10.1-m	41.00	33.00	401.00
<b>All</b>	<b>3992.00</b>	<b>2765.00</b>	<b>3471.00</b>

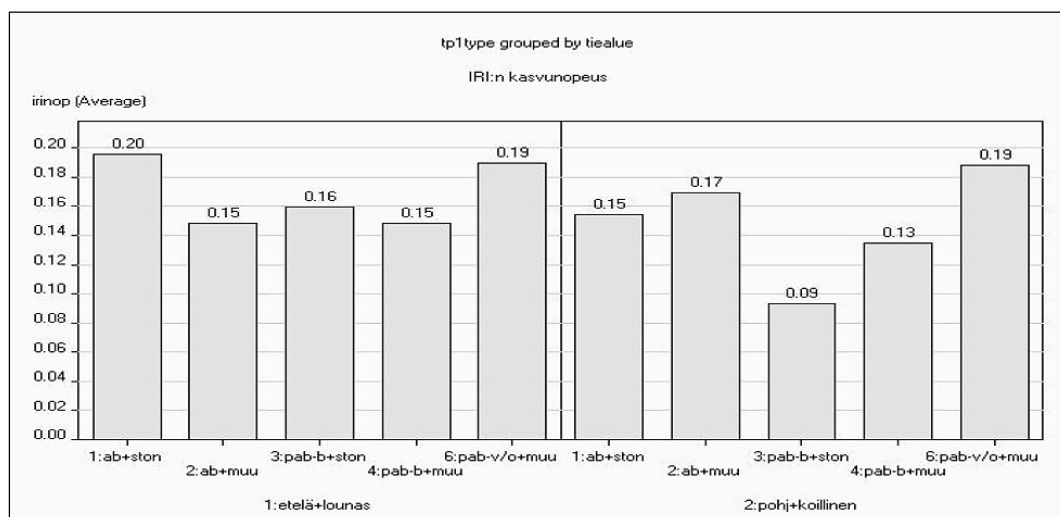
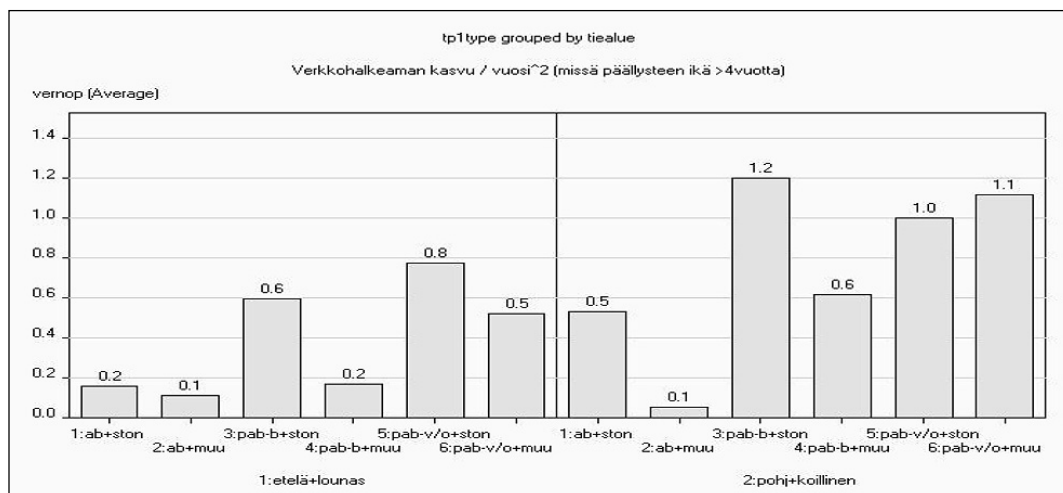
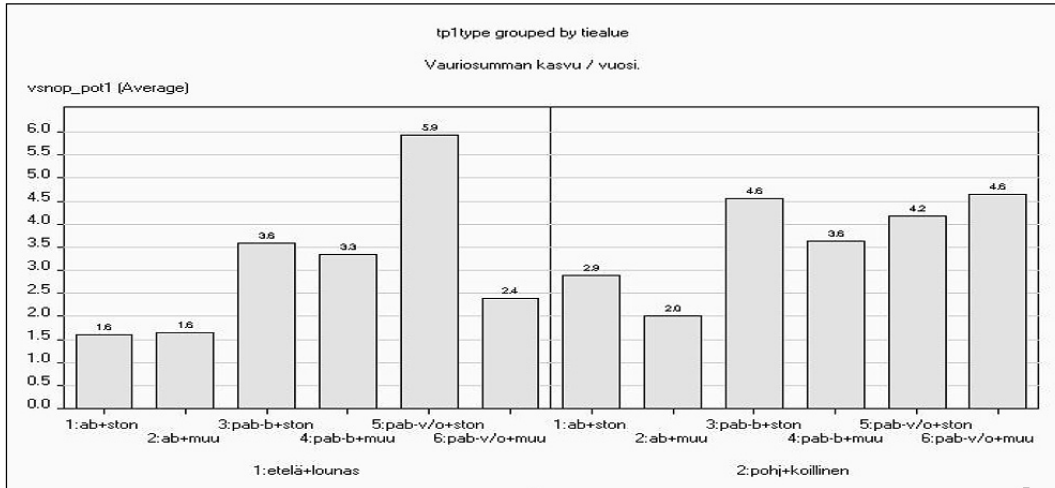
	raskaskvl			
		1:KVL_R<80	2:KVL_R 80-149	3:KVL_R 150-
		hav	hav	hav
		Sum	Sum	Sum
paallyste	d0luokka			
1: päällyste<6m	1:D0<500	371.00	302.00	412.00
	2:D0 500-1000	415.00	117.00	222.00
	3:D0 >1000	12.00	.	.
2: päällyste 6-7.4m	1:D0<500	1245.00	589.00	318.00
	2:D0 500-1000	1422.00	459.00	117.00
	3:D0 >1000	45.00	11.00	.
3: päällyste 7.5-8.8m	1:D0<500	237.00	844.00	1247.00
	2:D0 500-1000	184.00	345.00	176.00
	3:D0 >1000	2.00	1.00	.
4: päällyste 8.9-10m	1:D0<500	4.00	53.00	514.00
	2:D0 500-1000	14.00	10.00	64.00
	3:D0 >1000	.	1.00	.
5: päällyste 10.1-m	1:D0<500	13.00	27.00	373.00
	2:D0 500-1000	24.00	6.00	28.00
	3:D0 >1000	4.00	.	.
<b>All</b>		<b>3992.00</b>	<b>2765.00</b>	<b>3471.00</b>

