

VATT-KESKUSTELUALOITTEITA
VATT DISCUSSION PAPERS

436

SUOMEN INFRASTRUKTUURI-
PÄÄOMA: TIET*

Sakari Uimonen \diamond

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus
Government Institute for Economic Research
Helsinki 2007

* Tutkimuksen edeltävä versio ilmestyi tiehallinnon väyläomaisuuden hallinnan tutkimusohjelman osaprojektin raporttina (Uimonen S. 2006: Suomen tiepääoma. *Tiehallinnon selvityksiä* 4/2006.).

◇ Kiitokset avusta ja kommentteista Heikki Blockille, Lauri Ali-Mattilalle, Pertti Virtalalle, Erkki Siivoselle, Olli Ropposelle, Vesa Kanniaiselle, Risto Sullströmille, Väyläomaisuuden hallinnan tutkimusohjelman osaprojektin ohjausryhmälle ja monille tiehallinnon virkamiehille. Työssä esiintyvät virheet menevät luonnollisesti tekijän piikkiin.

ISBN 978-951-561-753-8 (nid.)
ISBN 978-951-561-754-5 (PDF)

ISSN 0788-5016 (nid.)
ISSN 1795-3359 (PDF)

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus
Government Institute for Economic Research
Arkadiankatu 7, 00100 Helsinki, Finland
email: sakari.uimonen@vatt.fi

Oy Nord Print Ab

Helsinki, joulukuu 2007

SAKARI UIMONEN: SUOMEN INFRASTRUKTUURIPÄÄOMA: TIET. Helsinki, VATT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Government Institute for Economic Research, 2007, C, ISSN 0788-5016 (nid.), ISSN 1795-3359 (PDF), No 436, ISBN 978-951-561-753-8 (nid.), ISBN 978-951-561-754-5 (PDF).

Tiivistelmä: Työssä kehitetään laskentamenetelmää tieinfrastruktuuriin sitoutuneen pääoman arvon laskemiseen. Lähtökohtana on se tosiasia, että säännöllinen kunnossapito ja korjaaminen ovat oleellisia tieinfrastruktuurin hallintaan liittyviä tehtäviä. Korjauskustannukset otetaan pääomalaskelmissa huomioon ja laskentamenetelmää sovitetaan käytettävissä olevaan dataan. Koska teitä pidetään jatkuvasti kunnossa, tien suorituskyvyn (ikä-
tehokkuus-profilin) voi perustellusti olettaa pysyvän vakiona tien pitoaikana (äkkikuolema-tyyppinen kuluminen). Suomen tieinfrastruktuurin arvoksi vuonna 2003 tutkimuksessa saadaan 37 mrd euroa. Tiehallinnon tasearvo, joka perustuu tien suorituskyvyn lineaarisen alenemisen oletukseen, on noin 15 mrd euroa.

Asiasanat: tiepääoma, infrastruktuuripääoma, ikä-tehokkuus-profilin, pääoman kuluminen, pääomapalvelut

SAKARI UIMONEN: SUOMEN INFRASTRUKTUURIPÄÄOMA: TIET. Helsinki, VATT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Government Institute for Economic Research, 2007, C, ISSN 0788-5016 (nid.), ISSN 1795-3359 (PDF), No 436, ISBN 978-951-561-753-8 (nid.), ISBN 978-951-561-754-5 (PDF).

Abstract: In this study concepts and methods for measuring the highway infrastructure capital are developed. Maintenance and repair are essential elements in the highway infrastructure management and their expenditures should be included in the capital stock calculations. Due to regular maintenance of highways in Finland the one most natural age-efficiency-profile is the most natural assumption to describe the depreciation of capital. The value of the Finnish highway capital stock under this assumption is 37 mrd euros in 2003. The figures under alternative age-efficiency-profiles, the geometric depreciation ($\delta = 3\%$) and the straight line depreciation, are considerable lower, 15 and 12 mrd euros, respectively.

Key words: highway capital, infrastructure capital, age-efficiency-profile, capital stock

Sisältö

1 Johdanto	1
2 Pääoman käsite	4
3 Tiepääoma	9
4 Aineiston rakentaminen	18
4.1 Lähteet	18
4.2 Tieinvestoinnit	19
4.3 Päällysteiden uusiminen	22
4.4 Sillat	28
4.5 Liikennesuorite	30
4.6 Toteutuneet vs arvioidut investointimenot	31
5 Tulokset	37
6 Yhteenveto	44
Lähteet	45
Liitteet I–VI	48–56

1 Johdanto

Kasvuteoriaa tutkineet taloustieteilijät ovat jo lähes kahden vuosikymmenen ajan todistelleet, että infrastruktuurilla on keskeinen merkitys taloudellista kasvua alullepanevana ja ylläpitävänä tekijänä (ks. esim. Barro, 1990, tai Fisher ja Turnovsky, 1998). Lukuisat empiiriset tutkimukset ovat vahvistaneet tätä käsitystä (esim. Aschauer, 1989, Gramlich, 1994, tai Cohen ja Paul, 2004).

Suomea koskevaa empiiristä tutkimusta on hyvin niukasti eikä näissä harvoissa tutkimuksissa ole saatu selvää näyttöä infrastruktuurin merkityksestä puoleen tai toiseen (ks. Björkroth ja Kjellman, 2000; tai Hjerppe, Kiander, Viren, 2006). Varmasti yksi selitys Suomea koskevan tutkimuksen vähäisyydelle ja itse tuloksille on luotettavan infrastruktuuripääomaa koskevan datan puuttuminen. Tämä tutkimus pyrkii osaltaan poistamaan tätä puutetta tieinfrastruktuurin osalta.

