



Kantavuuden kausivaihtelumalli

Laskennallinen malli kevätkantavuuden määrittämiseksi tien rakenteellisten ominaisuuksien ja kuntotietojen avulla

Tiehallinnon selvityksiä 17/2006



Kantavuuden kausivaihtelumalli

Laskennallinen malli kevätkantavuuden määrittämiseksi tien rakenteellisten ominaisuuksien ja kuntotietojen avulla

Tiehallinnon selvityksiä 17/2006

Verkkajulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)
ISSN 1459-1553
ISBN 951-803-703-5
TIEH 3200993-v

Helsinki 2006

TIEHALLINTO
Asiantuntijapalvelut
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 2211

Asiasanat: Kantavuus, kausivaihtelu
Aiheluokka: 33, 82

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena on ollut laatia laskennallinen malli kevätkantavuuden määrittämiseksi tien rakenteellisten ominaisuuksien ja mitattujen kunto-tietojen avulla. Malli tulisi korvaamaan nykyisen hyvin työlään ja epätarkan menetelmän, jossa ns. kevätkantavuuskerroin arvioidaan silmämääräisesti paikan päällä olosuhteiden ja tien kunnon perusteella.

Tutkimusaineistoksi pyrittiin valitsemaan mahdollisimman edustava satun-naisotos, kuitenkin niin, että kohdejoukko painottuu alemmalle (vaurioituväl-le) tieverkolle. Lopullinen tutkimusaineisto sisälsi 1034 kohdetta (100-metristä), joille tehtiin vuoden 2003 keväällä ja kesällä taipumamittausten (PPL) lisäksi myös PTM- ja PVI-mittaukset.

Useiden vaiheiden kautta parhaaksi osoittautui sellainen yleistetty lineaari-nen malli, jossa selittäville muuttujille etsittiin sopivat eksponentit.

AB-tiet: (selitysaste 86 %)

$$Y = 1.123 \times \left[\begin{array}{l} -326 + 373 \times X_1^{0.11} - 0.00012 \times X_2 + 8.67 \times X_3^{0.88} \\ + 0.19 \times X_4^{1.23} + 0.089 \times X_5^{1.30} \end{array} \right] - 82,$$

missä

Y = DOT kevät (lämpötilakorjattu)
X₁ = keskiharjanteen (keskiarvon) kasvunopeus,
X₂ = kumulatiivinen kuormituskertaluku
X₃ = BCI (lämpötilakorjattujen D900–D1200 erotus)
X₄ = SCI (lämpötilakorjattujen D0–D300 erotus)
X₅ = DOT_kesä (lämpötilakorjattu).

PAB-tiet: (selitysaste 74 %)

$$Y = 1.189 \times \left[-241 + 173.7 \times X_1^{0.20} + 37.6 \times X_2^{0.49} + 6.5 \times X_3^{0.71} \right] - 151,$$

missä

Y = DOT_kevät (lämpötilakorjattu)
X₁ = keskiharjanteen (keskiarvon) kasvunopeus
X₂ = BCI (D900–D1200 erotus)
X₃ = DOT_kesä (lämpötilakorjattu).

SOP-tiet: (selitysaste 81 %)

$$Y = 1.167 \times \left[-250 - 37.2 \times X_1 + 370.8 \times X_2^{0.29} + 4.9 \times X_3^{0.8} + 42.9 \times X_4^{0.6} \right] - 230$$

missä

Y = DOT_kevät (lämpötilakorjattu)
X₁ = Päällysteen ikä
X₂ = keskiharjanteen (keskiarvon) kasvunopeus
X₃ = DOT_kesä (lämpötilakorjattu).
X₄ = BCI (D900–D1200 erotus)

Todettakoon, että malleissa vauriosumma on voitu korvata kokonaan pa-remmin toistettavilla rakenteellisilla muuttujilla: keskiharjanteen kasvunope-us, SCI (Surface Curvature Index) ja BCI (Base Curvature Index).

SAMMANFATTNING

Målsättningen med studien har varit att ta fram en kalkyleringsmodell för bedömning av vårbärighet med hjälp av vägens konstruktiva egenskaper och uppmätta konditionsdata. Modellen skulle kunna ersätta den nuvarande mycket mödosamma och inexakta metoden, där den sk. vårbärighetsfaktorn bedöms visuellt på platsen utifrån rådande förhållanden och vägens kondition.

Syftet var att som studieunderlag välja en så representativt slumpmässigt urval som möjligt, dock så att lägre (skadekänsligt) vägnät blir betonad i målgruppen. I det slutgiltiga underlaget ingick 1034 vägavsnitt (på 100 meter), där man på våren och sommaren 2003 utöver sättningsmätningar (PPL) även utförde PTM- och PVI-mätningar.

Bästa modellen ansågs efter flera mättningsfaser vara en kombinerad linjär modell där lämpliga exponenter söktes för de förklarande variablerna.

AB-vägar: (redovisningsgrad 86 %)

$$Y = 1.123 \times \left[\begin{array}{l} -326 + 373 \times X_1^{0.11} - 0.00012 \times X_2 + 8.67 \times X_3^{0.88} \\ + 0.19 \times X_4^{1.23} + 0.089 \times X_5^{1.30} \end{array} \right] - 82, \text{ där}$$

Y = DOT sättning vår (temperaturkorrigerad)

X₁ = mittryggens (medelvärdes) tillväxthastighet

X₂ = kumulativt belastningsantal

X₃ = BCI sättningsskillnad (skillnaden mellan D900–D1200)

X₄ = SCI sättningsskillnad (skillnaden mellan temp.korr. D0 – D300)

X₅ = DOT sättning sommar (temperaturkorrigerad).

PAB-vägar: (redovisningsgrad 74 %)

$$Y = 1.189 \times \left[-241 + 173.7 \times X_1^{0.20} + 37.6 \times X_2^{0.49} + 6.5 \times X_3^{0.71} \right] - 151, \text{ där}$$

Y = DOT_sättning vår (temperaturkorrigerad)

X₁ = SCI sättningsskillnad (skillnaden mellan temp.korr. D0–D300)

X₂ = mittryggens (medelvärdes) tillväxthastighet

X₃ = BCI sättningsskillnad (skillnaden D900 – D1200)

X₄ = DOT sättning sommar (temperaturkorrigerad).

SOP-vägar: (redovisningsgrad 81 %)

$$Y = 1.167 \times \left[-250 - 37.2 \times X_1 + 370.8 \times X_2^{0.29} + 4.9 \times X_3^{0.8} + 42.9 \times X_4^{0.6} \right] - 230$$

där

Y = DOT sättning vår (temperaturkorrigerad)

X₁ = Belägningens ålder

X₂ = mittryggens (medelvärdes) tillväxthastighet

X₃ = DOT sättning sommar (temperaturkorrigerad).

X₄ = BCI sättningsskillnad (skillnaden D900–D1200)

Det ska konstateras att i modellerna har skadesumman helt kunnat ersättas med bättre reproducerbara konstruktiva variabler: mittryggens tillväxthastighet, SCI (Surface Curvature Index) och BCI (Base Curvature Index).

Keywords: Road bearing capacity, season variation

SUMMARY

The main purpose of this study has been to create theoretical model to determine spring time bearing capacity based on the structural properties and measured condition data of the road. The model would replace present method which is extremely demanding and inaccurate. Earlier spring time bearing capacity was determined visually evaluated by the condition of the road.

The research material was tried to choose as representative random sample as possible. However, the sample is emphasizing on the lower (which is more damaged) road network. The final research material consisted of 1034 subjects (each distance was 100 meters). In addition to deflection measurements the research subjects were also analyzed with the PTM and PVI measurements during spring and summer 2003.

The best method was found to be the generalized linear model where fitting exponents for explanatory variables were determined.

Asphalt roads: (coefficient of determination 86 %)

$$Y = 1.123 \times \left[\begin{array}{l} -326 + 373 \times X_1^{0.11} - 0.00012 \times X_2 + 8.67 \times X_3^{0.88} \\ + 0.19 \times X_4^{1.23} + 0.089 \times X_5^{1.30} \end{array} \right] - 82,$$

where

Y = DOT spring (corrected temperature)

X₁ = The growth rate of the road middle ridge (average)

X₂ = cumulative equivalent axle load

X₃ = BCI (difference of temperature corrected D900–D1200)

X₄ = SCI (difference of temperature corrected D0–D300)

X₅ = DOT_summer (corrected temperature).

PAB- roads: (coefficient of determination 74 %)

$$Y = 1.189 \times \left[-241 + 173.7 \times X_1^{0.20} + 37.6 \times X_2^{0.49} + 6.5 \times X_3^{0.71} \right] - 151,$$

where

Y = DOT spring (corrected temperature)

X₁ = The growth rate of the road middle ridge (average)

X₂ = BCI (difference of temperature corrected D900–D1200)

X₃ = DOT summer (corrected temperature).

Surface treatment of gravel roads: (coefficient of determination 81 %)

$$Y = 1.167 \times \left[-250 - 37.2 \times X_1 + 370.8 \times X_2^{0.29} + 4.9 \times X_3^{0.8} + 42.9 \times X_4^{0.6} \right] - 230$$

where

Y = DOT spring (corrected temperature)

X₁ = Age of the pavement

X₂ = The growth rate of the road middle ridge (average)

X₃ = DOT summer (corrected temperature).

X₄ = BCI (difference of temperature corrected D900–D1200)

In these models the crack surface index has been replaced completely with the structural variables which are more repeatable like; the growth rate of the road middle ridge, SCI (Surface Curvature Index) and BCI (Base Curvature Index).

ESIPUHE

Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut laatia laskennallinen malli kevätkantavuuden määrittämiseksi tien rakenteellisten ominaisuuksien ja mitattujen kuntotietojen avulla. Nykyinen käytäntö on ollut työläs ja epätarkka, koska se on perustunut ns. kevätkantavuuskertoimen määrittämiseen silmämääräisesti paikan päällä olosuhteiden ja tien kunnan perusteella.

Mallit perustuvat vuonna 2003 mitattuun havaintoaineistoon, johon sisältyi edustava otos AB-, PAB- ja SOP-teillä tehtyjä PPL-, PTM- ja vauriomittauksia.

Työn on tilannut Tiehallinto osana Väyläomaisuuden hallinnan tutkimusohjelmaa (VOH).

Tutkimuksen käytännön työn ja raportin on laatinut FM Seppo Järvinen, Ramboll Finland Oy:stä. Työtä on ohjannut ja raportin laadinnassa on ollut mukana DI Ismo Iso-Heiniemi Tiehallinnosta.

Helsinki, toukokuu 2006

Tiehallinto
Asiantuntijapalvelut

Sisältö

1	JOHDANTO JA TUTKIMUSAINEISTO	11
1.1	Kevätkantavuusmallin tutkimuskohteiden valintaperusteet	11
1.2	Mitatun aineiston esittely	12
2	MENETELMÄT	15
3	KEVÄTKANTAVUUSMALLIT	16
3.1	AB-tiet	16
3.2	PAB-tiet	18
3.3	SOP-tiet	20
4	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET	22
5	LIITTEET	23

1 JOHDANTO JA TUTKIMUSAINEISTO

Tutkimuksen tavoitteena on ollut laatia laskennallinen malli kevätkantavuuden määrittämiseksi tien rakenteellisten ominaisuuksien ja mitattujen kunto-tietojen avulla. Malli tulisi korvaamaan nykyisen hyvin työlään ja epätarkan menetelmän, jossa ns. kevätkantavuuskerroin arvioidaan silmämääräisesti paikan päällä olosuhteiden ja tien kunnon perusteella.

1.1 Kevätkantavuusmallin tutkimuskohteiden valintaperusteet

Projektissa "kausivaihtelumallin tutkimuskohteiden valinta ja koordinointi" tehtiin ehdotus tutkimuskohteiden valitsemiseksi: keväällä 2003 inventoitiin kaikenkuntoisia teitä PPL:llä, PVI:llä ja PTM:llä. Samat tiekohteet mitattiin myöhemmin kesällä sekä PTM että PPL mittauksilla. Tiet valittiin siten, että mahdollisimman moni kuului normaaliin mittausohjelmaan. Myös valittujen teiden tuli edustaa kattavasti kaikenkuntoisia teitä:

1. Koko tieverkko noin 53 000km
2. Valikoidut alkuvaiheen tutkimuskohteet 3 500 km
3. Lopullinen satunnaisotos noin 100–400km.



Alkukarsinta koko tieverkolta

Tutkimuskohteiden alkukarsinta tehtiin seuraavien ehtojen mukaisesti :

- PVI mittaus keväältä 2000 (todennäköisesti 3 vuoden mittauskierrolla seuraava mittaus on keväällä 2003).
- PTM mittaus kesältä 2001 (todennäköisesti 2 vuoden mittauskierrolla seuraava mittaus on kesällä 2003).
- Toimenpiteiden oli oltava ennen sekä PVI että PTM mittauksia (= toimenpide ennen vuotta 2000).