**Liite 2: Uuden tai kunnostetun tien IRI-ja ura-aineiston kuvaus (=TP1)**

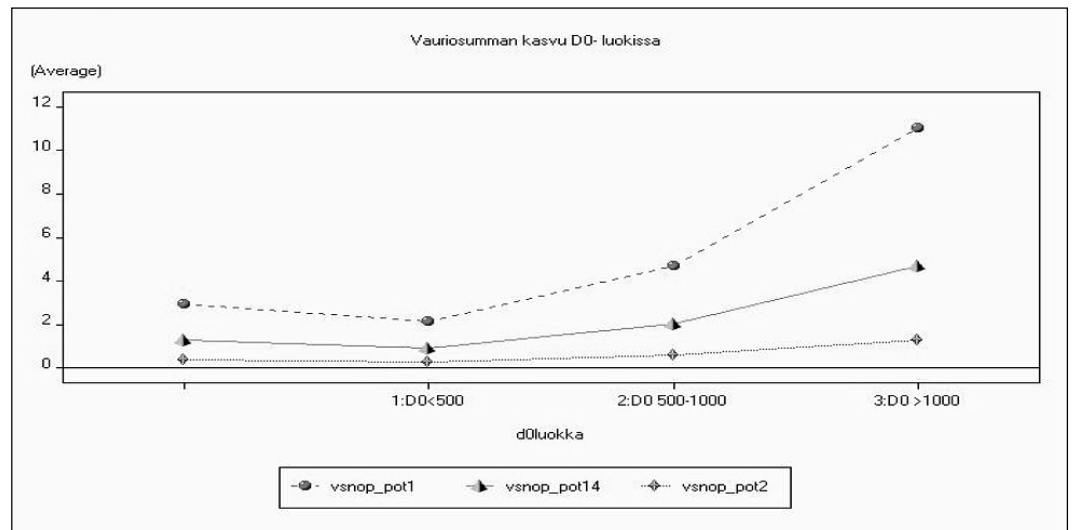
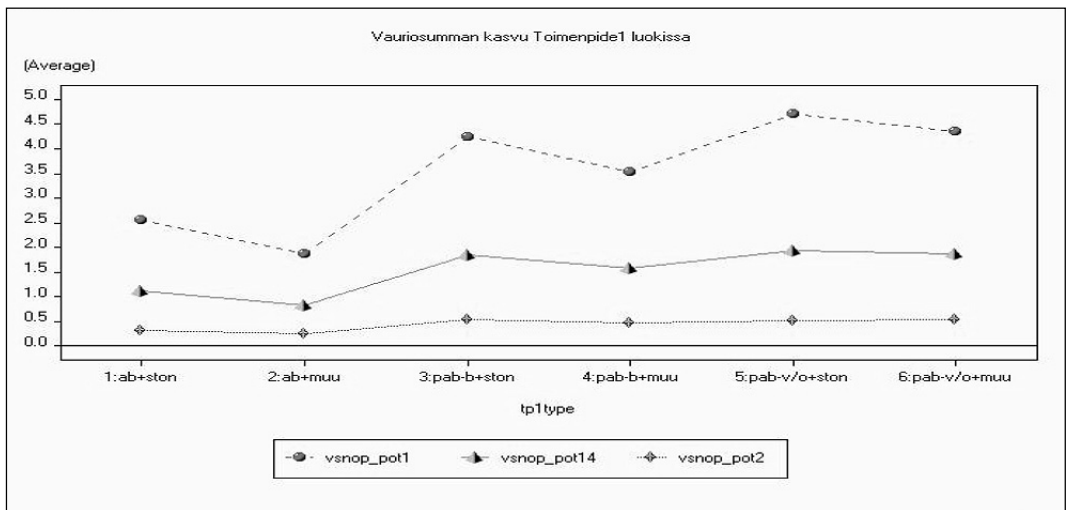
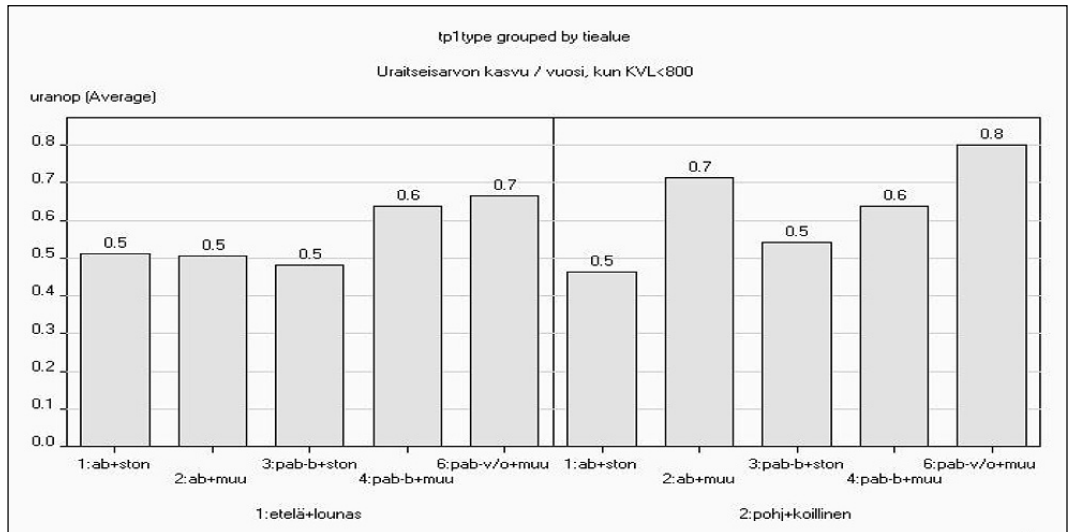