Pääoma on taloustieteen keskeisimpiä käsitteitä. Jo opintojensa alkuvaiheessa opiskelija oppii tietämään, että pääoma määräytyy investointikertymämenetelmällä seuraavien kaavojen mukaisesti: $K_t = I_t + (1 - \delta)K_{t-1}$ ja $K_0 = \bar{K}$ (annettu vakio).¹ Taloustilastojen käyttöön johdattelevalla kursilla opiskelija tutustutetaan kansantalouden tilinpidon brutto- ja nettopääoman käsitteisiin. Jos opiskelija vielä lukee sivuaineenaan liiketaloustiedettä, hänet tutustutetaan liikekirjanpidon pääoman käsitteeseen. Näillä opeilla taloustieteen maisterin on sitten pärjääminen.

Soveliaan pääomakäsitteen valinta riippuu viime kädessä käyttötarkoituksesta. Mutta mikään yllämainituista käsitteistä ei välttämättä sovellu kovin hyvin empiirisen tutkimuksen lähtökohdaksi. Kaava $K_t = I_t + (1 - \delta)K_{t-1}$ voi olla käyttökelpoinen, jos voidaan luottaa siihen, että pääoman kulumisaste δ on varallisuuden iästä riippumaton vakio (geometrinen kuluminen).² Bruttopääoma ei kulu ja nettopääoma on lähinnä varallisuuskäsite. Liikekirjanpidon luvut perustuvat historiallisiin arvoihin ja mielivaltaisiiin poistosääntöihin — so. sääntöihin, joilla ei välttämättä ole suoranaista yhteyttä pääoman todelliseen kulumiseen.

Tuottavuustutkimukseen soveliaita pääoman käsitteitä on kehitelty taloustieteen piirissä 1960-luvulta lähtien (esim. Jorgenson ja Griliches, 1967, Diewert, 1980, ja Hulten, 1990). Tältä pohjalta OECD:n piirissä on viime aikoina kehitelty pääoman mittaamiseen liittyviä sääntöjä (ks. OECD 2001a

¹ K_t on pääomakanta ja I_t investoinnit periodilla t . δ on vakioinen kulumisaste.

² Tosin mm. Jorgenson (1973) argumentoi, että investointikertymämenetelmä ja vakioisen kulumisasteen oletus tuottavat hyviä tuloksia käytännön tilanteissa.

ja OECD 2001b). OECD:n suosituksien mukaisesti on erotettava ns. varallisuus pääoma ja tuottava pääoma (pääomapalvelusten volyyymi-indeksi). Molemmat käsitteet ovat kuin kolikon eri puolet ja kummallakin on oma käyttötarkoituksensa. Tämän tutkimuksen lähtökohtana on mainittu viimeaikainen pääoman käsitettä koskeva tutkimus.

Infrastruktuurihyödyke poikkeaa kuitenkin monessa suhteissa yksityisestä tuotannollisesta pääomahyödykkeestä, joita varten lähinnä pääoman käsitteitä on kehitelty. Kun tuotannollinen pääomaesine palvelee yksittäistä tuotantolaitosta, infrastruktuuri pyrkii palvelemaan koko yhteiskuntaa, kaikkia tuotantolaitoksia ja kaikkia kotitalouksia. Infrastruktuurin julkishyödykeominaisuudesta johtuen siitä saatavan hyödyn tai tuottojen mittaaminen on paljon hankalampaa kuin normaalista tuotannollisesta hyödykkeestä saatavan hyödyn. Infrastruktuurihyödyke, eli tie tässä tapauksessa, voi olla osa laajempaa verkostoa ja verkoston osana siihen liittyvät tuotot voivat olla monin verroin suurempia kuin erilliselle investoinnille kohdennettavat tuotot. Toisin sanoen, infrastruktuurihyödykkeeseen voi liittyä positiivisia ulkoisvaikutuksia. Toisaalta, infrastruktuurin julkishyödykeominaisuudesta johtuen kaikilla on mahdollisuus halutessaan käyttää sitä, ja jos käyttäjien määrä kasvaa riittävän suureksi, seurauksena voi olla ruuhkautumista. Tässä tapauksessa hyödykkeeseen liittyy negatiivisia ulkoisvaikutuksia. Tutkimuksessa kehitettävä laskentamalli mahdollistaa ulkoisvaikutusten huomioon ottamisen pääomalaskelmassa.

Infrastruktuurihyödyke palvelee koko yhteiskuntaa ja se on avainasemassa yhteiskunnan toimintojen kannalta. Pienikin keskeytys toiminnassa voi aiheuttaa erittäin suuria tappioita. Tästä syystä viranomaisten velvollisuutena on pitää huolta siitä, että infrastruktuuri toimii kaikissa olosuhteissa. Toimintakuntoa pidetään yllä säännöllisin välein tapahtuvien kunnossapito- ja korjausinvestointien avulla. Peruskorjauksen kustannukset ovat alkuperäisen investoinnin kaltaisia, so. niiden vaikutus ulottuu useammalle periodille. Koska korjausinvestoinnit ovat oleellinen osa infrastruktuurin hallintaa, ne on pyrittävä ottamaan huomioon pääomalaskelmassa.