SAS-tietokannasta poimittiin valikoidut tieosat (tie, ajr, suunta, kaista, aosa, aet, osan pituus) ja kohdistettiin Suomen tieverkolle ARCVIEW- ohjelmalla. Kartalta nähtiin, kuinka maantieteellisesti valitut kohteet sijaitsivat (kartasta voitiin tehdä A3 tai A0 kokoisia piiritulosteita). Samaan karttaan voitiin myöhemmin lisätä tiepiirien mittausohjelman mukaiset kohteet. Edellä kuvatulla tavalla tieverkolta löytyi noin 3 500 km tutkimuskohteiksi soveltuvia teitä.

Lopullinen kohdejoukko valittiin erikseen valittujen tiekohteiden (vajaat 3 500 km) joukosta siten, että ne edustivat erilaisia teitä (painotus alemmalle, vaurioituneelle, tieverkolle). Edustavuutta verrattiin koko tieverkon- ja alkuvaiheen karsitun aineistojen välillä.

Edustavuutta tutkittiin seuraavien muuttujien avulla tieosakeskiarvoina:

- o **Päällystelaji:** 2 eri luokkaa, AB päällystelaji<21, PAB ja SOP päällystelaji 21–31
- o **SCI300-taipuma:** 2 eri luokkaa, SCI300<330, SCI300 >329
- o **Vauriosumma:** 2 eri luokkaa, VS<40, VS>39
- o **Päällysteen ikä:** 2 eri luokkaa, päällysteen ikä 1–8 vuotta, päällysteen ikä yli 9-vuotta.

Edellä mainittujen muuttujien muodostamien luokkien suhteen tehtiin kokeensuunnittelumatriisi (2x2x2x2 = 16 kpl eri luokkakombinaatiota). Tehtiin ositettu otanta, josta saatiin seuraavan taulun mukainen tulos.

Taulukko. Kokeensuunnittelumatriisi. Ositetun otanta-aineiston jakautuminen homogeenisiin osaverkkoihin (harvinaisia osaverkkoja yhdistelty).

		SCI300 VS					yhteensä /m
		<330		=>330		Ei mit- tausta	
PVI-2003	OSAVERKKO	<40	=>40	<40	=>40	<40	
on	1: AB, Pikä<9v	5633					5633
	2: AB, Pikä=>9v	4580					4580
	3: AB			7958	1000		8958
	4: MUU, Pikä<9v	5615				3823	9438
	5: MUU, Pikä=>9v	12065				1488	13553
	6: MUU, Pikä=>9v		9293				9293
	7: MUU, Pikä=>9v	11782				1565	13347
	8: MUU, Pikä=>9v		4834				4834
	9: MUU, Pikä<9v			19600			19600
	10: MUU, Pikä=>9v				19946		19946
	11: MUU, Pikä=>9v			2089			2089
	12: MUU, Pikä=>9v				10434		10434
Yhteensä		39675	14127	29647	31380	6876	121705

Osa-aineistot yhdistettiin SAS-tilasto-ohjelmassa yhdeksi tietokannaksi, jossa yksi rivi on yksi 100-metrin tiepätkä eli tieosoite ja eri muuttujat ovat eri sarakkeissa.

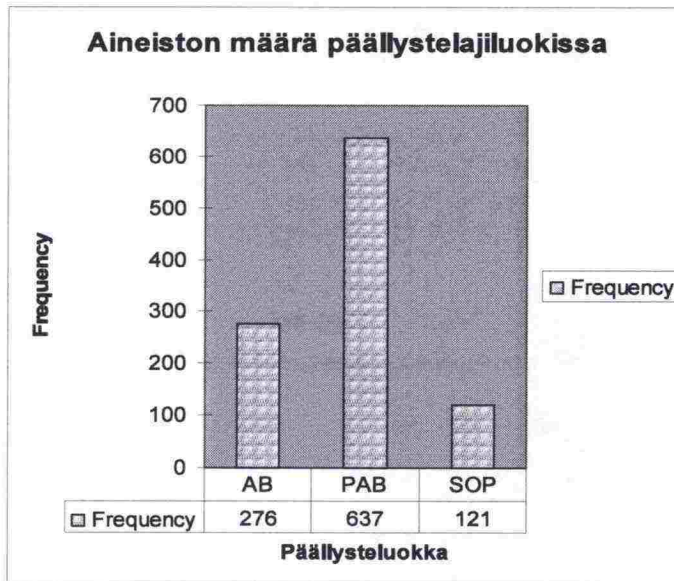
1.2 Mitatun aineiston esittely

Havaintojen määrät mittauslajeittain	Yhteensä
PVI_kevät	1170
PPL_kevät	1178
PPL_kesä	1190
PTM_kevät -mittaus	1200
PTM_kesä -mittaus	1149
Tutkimuksessa käytettävissä olevia havaintoja	1034

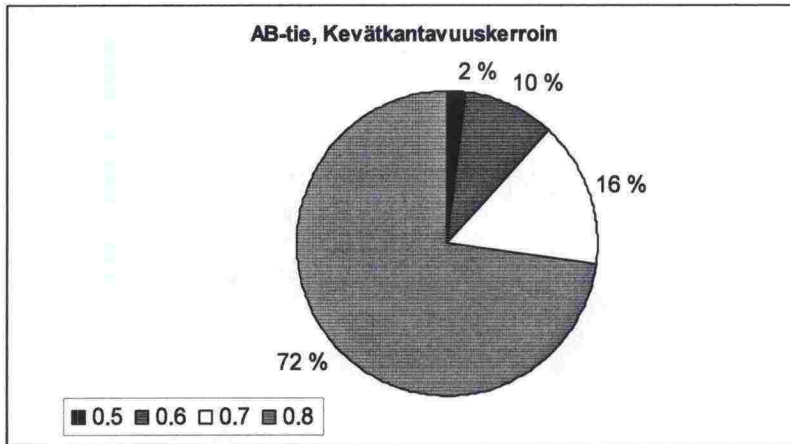
Tilattuja mittauksia oli 1 231 kpl, joista 1 034 soveltui tutkimukseen.

Summa / pituus m		SCI300 kevät VS				Yhteensä
		<330		≥ 330		
P-laji	P-ikä	<40	≥ 40	<40	≥ 40	
AB	1-8 vuotta	7358		100		7458
	9- vuotta	10921	3900	1900	3300	20021
PAB	1-8 vuotta	2100	100	2200	100	4500
	9- vuotta	17640	6584	19600	15300	59124
SOP	1-8 vuotta	300		3800	1100	5200
	9- vuotta			3175	3700	6875
Yhteensä		38319	10584	30775	23500	103178

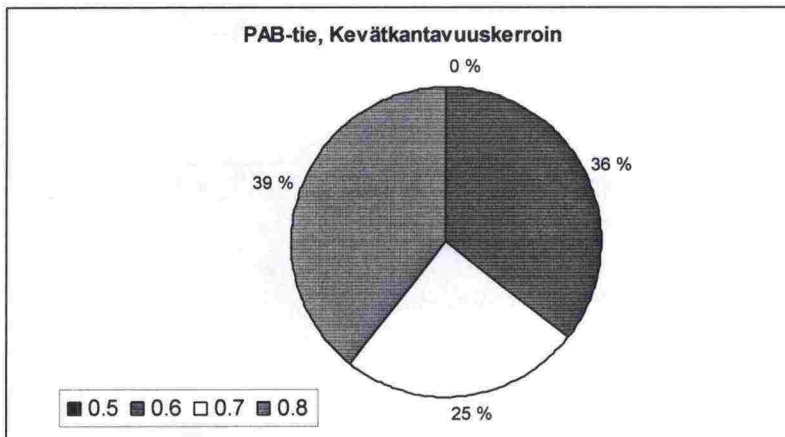
Summa / pituus m		SCI300 kesä VS				Yhteensä
		<330		≥ 330		
P-laji	P-ikä	<40	≥ 40	<40	≥ 40	
AB	1-8 vuotta	7458				7458
	9- vuotta	12221	5700	600	1500	20021
PAB	1-8 vuotta	4200	200	100		4500
	9- vuotta	25140	11784	12100	10100	59124
SOP	1-8 vuotta	3100	700	1000	400	5200
	9- vuotta	800	300	2375	3400	6875
Yhteensä		52919	18684	16175	15400	103178



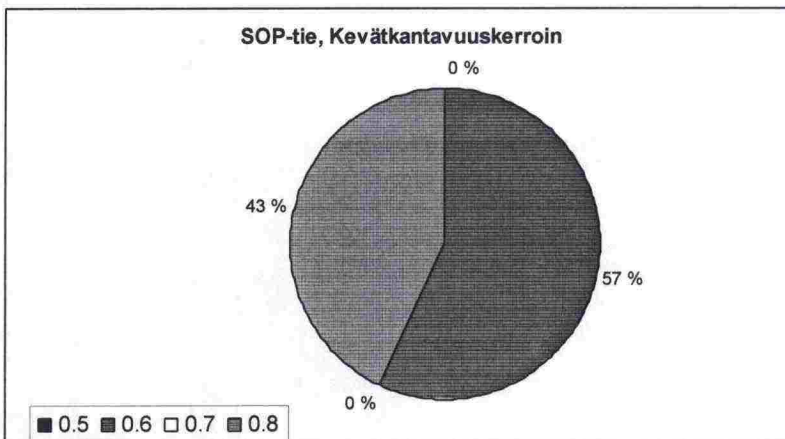
B-tiet



PAB-tiet



SOP-tiet



Tutkimusaineiston tilastollisia jakaumia on esitetty tarkemmin liitteessä 1.

2 MENETELMÄT

Tässä tutkimuksessa on käytetty sakkomallia eli toiselta nimeltään yleistettyä lineaarista mallia (=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 luokitettun selittäjän luokkatason vaikutus vasteen Y keskimääräiseen arvoon ei tarvitse olla vakio. Seuraava esimerkki valaisee regressio- ja sakkomallin eroja.

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

Eo. **regressiomallia** tulkitaan siten, että jos selittäjiä ei oteta huomioon, vaurionopeus regressiomallissa olisi 1.4 m²/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 m²/vuosi nopeuslisää. Tällöin vakion ja päällystelajin muodostama nopeusennuste olisi jo 3.2 m²/vuosi. Samalla tavalla kaikkien merkitsevien selittäjien vaikutus nopeuteen on additiivisesti laskettavissa riippuen toki muuttujan saamasta arvosta.

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

$$Y_{sakko} = \begin{cases} -1 \\ + \begin{cases} 0.0 & (\text{jos } AB) \\ 0.9 & (\text{jos } PAB) \\ 1.2 & (\text{jos } SOP) \end{cases} \\ + \begin{cases} 0.0 & (\text{jos } KVL_R = 1) \\ 0.04 & (\text{jos } KVL_R = 2) \\ 0.32 & (\text{jos } KVL_R = 3) \end{cases} \\ + 0.2 \times SCI300 \end{cases}$$

Edellä on esimerkki **sakkomallista**: jos sakkomallissa tiellä on raskaan liikenteen määrä luokkatason 2 vastaavaa – vaikuttaa ko. muuttuja selitettävän muuttujan Y keskimääräiseen tasoon vain 0.04 yksikön verran (vrt. regressiomallin vaikutus 0.18).

Numeeristen menetelmien avulla (Gauss – Newton) on arvioitu kunkin yleistetyt lineaarisen mallin selittäjän funktiomuotoa kaavan $a \times X_j^b$ mukaan, jossa parametrit a ja b ovat tuntemattomia. Kun funktiomuoto on saatu selville – sijoitetaan tulos yleistetyt lineaarisen mallin yhtälöön, josta sitten haetaan sopivat kertoimet kullekin selittäjälle X_j .

3 KEVÄTKANTAVUUSMALLIT

3.1 AB-tiet

Parhaaksi AB-päällysteiden malliksi osoittautui seuraava:

$$Y = 1.123 \times \left[\begin{array}{l} -326 + 373 \times X_1^{0.11} - 0.00012 \times X_2 + 8.67 \times X_3^{0.88} \\ + 0.19 \times X_4^{1.23} + 0.089 \times X_5^{1.30} \end{array} \right] - 82$$

missä

Y = DOT kevät (lämpötilakorjattu)

X₁ = keskiharjanteen (keskiarvon) kasvunopeus

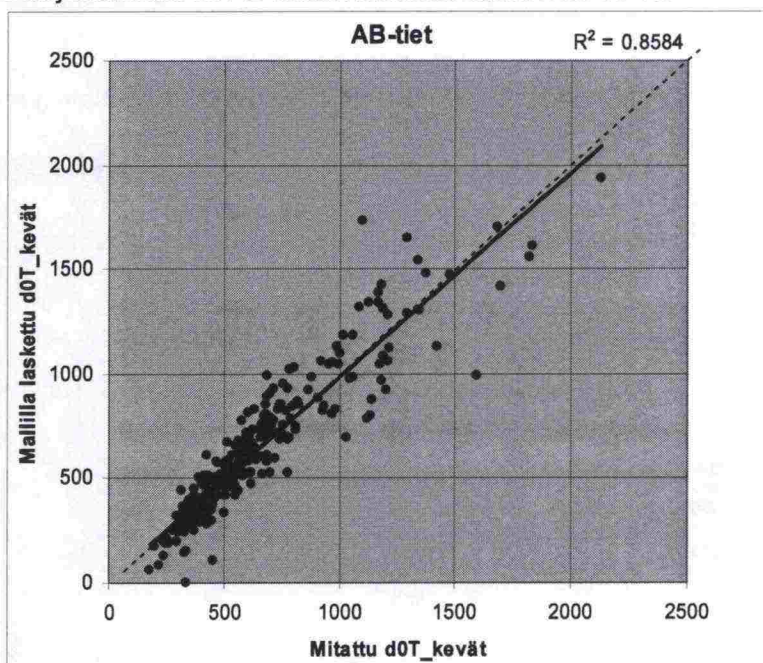
X₂ = kumulatiivinen kuormituskertaluku

X₃ = BCI taipumaero (D900–D1200)

X₄ = SCI taipumaero (lämpötilakorjattu D0–D300)

X₅ = DOT_kesä (lämpötilakorjattu).