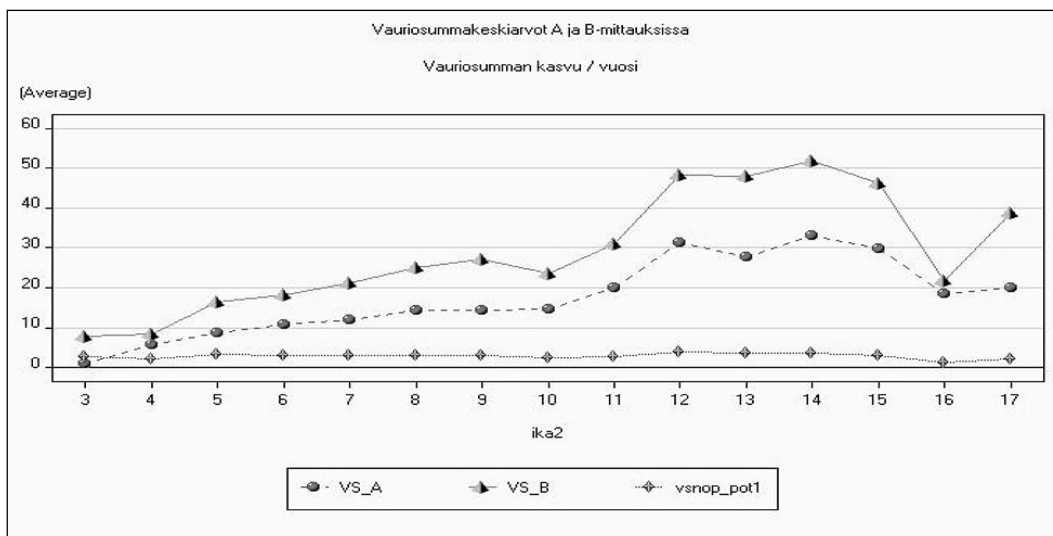
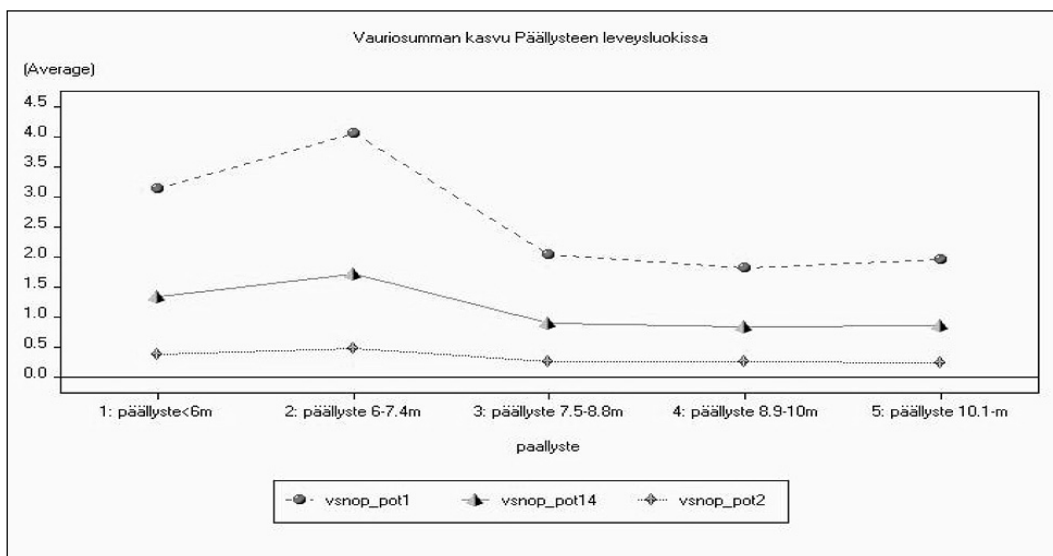
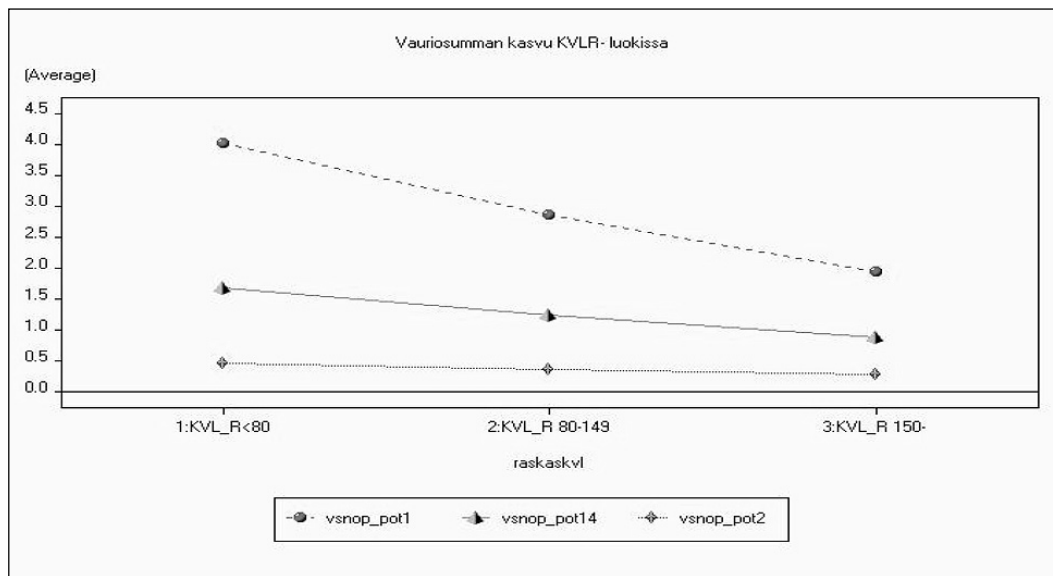