Kaikki pääomalaskelmat perustuvat johonkin ko. varallisuusesineen suorituskyvyn muutoksia koskevaan oletukseen. Edellä mainitussa geometrisessa kulumisessa suorituskyvyn oletetaan laskevan vähenevällä nopeudella. Kirjanpidollisissa laskelmissa suorituskyvyn oletetaan alenevan lineaarisesti nolnaan. Jos varallisuusesinettä jatkuvasti huolletaan ja pidetään kunnossa peruskorjausinvestoinneilla, kumpikaan näistä suorituskyvyn oletuksista ei vaikuta perustellulta. Perusteltua on olettaa, että suorituskyky muuttuu äkkikuolema-tyyppisesti: pysyy vakiona hyödykkeen koko eliniän ajan ja romahtaa nolnaan vasta pitoajan kuluttua umpeen. Suorituskyvyn äkkikuolemaprofiili on tämän tutkimuksen laskelmien lähtökohtana. Tuloksia verrataan

muunlaisilla profiili-oletuksilla saatuihin tuloksiin.

Raportteja infrastruktuuripääoman käsitteeseen tai laskentamentelmien kehittämiseen liittyvistä tutkimuksesta on erittäin niukasti. Infrastruktuuripääoman laskeminen ja siinä tarvittavien metodien kehittäminen näyttävät jääneen tilastoviranomaisten vastuulle. USA:n tiepääomalaskennan kehittämiseen pyrkivä projekti Fraumeni (1999a ja 1999b) on harvoja dokumentoituja projekteja. Sen suosittelemat metodit ovat sidoksissa USA:ssa käytettävissä oleviin tietokantoihin. Tästä syystä ne eivät välttämättä ole hyödyllisiä tai edes tarkoituksenmukaisia Suomen olosuhteisiin.

Laskelmia infrastruktuuriin sitoutuneen pääomasta tarvitaan muun muassa infrastruktuurin taloudellisten vaikutusten arvioimiseksi. Tieinfrastruktuurin kohdalla vaikutuksilla on vahvasti ajallinen ja alueellinen dimensio. Ajallisesti ja alueellisesti eriteltyä tietoa tieinvestoinneista ei kuitenkaan ole helposti saatavissa. Datan saatavuuteen liittyvä ongelma ratkaistaan tässä tutkimuksessa valitsemalla epätavallinen menettely: ensiksi inventoidaan tieverkoston fyysiset muutokset — näistä on paremmin saatavana tietoa kuin toteutuneista investoinneista — ja soveltamalla tämän jälkeen jälleenhankintahintoja havaittuihin muutoksiin voidaan muodostaa arvio toteutuneista investoinneista. Menettelyllä on myös se hyvä puoli, että samalla tulee ratkaistua sopivan hintaindeksin valinnan ongelma, ja menettely on myös immuuni hintaindeksiin liittyvien ongelmien suhteen.

Tutkimuksen rakenne on seuraava. Seuraavassa luvussa selostetaan pääoman käsitteitä ja katsotaan, mitä muutoksia infrastruktuurin ja erityisesti tieinfrastruktuurin ominaispiirteet aiheuttavat pääomakannan arvioinnille. Tämän jälkeen luvussa 3 kerrotaan tarkemmin, miten tiepääoman laskeminen aiotaan suorittaa ja selostetaan proseduuria, jolla tiepääomalaskelmat suoritetaan. Luvussa 4 kerrotaan yksityiskohtaisesti, miten aineisto on rakennettu. Luvussa 5 esitetään tulokset ja suoritetaan muutamia herkkyytarkasteluja. Luvussa 6 esitetään yhteenveto ja arvioita jatkotutkimuksen tarpeesta.

2 Pääoman käsite

Tarkastellaan aluksi yksittäistä periodilla 0 käyttöön otettua tuotannollista varallisuusesinettä. Sen hinta periodin t alussa (P_t) on tulevien tuottojen nykyarvo (oletetaan vakioinen hinta- ja korkotaso):

$$P_t = \sum_{j=t}^N \frac{u_j}{(1+r)^{j-t+1}}. \quad (1)$$

N on viimeinen periodi, jolloin varallisuusesine on käytössä, ja r on diskonttaus korko. u_j ilmaisee tuoton, tuottovaatimuksen tai suoritteen arvon periodilla j . Sen oletetaan realisoituvan aina periodin lopussa. Investoinnit puolestaan oletetaan otettavan käyttöön aina periodin alussa.

Kaavaa (1) voidaan tulkita eri tavoin. Jos käytetyille varallisuusesineille olisi olemassa kilpailulliset markkinat, kaavan vasen puoli ilmaisisi niiden markkinahinnan. (Käytännössä vain uusille esineille on olemassa markkinat, koska yritykset yleensä omistavat tuotantovälineensä itse.) Jos varallisuusesineille olisi olemassa vuokramarkkinat, u_j ilmaisisi käytetyn varallisuusesineen yhden periodin vuokrahinnan (tästä englanninkielinen nimitys *capital rent*).

Esimerkki kaavan sovelluksesta on asuinvuokratalo. Jos mittayksiköksi valitaan koko talo, P_0 olisi talon rakennuskustannus, P_t ilmaisisi talosta saatavan hinnan käytettyjen asuinvuokratalojen markkinoilla, ja u_t vuokrien kokonaismäärän periodilla t . Jos mittayksiköksi valitaan asuinneliöt, P_0 ilmaisisi rakennuskustannukset asuinneliötä kohden, P_t talon hinnan per neliö käytettyjen talojen markkinoilla ja u_t neliövuokran. Mittayksiköksi voitaisiin valita myös alkuperäinen investointisumma. Tällöin $P_0 = 1$ (euron hinta on yksi euro) ja P_t (u_t) ilmaisisi käytetyn talon markkinahinnan (vuokrahinnan) suhteessa alkuperäiseen investointikustannukseen.

