

Tielaitos

Tiesuolan käytön arviointi talvi- kuukausien lämpötilan avulla

**Tielaitoksen
selvityksiä**

9/2000

Helsinki 2000

TIEHALLINTO
Tie- ja
liikennetekniikka

Tielaitoksen selvityksiä
9/2000

**Tiesuolan käytön arviointi talvikuukausien
lämpötilan avulla**

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-619-7
TIEL 3200599

Oy Edita Ab
Helsinki 2000

Julkaisua myy
Tielaitos, painotuotepalvelut
Telefax 0204 44 2652
www.tielaitos.fi/kirjasto/tilaus.htm



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

VENÄLÄINEN, Ari: Tiesuolan käytön arviointi talvikuukausien lämpötilan avulla.
Helsinki 2000. Tielaitos, Tie- ja liikennetekniikka, Tielaitoksen selvityksiä 9/2000, 24 s.
ISSN 0788-3722, ISBN 951-726-619-7, TIEL 3200599

Aiheluokka 71, U551

Asiasanat kunnossapito, talvihoito, suolaus, ilmasto

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin, voitaisiinko maanteiden liukkauden torjuntaan käytettävä suolamäärä arvioida ilman lämpötilan avulla. Lämpötilan käyttö suolauksen tarpeen selittämiseen on perusteltua, sillä lämpötilan ollessa alle -5°C ei suolaa käytetä, koska tällöin kohtuullinen suolamäärä ei sulata jäätä. Toisaalta, jos lämpötila on selvästi nollan yläpuolella, ja jos tiellä ei ole polannetta, ei suolaa tarvita, ellei sääennusteessa ole varoitettu pian alkavasta lumi- tai jäätävästä sateesta. Eniten suolausta tarvitaan lähellä nollaa olevissa lämpötiloissa.

Tutkimuksessa määritettiin lineaarinen regressio-yhtälö, jossa vuoden aikana käytetty suolamäärä selitettiin talvikuukausien (tammi-, helmi-, maaliskuu, marras- ja joulukuu) keskilämpötilojen avulla. Tutkimuksessa tarkasteltiin kolmea eri vaihtoehtoa regressioyhtälön määrittämiseksi: 1) yksi yhtälö koko maan olosuhteita kuvaamaan, 2) tiepiirikohtaiset yhtälöt ja 3) tiepiirikohtaisten yhtälöiden käyttö ristiin kuvaamaan toisen kuin sen tiepiirin suolausta, jonka pohjalta yhtälö määritettiin. Sekä koko maan yhtälö (vaihtoehto 1) että tiepiirikohtaiset yhtälöt (vaihtoehto 2) toimivat likipitäen yhtä hyvin ja mallien avulla pystyttiin selittämään n. 60 % vuosittaisesta suolamäärien vaihtelusta. Sen sijaan tiepiirikohtaisten yhtälöiden käyttö kuvaamaan toisten tiepiirien suolaustarvetta ei antanut luotettavia tuloksia (vaihtoehto 3).

Suolausmäärää selittivät parhaiten marras-, joulukuu-, tammi- ja helmikuukauden lämpötilat. Lämmin sää marras- ja maaliskuussa pienentää suolaustarvetta. Keskitalvella puolestaan normaalia kylmempi sää vähentää suolan käyttöä.

Venäläinen, Ari: Estimation of road salting based on wintertime temperature measurements.

Key words Winter Maintenance, Salt (deicing), Weather

ABSTRACT

In the study the annual amount of salt used to prevent slippery conditions on roads was explained with the help of wintertime monthly mean air

temperatures. The need for salting depends greatly on weather conditions. If temperature is low, approximately below -5°C salt is not used. In general the roads are also less slippery during very cold temperatures compared with near zero temperatures. Naturally, if temperature is above zero and there is no packed snow or ice on the roads, then there is no need to use salt unless temperature is expected to drop or if snowfall or freezing rain are expected. The conditions when salt is needed most are the temperatures a few degrees below the freezing point. It was found that warmer than normal weather in November and in March and colder than normal weather in

December, January and February will decrease salting. Warm mid-winter months mean slippery conditions and thus also abundant use of salt.

In the study three different alternatives to define a regression equation to explain annual salting amounts were tested: 1) one regression equation for the whole country, 2) own equations for each road district and 3) use of one road district equation for the estimation of the salt use of other road districts. Alternatives 1) and 2) worked well and the linear regression equation

developed explained about 60% of the year to year variation of salting amounts. Alternative 3) equation was not useable. As a whole, the use of temperature was giving on average surprisingly good estimates for the salting amounts.

ALKUSANAT

Haluttaessa säilyttää nykyinen liikenneturvallisuuden taso ei maanteiden liukkauden torjunnassa käytettävästä suolauksesta voida kokonaan luopua, huolimatta suolauksen ympäristölle aiheuttamista haittavaikutuksista. Tämän tutkimuksen tavoitteena on edistää suolan käytön optimointia. Tutkimuksessa selvitettiin, voitaisiinko suolauksen määrää arvioida talvikuukausien keskilämpötilojen avulla. Tällä tavoin voitaisiin verrata eri vuosien suolan käyttöä ja jossain määrin myös suolan käyttöä maan eri osissa keskenään. Tutkimus on tehty Tielaitoksen tiehallinnon Tie- ja liikennetekniikan toimeksiannosta Ilmatieteen laitoksen Meteorologisen tutkimuksen tulosalueella. Tutkimuksen toteutuksesta vastasi Ilmatieteen laitokselta FT Ari Venäläinen ja tutkimusta ohjasivat Tielaitokselta DI Anne Leppänen ja DI Olli Penttinen.

Helsingissä maaliskuussa 2000

*Tielaitos
Tie- ja liikennetekniikka*

SISÄLTÖ

<u>1 JOHDANTO</u>	<u>7</u>
<u>2 AINEISTO JA MENETELMÄT</u>	<u>9</u>
<u>3 TULOKSET</u>	<u>11</u>
3.1 Koko maan malli	11
3.2 Tiepiirikohtaiset mallit	16
3.3 Tiepiirikohtaisen mallin käyttö toisen tiepiirin suolauksen arviointiin	19
<u>4 TULOSTEN TARKASTELUA</u>	<u>20</u>
<u>5 YHTEENVETO</u>	<u>22</u>
<u>6 KIRJALLISUUSLUETTELO</u>	<u>23</u>

1 JOHDANTO

Maanteiden liukkaus aiheuttaa vuosittain lukuisia liikenneonnettomuuksia. Liukkautta pyritään vähentämään suolaamalla teitä. Suomessa pidetään noin 6500 km päätieverkosta talviaikaan sulana suolan avulla. Tieverkon pituus, jolla suolaa käytetään vain kaikkein vaikeimmissa sääoloissa on 8000-9000 km (Tielaitos 1998). Suolan käyttö lisää liikenneturvallisuutta, mutta sillä on myös haitallisia vaikutuksia. Suolan aiheuttama pohjavesien saastuminen on ongelma Etelä-Suomessa vilkasliikenteisillä, harjualueille rakennetuilla teillä. Suola myös lisää autojen korroosiovaurioita ja lisäksi se voi vahingoittaa kasvillisuutta teiden varsilla (Alppivuori et al. 1995, Rönholm et al. 1994). Näiden suolan haittavaikutusten johdosta suolan käyttöä pyritään optimoimaan; pyritään saavuttamaan suurin mahdollinen hyöty pienimmällä mahdollisella suolamäärällä.

Sään ja teiden talvikunnossapidon välistä riippuvuutta Suomessa ovat tutkineet mm. Venäläinen ja Helminen (1998). Heidän mukaansa kunnossapidon kustannuksia pystyttiin selittämään lumisadesumman, kuuranmuodostumiselle otollisten sääolosuhteiden esiintymistapausten sekä jäätävien sateiden ja lumen ajautumistapausten lukumäärien pohjalta. Samaan aineistoon pohjautuen Venäläinen ja Tuomenvirta (1998) tutkivat, kuinka kasvihuoneilmaston voimistumisen seuraukseksi ennustettu ilmaston lämpeneminen tulisi vaikuttamaan teiden talvikunnossapidon kustannuksiin. Heidän tutkimuksensa mukaan ilmaston lämpeneminen tulisi lisäämään kustannuksia keskitalvella tammi- ja helmikuussa. Marras- ja maaliskuussa kustannukset tulisivat puolestaan vähenemään.