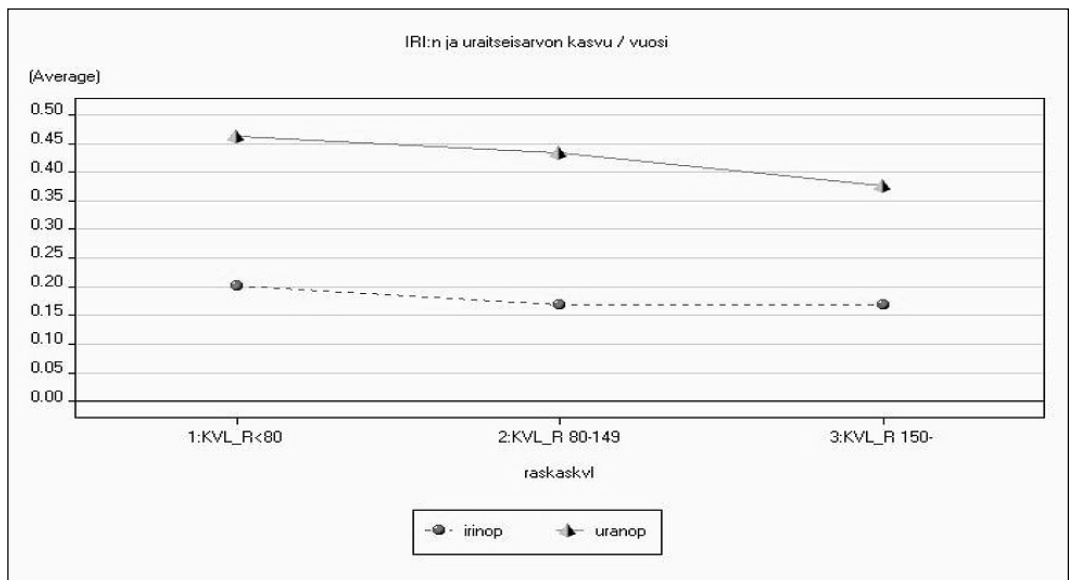
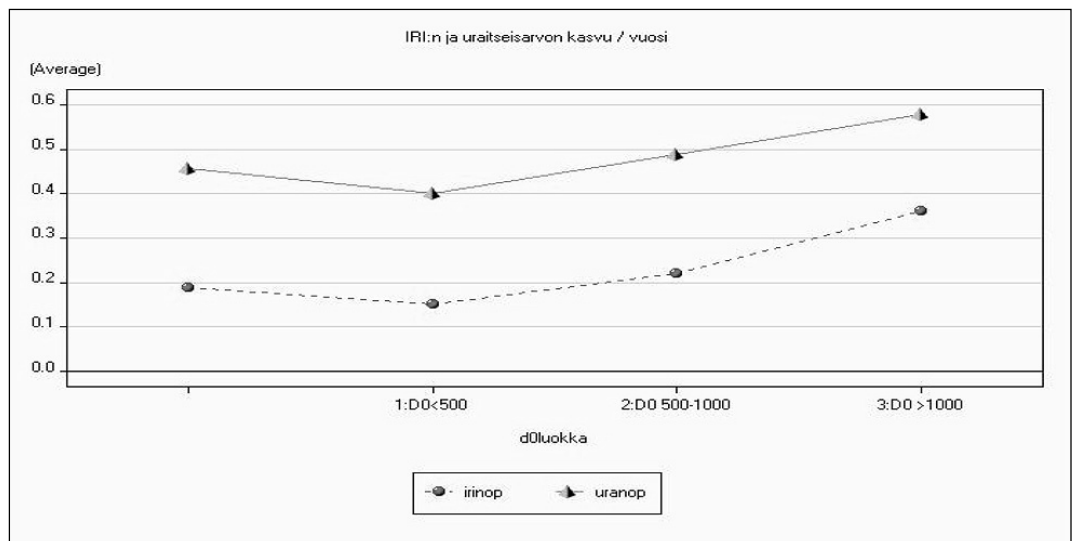
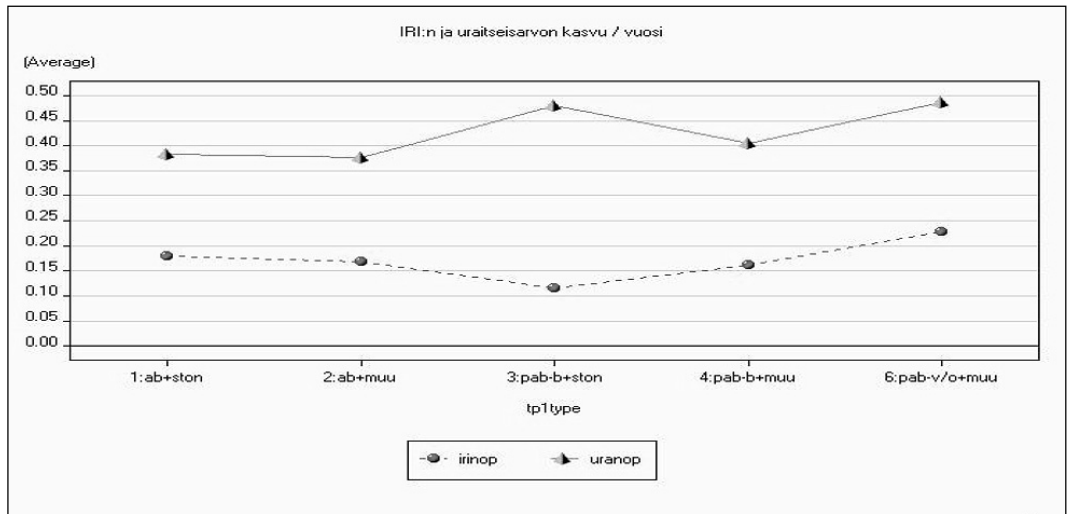
**Liite 3: Uuden tai kunnostetun tien (=TP1) vaurionopeusjakaumia**

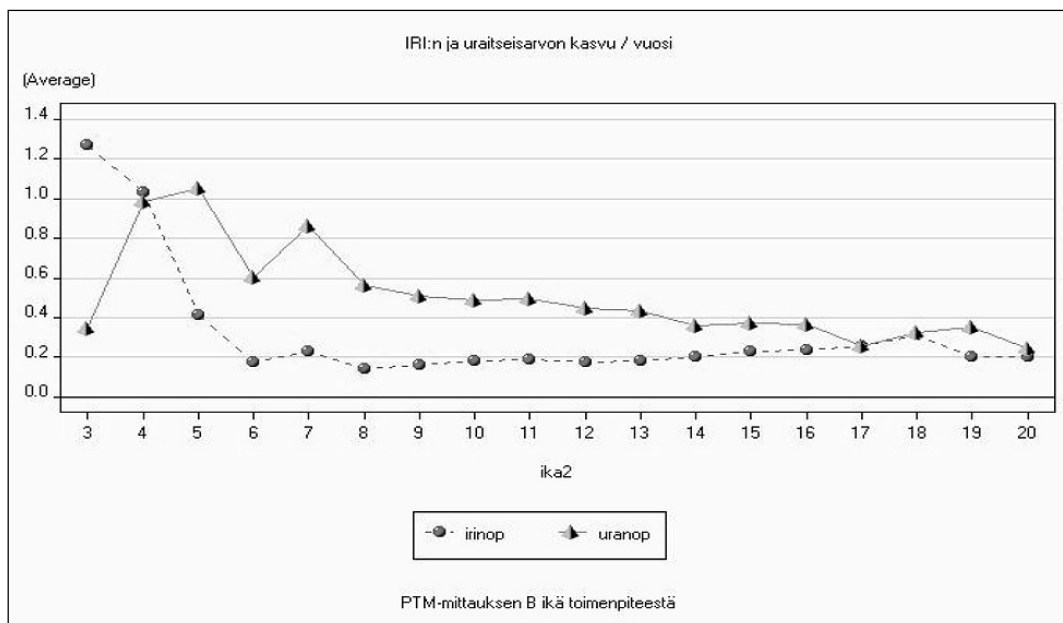
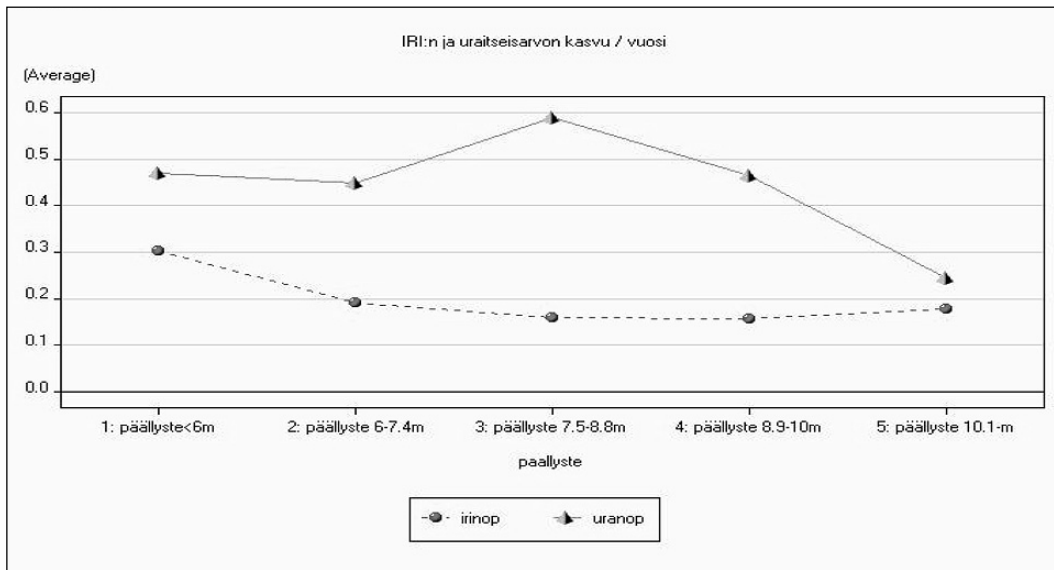