Käytetyille pääomaesineille ei käytännössä ole markkinoita ja kaava (1) lähinnä osoittaa, miten varallisuusesineen hinta on laskennallisesti kohdennettava jäljellä olevalle pitoajalle, tai kääntäen, miten investoinnin tuotot laskennallisesti muodostavat käytetyn pääomaesineen hinnan. Tuottojen u_j laskennalliseen luonteeseen viittaa myös niistä käytetyt englanninkieliset nimitykset *capital cost* ('pääomakustannus') tai *user cost of capital* ('pääoman käyttäjän kustannus').³

Jos muut vuokrahintoihin vaikuttavat tekijät (kuten verotus, korko tai hinta-

³Taloustieteellisessä kirjallisuudessa on kohtalaisen paljon käyty keskustelua pääomakustannuksien määräytymisestä (mm. Hall ja Jorgenson, 1967). Niiden tasoon vaikuttavat mm. markkinakorko, hintatason muutokset, esineen fyysinen kuluminen ja verotus.

taso) pysyvät vakiona, ainoa vuokrahintojen sarjan $\{u_j\} \equiv (u_0, u_1, \dots)$ muotoon vaikuttava tekijä on tapa, jolla esine kuuluu fyysisesti — ‘taloudellisesti’, jos markkinoille tulee uusia tehokkaampia varallisuusesineitä. Esineen kulumisen tapa siis määrää vuokrahintojen sarjan $\{u_j\}$ muodon ja jälkimmäinen puolestaan hintojen sarjan $\{P_j\}$ muodon. Vuokrahintojen ja kulumisen välinen riippuvuus nähdään havainnollisesti kirjoittamalla vuokrahintojen sarja uudelleen:

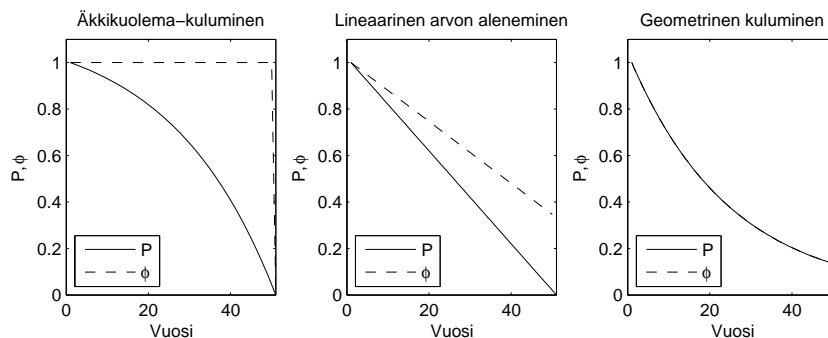
$$\{u_j\} \equiv u_0 \cdot (\phi_0, \phi_1, \phi_2, \dots) \equiv u_0 \{\phi_j\}, \quad (2)$$

missä u_0 on uuden varallisuusesineen vuokrahinta, $\phi_0 = 1$ ja sarjan j 's jäsen $\phi_j = u_j/u_0$, jonka arvo on välillä $[0, 1]$, ilmaisee $j - 1$ vuotta vanhan varallisuusesineen tehokkuuden suhteessa uuden esineen tehokkuuteen. Sarjasta $\{\phi_j\}$ käytetään jatkossa nimitystä ikä-tehokkuusprofiili.

Hintojen sarjaa tarvitaan pääoman varallisuusarvon laskemisessa ja vuokrahintojen sarjaa tuotannollisen pääoman laskemisessa (ks. jäljempänä). Riittää, että toinen sarja tunnetaan; toinen voidaan sitten aina konstruoida sen avulla (ks. esim. Diewert, 2003). Koska varallisuusesineille (uusia lukuuntamatta) ei ole olemassa markkinoita, pääomakantojen laskemisessa joudutaan turvautumaan jomman kumman sarjan muotoa koskevaan oletukseen. Pääomakantojen mittaaminen perustuu aina — enemmän tai vähemmän valistuneeseen — arvaukseen tavasta, jolla esine kuuluu.

Kuvassa 1 on esitetty tyypillisiä ikä-tehokkuusprofileja ja niitä vastaavat hintojen profiilit. Mittayksiköksi on valittu alkuperäinen investointisumma, jolloin $P_0 = 1$. Vasemmalla puolella oleva kuva edustaa ns. äkkikuolemakulumista (one hoss shay). Esineen suorituskyky pysyy vakiona koko eliniän ja romahtaa nolnaan vasta eliniän lopussa. Paljon käytetty esimerkki tämän tyyppisestä kulumisesta on hehkulamppu. Keskimäinen kuva edustaa lineaarisesta arvon alenemista, mikä on tyypillinen kirjanpidossa tehty poisto-oletus. Pääoman arvon oletetaan alenevan lineaarisesti nolnaan annetussa ajassa (50 vuodessa kuvassa). Lineaarista arvon alenemista vastaa myös lineaarinen suorituskyvyn aleneminen. Jos siis oletetaan lineaarinen arvon aleneminen, oletetaan samalla lineaarinen suorituskyvyn aleneminen. Oikealla puolella oleva kuva edustaa geometrasta kulumista. Hintojen ja tehokkuuden profiilit ovat identtiset. Ne ovat alkuvaiheessa voimakkaammin laskevia ja loivenevat myöhemmin. Profiilin jyrkkyys riippuu kulumisasteesta δ . Suorituskyky ei koskaan laske nolnaan, ellei tehdä lisäoletusta, että se jossain vaiheessa putoaa nolnaan.