Selitysasteeksi on AB-teiden mallissa saatu noin 86 %.

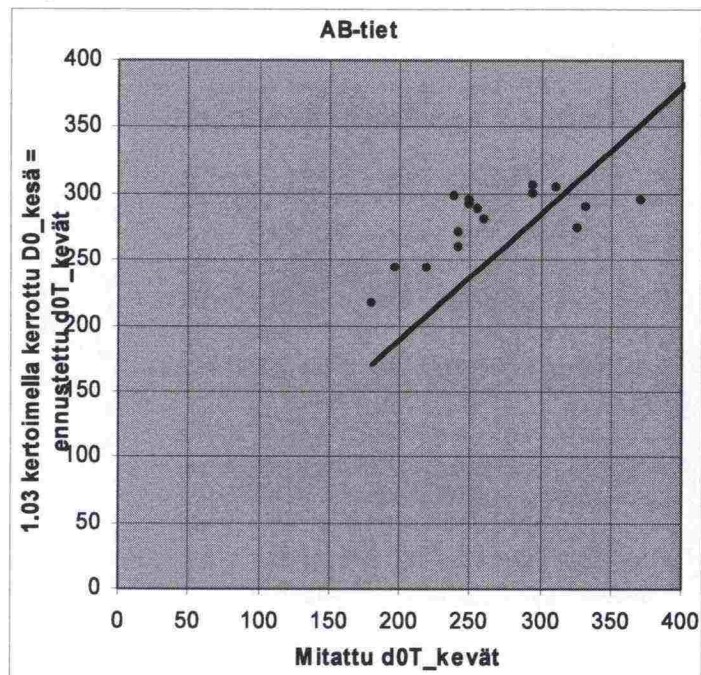


Mallin pätevyysalue on DOT_kesä -taipuma ≥ 300 . Pienillä arvoilla (=hyvin kantavilla teillä), kun DOT_kesä -taipuma on alle 300, käytetään kaavaa:

$DOT_kevät = 1.05 \times DOT_kesä$, joka on saatu laskemalla suhde

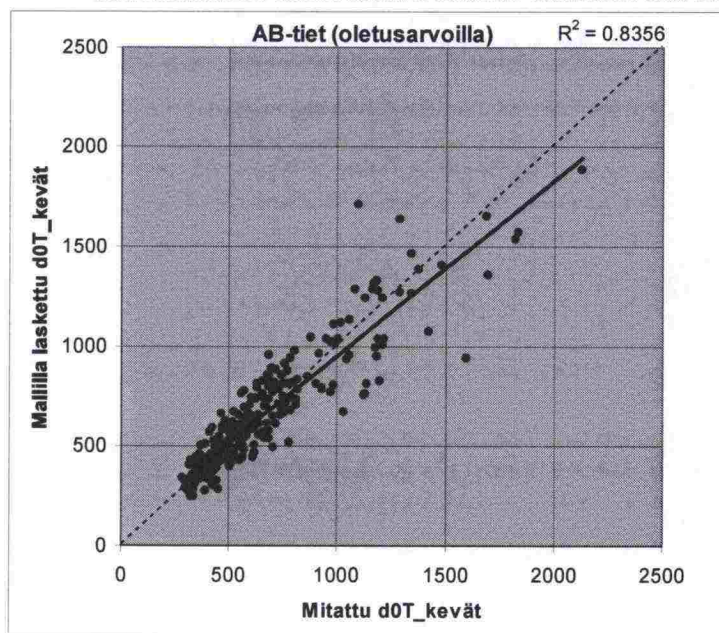
$\frac{DOT_kevät}{DOT_kesä}$ mitatusta tutkimusaineistosta.

Seuraavasta kuvasta käy ilmi, kuinka suhdekertoimella ennustettu DOT_kevät vastaa mitattua DOT_kevät -arvoa AB-teillä (siis kun DOT_kesä \leq 300).



Mikäli DOT_kevät -ennusteen laskennassa on puuttuvia tietoja kuten esimerkiksi harjanteen keskimääräinen kasvunopeus origon kautta ja/tai kumulatiivinen kuormituskertaluku (ei taipuma DOT_kesä, BCI- ja SCI taipumaerot), käytetään seuraavia oletusarvoja AB-teillä

- Harjanteen keskimääräisen kasvunopeuden oletusarvona on 1.17 mm/v.
- kumulatiivisen kuormituskertaluvun oletusarvona on 583 500.



3.2 PAB-tiet

Paras PAB-päällysteiden malli on seuraava:

$$Y = 1.189 \times \left[-241 + 173.7 \times X_1^{0.20} + 37.6 \times X_2^{0.49} + 6.5 \times X_3^{0.71} \right] - 151,$$

missä

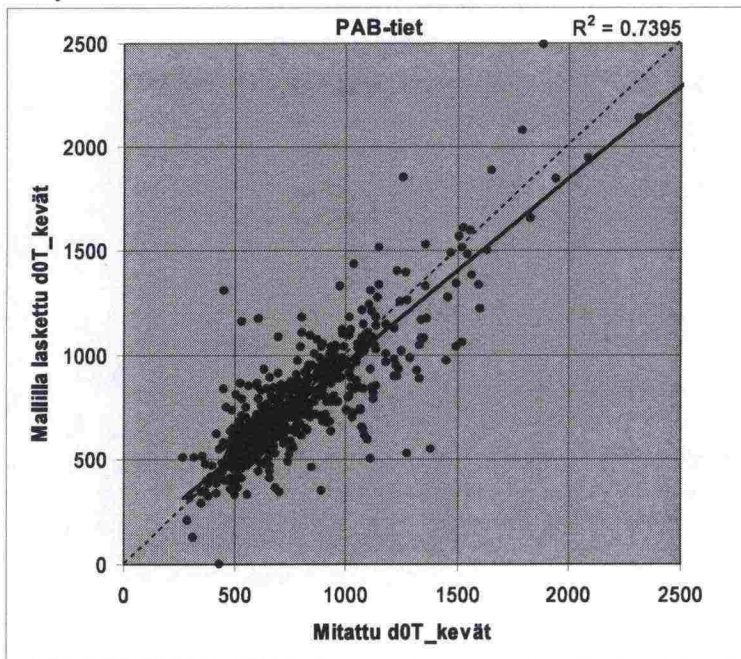
$Y = \text{DOT_kevät}$ (lämpötilakorjattu)

$X_1 =$ keskiharjanteen (keskiarvon) kasvunopeus

$X_2 =$ BCI taipumaero

$X_3 = \text{DOT_kesä}$ (lämpötilakorjattu).

Selitysasteeksi on PAB-teiden mallissa saatu 74 %.

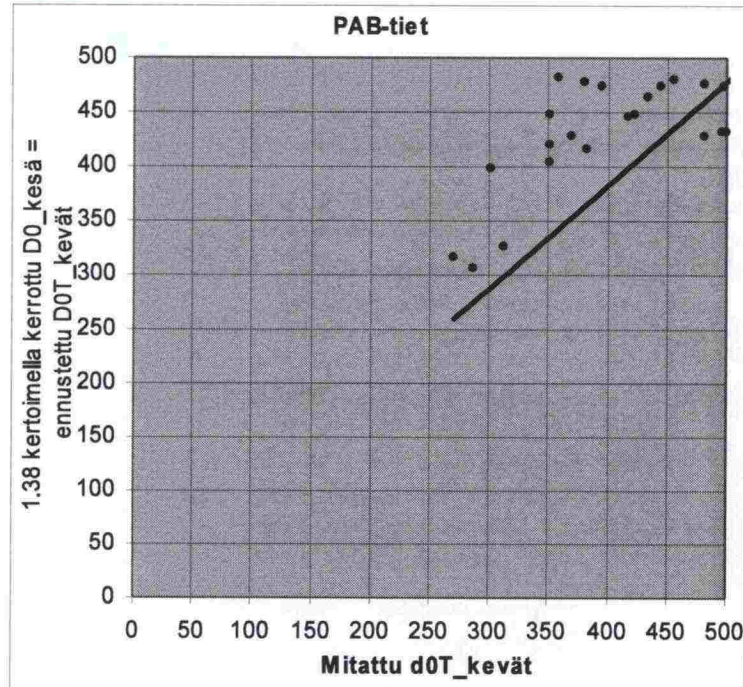


Mallin pätevyysalue on DOT_kesä -taipuma ≥ 350 . Pienillä arvoilla, kun DOT_kesä -taipuma on alle 350, käytetään kaavaa:

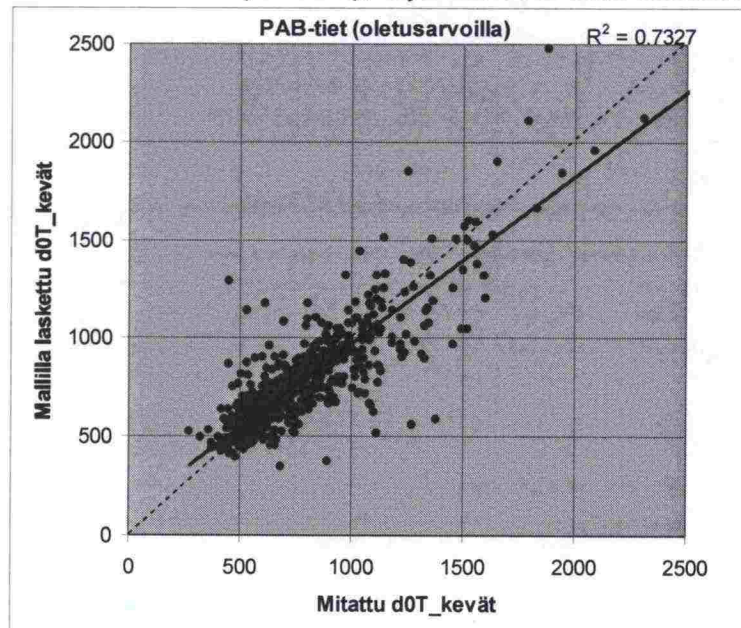
$\text{DOT_kevät} = 1.38 \times \text{DOT_kesä}$, joka on saatu laskemalla suhde

$\frac{\text{DOT_kevät}}{\text{DOT_kesä}}$ mitatusta tutkimusaineistosta.

Oheisesta kuvasta käy ilmi, kuinka hyvin suhdekertoimella ennustettu DOT_kevät vastaa mitattua DOT_kevät -arvoa.



Mikäli kevättaipuman ennusteen laskennassa on puuttuvia tietoja kuten esimerkiksi harjanteen keskimääräinen kasvunopeus orionin kautta (ei taipuma DOTkesä tai BCI taipumaero), käytetään PAB-teillä oletusarvoa 1.08 mm/v.



3.3 SOP-tiet

Paras SOP-päällysteiden malli on seuraava:

$$Y = 1.167 \times \left[-250 - 37.2 \times X_1 + 370.8 \times X_2^{0.29} + 4.9 \times X_3^{0.8} + 42.9 \times X_4^{0.6} \right] - 230$$

missä

Y = DOT_kevät (lämpötilakorjattu)

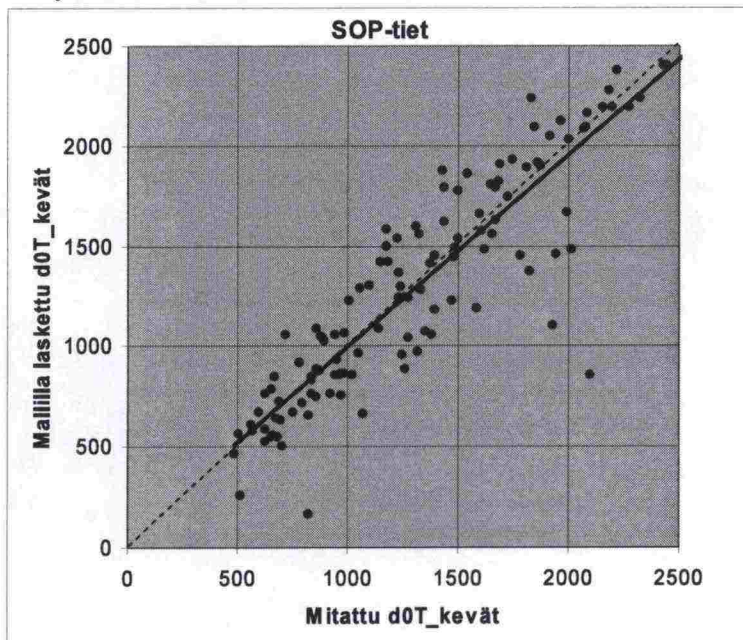
X_1 = Päällysteen ikä

X_2 = keskiharjanteen (keskiarvon) kasvunopeus

X_3 = DOT_kesä (lämpötilakorjattu).