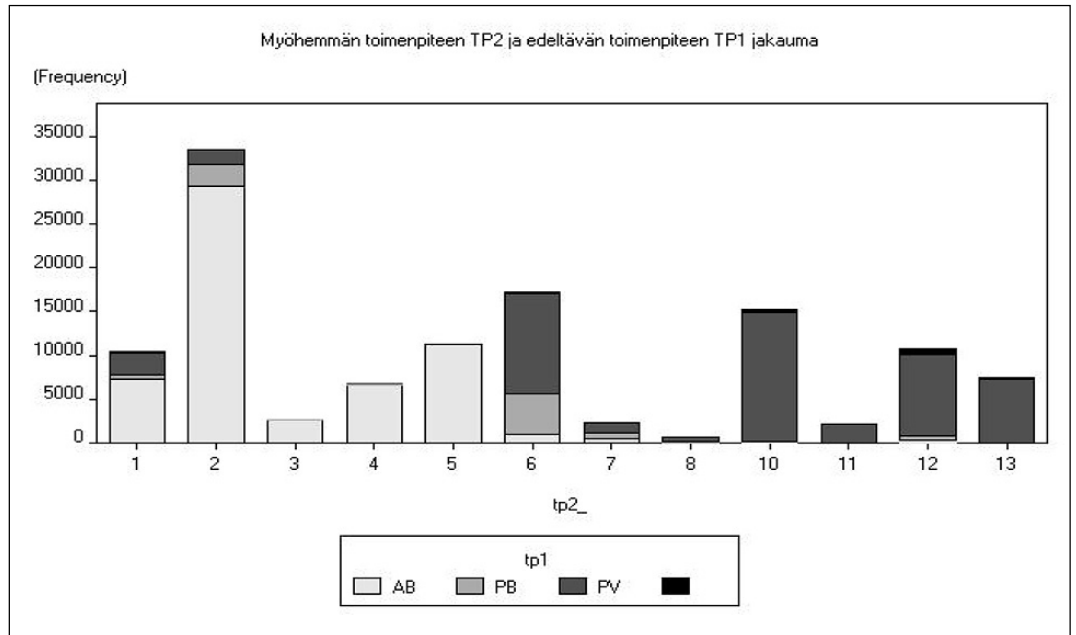




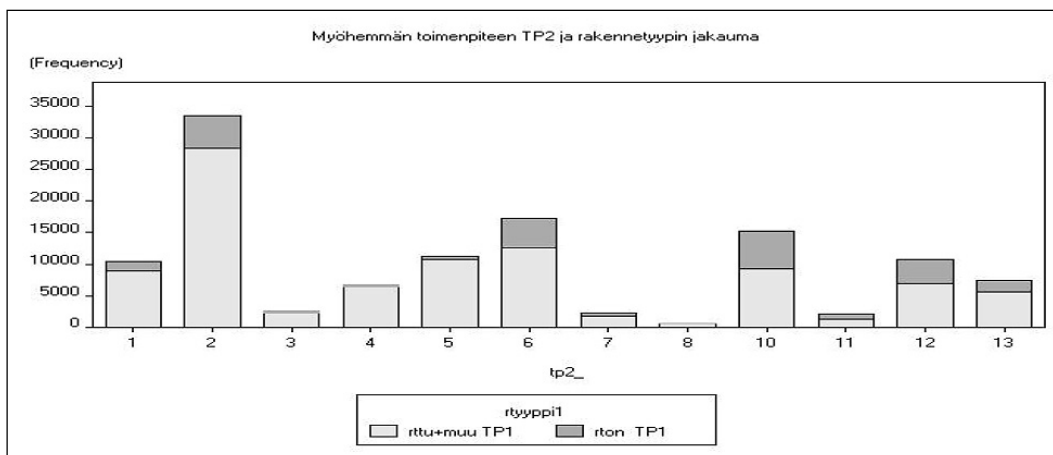
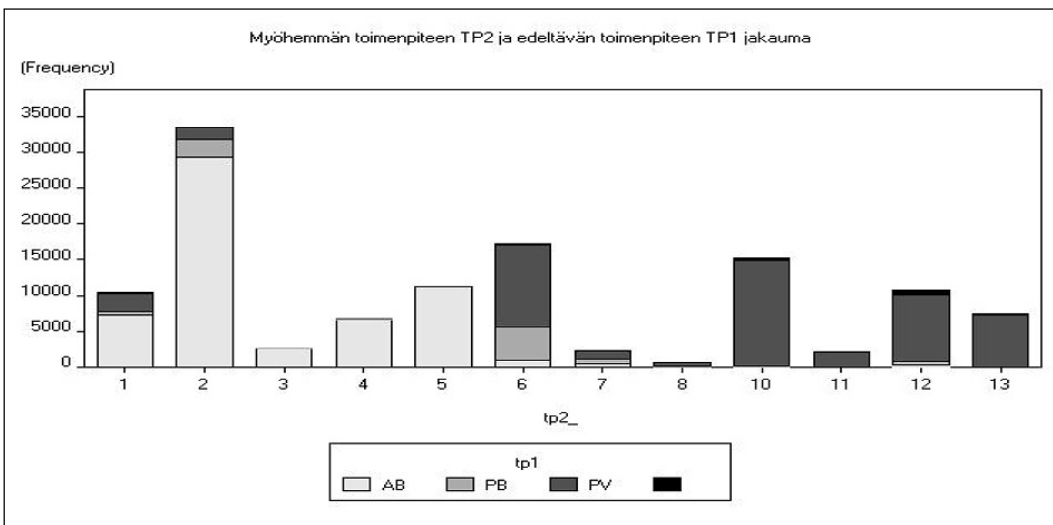
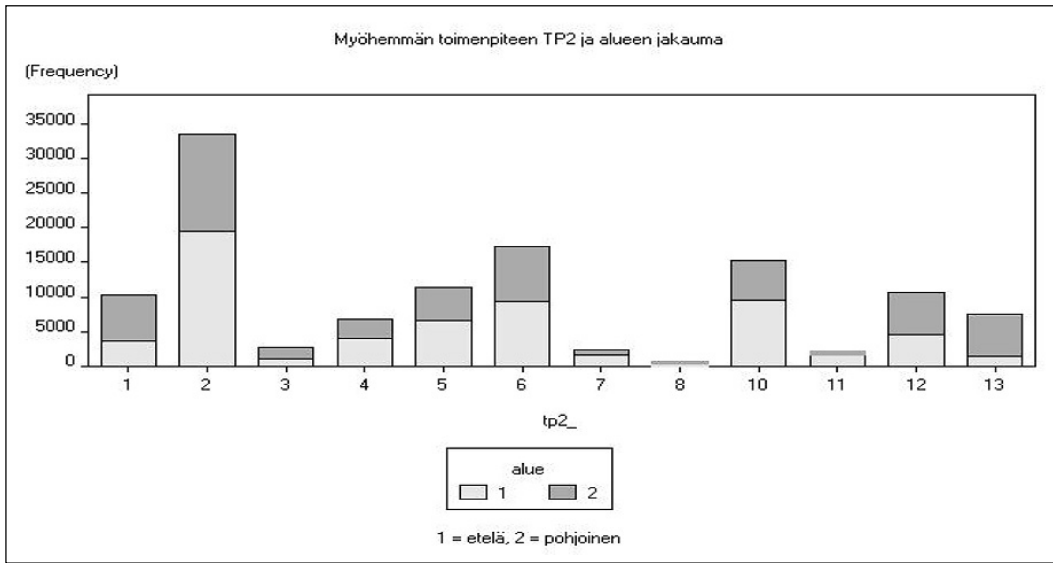