Edellä on tarkasteltu yhtä yksittäistä tuotannollista investointia. Yrityksessä (toimialalla, taloudessa) on yleensä samanaikaisesti käytössä eri-aikoina hankittuja tuotantovälineitä. Eri-ikäisten varallisuusesineiden yhteenlaskettu arvo, pääoman varallisuusarvo hetkellä t saadaan seuraavasta kaavasta



Kuva 1: Pääomaesineen hinta- (P) ja ikä-tehokkuusprofileja (ϕ).

(ks. Diewert, 2003, 31–32):

$$W_t = P_0 I_{t-1} + P_1 I_{t-2} + \dots + P_N I_{t-N-1}, \quad (3)$$

missä P_0 on uuden varallisuusesineen hinta, P_1 on yksi vuotta vanhan hinta jne. Hintojen P_j sarja on riippumaton ajankohdasta, koska taloudessa ei oletuksen mukaan ole inflaatiota eikä teknistä kehitystä.⁴ I_{t-1} on edellisellä periodilla valmistunut investointi, I_{t-2} on kaksi periodia aikaisemmin valmistunut investointi jne. (Investointien oletetaan siis alkavan suorittaa tehtävänsä vasta valmistumista seuraavalla periodilla.)

Kaava (3) kuvaa myös kirjanpidon tasearvon määräytymistä, jos poistot kohdistuvat suoraan alkuperäiseen hankintamenuun. Oletetaan esimerkiksi, että p_s on s vuotta aikaisemmin käyttöön otettuun investointiin sovellettu poistoprosentti (lineaarisen poistotavan tapauksessa poistoprosentit ovat yhtäsuuria vakioita). Investoinnin alkuperäisestä arvosta on taseessa vuoden j lopussa jäljellä $P_j = (1 - p_1)(1 - p_2)\dots(1 - p_j)$ prosenttia.

Kaava (3) kuvaa pääomavarannon arvoa. Jos ajatellaan sen hyödyntämistä tuottavuustutkimuksissa, sen ongelmana on, että se sisältää informaation varallisuusesineiden kaikesta tuotantopotentialista tarkasteluhetkestä eteenpäin, koska painokertoimina toimivat hinnat ovat tulevien tuottojen nykyarvo kaavan (1) mukaan. Paremmin tarkasteluajankohdan tuotantopotentialia kuvaavana pääomakannan mittarina pidetään pääomapalveluiden volyyymi-indeksiä (tuottavaa pääomakantaa):⁵

$$S_t = u_0 I_{t-1} + u_1 I_{t-2} + \dots + u_N I_{t-N-1}. \quad (4)$$

Pääomapalveluiden volyyymi-indeksi (jatkossa PPVI) on pääomakustannuksilla painotettujen investointien summa. Sitä pidetään varallisuusarvoa sove-

⁴Ks. Diewert (2003) yleisempää tapauستا.

⁵Ks. esim. Hulten (1990), Hulten ja Wykoff (1996), Triplett (1996) tai OECD (2001a) perusteluista.

liaampana mittarina tuottavuustutkimuksiin, koska eri vuosikertainvestointeihin liittyvät vuokrahinnat u kuvaavat vuosikertojen senhetkistä tuotantokykyä.

Varallisuuden tai volyyymi-indeksin PPVI vuotuiset muutokset johtuvat painojen (P_j tai u_j), tehtyjen investointien määrän tai molempien muuttumisesta. Oma mielenkiintonsa on sillä, missä suhteessa kumpikin vaikuttaa kokonaismäärän muuttumiseen. Homogeenisen pääomaesineen tapauksessa varallisuuden hajotelma hinta- ja määräkomponenttiin voidaan periaatteessa laskea yksinkertaisesti kaavalla:

$$W_t = P^t \cdot K^t, \quad (5)$$

missä P_t on varallisuusesineen hintojen painotettu keskiarvo:

$$P^t = \frac{W_t}{\sum_{j=t}^{N-1} I_{t-j}} \equiv \frac{W_t}{K^t},$$

ja W_t saadaan kaavasta (3). K^t on vuonna t käytössä oleva bruttopääomakanta. Kaavan (5) soveltamisen edellytyksenä on investointien sarjan I_{t-1}, I_{t-2}, \dots ja niihin liittyvien varallisuushintojen sarjan P_0, P_1, \dots tunteminen.

Vastaavasti volyyymi-indeksi voidaan hajottaa hinta- ja määräkomponenttiin:

$$S_t = U^t \cdot K^t, \quad (6)$$

missä

$$U^t = \frac{S_t}{\sum_{j=t}^{N-1} I_{t-j}} \equiv \frac{S_t}{K^t},$$

ja S_t saadaan kaavasta (4). Kaavan soveltamisen edellytyksenä on investointien sarjan ja niihin liittyvien vuokrahintojen tunteminen.