Laine et al. (2000) hyödynsivät tutkimuksessaan laajasti myös Tielaitoksen omaa säähavaintoverkostoa tutkiessaan sään ja talvihoidon yhteyttä. Tutkimuksessa eriteltiin lumenpoisto ja liukkaudentorjunta. Liukkaudentorjuntaa mallitettaessa parhaaksi selittäjäksi löydettiin kuuran ja mustan jään muodostumista kuvaava säätunnusluku.

Venäläinen (1999) selvitti talven keskilämpötilan ja maanteiden suolaukseen käytetyn suolamäärän välistä yhteyttä Uudenmaan, Hämeen ja Keski-Suomen tiepiirien alueilla. Tutkimuksen mukaan talven keskilämpötila selitti etenkin Uudellamaalla sekä Hämeessä suolauksen määrää varsin hyvin. Lauhoina talvina suolauksen tarve oli suurempi kuin kylminä talvina.

Gustavsson (1997) vertaili kolmea teiden talvikunnossapidon ja sään välisen riippuvuuden kuvaamiseen käytettyä indeksiä. Indeksit olivat: Hulmen (1982) esittämä indeksi, jota on edelleen kehittänyt Thornes (1991), COST 309-indeksi (Voldborg and Knudsen 1988) ja Ruotsissa käytössä oleva ns. GAB-indeksi. Hulme -indeksissä selittäviä säättekijöitä ovat tarkasteltavan jakson aikana tienpinnalla mitattujen vuorokauden ylimpien lämpötilojen keskiarvo,

päivien lukumäärä, jolloin maan pinnalla on kuuraa, sekä lumipäivien lukumäärä. COST 309-indeksissä selittäjinä ovat kuuran muodostuminen, lämpötilan lasku nollan alapuolelle, lumisade sekä lumen ajautumiset. GAB -indeksissä selittäjinä puolestaan ovat lumisade sekä mustan jään ja kuuran muodostuminen. Gustavssonin (1997) mukaan mikään kolmesta vertailluista indekseistä ei pystynyt kuvaamaan kaikkia talvihoidon toimenpiteitä. Gustavsson arvioi tämän johtuvan siitä, että tienpidosta vastaavat henkilöt pohjaavat päätöksensä sääennusteisiin, kun taas indeksit laskettiin toteutuneista säätiloista ja ajoittain sääennusteet voivat poiketa toteutuneesta säästä.

Knudssen (1994) käytti COST -indeksiä arvioidessaan tiesuolan käyttöä Tanskassa. Hänen tutkimuksensa mukaan suolamäärä pystyttiin arvioimaan hyvin indeksin avulla, mutta suolan käyttö vaihteli voimakkaasti eri tiepiirien kesken ja riippui paljon teiden kunnossapitäjästä.

Kaikki yllä luetellut indeksit vaativat varsin yksityiskohtaisia sää tietoja. Esimerkiksi kuuran muodostuminen voidaan arvioida vain tiesääasemilta saatavien havaintojen avulla. Silti indeksien avulla pystytään esimerkiksi suolan käyttöä arvioimaan vain karkeasti. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voitaisiinko suolauksen määrää arvioida lämpötilan avulla. Yhden kaikilla sääasemilla luotettavasti mitattavan säätekijän käyttö on houkutteleva vaihtoehto verrattuna monimutkaisempiin indekseihin, joiden laskeminen vaatii erityishavaintoja ja joita yleensä on rajoitetusti saatavissa. Lämpötilan käyttöä puoltaa myös se, että tienpidon kannalta hankalimmat kelit ajoittuvat yleensä lähellä nollaa oleviin säätiloihin. Tutkimus on jatkoa Venäläisen (1999) julkaisemalle tutkimukselle, jossa suolausta selitettiin talven keskilämpötilalla. Tässä työssä otettiin selittäjiksi eri talvikuukausien lämpötilat, sillä on perusteltua olettaa (Venäläinen ja Tuomenvirta, 1998), että esimerkiksi lämmin marraskuu vähentää suolausta, kun taas lämmin helmikuu lisää suolauksen tarvetta.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tavallista kylmemmän tai tavallista lämpimämmän sään vaikutus on erilainen talven eri kuukausina (Venäläinen ja Tuomenvirta 1998). Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa otettiin malliin suolausta selittäviksi tekijöiksi kunkin talvikuukauden tammi-, helmi-, maaliskuu-, huhti-, marras- ja joulukuun keskilämpötilat. Työssä määritettiin näiden kuukausien keskilämpötilojen ja vuoden suolauskertymän välinen lineaarinen regressioyhtälö. Tutkimuksessa tarkasteltiin kolmea eri vaihtoehtoa regressioyhtälön määrittämiseksi: a) yksi yhtälö koko maan olosuhteita kuvaamaan, b) tiepiirikohtaiset yhtälöt ja c) tiepiirikohtaisten yhtälöiden käyttö ristiin kuvaamaan toisen kuin sen tiepiirin suolausta, jonka pohjalta yhtälö määritettiin.

Tutkimusaineiston muodostivat tiepiirikohtaiset suolaustiedot vuosilta 1978-1998. Koska sekä tieverkossa että suolausmenetelmissä on tapahtunut muutoksia ajan myötä, käytettiin tutkimuksessa pääasiassa jaksoa 1986-1998, jonka aikana suolauskäytäntö ja tieverkko on pysynyt likipitään samana. Mallit määritettiin vuosien 1986-1992, 1994-1995 pohjalta, ja vuosien 1993, 1996-1998 arvoja käytettiin mallin osuvuuden testaamiseen ns. riippumattomana otoksena. Vuoden 1993 tietoja ei aluksi ollut tarkoitus käyttää lainkaan, koska suolausmäärät vuoden 1993 osalta vaikuttivat joidenkin tiepiirien osalta jossain määrin epäluotettavilta. Työn loppuvaiheessa päädyttiin kuitenkin käyttämään vuoden 1993 arvoja mallin testaamiseen. Savo-Karjalan tiepiirissä toteutettiin vuosina 1992-1994 vähennetyn suolauksen kokeilu, ja koska tiepiirissä on suolausta pyritty rajoittamaan myös vuoden 1994 jälkeen, hyödynnettiin regressioyhtälöä määrittäessä Savo-Karjalan tiepiirin osalta vain vuosia 1986-1991. Lapin tiepiiri jätettiin tarkastelusta pois Pohjois-Suomen poikkeavien olosuhteiden vuoksi.

Tiepiirien rajat muuttuivat 1993. Tuossa yhteydessä Vaasan tiepiiriin liitettiin puolet Keski-Pohjanmaan piiristä. Oulun tiepiiriin liitettiin toinen puoli Keski-Pohjanmaasta sekä koko Kainuun tiepiiri. Pohjois-Karjalan ja Kuopion tiepiirit yhdistettiin Savo-Karjalan tiepiiriksi, ja Kymen sekä Mikkelin tiepiirit yhdistettiin Kaakkois-Suomen tiepiiriksi. Vuotta 1993 varhemmat suolausmäärät saatiin yhdistämällä tiepiirien suolausmääriä siten kuin se yllä lueteltujen muutosten pohjalta oli tarpeellista.

Määrittäessä koko maahan sovellettavaa mallia joudutaan eri tiepiirien suolausmäärät normeeraamaan samalle tasolle niiden saattamiseksi vertailukelpoisiksi. Tässä työssä eri tiepiirien normeeraaminen tapahtui vuoden 1990 suolausmäärien ja toisaalta vuoden 1994 tiepituustietojen avulla. Vuonna 1990 keskimääräinen suolan käyttö kunnossapitoluokittain oli seuraavanlainen: kunnossapitoluokka Isk 35 t/km, kunnossapitoluokka Is 17 t/km, kunnossapitoluokka I 10 t/km ja kunnossapitoluokka Ib 3 t/km. Vastavasti vuoden 1994 tilastojen mukaiset teiden pituudet kunnossapitoluokittain on annettu taulukossa 1.

Taulukko 1: Kunnossapitoluokittaiset tiepituudet (km) tiepiireittäin (Tielaitos, 1994).

Tieluokat	Tiepiirit							
	Uusimaa	Turku	Kaakkois-Suomi	Keski-Suomi	Häme	Savo-Karjala	Vaasa	Oulu
Isk	238	35	27	18	94	43	9	31
Is	597	252	381	108	324	74	97	72
I	406	879	547	400	455	506	992	293
Ib	1000	645	608	198	741	726	398	1204

Kertomalla kunkin tieluokan suolankulutus luokassa olevien teiden pituudella (esim. Uudellamaalla $238 \text{ km} \cdot 35 \text{ t/km} + 597 \text{ km} \cdot 17 \text{ t/km} + 406 \text{ km} \cdot 10 \text{ t/km} + 1000 \text{ km} \cdot 3 \text{ t/km} = 25539 \text{ t}$) saadaan suolan kulutuksen laskennalliset arvot tiepiireittäin: Uusimaa 25539 t, Turku 16234 t, Kaakkois-Suomi 14716 t, Häme 15571 t, Keski-Suomi 7060 t, Savo-Karjala 10001 t, Vaasa 13078 t ja Oulu 8851 t.