X_4 = BCI_kesä (lämpötilakorjattu).

Selitysasteeksi on SOP-teiden mallissa saatu 81 %.

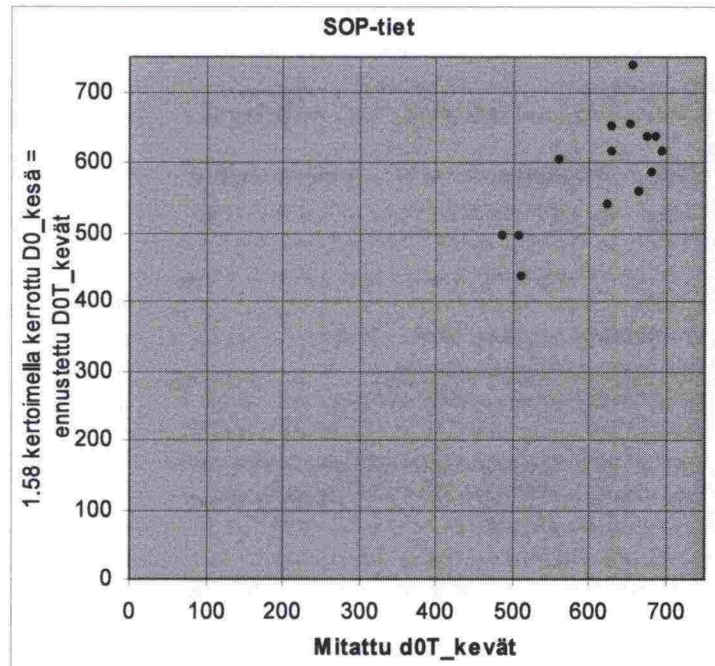


Mallin pätevyysalue on DOT_kesä -taipuma ≥ 550 . Pienillä arvoilla, kun DOT_kesätaipuma on alle 550, käytetään kaavaa:

$DOT_kevät = 1.58 \times DOT_kesä$, joka on saatu laskemalla suhde

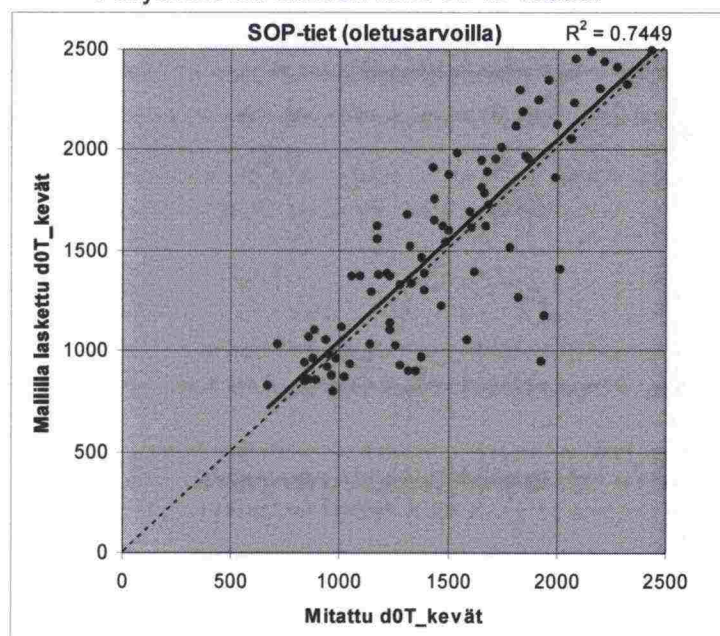
$\frac{DOT_kevät}{DOT_kesä}$ mitatusta tutkimusaineistosta.

Oheisesta kuvasta käy ilmi, kuinka hyvin suhdekertoimella ennustettu DOT_kevät vastaa mitattua DOT_kevät -arvoa.



Mikäli kevättaipuman ennusteen laskennassa on puuttuvia tietoja kuten esimerkiksi harjanteen keskimääräinen kasvunopeus origon kautta ja/tai päällysteen ikä (ei taipuma DOT_kesä ja BCI taipumaero), käytetään seuraavia oletusarvoja SOP-teillä

- Harjanteen keskimääräisen kasvunopeuden oletusarvona on 2.05 mm/v.
- Päällysteen iän oletusarvona on 10 vuotta.



Lisää mallien kuvausta on liitteessä 2 "Kausivaihtelumallien diagnostiikkakuvat".

4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Tutkimustulosten tulkinnassa on otettava huomioon, että kohdeaineiston mitausajankohtaa keväällä ei ole voitu valita kantavuudeltaan heikoimpaan ajankohtaan. Siten keskimäärin mallin antamat kevätkantavuusarvot eivät edusta heikointa tilannetta tiestöllä. Malli siis edustaa ainoastaan yhden vuoden tilannetta valitulla kohdejoukolla vuonna 2003. Pitemmällä aikavälillä näissä kohdejoukon pisteissä esiintyy todennäköisesti vielä heikompia kantavuuksia kevään aikana johtuen erilaisista kosteusolosuhteista tien rakenteessa ja pohjamaassa. Lisäksi käytännön havainnot ovat osoittaneet, että esimerkiksi kesäkantavuuskin voi vaihdella 20–30 % verrattaessa sadejakson jälkeisiä arvoja kuivaan kauteen. Edellä esitetyt näkökohdat tulisi ottaa huomioon silloin, kun mallin antamia kevätkantavuusarvoja käytetään hanketasolla tierakenteiden mitoituksessa.

Raportin luvuissa 4.1–4.3 on esitetty parhaimmat kevätkantavuusmallit. Sekä mitattu että ennustettu D0T_kevät ovat keskimäärin samalla tasolla kaikilla päällystelajeilla (AB, PAB, SOP). PPL-mittaajien arviointiin perustuvien kevätkantavuuskertoimien avulla ennustetut D0T_kevät -arvot (kts. liite1 sivu 11/13) poikkeavat tämän tutkimuksen mukaan selvästi havaituista:

- kk-kertoimet antavat AB-teillä liian hyviä – ja
- PAB sekä SOP -teillä liian huonoja kevätkantavuuksia.

Tässä työssä tehty kausivaihtelumalli kannattaisi testata heti keväällä 2006 tehtävien PPL-mittausten avulla (samat tiet vuodelta 2003 pitäisi mitata sekä keväällä että kesällä PPL ja RST-mittareilla). Tällöin lasketaan kausivaihtelumallilla kevään D0T-taipumaennuste, jota verrataan todelliseen kevät D0T-mittaukseen. Testausaineistoksi sopisi sellainen kohdejoukko, joka painotuisi etupäässä alemmalle tieverkolle, jossa taipuma D0T arvot ovat suurehkoja.

Lisäksi RST- ja APVM-mittarin uusien parametrien monipuolisempaa käyttöä voitaisiin harkita, jolloin kausivaihtelumallissa olisi mahdollisesti lisäselittäjiä.

5 LIITTEET

Liite 1: Kevätkantavuusmallien aineiston kuvaus (sivut 1–9/13)

Liite 1: Kevätkantavuusmallien diagnostiikkakuvat (sivut 10–13/13)

Excel-tiedosto (Järvinen/Iso-Heiniemi):
-Kevätkantavuusmalli_03042006.xls

KAUSIVAIHTELUMALLIN AINEISTON KUVAUS

D0 AB-tie

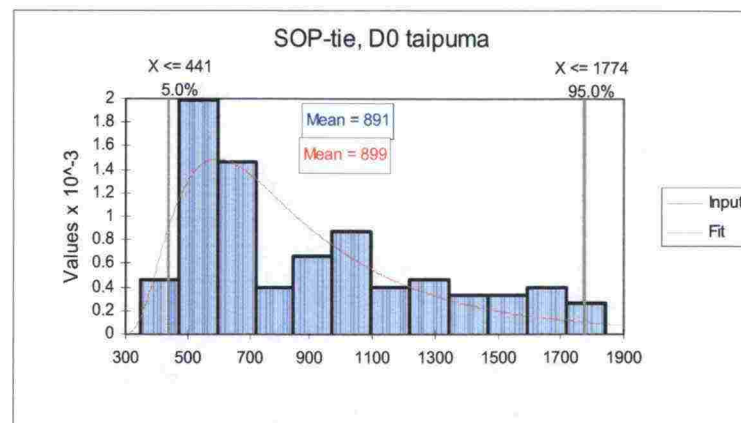
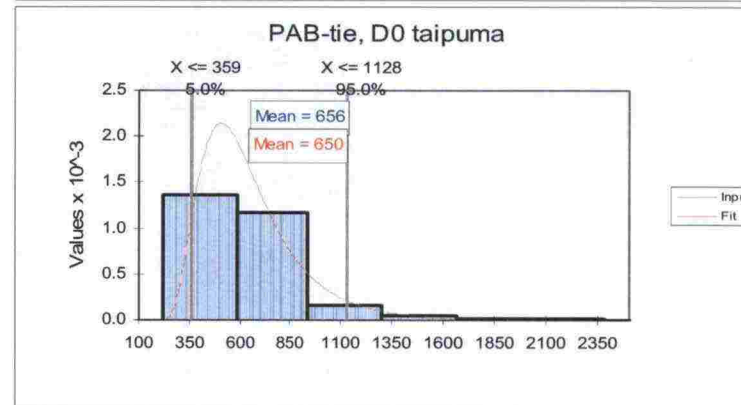
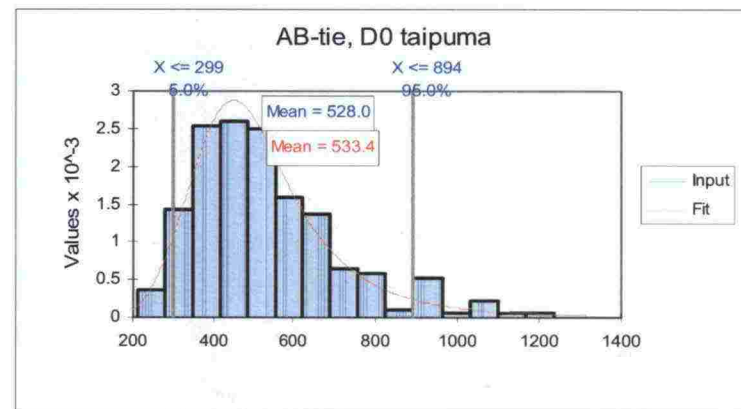
N/A	Fit Log-logistic	Input (data)
Function	533.44	
Shift	N/A	
g	120.46	
b	372.26	
a	4.02	
Minimum	-	211.00
Maximum	-	1238.00
Mean	533.44	527.99
Mode	448.56	415.00 arvio
Median	492.72	491.50
STD	214.28	181.33
Variance	45916.01	32760.70
Skewness	4.21	1.10
Kurtosis	1557.55	4.34

D0 SOP-tie

N/A	Fit Log-norm	Input (data)
Function	899.41	
Shift	273.35	
Mean	626.06	
STD	467.96	
Minimum	-	349.00
Maximum	-	1843.00
Mean	899.41	891.43
Mode	595.06	512.00 arvio
Median	774.81	782.00
STD	467.96	391.66
Variance	218987.48	152128.70
Skewness	2.66	0.79
Kurtosis	17.77	2.54

D0 PAB-tie

N/A	Fit Log-norm	Input (data)
Function	650.49	
Shift	169.90	
Mean	480.59	
STD	252.43	
Minimum	-	223.00
Maximum	-	5970.00
Mean	650.49	656.08
Mode	503.38	555.0 arvio
Median	595.37	589.00
STD	252.43	338.17
Variance	63719.71	114177.50
Skewness	1.72	7.24
Kurtosis	8.69	100.87