Käytännössä laskelmien tekijällä ei koskaan ole käytössään niin yksityiskohdata dataa, kuin kaavojen (5) ja (6) soveltaminen edellyttäisi. Tästä seuraa, ettei varallisuuden tai volyyymi-indeksin (PPVI) jakaminen komponentteihin yllä esitetyllä tavalla ole mahdollista. Ns. indeksiteoriassa on kuitenkin osoitettu, että näiden *muutokset* voidaan jakaa hinta- ja määräkomponentteihin (ks. esim. IMF, 2004).⁶

⁶Esimerkiksi varallisuuden muutoksille saadaan:

$$W_t/W_{t-1} = H(P_t, P_{t-1}, I_t, I_{t-1})Q(P_t, P_{t-1}, I_t, I_{t-1}),$$

missä funktio H antaa hintaindeksin ja funktio Q volyyymi-indeksin arvon. P_t on vuonna t vallitsevien varallisuushintojen vektori ja I_t on investointivuosisikertojen vektori. Dekomponenttiin soveliaista funktioista on käyty runsaasti keskustelua indeksiteorian piirissä (ks. esim. Diewert, 1980).

Tieinvestointien kohdalla on jatkossa käytettävissä niin yksityiskohtaista dataa — johtuen itse datan tuottamisen menetelmästä — että kaavoja (5) ja (6) voidaan soveltaa.

3 Tiepääoma

Tie muodostuu alus- ja päällysrakenteesta. Tiestöön kuuluu teiden lisäksi siltoja, rumpuja sekä liikenteen ohjaus- ja turvalaitteita. Tässä tutkimuksessa tiestöön sisällytetään alus- ja päällysrakenne sekä sillat.⁷

Tarkastellaan 1 km:n matkalle vuonna 0 käyttöön otettavaa tietä, jonka investointikustannus on I_{-1} euroa. Uuden käyttämättömän tien varallisuusarvo on $W_0 = P_0 I_{-1}$, missä varallisuuden hinta $P_0 = 1$. (I_{-1} euron hinta on 1 euroa.)

Kuten yksityisen tuotannollisen investoinnin tapauksessa edellä, investointiin voidaan liittää laskennallinen vuokrahintojen sarja, jonka muoto riippuu tien suorituskyvyn kehittymisestä [kaava (2)]. Lisäksi investointiin liittyy säännöllisin väliajoin toistuvia korjausinvestointeja: alusrakenteeseen (alkuperäisen investoinnin euroa kohden lausuttuna) sarja C_{t_1}, C_{t_2}, \dots ja päällysrakenteeseen (alkuperäisen investoinnin euroa kohden lausuttuna) sarja D_{s_1}, D_{s_2}, \dots

Vuokrahintojen tulkinnassa voidaan viitata aikaisemmin esitettyyn asuinvuokrataloesimerkkiin. Kuten esimerkissä, vuokrahinnat ilmaisevat tiestä saatavan yhden periodin tuoton (kuvitteellisilla) vuokramarkkinoilla. Vuokrahintojen kehittymiseen vaikuttaa ainoastaan pääomaesineen suorituskyvyn muutokset (fyysinen kuluminen). Oletetaan nyt, että investoinnin suorittaja tietää, että jostain ulkopuolisesta tekijästä johtuen vuokratuotot automaattisesti kasvavat joka vuosi. (Vuokrataloesimerkissä voitaisiin kuvitella, että talon sijainti on kehittyvän liikekeskuksen kyljessä, ja vuokratuottojen voi olettaa kasvavan vuosi vuodelta markkinavuokria nopeammin.) Vuokratuottojen kasvu otetaan varmasti huomioon investointipäätöksessä.

Tieinvestointiin saattaa siis liittyä ulkoisvaikutuksia (jotka voivat olla myös negatiivisia), jotka automaattisesti kasvattavat (tai vähentävät) investoinnin vuotuisia tuottoja. Oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi, että ulkoisvaikutuksien aikaansaama tuottojen kasvuaste on vakio (α). Tievarallisuuden hinnaksi periodin t alussa saadaan tällöin:

$$P_t = u_0 \sum_{j=t}^N \phi_j \left(\frac{1+\alpha}{1+r} \right)^{j-t+1} - \sum_{j \in T_k} \frac{C_j}{(1+r)^{j-t}} - \sum_{j \in T_p} \frac{D_j}{(1+r)^{j-t}}, \quad (7)$$

missä joukko T_k (T_p) sisältää alusrakenteeseen (päällysrakenteeseen) kohdis-

⁷Muiden komponenttien mukaan ottamisesta jouduttiin luopumaan tietojen puuttumisen vuoksi. Näiden osuuden kokonaiskustannuksista voidaan kuitenkin arvioida olevan suhteellisen pieni. Myöskään maapohjan kustannuksia eli omistusoikeutta maahan ei ole otettu mukaan laskelmiin.

tuvien korjausinvestointien ajankohdat. Investoinnin pitoajaksi on oletettu N vuotta ja korjausinvestointien oletetaan toteutuvan aina periodin alussa.

Sanallisesti ilmaistuna kaava (7) kertoo, että varallisuuden hinta (per alku-peräinen investoitu euro) on tuottojen nykyarvo vähennettynä korjausinvestointien nykyarvolla. Alkuperäiseen investointiin liittyvän varallisuuden arvo periodin t alussa on $P_t I_{-1}$. Hinta P_t ilmaisee myös suoraan kuinka monta prosenttia alkuperäisestä varallisuudesta on jäljellä.

Siltojen suhteen voidaan soveltaa samaa kaavaa (7) paitsi ilman viimeistä päällysrakenteeseen liittyvää termiä.