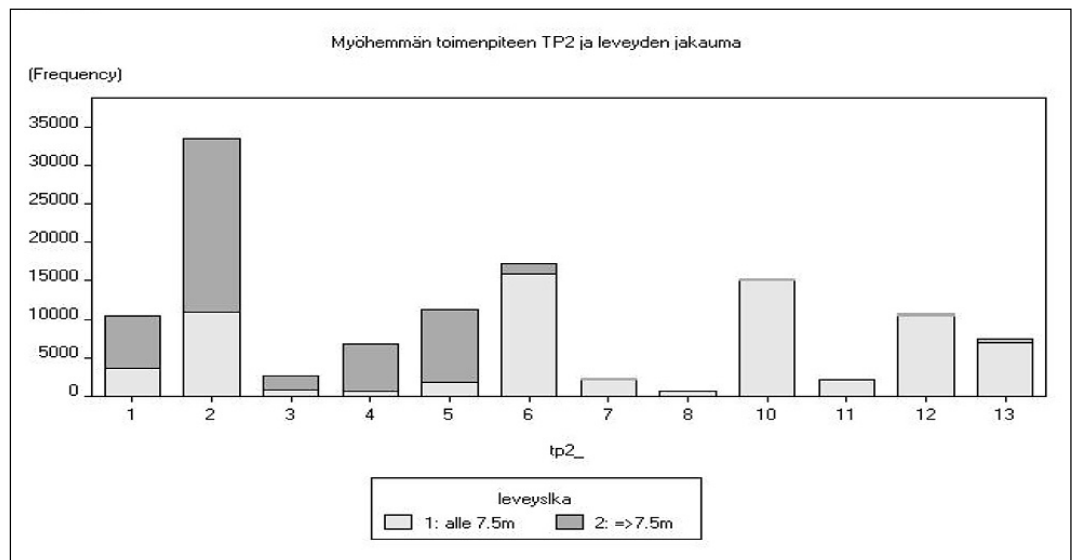
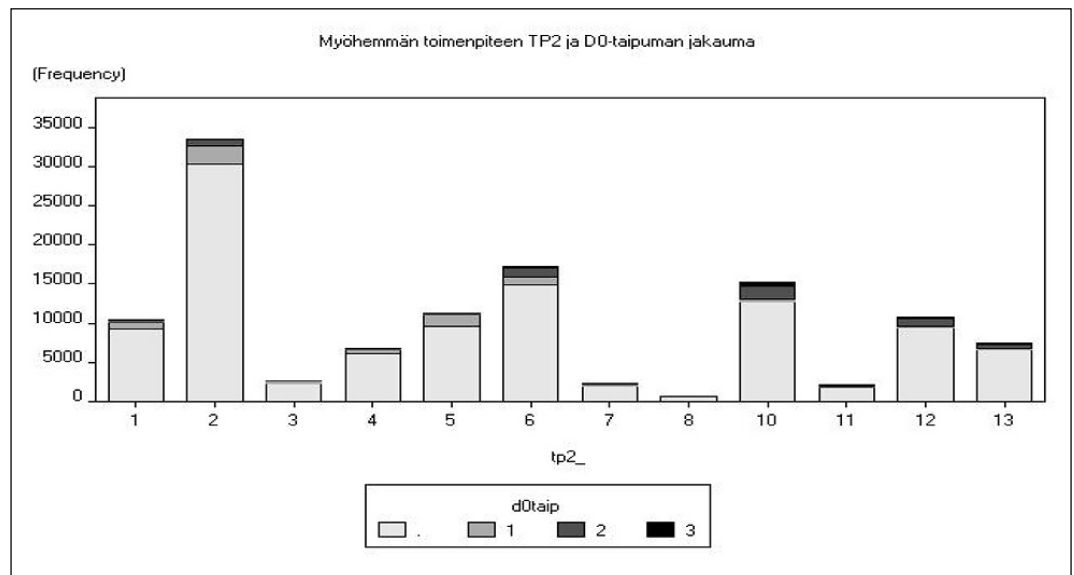
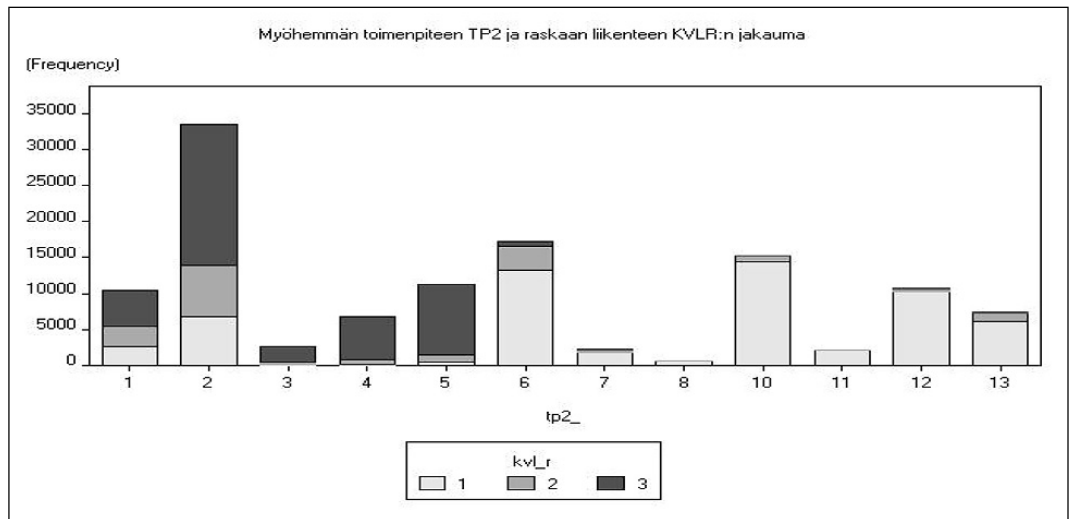