SCI AB-tie

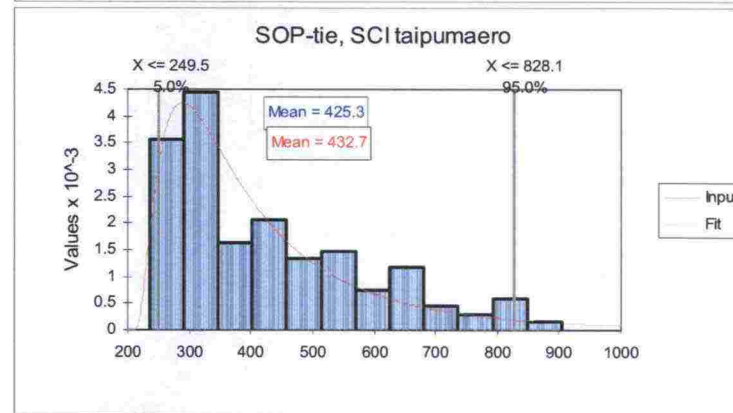
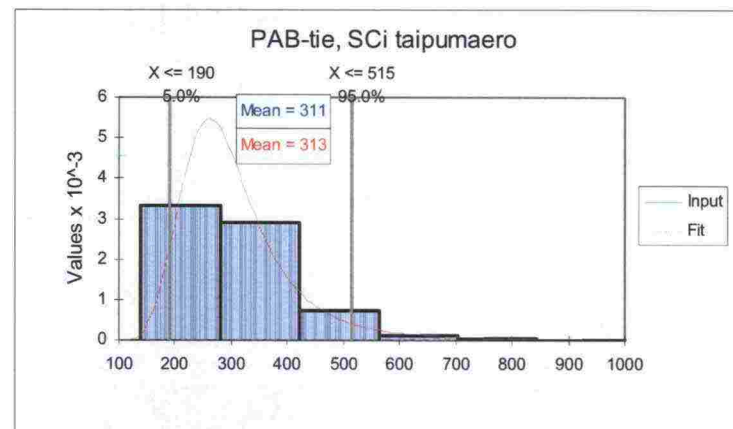
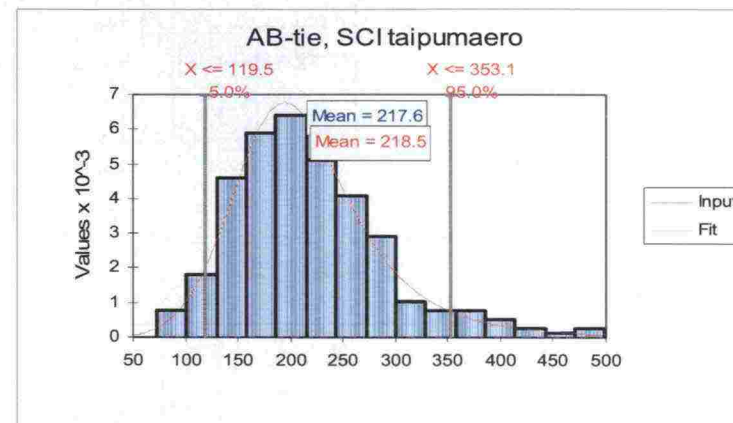
N/A	FIT Log-logistic	Input (data)
Function	218.54	
Shift	N/A	
g	-14.53	
b	221.98	
a	5.84	
Minimum	-	73.00
Maximum	-	499.00
Mean	218.55	217.58
Mode	194.67	234.00 arvio
Median	207.45	209.50
STD	77.05	72.24
Variance	5937.30	5199.10
Skewness	1.90	0.95
Kurtosis	16.01	4.40

SCI SOP-tie

N/A	Fit Log-norm	Input (data)
Function	432.74	
Shift	208.36	
Mean	224.38	
STD	221.25	
Minimum	-	235.00
Maximum	-	904.00
Mean	432.74	425.32
Mode	289.37	300.00 arvio
Median	368.13	370.00
STD	221.25	163.01
Variance	48950.28	26353.47
Skewness	3.92	0.98
Kurtosis	39.14	3.11

SCI PAB-tie

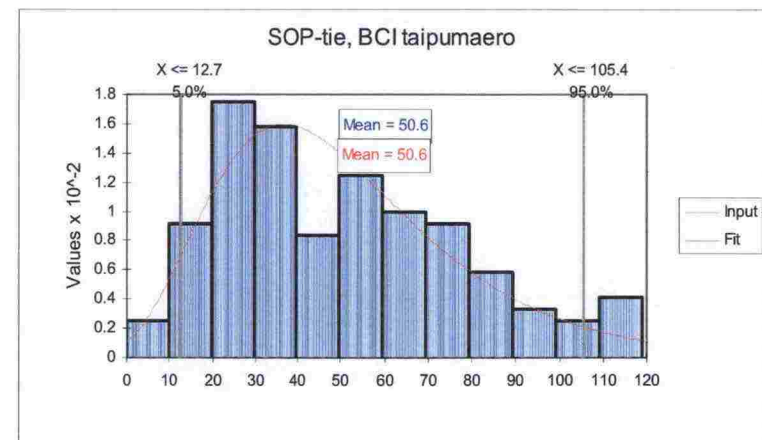
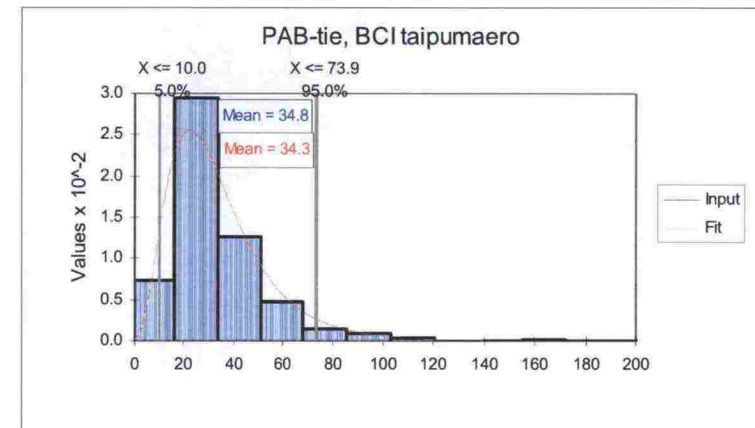
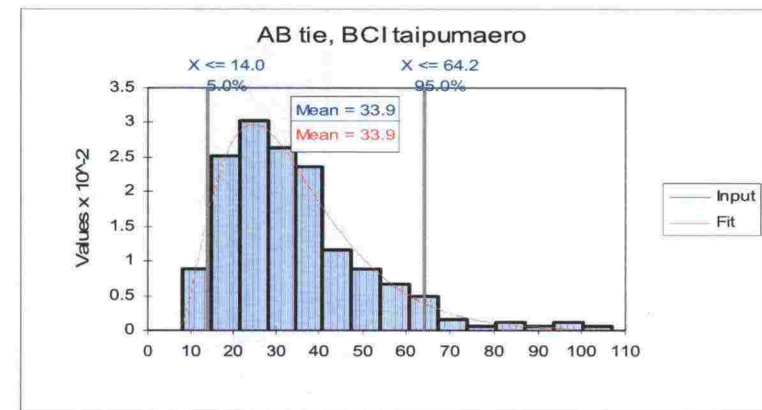
N/A	Fit Log-logistic	Input (data)
Function	313.54	
Shift	N/A	
g	113.77	
b	174.49	
a	3.53	
Minimum	-	139.00
Maximum	-	2398.00
Mean	313.54	311.84
Mode	261.78	253.00 arvio
Median	288.26	287.00
STD	124.07	127.05
Variance	15394.28	16116.50
Skewness	7.21	7.45
Kurtosis	N/A	116.07



BCI AB-tie		
N/A	FIT Gauss	Input (data)
Function	33.90	
Shift	6.98	
a	2.88	
b	9.36	
Minimum	-	8.00
Maximum	-	107.00
Mean	33.90	33.90
Mode	24.55	20.00 arvio
Median	30.86	30.00
STD	15.87	16.46
Variance	251.95	270.08
Skewness	1.18	1.39
Kurtosis	5.09	5.62

BCI SOP-tie		
N/A	Fit Lognorm	Input (data)
Function	50.66	
Shift	-28.09	
Mean	78.75	
STD	29.34	
Minimum	-	0.00
Maximum	-	119.00
Mean	50.66	50.57
Mode	36.71	25.00 arvio
Median	45.71	46.00
STD	29.34	28.12
Variance	860.71	784.28
Skewness	1.17	0.54
Kurtosis	5.53	2.44

BCI PAB-tie		
N/A	Fit Lognorm	Input (data)
Function	34.36	
Shift	-6.44	
Mean	40.80	
STD	20.88	
Minimum	-	-1.00
Maximum	-	276.00
Mean	34.36	34.89
Mode	22.34	26.0 arvio
Median	29.88	28.00
STD	20.88	26.83
Variance	436.08	718.48
Skewness	1.67	4.02
Kurtosis	8.33	27.57



Harjanne nopeus AB-tie

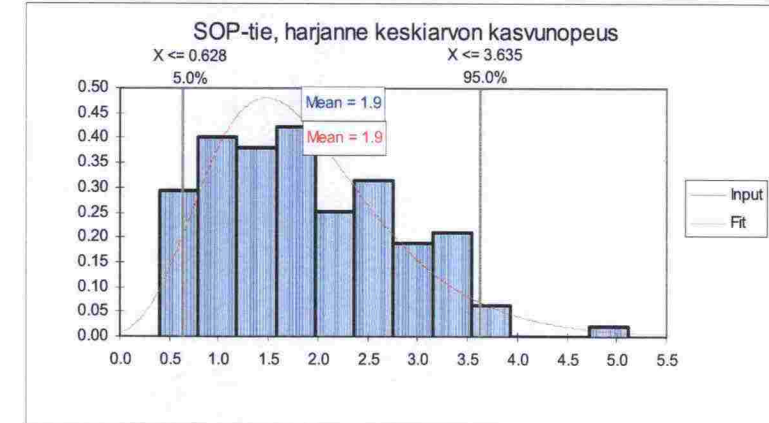
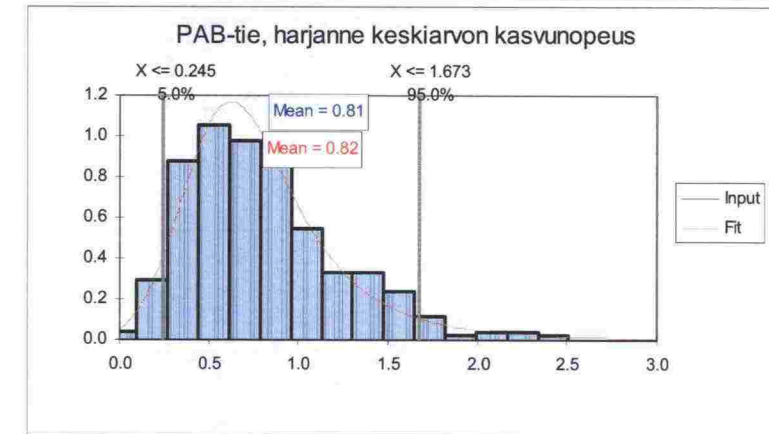
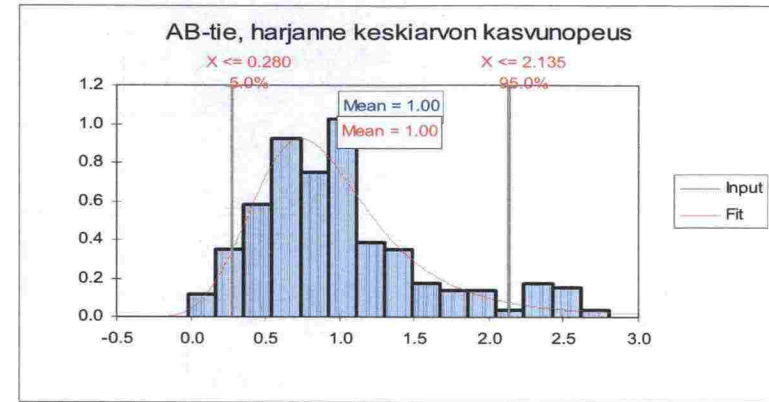
N/A	Fit Log-logistic	Input (data)
Function	1.01	
Shift	N/A	
g	-0.27	
b	1.15	
a	4.00	
Minimum	-	-0.02
Maximum	-	2.80
Mean	1.01	1.00
Mode	0.74	0.60 arvio
Median	0.88	0.90
STD	0.67	0.58
Variance	0.45	0.33
Skewness	4.30	1.11
Kurtosis	N/A	3.92

Harjanne nopeus SOP-tie

N/A	Fit Log-norm	Input (data)
Function	1.89	
Shift	-0.98	
Mean	2.86	
STD	0.94	
Minimum	-	0.40
Maximum	-	5.11
Mean	1.89	1.89
Mode	1.48	1.35 arvio
Median	1.74	1.73
STD	0.94	0.91
Variance	0.89	0.83
Skewness	1.02	0.56
Kurtosis	4.92	3.01

Harjanne nopeus PAB-tie

N/A	Fit Log-logistic	Input (data)
Function	0.82	
Shift	N/A	
g	-0.25	
b	0.98	
a	4.35	
Minimum	-	-0.07
Maximum	-	2.51
Mean	0.82	0.81
Mode	0.63	0.60 arvio
Median	0.73	0.72
STD	0.50	0.43
Variance	0.25	0.18
Skewness	3.36	0.99
Kurtosis	89.65	4.07