Työssä normeerattiin kaikkien tiepiirien suolan käyttö Uudenmaan tiepiirin tasolle. Korjauskerroin saatiin jakamalla Uudenmaan tiepiirin suolan käytön laskennallinen arvo kunkin piirin laskennallisella arvolla. Siten esim. Turun tiepiirin tapauksessa kerroin on $25539/16234 = 1,57$. Muiden tiepiirien kertoimet ovat Kaakkois-Suomi 1,74, Häme 1,64, Keski-Suomi 3,62, Savo-Karjala 2,55, Vaasa 1,95 ja Oulu 2,88. Kertomalla tällä korjauskertoimella kunkin piirin eri vuosina käyttämä suolamäärä saadaan se verrannolliseksi Uudenmaan piirin suolamäärään, ja piirejä voidaan vertailla keskenään.

Lämpötila-aineistona työssä käytettiin Ilmatieteen laitoksen havaintoasemilla mitattuja lämpötiloja. Asemakohtaiset kuukausikeskilämpötilat interpoloitiin $10 \text{ km} \cdot 10 \text{ km}$ hilaruudukkoon Kriging -interpolointi menetelmällä (Venäläinen and Heikinheimo 1997, Henttonen 1991), ja tiepiirikohtaiset lämpötilat laskettiin kunkin tiepiirin sisälle osuvien ruutuarvojen keskiarvona. Interpoloinnit perustuivat tyypillisesti noin 100-140 asemalla tehtyihin havaintoihin.

3 TULOKSET

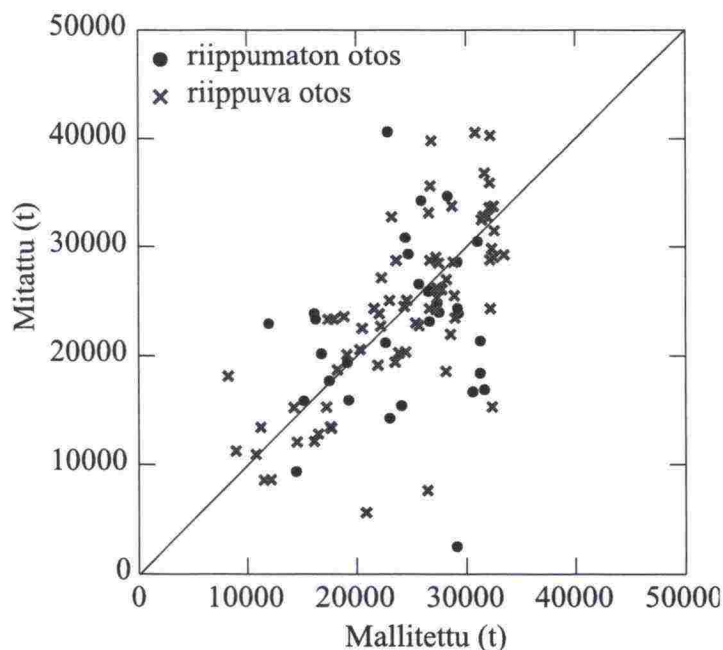
3.1 Koko maan malli

Määritettäessä suolan käytön ja kuukausikeskilämpötilojen välinen riippuvuus aineistosta, jossa oli mukana Lapin tiepiiriä lukuun ottamatta kaikki muut tiepiirit, saatiin vuosittaista suolan käyttöä kuvaavaksi regressioyhtälöksi

$$\text{Suolaus} = 32391 + 397 \cdot T1 + 565 \cdot T2 - 210 \cdot T3 - 1047 \cdot T11 + 610 \cdot T12 \quad (1)$$

missä Suolaus on Uudenmaan tiepiirin tasolle normeerattu kalenterivuoden aikana käytetty suolan määrä ja $T1 \dots T12$ ovat kuukausien (tammi-, helmi-, maaliskuu-, marras- ja joulukuu) keskilämpötilat laskettuna tiepiireittäin aluekeskiarvoina. Huhtikuu karsiutui yhtälöä määritettäessä pois selittävien tekijöiden joukosta.

Riippuvassa otoksessa (vuodet 1986-1995) havaittujen ja mallinnettujen suolamäärien väliseksi korrelaatiokertoimeksi tulee 0,825, ja malli selittää 68 % vaihtelusta. Tarkasteltaessa vuosia 1996-1998, joita ei käytetty yhtälön määrittämiseen, saadaan vastaavasti korrelaatiokertoimen arvoksi 0,431 (Kuvat 1 ja 2).



Kuva 1: Mitattujen ja koko maan mallin (yhtälö 1) avulla arvioitujen tiepiiri-kohtaisten vuosittaisten suolamäärien vertailu jaksolla 1986-1998. Suolamäärät on normeerattu Uudenmaan tiepiirin tasolle.

Kuvassa 1 suurimmat poikkeamat johtuvat Savo-Karjalan tiepiirin arvoista. Suolaamattomuuskokeilun johdosta mitatut suolamäärät ovat selvästi mallinnettuja alhaisempia.

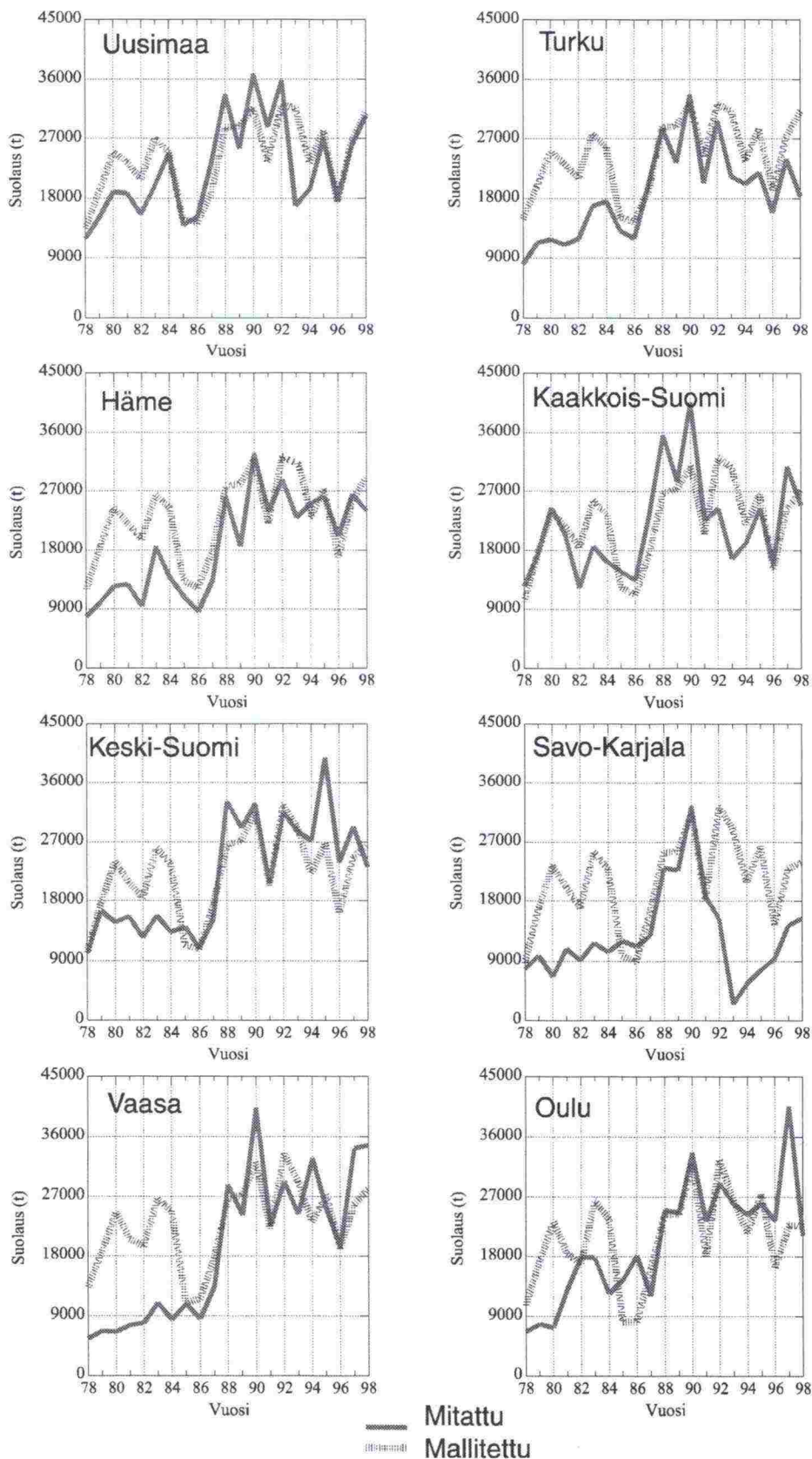
Mallin kyky kuvata suolamäärien vuosittaista vaihtelua vaihtelee tiepiireittäin (*Kuva 2*). *Kuvassa 2* on esitetty suolauksen vaihtelu jaksolla 1978-1998. Koska suolan käyttö lisääntyi 1980-luvun alussa tieverkon ja suolauskäytäntöjen muuttuessa, vertailu mitattujen ja estimoitujen suolamäärien kesken on mielekästä vain 1980-luvun puolestavälistä eteenpäin.