**Liite 4: Toimenpiteen vaikutusaineisto (=TP2)**

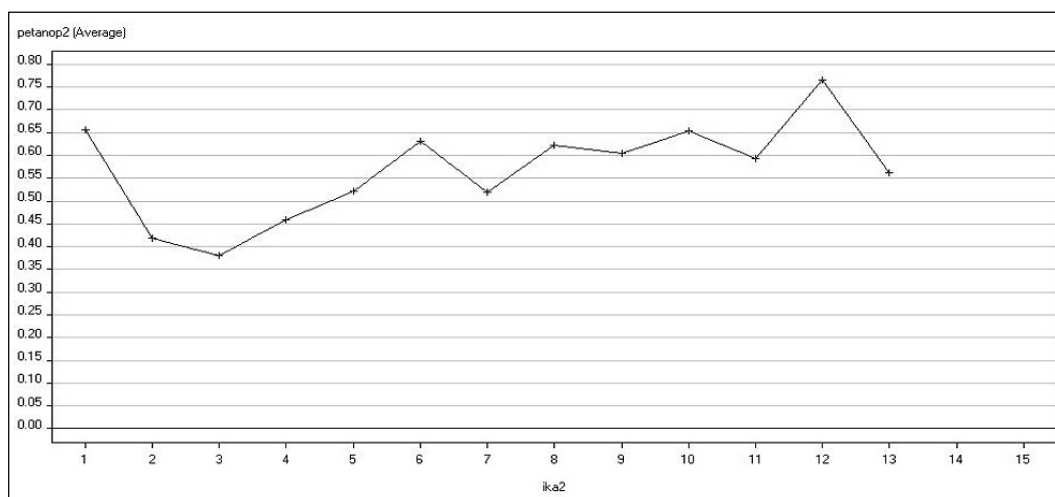
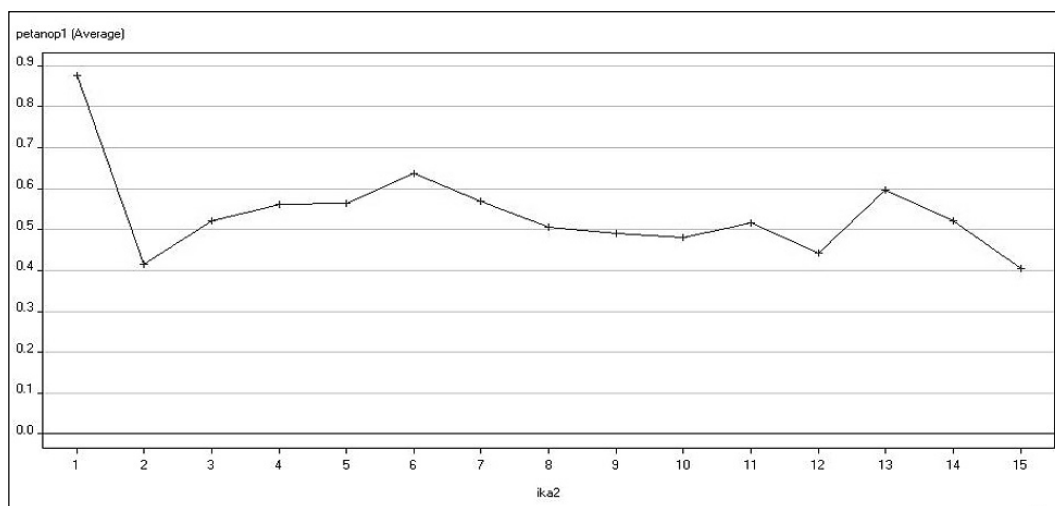
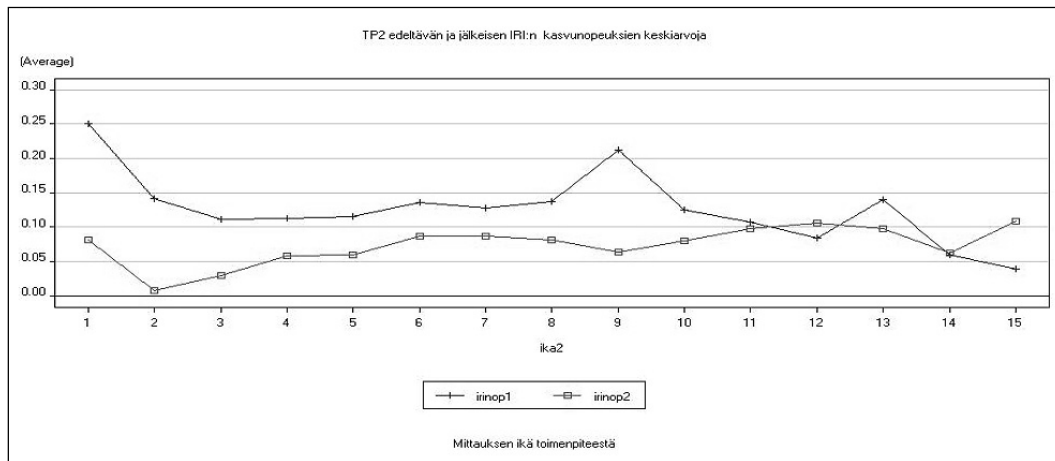


	tp1		
	AB	PB	PV
	N	N	N
tp2			
1:ab massa>110kg	7201	576	2560
2:ab massa 80-110kg	29363	2483	1630
3:ab massa 50-79kg	2621	38	.
4:ab massa<50kg	6643	49	91
5:ab rem	11285	.	
6:Kab massa =>80kg	931	4599	11579
7:Kab massa<80kg	460	660	1140
8:Kab massa=>50kg karhinta		134	533
10:PABv massa=>40kg karhinta	48	76	14734
11:PABv massa<40kg karhinta		.	2084
12:PABv massa=>80kg	243	550	9328
13:PABv massa<80kg			7294