Päällysteen ikä AB-tie

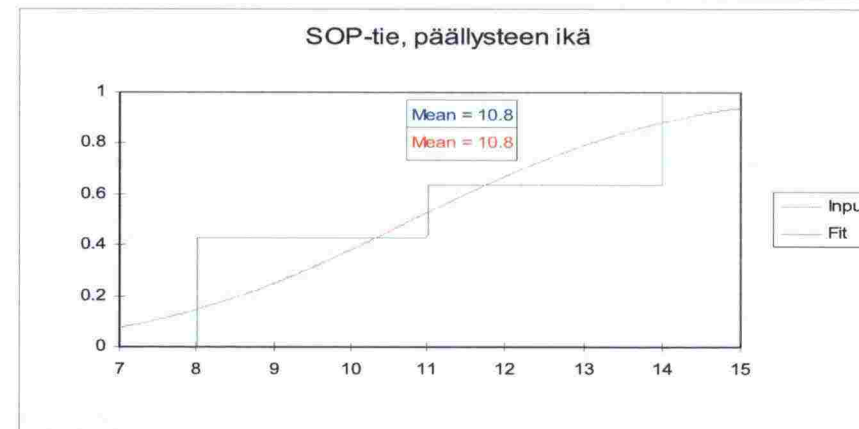
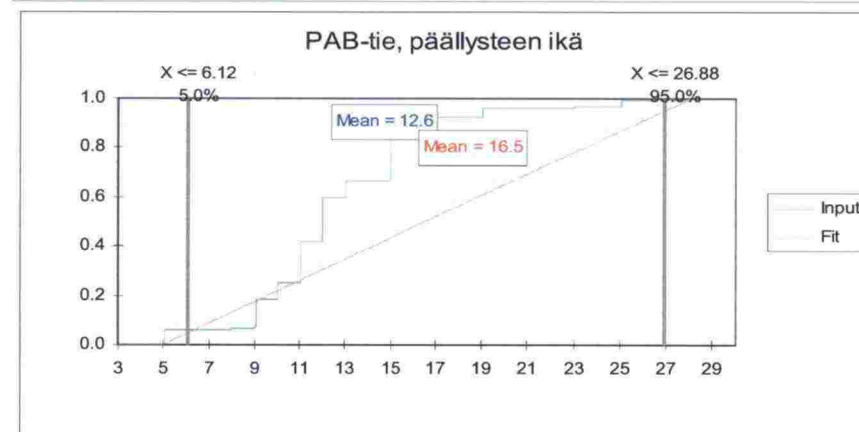
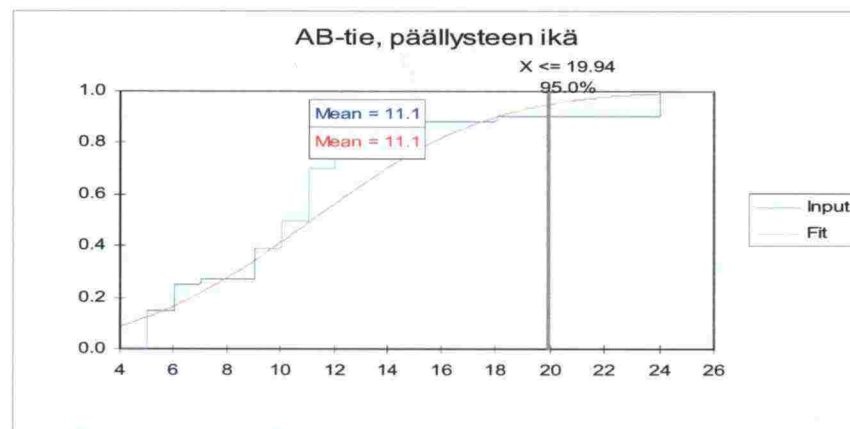
N/A	Fit Normal	Input (data)
Function	11.15	
Shift	N/A	
mean	11.15	
STD	5.34	
Minimum	-	5.00
Maximum	-	24.00
Mean	11.15	11.15
Mode	11.15	11.00 arvio
Median	11.15	11.00
STD	5.34	5.34
Variance	28.54	28.44
Skewness	0.00	1.12
Kurtosis	3.00	3.75

Päällysteen ikä SOP-tie

N/A	Fit Normal	Input (data)
Function	10.80	
Shift	N/A	
Mean	10.80	
STD	2.68	
Minimum	-	8.00
Maximum	-	14.00
Mean	10.80	10.80
Mode	10.80	8.00 arvio
Median	10.80	11.00
STD	2.68	2.68
Variance	7.16	7.10
Skewness	0.00	0.13
Kurtosis	3.00	1.28

Päällysteen ikä PAB-tie

N/A	Fit uniform	Input (data)
Function	16.50	
Shift	N/A	
min	4.96	
max	28.04	
Minimum	-	5.00
Maximum	-	28.00
Mean	16.50	12.64
Mode	N/A	12.0 arvio
Median	16.50	12.00
STD	6.66	4.05
Variance	44.36	16.42
Skewness	0.00	0.87
Kurtosis	1.80	4.90



Vauriosumma AB-tie

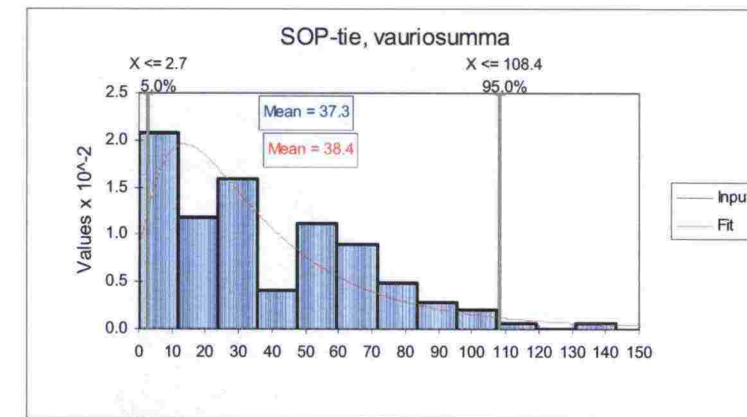
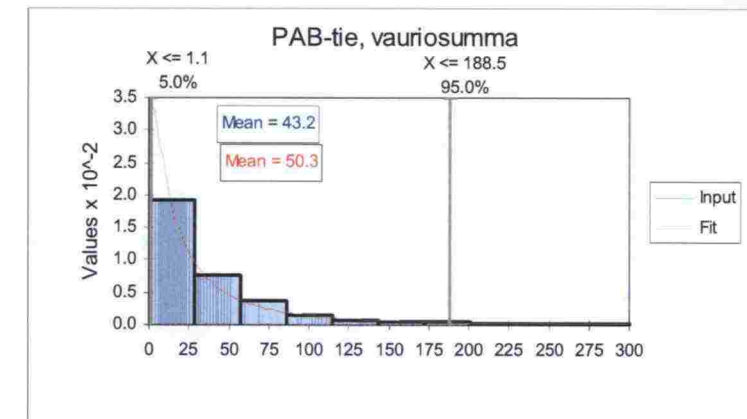
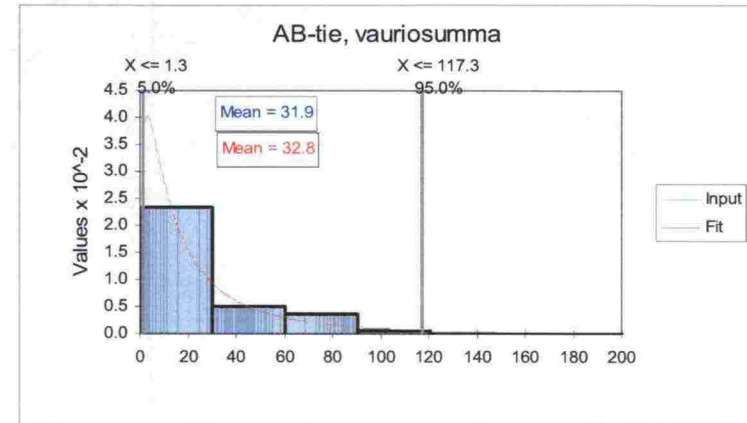
N/A	Fit Log-normal	Input (data)
Function	32.89	
Shift	-1.13	
Mean	34.02	
STD	59.67	
Minimum	-	0.00
Maximum	-	453.00
Mean	32.89	31.95
Mode	3.00	5.0 arvio
Median	15.72	17.00
STD	59.67	52.41
Variance	3560.05	2736.58
Skewness	10.66	4.97
Kurtosis	458.65	33.96

Vauriosumma SOP-tie

N/A	Fit Log-norm	Input (data)
Function	38.37	
Shift	-9.09	
Mean	47.45	
STD	37.73	
Minimum	-	0.00
Maximum	-	143.00
Mean	38.37	37.34
Mode	13.67	1.0 arvio
Median	28.06	29.00
Std.		
Deviation	37.74	29.62
Variance	1423.92	869.96
Skewness	2.89	0.84
Kurtosis	20.79	3.34

Vauriosumma PAB-tie

N/A	Fit Log-norm	Input (data)
Function	50.33	
Shift	-1.34	
Mean	51.67	
STD	112.88	
Minimum	-	0.00
Maximum	-	460.00
Mean	50.33	43.28
Mode	2.38	0.0 arvio
Median	20.16	24.00
STD	112.88	58.49
Variance	12741.51	3415.32
Skewness	16.98	2.92
Kurtosis	1592.06	13.96



Vaurionopeus (m2/v) AB-tie

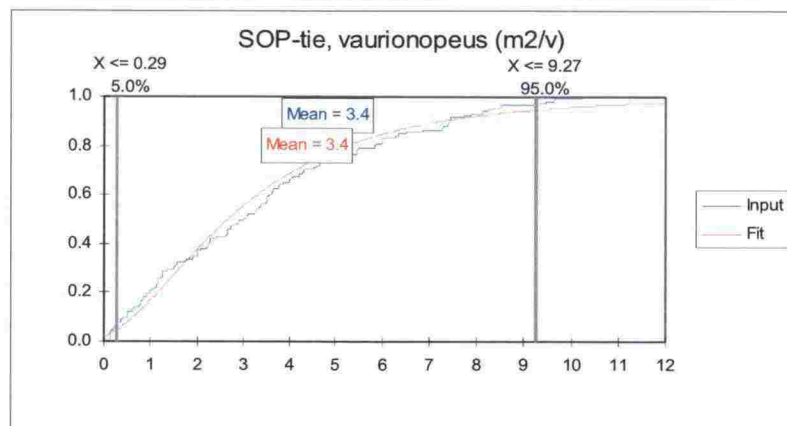
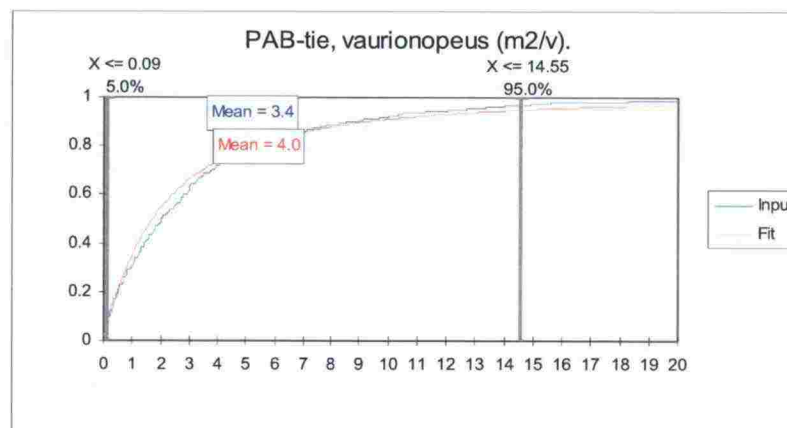
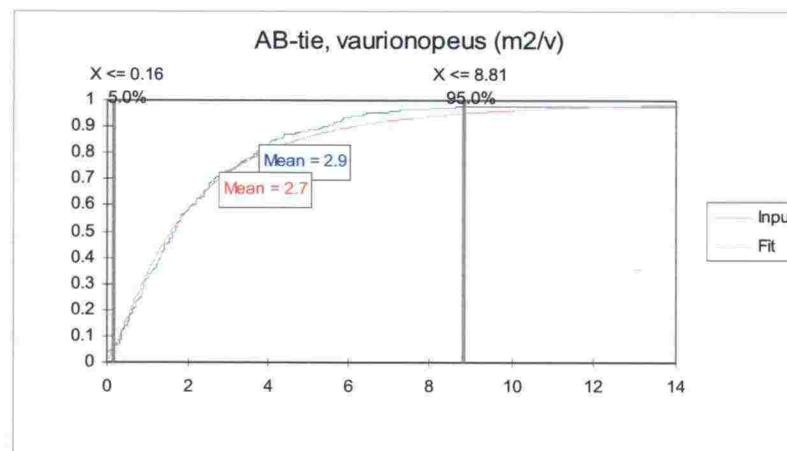
N/A	Fit Log-normal	Input (data)
Function	2.70	
Shift	-0.19	
Mean	2.89	
STD	3.70	
Minimum	-	0.00
Maximum	-	50.33
Mean	2.70	2.90
Mode	0.48	0 arvio
Median	1.59	1.67
STD	3.70	5.54
Variance	13.72	30.55
Skewness	5.95	6.03
Kurtosis	103.45	44.16

Vaurionopeus (m2/v). SOP-tie

N/A	Fit Log-norm	Input (data)
Function	3.45	
Shift	-1.05	
Mean	4.50	
STD	3.09	
Minimum	-	0.00
Maximum	-	10.21
Mean	3.45	3.39
Mode	1.47	0.12 arvio
Median	2.66	3.00
STD	3.09	2.58
Variance	9.57	6.59
Skewness	2.39	0.71
Kurtosis	14.59	2.62