Koko maan aineiston pohjalta kehitetty malli kuvaa erinomaisesti suolauksen määrää Uudellamaalla riippumattoman otoksen 1996-1998 tapauksessa. Sen sijaan vuonna 1993 suolattiin selvästi vähemmän kuin mallin mukaan olisi pitänyt. Turun tiepiirissä suolattiin kaikkina riippumattoman otoksen vuosina vähemmän kuin malli edellytti. Hämeessä ja Kaakkois-Suomessa vuoden 1996 ja Hämeessä myös vuoden 1997 ennuste osuvat lähelle mittauksia, ja vuonna 1998 näissä kahdessa tiepiirissä suolattiin vähemmän kuin mallin avulla ennustettiin. Sekä Hämeessä että Kaakkois-Suomessa vuoden 1993 ennuste poikkesi selvästi ennusteesta. Keski-Suomessa suolattiin vuosina 1993, 1996 ja 1997 enemmän kuin malli ennusti, vuonna 1998 toteutunut suolaus jäi mallitettua pienemmäksi.

Oulussa vuodet 1993 ja 1998 on kuvattu mallin avulla varsin hyvin, mutta vuonna 1997 suolattiin Oulussa jostain syystä enemmän kuin koskaan aiemmin. Vaasassa vuosi 1996 on ennustettu varsin hyvin, mutta vuosina 1997 ja 1998 toteutunut suolaus oli runsaampaa kuin mallitettu.

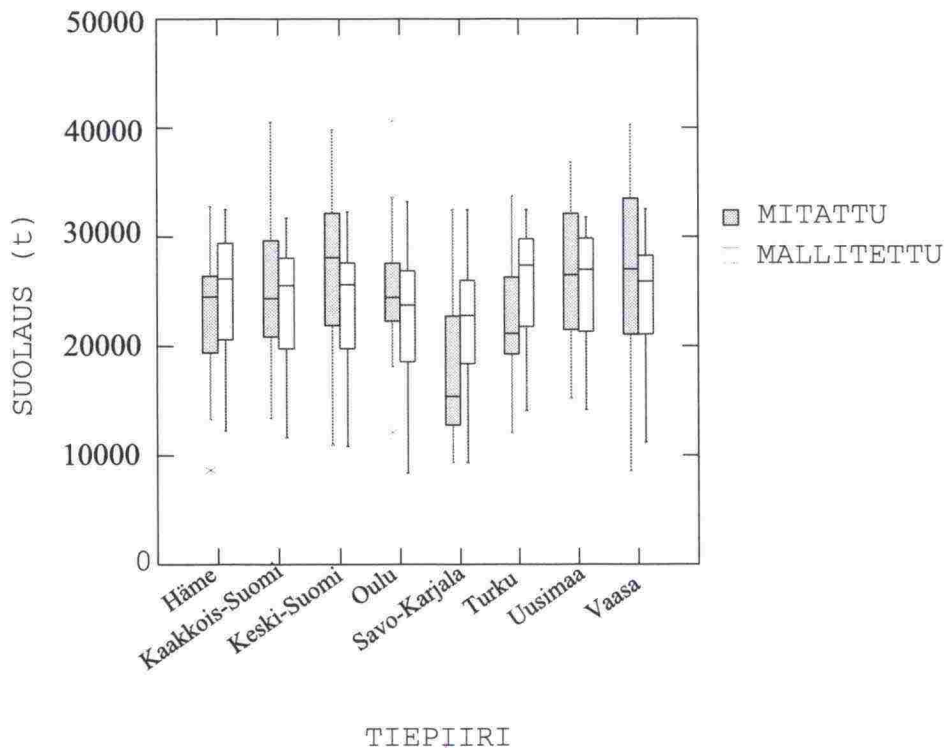
Savo-Karjalaan malli ennustaa systemaattisesti liian suuria suolamääriä. Savo-Karjalassa toteutettiin vuosina 1992-1994 vähennetyn suolauksen kokeilu, ja vuodesta 1995 eteenpäin on suolan käyttö Savo-Karjalan tiepiirin alueella edelleen pyritty pitämään mahdollisimman vähäisenä.

Suolattavan tieverkon pituuden jatkuminen ja suolan käytön lisääntyminen näkyy *kuvasta 2*. Samoissa ilmasto-oloissa käytettiin 1970-luvun lopulla ja 1980-luvun alussa selvästi vähemmän suolaa kuin 1980-luvun lopulla.



Kuva 2: Mitattujen ja koko maan mallin avulla arvioitujen (yhtälö 1) vuosittaisien suolamäärien vertailu tiepiireittäin. Suolamäärät on normeerattu Uudenmaan tiepiirin tasolle.

Periaatteessa eri tiepiirien suolamäärät ovat verrannollisia, ja onkin mahdollista verrata suolan käyttöä tiepiireittäin (Kuva 3). Runsaimmin suolaa on mittausten mukaan käytetty Keski-Suomen, Uudenmaan ja Vaasan tiepiireissä. Häme, Kaakkois-Suomi ja Oulu ovat mittausten mukaan likipitään samalla vähän alhaisemmalla tasolla. Turku, vähennetyn suolauksen kokeiluun osallistuneen Savo-Karjalan lisäksi, edustaa mittausten mukaan alhaisinta suolan käyttöä. Verrattaessa mallitettuja suolamääriä mitattuihin todetaan, että Hämeessä ja etenkin Turussa suolaa käytettiin selvästi vähemmän kuin mitä mallin mukaan olisi voinut käyttää. Kaakkois-Suomessa, Oulussa, Uudellamaalla ja Vaasassa mallitettu ja mitattu suolan käyttö vastasivat varsin hyvin toisiaan, ja Keski-Suomessa käytettiin suolaa jonkin verran enemmän kuin mitä mallin mukaan olisi ollut tarve.



Kuva 3: Vuosittaisen suolamäärän vaihtelu tiepiireittäin mittausten sekä mallin (yhtälö 1) mukaan vuosina 1986-1998. Laatikon sisällä on 50 % tuloksista ja sen sisällä oleva poikkiviiva on mediaani. Tähdet ovat arvoja, jotka eivät sisälly rajojen sisälle, joka saadaan kertomalla laatikon pituus ± 1.5 :llä.

Tarkastellaan seuraavaksi eri kuukausien vaikutusta koko vuoden suolaukseen Helsingin ja Oulun lämpötilojen pohjalta (Taulukko 2).

Taulukko 2: Kuukausikeskilämpötilan keskiarvot (°C) sekä 90 % todennäköisyysrajat Helsingissä ja Oulussa jakson 1901-1960 havaintojen mukaan (Huovila, 1966). Oulun arvot on esitetty lihavoituna.

Kuukausi	Keskiarvo		90 % alaraja		90 % yläraja	
Tammikuu	-5.3	-9.2	-11.3	-14.8	-0.3	-3.2
Helmikuu	-5.9	-9.8	-12.3	-15.9	-0.2	-4.0
Maaliskuu	-2.9	-6.2	-7.4	-10.9	1.1	-2.0
Marraskuu	1.2	-2.8	-3.0	-7.5	4.4	1.4
Joulukuu	-2.6	-6.7	-9.1	-13.6	2.2	-0.7

Sijoittamalla yhtälöön 1 kuukausikeskilämpötilojen pitkäaikaiset jakson 1901-1960 keskiarvot saadaan vuosittaisen suolan käytön laskennallinen, pitkäaikainen keskiarvo: Oulu 23348 t/vuosi ja Helsinki 24720 t/vuosi. Jakson 1986-1998 keskiarvot olivat Oulun tiepiirissä 25124 t/vuosi ja Uudenmaan tiepiirissä 26678 t/vuosi. Tutkimuksessa käytetty jakso oli siis suolauksen kannalta vaikeampi kuin 60 vuoden keskiarvo.