Päällysrakenteen uusiminen

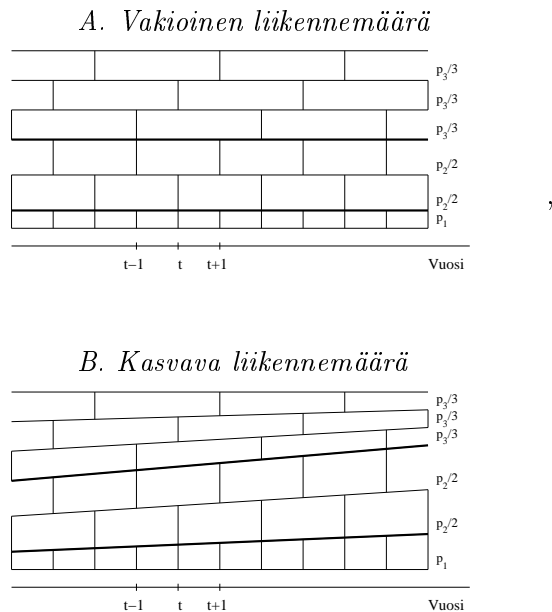
Suomessa tiet päällystetään kestopäällysteellä, kevytpäällysteellä tai soralla. Sorapintaisten teiden uudelleenpäällystämisen kustannukset jätetään jatkossa huomiotta niiden vähäisemmän merkityksen johdosta.

Kaavassa (7) oletetaan, että annettuun tieosuuteen liittyy päällysteen uusimisohjelma. Sen selvittäminen edellyttäisi joko varsin yksityiskohtaisia tietoja toteutuneista päällystystöistä tai vaihtoehtoisesti uudelleen päällystämisen ajankohtien arvioimista mallin avulla. Jatkossa noudatetaan kuitenkin toisenlaista strategiaa. Yksittäisen tieosuuden asemasta päällystystöiden tarkastelutasoksi valitaan koko kunnan taso. (Sama taso, jolla myös tieinvestointeja tarkastellaan jatkossa.) Päällystystöistä löytyy tietoa, jonka avulla päällystystöiden frekvenssiä tällä tasolla on mahdollista arvioida.

Päällysrakenteen kulumiseen liittyy satunnaisuutta, mistä johtuen uusittavat päällysteet voivat olla eri-ikäisiä. Pitkällä aikavälillä (muiden tekijöiden pysyessä vakiona) uusittavien tiepintojen ikärakenteen voi olettaa pysyvän suhteellisen stabiilina. Seuraava esimerkki valaisee tätä.

Oletetaan, että päällysteen maksimaalinen pitoaika on kolme vuotta. Alueen tiestön päällysteistä p_1 prosenttia kestää yksi, p_2 prosenttia kaksi ja p_3 prosenttia kolme vuotta. Liikennemäärien pysyessä vakiona tiestöstä uusitaan vuosittain keskimäärin aina sama määrä päällysteitä. Päällystysohjelma, jossa p_1 prosenttia tiestöstä uusitaan yksi, $p_2/2$ prosenttia kaksi ja $p_3/3$ prosenttia kolme vuotta vanhana, tuottaa tämän tuloksen.

Kuva 2A havainnollistaa. Se esittää tien poikkileikkauksen ylhäältä päin samasta tien kohdasta eri ajan hetkinä. Kuvitellaan, että kestoältään erilaiset päällysteet muodostavat paikoillaan pysyvät tien pituussuuntaiset viipaleet:



Kuva 2: Tiepäällysteen vuosikerrat

p_1 prosenttia tien leveydestä uusitaan joka vuosi, p_2 prosenttia joka toinen vuosi ja p_3 prosenttia joka kolmas vuosi. ($p_1 + p_2 + p_3 = 1$, jos tien leveys on 1.) Kaksi (kolme) vuotta kestävä viipale on edelleen jaettu kahteen (kolmeen) yhtä leveään viipaleeseen. Viipaleisiin piirretyt poikittaiset viivat osoittavat, milloin se päällystetään uudelleen. Päällystämisen ajankohdat kaksi ja kolme vuotta kestävien päällysteiden osaviipaleissa on rytmitetty niin, että joka vuosi uusitaan sama määrä päällystettä.

Päällysteiden keskimääräiseksi uudelleenpäällystysasteeksi saadaan $p = p_1 + p_2/2 + p_3/3$. Liikennemäärien kasvaessa uusimisaste kasvaa, koska todennäköisyyksien p_i jakauma siirtyy vasemmalle päin. Lyhytkestoisten päällystesegmenttien leveydet p_1 ja p_2 kasvavat ja pitkäkestoisten päällysteiden segmentti p_3 kaventuu kuvassa 2B.

Yllä esitetyn esimerkin tarkastelut voidaan yleistää. Päällystelajin z ($= a, b$: $a =$ kesto- ja $b =$ kevytpäällyste) keskimääräiseksi uudelleenpäällystysasteeksi annettuna vuonna saadaan:

$$p^z = p_1^z + \frac{p_2^z}{2} + \frac{p_3^z}{3} + \dots + \frac{p_{L^z}^z}{L^z}, \quad z = a, b, \quad (8)$$

missä p_v^z on v vuotta vanhan päällysteen prosentuaalinen osuus kaikista lajin z päällystetyistä pinnoista. L^z on vanhimman käytössä olevan päällysteen ikä. Sitä, miten uudelleenpäällystysasteet estimoidaan, selostetaan myöhemmin kohdassa 4.3.