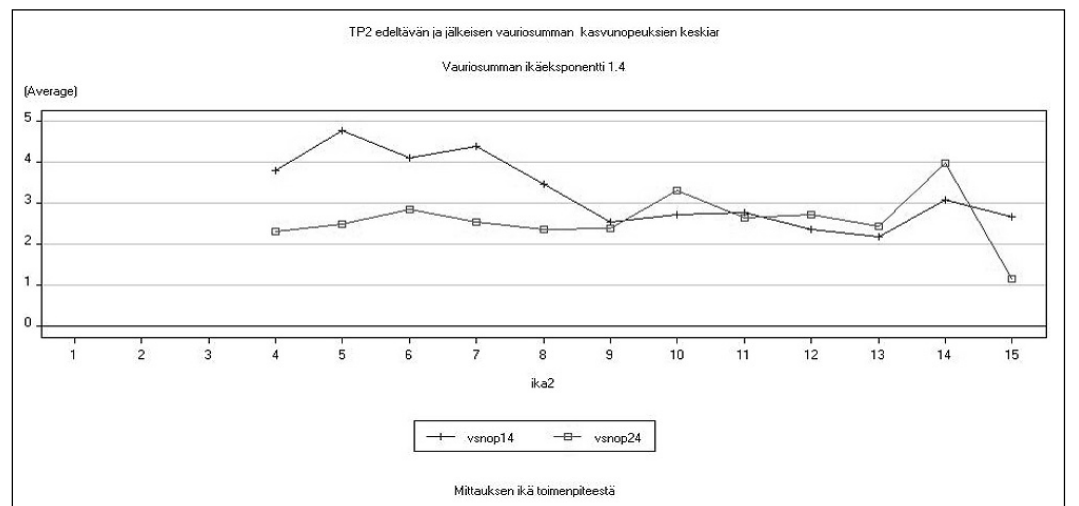
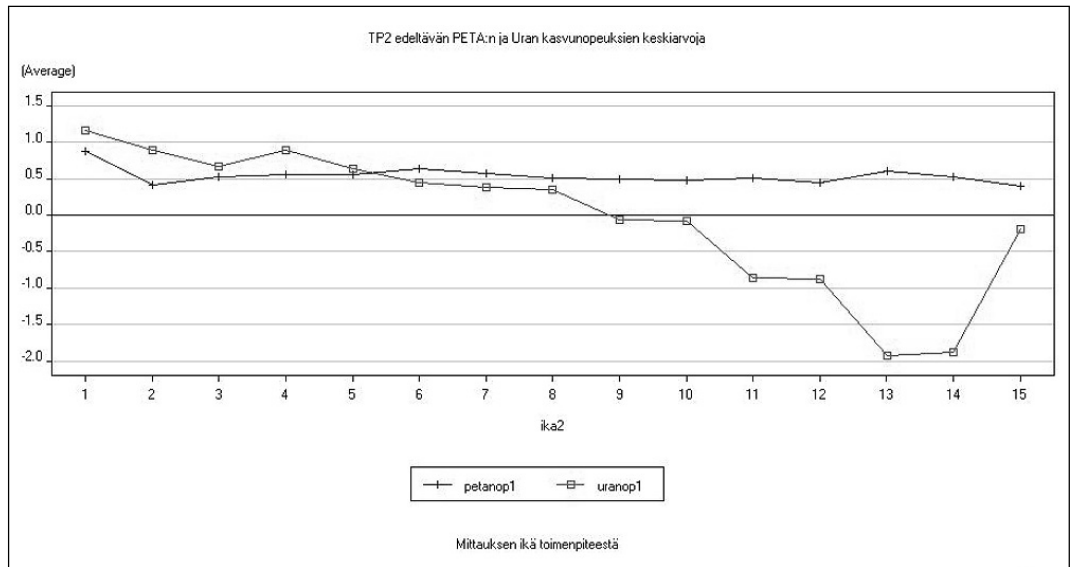
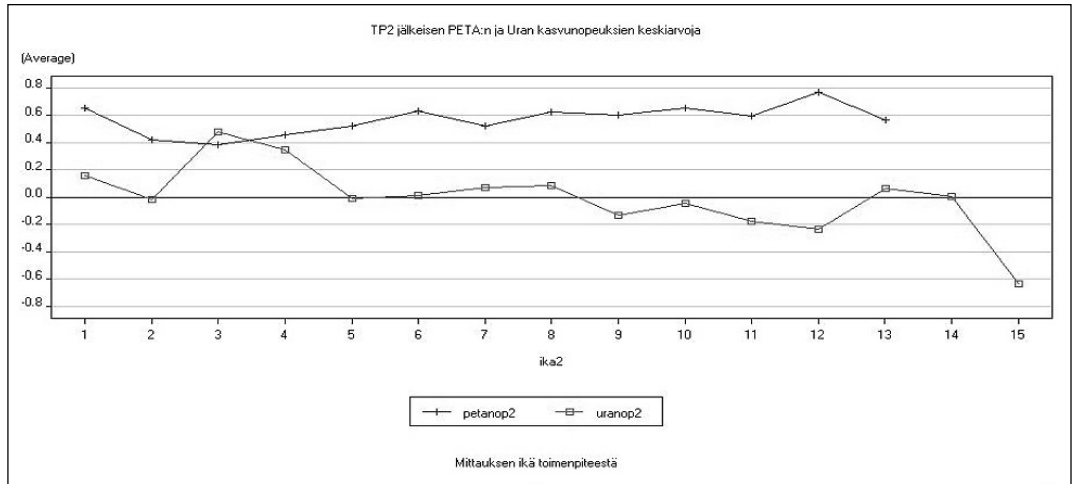




**Liite 5: Toimenpiteen vaikutusaineiston kuntomuuttujien kasvunopeudet**







**Liite 6: Uuden tai kunnostetun tien vaurioaineiston vauriosumma-komponenttitarkastelu**