Vaurionopeus (m2/v). PAB-tie

N/A	Fit Log-norm	Input (data)
Function	3.95	
Shift	-0.14	
Mean	4.09	
STD	8.07	
Minimum	-	0.00
Maximum	-	27.06
Mean	3.95	3.41
Mode	0.24	0.0 arvio
Median	1.71	2.00
STD	8.07	4.10
Variance	65.12	16.78
Skewness	13.60	2.26
Kurtosis	875.54	9.19



Kevät/kesä IRI AB-tie

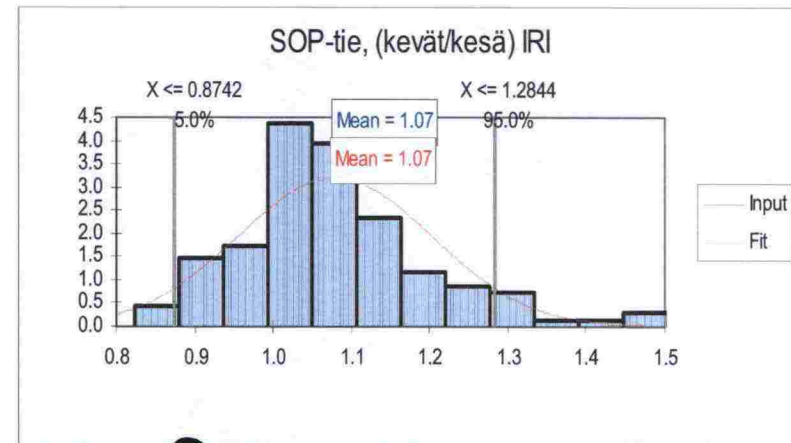
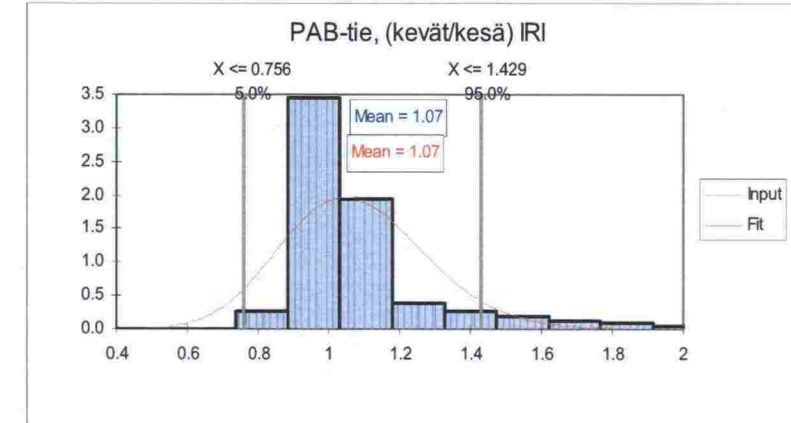
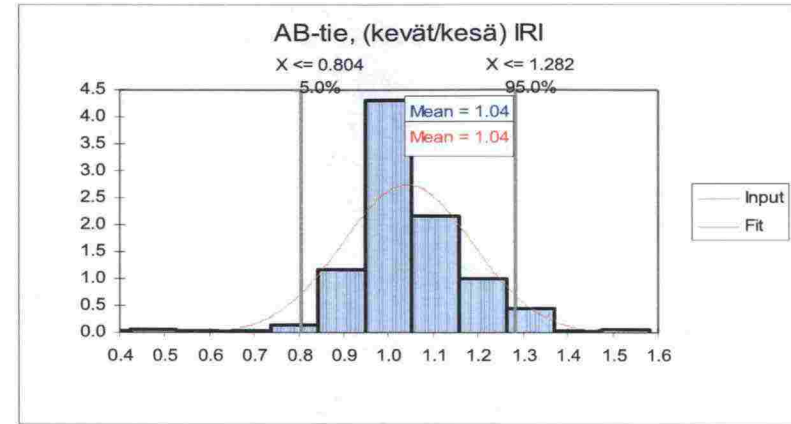
N/A	Fit Normal	Input (data)
Function	1.04	
Shift	N/A	
Mean	1.04	
STD	0.15	
Minimum	-	0.00
Maximum	-	1.58
Mean	1.04	1.04
Mode	1.04	1.0 arvio
Median	1.04	1.03
STD	0.15	0.15
Variance	0.02	0.02
Skewness	0.00	-1.37
Kurtosis	3.00	14.68

Kevät/kesä IRI SOP-tie

N/A	Fit Normal	Input (data)
Function	1.08	
Shift	N/A	
Mean	1.08	
STD	0.12	
Minimum	-	0.82
Maximum	-	1.50
Mean	1.08	1.08
Mode	1.08	1.0 arvio
Median	1.08	1.07
STD	0.12	0.12
Variance	0.02	0.02
Skewness	0.00	0.83
Kurtosis	3.00	4.24

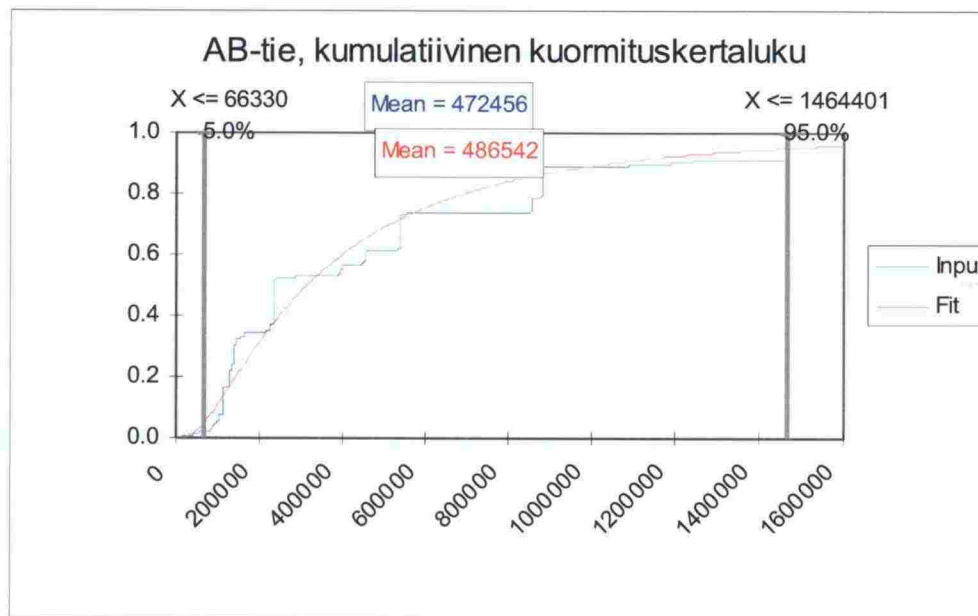
Kevät/kesä IRI PAB-tie

N/A	Fit Log-norm	Input (data)
Function	1.08	
Shift	-1.07	
Mean	2.15	
STD	0.20	
Minimum	-	0.00
Maximum	-	2.36
Mean	1.08	1.08
Mode	1.05	1.0 arvio
Median	1.07	1.02
STD	0.20	0.21
Variance	0.04	0.05
Skewness	0.29	1.73
Kurtosis	3.15	10.27



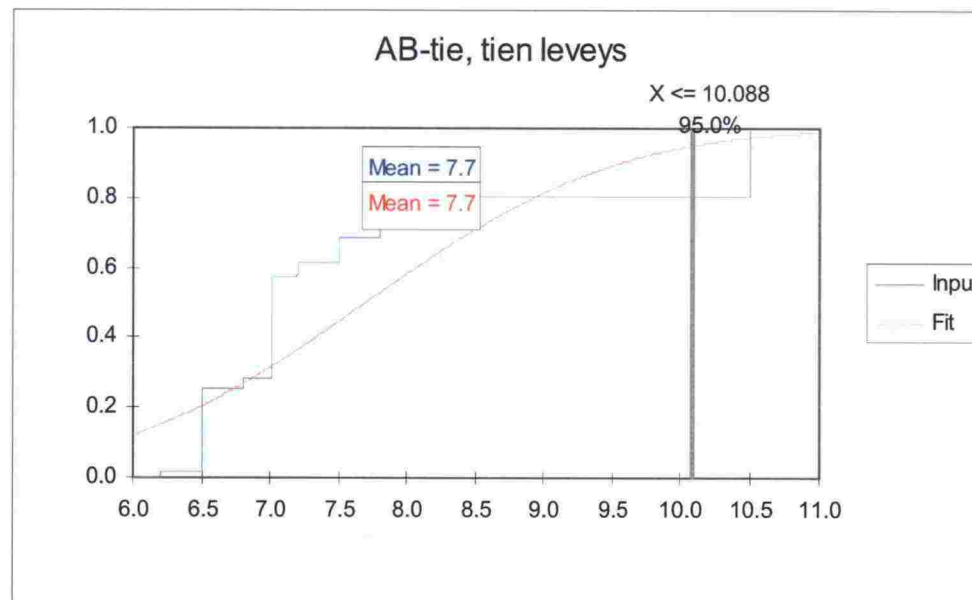
Kumulatiivinen kuormituskertaluku AB-tie

N/A	Fit Log-normal	Input (data)
Function	472456	
Shift	-19994	
Mean	492450	
STD	477458	
Minimum	-	13286
Maximum	-	1460510
Mean	472457	472457
Mode	125304	233828 arvio
Median	309546	233828
STD	500122	421409
Variance	2.5×10^{11}	1.7×10^{11}
Skewness	3.05	1.14
Kurtosis	18.47	3.23

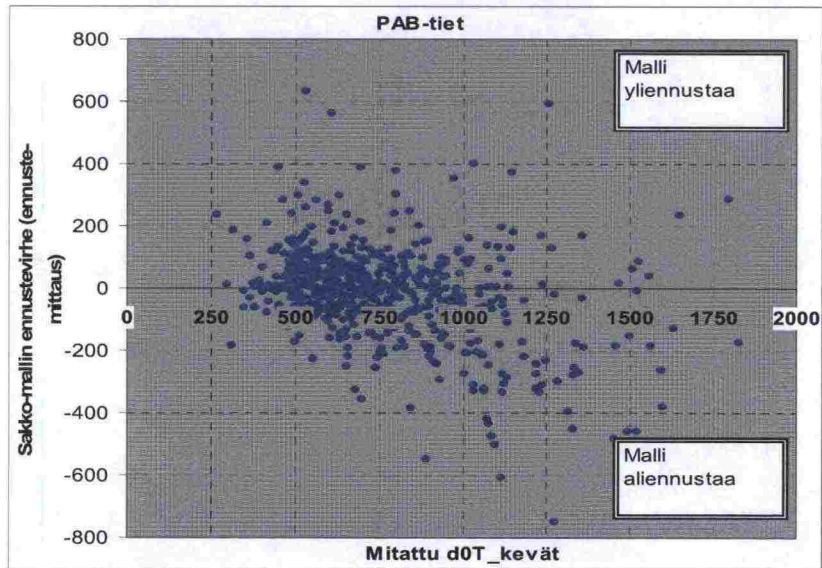
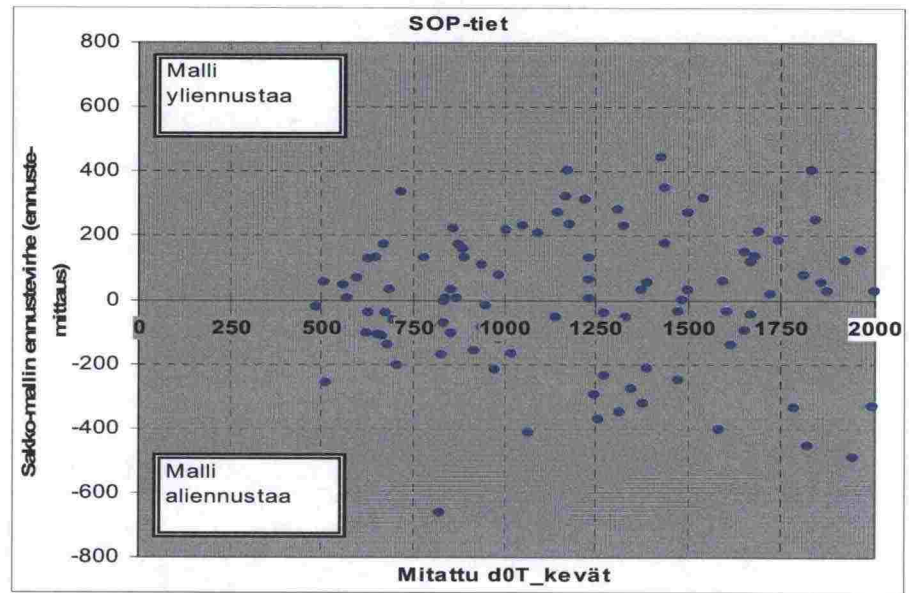
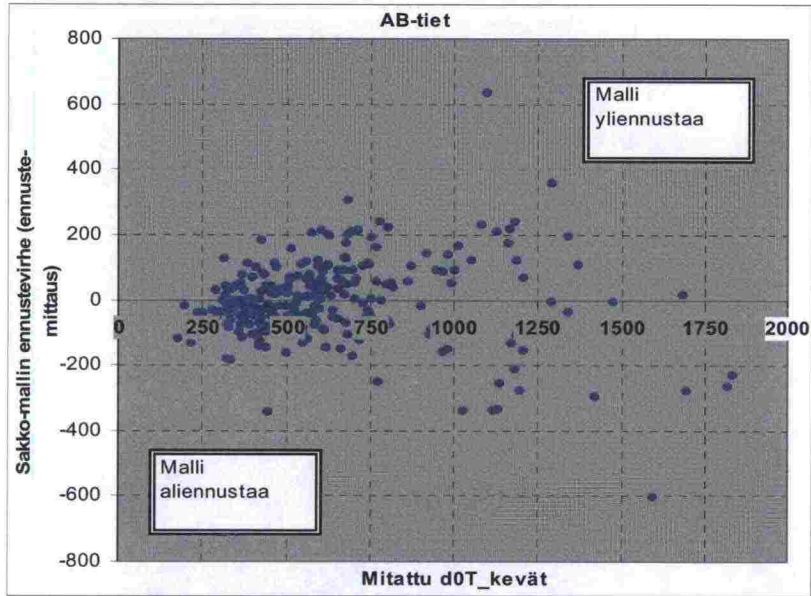