Eri kuukausien kertoimet yhtälössä 1 kertovat, kuinka paljon asteen muutos ko. kuukauden keskilämpötilassa vaikuttaa koko vuoden suolaukseen. Esimerkiksi tammikuussa kerroin on 391, eli tammikuun keskilämpötilan kohoaminen asteella lisää yhtälön 1 mukaan suolausta 391 t. Vertaamalla tätä lukua pitkäaikaiseen keskiarvoon saadaan lämpötilan muutoksen vaikutus prosentteina. Arvio siitä, missä rajoissa kunkin kuukauden vaikutus voi vaihdella saadaan kertomalla kunkin kuukauden kertoimella ko. kuukauden lämpötilan 90 % ala- ja ylärajat ja vertaamalla näin saatua lukua pitkäaikaiseen vuosittaisen suolauksen arvoon (Taulukko 3).

Tammi-, helmi- ja joulukuussa keskimääräistä lämpimämpi sää lisää suolausta n. 2 % / 1 °C. Maaliskuussa ja marraskuussa lämpötilan kohoaminen puolestaan vähentää suolausta. Maaliskuussa vaikutus on n. 1 % / 1°C. ja marraskuussa n. 4 % / 1°C. Ääriarvoja tarkasteltaessa todetaan, että marraskuun vaikutus voi olla enimmillään n. 20 %, joulukuun ja helmikuun n. 15 %, tammikuun n. 10 % ja maaliskuun n. 4 %.

Taulukko 3: Kuukausikeskilämpötilan vaikutus (%) koko vuoden suolaukseen Helsingissä ja Oulussa yhtälön 1 mukaan. Oulun arvot on esitetty lihavoituna.

Kuukausi	Kuukausikeskilämpötilan yhden asteen (°C) kohoamisen vaikutus koko vuoden suolaukseen (%)		Kuukausikeskilämpötilan vaikutus koko vuoden suolaukseen lämpötilan 90 % alarajalla (%)		Kuukausikeskilämpötilan vaikutus koko vuoden suolaukseen lämpötilan 90 % ylärajalla (%)	
Tammikuu	1,6	1,7	-9,6	-9,5	8,0	10,2
Helmikuu	2,3	2,4	-14,6	-14,8	13,0	14,0
Maaliskuu	-0,8	-0,9	3,8	4,2	-3,4	-3,8
Marraskuu	-4,2	-4,5	17,8	21,1	-13,6	-18,8
Joulukuu	2,5	2,6	-16,0	-18,0	11,8	15,7

3.2 Tiepiirikohtaiset mallit

Tiepiirikohtaisia malleja määritettäessä käytettiin kunkin tiepiirin alueella käytettyä todellista suolamäärää normeeratun suolamäärän sijasta. Regressioyhtälön muoto oli muuten sama kuin koko maan mallissa

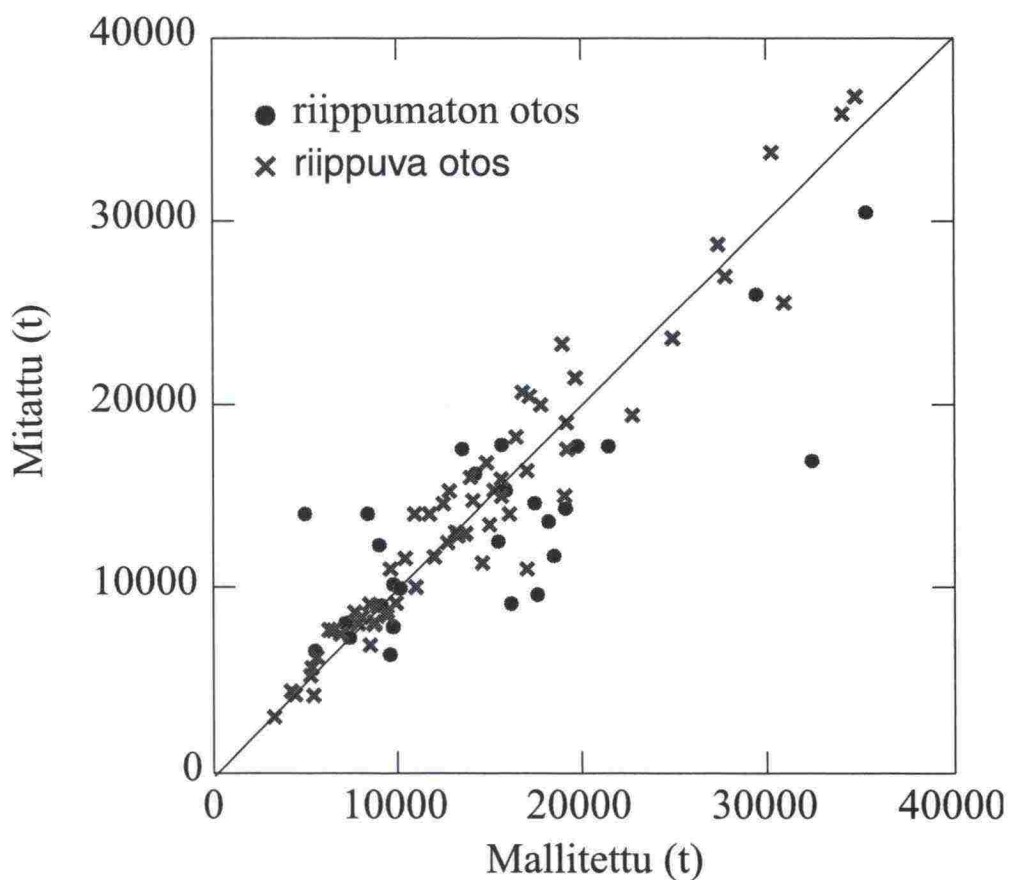
$$\text{Suolaus} = \text{vakio} + k_1 \cdot T_1 + k_2 \cdot T_2 + k_3 \cdot T_3 + k_{11} \cdot T_{11} + k_{12} \cdot T_{12} \quad (2)$$

missä Suolaus on vuosittainen tiepiirin alueella käytetty suolamäärä (t), $k_1 \dots k_{12}$ ovat tiepiirikohtaisia kertoimia ja $T_1 \dots T_{12}$ ovat kuukausien (tammi-, helmi-, maaliskuu-, marras- ja joulukuu) keskilämpötilat laskettuna tiepiireittäin aluekeskiarvoina (Taulukko 4). Savo-Karjalan tiepiirin osalta ei tiepiirikohtaista yhtälöä määritetty, sillä yhtälön määrittämiseen olisi vähennetyt suolauksen kokeilun johdosta ollut käytettävissä vain kuusi vuotta.

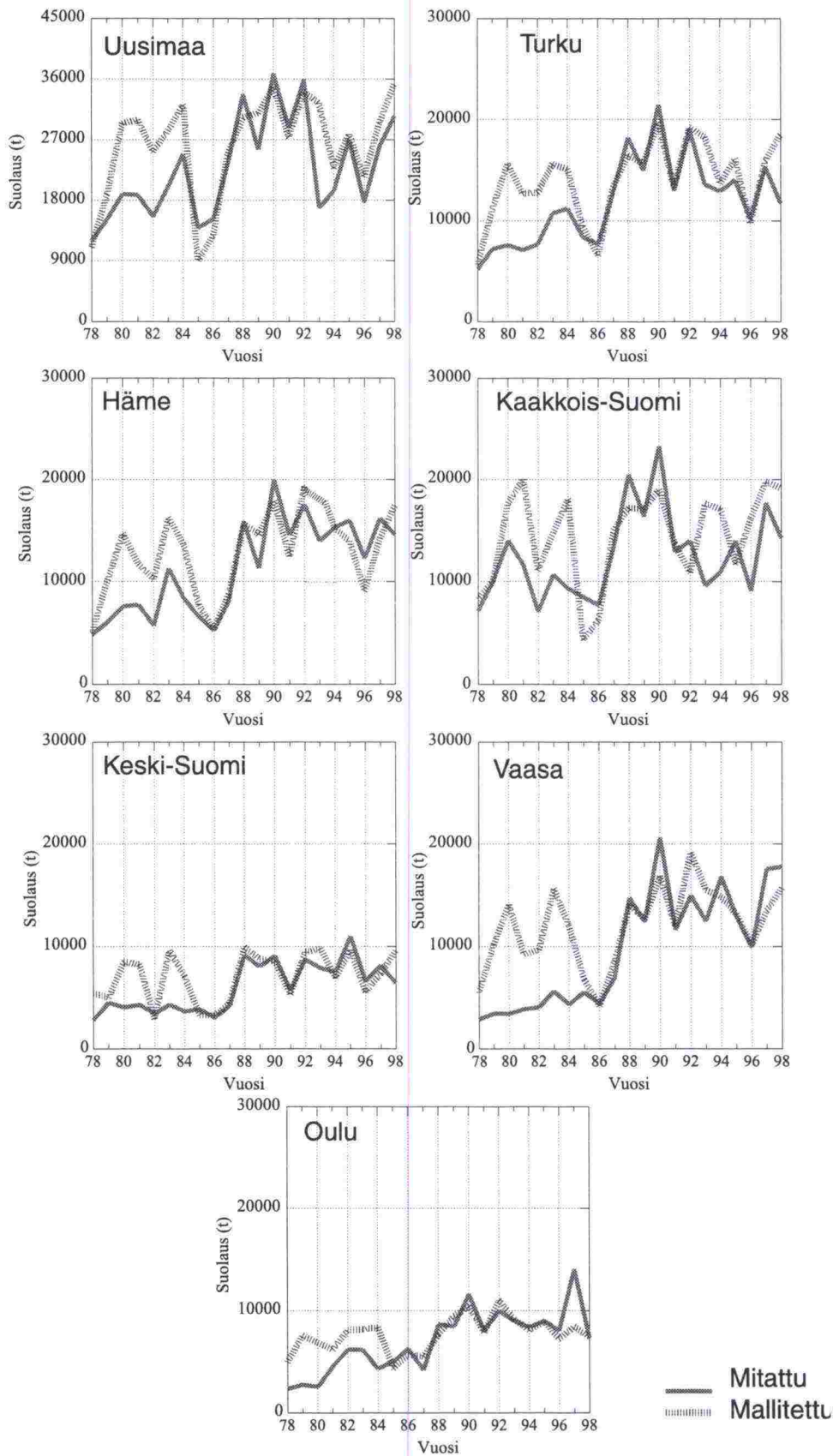
Taulukko 4: Tiepiirikohtaisen regressiomallin (yhtälö 2) kertoimet piireittäin. Taulukossa on annettu myös mallilla ennustetun sekä mitattujen suolamäärien välinen korrelaatiokerroin (r) riippuvan otoksen tapauksessa.

	Vakio	k1	k2	k3	k11	k12	r
Uusimaa	37287	446	1209	-1231	-309	1020	0.92
Turku	18981	33	429	-55	-859	572	0.95
Häme	18443	311	146	-47	-847	583	0.92
Kaakkois-Suomi	20016	240	774	-1128	-181	130	0.84
Keski-Suomi	8691	298	102	-121	-507	-35	0.96
Vaasa	16779	266	44	99	-896	595	0.89
Oulu	12692	98	134	144	-73	209	0.91

Tiepiirikohtainen malli toimi riippumattoman otoksen tapauksessa (Kuvat 4 ja 5) likipitään yhtä hyvin kuin koko Suomen alueelle laskettu malli. Molemmat mallit pystyvät ennustamaan suurelta osin vuodesta toiseen tapahtuvan suolamäärien vaihtelun. Uudellamaalla koko maan malli toimi hieman paremmin kuin tiepiirikohtainen malli. Turussa ja Keski-Suomessa puolestaan tiepiirikohtainen malli näyttäisi toimivan paremmin. Suolan käyttö näyttäisi vähentyneen vuonna 1998 Hämeessä, Kaakkois-Suomessa, Keski-Suomessa ja Turussa vuoteen 1997 verrattuna, vaikka säätietojen pohjalta suolamäärien olisi olettanut olevan suurempia vuonna 1998 verrattuna vuoteen 1997.



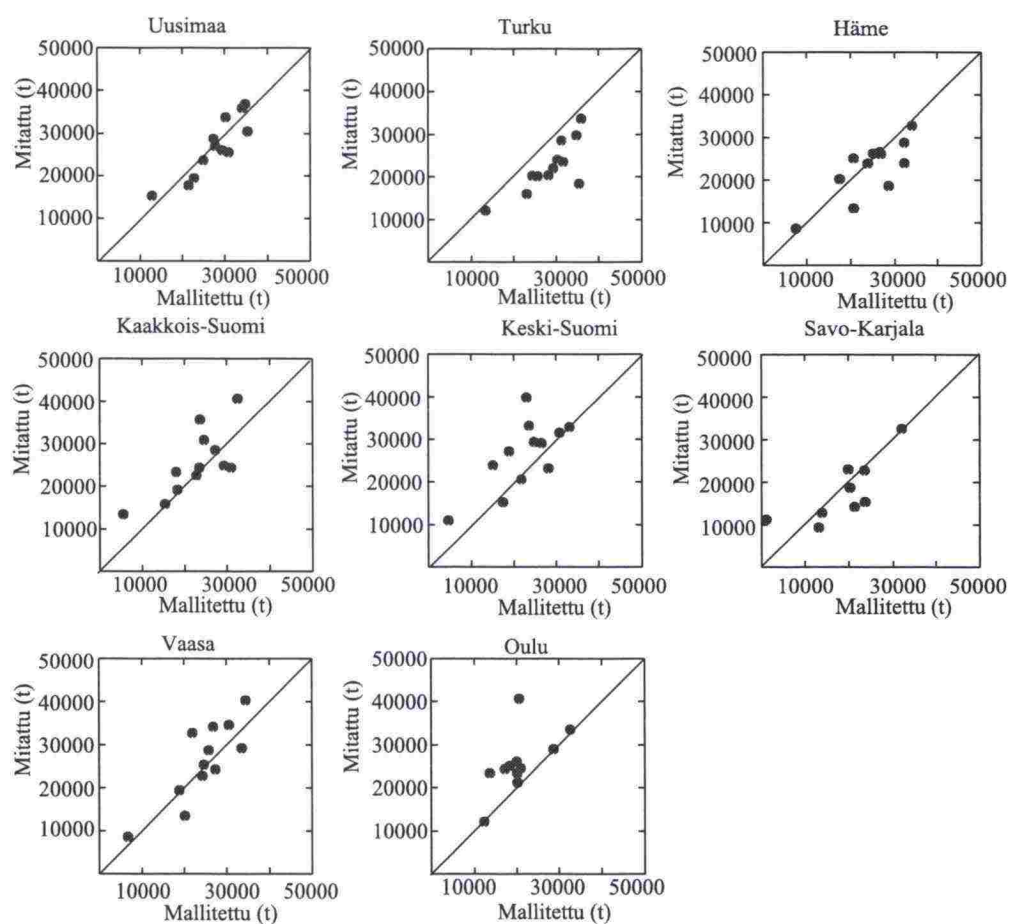
Kuva 4: Mitattujen ja tiepiirikohtaisilla malleilla arvioitujen (yhtälö 2, Taulukko 4) vuosittaisten suolamäärien vertailu tiepiireittäin jaksolla 1986-1998.



Kuva 5: Mitattujen ja tiepiirikohtaisilla malleilla arvioitujen (yhtälö 2 ja Taulukko 4) vuosittaisten suolamäärien vertailu tiepiireittäin.

3.3 Tiepiirikohtaisen mallin käyttö toisen tiepiirin suolauksen arviointiin

Työn viimeisessä vaiheessa testattiin, kuinka hyvin yhden tiepiirin mallia voitaisiin soveltaa muiden tiepiirien alueelle. Malliksi valittiin Uudenmaan malli, jonka avulla laskettiin suolamäärät muiden tiepiirien säätiedoista. Tällä tavoin saatuja suolamääriä verrattiin Uudenmaan piirin tasolle normeerattuihin suolamääriin samalla tavoin kuin tehtiin koko maan mallissa (Kuva 6).



Kuva 6: Mitattujen ja Uudenmaan mallin (yhtälö 2, Taulukko 4) avulla arvioidujen tiepiirikohtaisten vuosittaisten suolamäärien vertailu jaksolla 1986-1998.