Tien leveys AB-tie

N/A	Fit Normal	Input (data)
Function	7.70	
Shift	N/A	
Mean	7.70	
STD	1.45	
Minimum	-	6.20
Maximum	-	10.50
Mean	7.70	7.70
Mode	7.70	7.00 arvio
Median	7.70	7.00
STD	1.45	1.45
Variance	2.11	2.10
Skewness	0.00	1.22
Kurtosis	3.00	2.88

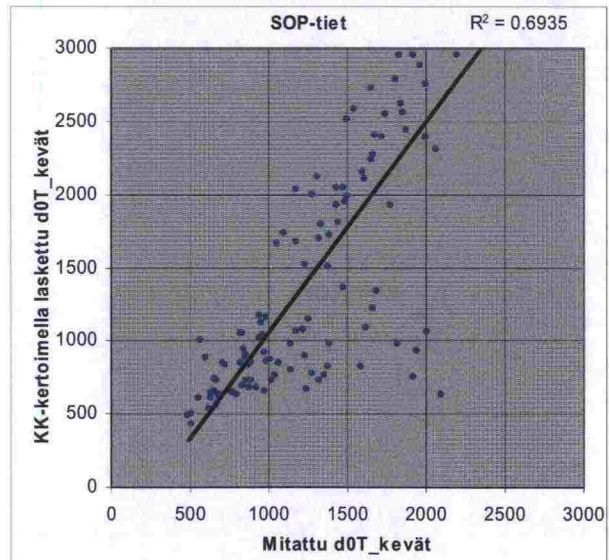
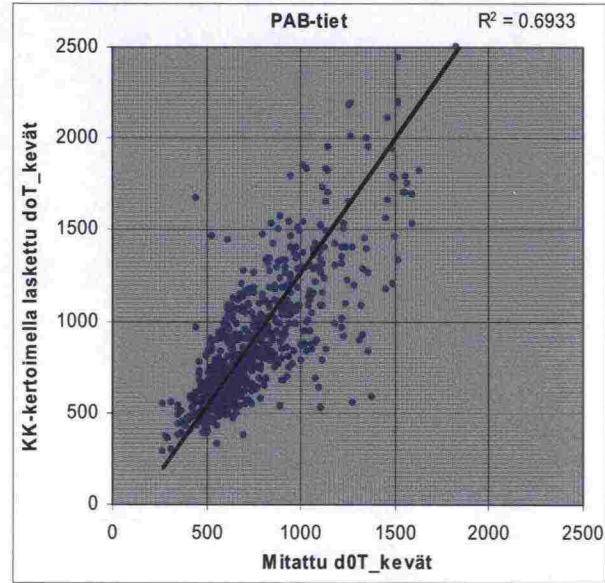
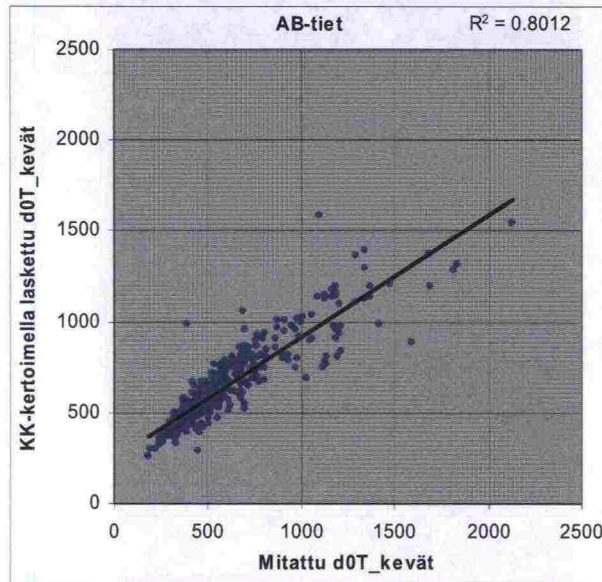


KEVÄTKANTAVUUSMALLIN ENNUSTEVIRHEKUVAAJAT

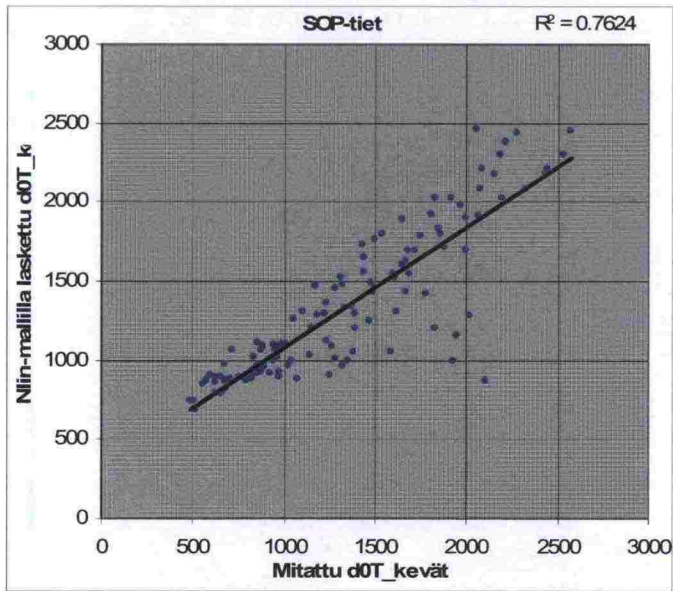
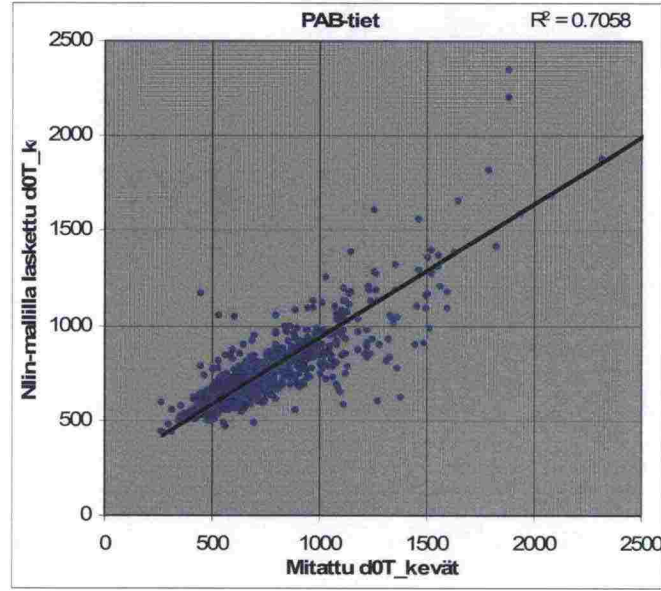
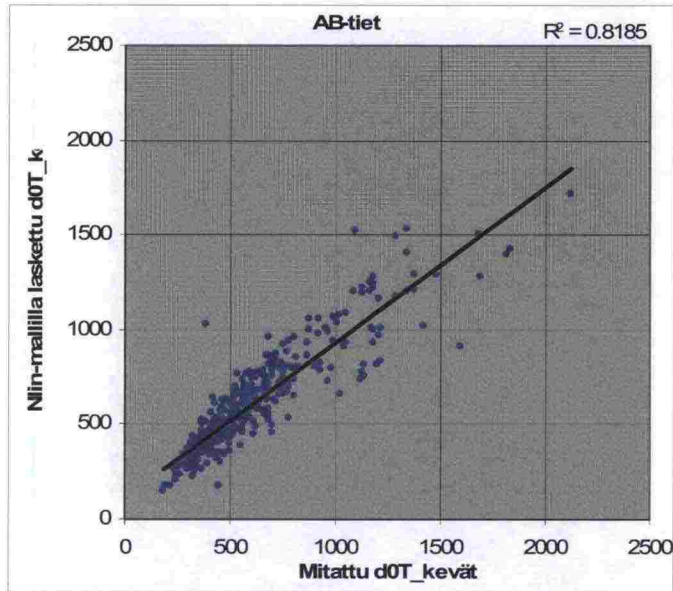


ERI KEVÄTKANTAVUUSMALLIEN DIAGNOSTIIKKAKUVAT

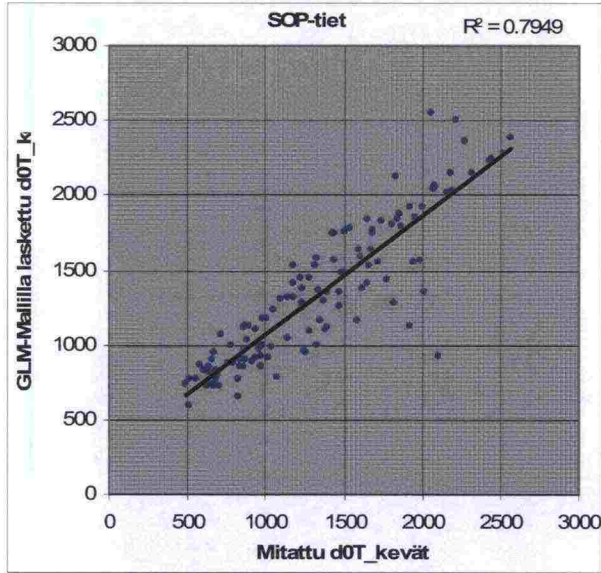
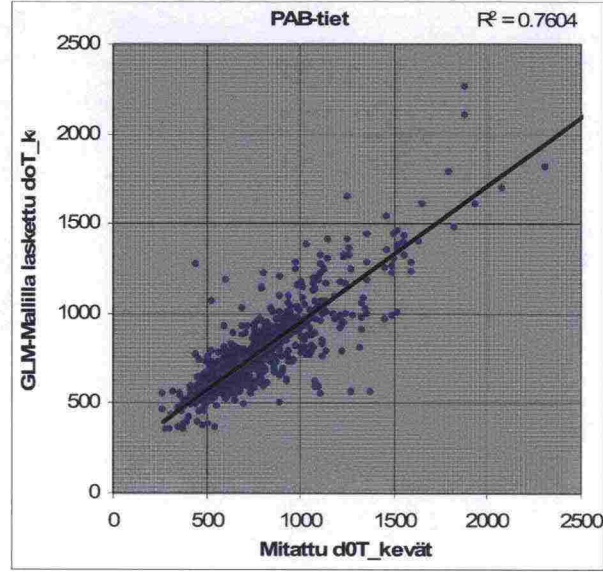
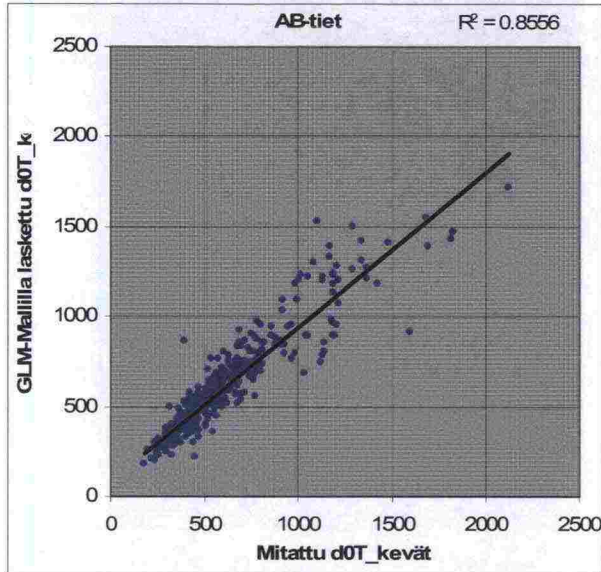
Kevätkantavuuskertoimella laskettu D0kevät



Lämpötilakorjatun D0:n avulla regressiomallilla laskettu D0kevät



Yleistetyn lineaarisen mallin avulla laskettu D0kevät





ISSN 1459-1553
ISBN 951-803-703-5
TIEH 3200993-v