Kuten kuvasta 6 nähdään, ei Uudenmaan malli toimi kovinkaan hyvin muiden tiepiirien suolamäärien selittäjänä. Esimerkiksi Turun tiepiirin tapauksessa mallin avulla arvioidut suolamäärät ovat systemaattisesti korkeampia kuin mitatut suolamäärät. Haluttaessa vertailla eri tiepiirien suolan käyttöä saadaan luotettavampia tuloksia, jos vertailu tehdään koko maan aineiston pohjalta määritetyn mallin avulla (Luku 3.1).

4 TULOSTEN TARKASTELUA

Kuukausikeskilämpötilojen kyky selittää suolauksen tarvetta on tämän tutkimuksen mukaan jopa yllättävän hyvä. Kuuran ja mustan jään aiheuttamaa liukkautta esiintyy nimenomaan lähellä nollaa olevissa lämpötiloissa. Myös lumisateeseen liittyvä liukkaus on osittain selitettävissä ilman lämpötilalla, sillä sade ja lämpötila ovat Suomen ilmastossa toisistaan riippuvia säätekijöitä; kovalla pakkasella ei yleensä esiinny runsaita lumisateita.

Pyrittäessä vertaamaan eri tiepiirien suolan käyttöä toisiinsa normeerattiin suolamäärät Uudenmaan tiepiirin tasolle tieverkon pohjalta. Tähän normeeramiseen liittyy epävarmuustekijöitä, jotka vaikuttavat vertailun luotettavuuteen. Normeeraaminen tehtiin vuoden 1994 tieverkon pohjalta; tieverkko kuitenkin muuttuu koko ajan. Tiepiirien rajoissa on myös tapahtunut pienehköjä muutoksia vuoden 1993 jälkeen.

Suolan käytön normeeraamiseen tiepiirien välillä vaikuttaa myös se, että suolauskäytäntö rannikolla ja sisämaassa saman kunnossapitoluokan teillä voi olla erilainen. Esimerkiksi Ib luokan teitä suolataan rannikolla enemmän kuin sisämaassa. Tätä vaikutusta testattiin ottamalla Uudenmaan ja Turun tiepiirien osalle Ib luokan teiden suolan käytön määräksi 5 t/km työssä käytetyn 3 t/km sijasta. Muutoksella ei ollut juurikaan vaikutusta tuloksiin, ja esimerkiksi Turun tiepiirin alueelle vuodelle 1998 yliennustettu suolan käyttö ei tullut mallinnettua yhtään paremmin.

Vaikka tiepiirien normeeraamiseen liittyy monia epävarmuuksia, on se kuitenkin ainoa keino vertailla eri tiepiirien suolan käyttöä. Haluttaessa verrata yhden tiepiirin suolan käyttöä perättäisinä vuosina voidaan hyödyntää tiepiirikohtaisia malleja, eikä suolaustietoja tarvitse normeerata. Mallin määrittämisestä jää tällöin yksi epävarmuustekijä pois. Epätarkkuutta aiheutuu edelleen tiepiirien rajojen muuttumisesta, tieverkossa tapahtuvista muutoksista, suolauskäytäntöjen muuttumisesta ja suolamäärien tilastoinnissa mahdollisesti tapahtuneista muutoksista.

Lämpötilana tutkimuksessa käytettiin tiepiirin keskilämpötilaa. Todellisuudessa tieverkko kuitenkin keskittyy asutuskeskusten lähelle. Tämän vuoksi koko tiepiirin keskilämpötilan sijasta selittävänä tekijänä voisi olla suolattavan tieverkon mukaan painotettu lämpötila. Tiesääasematietojen mukaan ottaminen voisi tarkentaa lämpötila-analyysiä. Mielenkiintoista olisi myös tutkia, voitaisiinko tutkimustuloksia tarkentaa ottamalla analyysiin mukaan myös tienpinnan lämpötilahavainnot.

Laine et al. (2000) löysivät työssään liukkauden torjunnan kustannusten parhaiksi selittäjiksi kuuran ja mustan jään muodostumista kuvaavan sääatusluvun. Tutkimuksessa käytettiin kuukausikustannuksia, joita kehitetty malli selitti varsin hyvin. Toteutuneiden ja mallitettujen kustannusten välillä

oli jonkin verran systemaattista virhettä, joka kumuloitui laskettaessa koko vuoden kustannuksia ja täten heikensi vuosiarvion tarkkuutta. Kuukausikeskilämpötilan ja kuukauden aikana käytetyn tiesuolan välille saattaisi myös löytyä käyttökelpoinen riippuvuus ainakin joidenkin kuukausien tapauksessa. Käytettäessä keskilämpötilaa koko vuoden suolauksen selittäjänä ovat tärkeitä kuukausia marras-, joului-, tammi- ja helmikuut.

Venäläisen (1999) tutkimuksessa suolan käyttöä arvioitiin talven keskilämpötilan avulla. Talven keskilämpötilan Venäläinen laski joului-, tammi-, ja helmikuiden kuukausikeskilämpötilojen keskiarvona. Kuten tässä tutkimuksessa todettiin, suolauksen kannalta tärkeitä kuukausia ovat juuri nuo keskitalven kuukaudet, mutta myös marraskuu. Koska lämpötilan vaikutus on päinvastainen keskitalvella verrattuna marraskuuhun, antanee tässä tutkimuksessa käytetty lähestymistapa jossain määrin tarkempia tuloksia kuin Venäläisen (1999) käyttämä menetelmä.

5 YHTEENVETO

Tutkimuksessa selvitettiin mahdollisuutta arvioida maanteiden suolaukseen vuosittain käytetty suolamäärä talvikuukausien kuukausikeskilämpötilojen avulla. Kuukausikeskilämpötilojen todettiin selittävän vuosittaisia suolamääriä keskimäärin varsin hyvin. Kehitetystä regressiomallista tärkeitä kuukausia olivat marras-, joului-, tammi- ja helmikuut. Lämmin marraskuu pienentää suolaustarvetta. Keskitalvella normaalia kylmempi sää puolestaan pienentää suolan käyttöä. Yksi yhtälö sovellettuna koko maan alueelle antoi lähes yhtä hyviä tuloksia kuin tiepiirikohtaiset yhtälöt, ja tätä menetelmää voitaisiinkin mahdollisesti käyttää yhtenä arviointimenetelmänä vertailtaessa eri tiepiirien suolan käyttöä keskenään. Haluttaessa verrata suolan käyttöä yhden tiepiirin sisällä perättäisinä vuosina voidaan tiepiirikohtaisen mallin käyttöä pitää perusteltuna, koska tällöin ei suolamääriä tarvitse normeerata samalle tasolle, ja näin jää yksi epävarmuustekijä pois.

Kuukausikeskilämpötilat antavan keskimäärin perusteet verrata perättäisiä vuosia keskenään, kuten myös eri tiepiirien suolan käyttöä. Toisaalta muutamina vuosina poikkeaa lämpötilan avulla saatu ennuste selvästi tilastoiduista suolamääristä. Menetelmää hyödynnettäessä tulisikin ottaa

huomioon tämä epävarmuus. Kuukausikeskilämpötilojen avulla saadaan helposti ensimmäinen arvio suolan käytön tarpeesta, jota voidaan edelleen pyrkiä tarkentamaan mahdollisesti käytössä olevien monipuolisempien sääindeksien tai esimerkiksi tiesäämallien avulla.

6 KIRJALLISUUSLUETTELO

Alppivuori, K., Leppänen, A., Anila, M. & Mäkelä K. Road traffic in winter. Helsinki: 1995. 58 p. (Finnra Reports 57/1995). ISBN951-726-124-1, TIEL 3200332E.

Gustavsson, T. Test of indices for classification of winter climate. Meteorol. Appl., 1996 (vol 3), p. 215-222.

Henttonen, H. Kriging in interpolating July mean temperatures and precipitation sums. Jyväskylä: 1991. 41 p. (Jyväskylän yliopiston tilastotieteen laitoksen julkaisuja No. 12).

Hulme, M. A new winter index and geographical variations in winter weather. J. Meteorol., 1982 (vol 7), p. 294-300.

Huovila, S. Lämpötilan ja sademäärän kuukausi- ja vuosikeskiarvojen todennäköisyydestä Suomessa. Helsinki: 1966. 14 s. (Ilmatieteen laitos. Ilmatieteellisen keskuslaitoksen tiedonantoja 11).

Knudsen, F. A winter index based on measured and observed road weather parameters. In: 7th International Road weather conference. 1994. Seefeld, Austria.

Laine, V., Ehrola, E. & Venäläinen, A. Talvihoidon sää-indeksin kehittäminen. Helsinki: 2000. 109 s. (Tielaitoksen selvityksiä, käsikirjoitus).

Rönholm, M., Huura, J. & Häkkä-Rönholm, E. Teiden talvisuolauksen vaikutus korroosiokustannuksiin. Helsinki: 1994. 24 s. (Tielaitoksen selvityksiä 51/1994). ISBN 951-47-9445-1.

Thornes, J.E. Thermal mapping and road weather information system for highway engineers. In: Highway Meteorology, 1991. p.187-208. (E.&F.N. Spon, London, England).

Tielaitos, Tielaitoksen tilastoja 1/1994.

Tielaitos, Tielaitoksen tilastoja 1/1998.

Venäläinen A & Heikinheimo M. The spatial variation of long-term mean global radiation in Finland. Int. J. Climatol., 1997 (vol 17), p. 415-426.

Venäläinen, A. & Helminen, J. Maanteiden talvikunnossapidon sääindeksi. Helsinki: 1998. 47 s. (Ilmatieteen laitos. Raportteja 1998:2). ISBN 951-697-489-9.

Venäläinen, A. & Tuomenvirta, H. Arvio ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta teiden talvikunnossapidon kustannuksiin. Helsinki: 1998. 19 s. (Ilmatieteen laitos, Raportteja 1998:5). ISBN 951-697-494-5.

Venäläinen, A. Talven lämpötilan ja maanteiden suolauksen välinen riippuvuus Suomessa. Helsinki: 1999. 16 s. (Ilmatieteen laitos, Raportteja 1999:3). ISBN 951-697-505-4.

Voldborg, H. & Knudsen, F. A winter index based on measured and observed weather parameters, In: 4th International Conference on Weather and Road safety. 1988. Florence, Italy.

Ympäristö/vaikutukset

- TIEL 3200555 Ohikulkutie ja taajama (TS 9/1999)
- TIEL 3200558 Niittykasvillisuuden perustaminen tieluksiin - Koetuloksia ja kirjallisuus selvitys (TS 12/1999)
- TIEL 3200560 Saneerattujen taajamien viherympäristö, kivetyt pinnat, kalusteet - Kuntotarkastelu (TS 15/1999)
- TIEL 3200590 Taajamateiden suunnittelun kehittäminen. Seurantatutkimus. Jaala, Keuruu, Sotkamo. (TS 1/2000)
- TIEL 4000205 Tierummut vaellusesteinä - Ongelman kuvaus ja ratkaisumalleja (SJ 22/1999)
- TIEL 4000206 Suomen tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamat ympäristökustannukset - Vuoden 1996 selvityksen päivitys (SJ 23/1999)
- TIEL 4000215 Tieliikenne-ennuste vuosille 1997-2030. Vuoden 1995 ennusteen päivitys (SJ 35/1999)
- TIEL 4000216 Tieliikenteen ajokustannukset: Onnettomuuskustannukset Suomessa ja Ruotsissa (SJ 36/1999)
- TIEL 4000217 Tieliikenteen ajokustannukset: Ajoneuvokustannukset (SJ 37/1999)
- TIEL 4000216 Tieliikenteen ajokustannukset: Aikakustannukset (SJ 36/1999)
- TIEL 4000241 Mitä on tehty? - Tielaitoksen ympäristön toimenpideohjelman 1997 - 2000 toteuttaminen (SJ 13/2000)

Tietekniikka

- TIEL 3200562 Törmäykseet Tielaitoksen tiekaiteeseen 1993-1999 (TS 17/1999)
- TIEL 3200571 Asfalttinormien kiviainesten hienoainesseoksen laatuvaatimukset (TS 26/1999)
- TIEL 3200575 Kuulamyly- ja Micro-Deval -kokeiden tulosten vastaavuus (TS 30/1999)
- TIEL 3200578 Halvat kevyen liikenteen väylät (TS 35/1999)
- TIEL 3200579 Kiviaineksen pintakarkeuden vaikutus kuulamylyarvoon (TS 36/1999)
- TIEL 3200580 Kiviaineksen välilajitteen raemuodon vaikutus päällysteen ominaisuuksiin (TS 37/1999)
- TIEL 3200591 Kasvipeitteisen meluesteen kokeilu (TS 2/2000)
- TIEL 3200594 Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa. Mitoitus- ja työohje (TS 5/2000)
- TIEL 3200599 Tiesuolan käytön arviointi talvikuukausien lämpötilan avulla (TS 9/2000)
- TIEL 4000199 Selvitys tien häikäisysojista (SJ 5/1999)
- TIEL 4000200 Kelirikkoisen soratien kantavuuden parantamismenetelmiä. Bitumistabilointi ja raudoitettu murske. Loppuraportti. (SJ 6/1999)
- TIEL 4000201 Teiden talvihoidon yhteiskunnalliset vaikutukset. Yhteenveto tehdyistä selvityksistä. (SJ 9/1999)
- TIEL 4000202 Tutkimus- ja kehittämistoiminnan vuosiraportti 1998 (SJ 10/1999)
- TIEL 4000209 Kevyen liikenteen kaatumistapaturmien selvittäminen sairauskertomusten perusteella - Jyväskylä (SJ 26/1999)
- TIEL 4000210 Laatuvaatimusten asettaminen, kun urakka sisältää suunnittelun ja rakentamisen (SJ 27/1999)
- TIEL 4000222 Tunnin pilotti. Hoidon toteutuminen, II väliraportti syyskuu 1999 (SJ 41/1999)
- TIEL 4000228 Masuunikuonatuotteiden E-moduulit (SJ 49/1999)
- TIEL 4000229 Analyttisessä mitoituksessa käytettävät asfalttipäällysteen jäykkyydet ja väsymismallit (SJ 50/1999)
- TIEL 4000232 Tunnin pilotti - Vaikutus liikenneturvallisuuteen (SJ 54/1999)
- TIEL 4000236 Kevyen liikenteen väylien kunnossapitotason ja kaatumistapaturmien selvitys. Kesäkauden osaraportti (SJ 5/2000)
- TIEL 4000239 Pyöriteiden routavauriotutkimus (SJ 10/2000)

Tie- ja liikennetekniikka -yksikön julkaisuja 1999-2000

OHJEET JALAAATUVAATIMUKSET

TIEL 2110014	Läjitysalueen suunnittelu - Läjitysalueohje
TIEL 2140015	Rakenteen parantamista edeltävät tutkimukset
TIEL 2140016	Puun käyttö melusteissa
TIEL 2150008	Luonnon monimuotoisuus ja tienpito - Tieluonnon hoito-ohjelma
TIEL 2150009	Tiehankkeiden ja tienpidon toimien ympäristövaikutusten selvittäminen
TIEL 2150010	Tiehankkeen vaikutukset ihmisiin ja yhteisöihin
TIEL 2210013	TYLT: Tiekaiteet
TIEL 2212456-2000	TYLT:Perustamis- ja vahvistamistyöt
TIEL 2212802-2000	TYLT:Päällystystyöt
TIEL 2212809-98	TYLT: Murskaustyöt
TIEL 2230054	Kevyen liikenteen väylien hoito; Menetelmätieto
TIEL 2240002-98	Yleiset arvonmuutosperusteet: Murskaustyöt
TIEL 2243560-2000	Yleiset arvonmuutosperusteet: Päällystystyöt

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

Liikennetekniikka

TIEL 3200561	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Ohitusnäkemät (TS 16/1999)
TIEL 3200566	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Perusverkon eritasoliittymien turvallisuus (TS 21/1999)
TIEL 3200570E	S 12 Improvement solutions for main roads: New road types - Summary on test roads in Finland (TS 25/1999)
TIEL 3200602	Raskaat ajoneuvot kiertoliittymissä (TS 12/2000)
TIEL 3200602E	Roundabouts and heavy vehicles (TS 13/2000)
TIEL 4000191	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uudet tietyypit - Koeteiden turvallisuus (SJ 20/1999)
TIEL 4000193	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uudet tietyypit - Selvitys ulkomaisista kokemuksista (SJ 21/1999)
TIEL 4000212	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Parannettavien pääteiden suuntaus (SJ 30/1999)
TIEL 4000213	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uusien tietyppivaihtoehtojen vertailu - Vt 6 välillä Koskenkylä - Kouvola Osa A: Raportti, Osa B: Liitekartat (SJ 31/1999)
TIEL 4000214	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Kevyen liikenteen ja yksityistieliittymien yhteiset ratkaisut (SJ 33/1999)
TIEL 4000221	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Tutkimussuunnitelma (SJ 42/1999)
TIEL 4000227	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Kapeiden pientareiden vaikutus kaksiajorataisten teiden turvallisuuteen (SJ 48/1999)