Uusittavan päällysteen määrä alueella (kunnassa) riippuu luonnollisesti päällystettyjen teiden määrästä ko. alueella. (Teitä on Suomessa alettu päällystää vasta 1960-luvun taitteen jälkeen ja päällystettyjen tiekilometrien määrä on kasvanut vähitellen.) Kirjoitetaan lajin z ($z = a, b$) päällystekilometrien määrä annetussa kunnassa vuonna j muodossa $s_j^z T_j$, missä s_j^z on lajin z päällysteellä päällystettyjen teiden suhteellinen osuus alueen teistä ja T_j teiden kokonaispituus. Päällysteen uusimisen kustannukseksi annetulla alueella (kunnassa) vuonna j saadaan:

$$E_j = \left(\sum_{z=a,b} c^z s_j^z \right) T_j \quad (9)$$

missä c^z on lajin z ($z = a, b$) päällysteen uusimisen kustannus (per tie-km).

Varallisuushinnat

Tievarallisuus koostuu nyt kolmesta komponentista: tien alusrakenteesta, päällysrakenteesta ja silloista. Alusrakenteen tai sillan varallisuushinta P_t periodin t alussa vuonna 0 käyttöön otetulle investoinnille on

$$P_t = u_0 \sum_{j=t}^N \phi_j \left(\frac{1+\alpha}{1+r} \right)^{j-t+1} - \sum_{j \in T_k} \frac{C_j}{(1+r)^{j-t}}. \quad (10)$$

Kaava (10) on sama kuin (7) mutta ilman uudelleenpäällystämiseen liittyvää termiä. Päällysrakenteen varallisuushinta Q_t periodin t alussa vuonna 0 käyttöön otetulle päällysteinvestoinnille on

$$Q_t = w_0 \sum_{j=t}^L \phi_j \left(\frac{1+\alpha}{1+r} \right)^{j-t+1}, \quad (11)$$

missä w_0 on uuteen päällysteeseen liittyvä vuokrahinta ja L on päällysteen pitoaika. Jokaisen vuoden päällystystoimenpidettä käsitellään erillisenä investointina, jonka investointikustannus saadaan kaavasta (9). Tähän investointiin liittyvä varallisuushinta kehittyy kaavan (11) mukaisesti.

Laskelmat etenevät nyt niin, että jokaisen tien komponentin jokaiselle investoinnille annetulla alueella (kunnassa) lasketaan varallisuus- ja vuokrahinnat yllä olevien kaavojen avulla. Nämä yhdistetään alkuperäisten investointisummien avulla alueen tiestön varallisuusarvoksi ja pääomapalveluiden volyyymi-indeksiksi kaavojen (3) ja (4) avulla. Näiden ja alkuperäisten investointien avulla voidaan tämän jälkeen laskea keskimääräiset varallisuus- ja vuokrahinnat kaavojen (5) ja (6) avulla. Laskelmien toteutusta selostetaan myöhemmin yksityiskohtaisemmin kohdassa 'Laskelmien toteutus' sivulla 14.

Jokaiseen tien komponenttiin siis liittyy oma vuokrahintansa. Vuokratalo-esimerkissä tämä tarkoittaisi sitä, että asuntoihin liittyy lisäominaisuuksia, joista veloitetaan erikseen. Veloitettava summa on sitä suurempi, mitä tasokkaampi (kalliimpi toteuttaa) vastaava ominaisuus on.

Tien ikä-tehokkuus -profiili

Suorituskyvyn kannalta kaikki tieverkoston komponentit ovat tarpeellisia mutta kokonaisuuden heikoin lenkki kuitenkin määrää koko tien suorituskyvyn. Alusrakenteen ja siltojen osalta asia on ilmeinen: ne joko täyttävät tehtävänsä tai sitten eivät^{8,9}. Päälysrakenteen osalta asia ei ole näin. Päälyste kuluu liikenteen aiheuttaman rasituksen vuoksi ja kulumisen huonontaa ajomukavuutta, kasvattaa polttoainekustannuksia ja lisää onnettomuusrisiä (esim. Kalliokoski ja Ruotoistenmäki, 2000). Päälysrakennetta voi siis pitää tien heikoimpana lenkinä.

Taloudellisista syistä johtuen päällystettä ei kuitenkaan voi olla jatkuvasti korjaamassa. On hyväksyttävä se, että päällysteen laatu ja samalla tien suorituskyky heikkenee päällysteen uusimisen hetkestä seuraavaan uusimisen hetkeen.

Tien ikä-tehokkuus -profiilin selvittämiseksi olisi ensiksi selvitettävä, mikä selittää päällysteen kulumisen ja miten sitä mitataan? Päälysteen kulumiseen vaikuttavat ainakin aika (rapautuminen) ja kumuloitunut liikennemäärä (fyysinen kulumisen). Seuraavaksi olisi selvitettävä, miten päällysteen kulumisen vaikuttaa tien suorituskykyyn? Mahdollinen suorituskyvyn mittari voi perustua tien käyttökustannuksiin.

Kolmanneksi olisi selvitettävä, miten uudelleen päällystyksen ajankohta määrittyy. Tämä on periaatteessa optimointitehtävä. Lykkäämällä tien uudelleen päällystämistä säästetään investointikustannuksissa mutta samalla kasvatetaan tien käyttökustannuksia. Optimointimalleilla (esim. Li ja Madanat, 2002, tai Durango ja Madanat, 2002) voitaisiin hakea tasapainoa näiden kahden välillä. Optimointimallin käyttäminen tässä yhteydessä, jossa arviot tie- ja päällystysinvestoinneista perustuvat kuntatasoiseen dataan, ei vaikuta tarkoituksenmukaiselta. Järkevältä sen sijaan vaikuttaa oletus, jonka mukaan tieviranomaiset päällystysohjelmillaan ovat pyrkineet pitämään tiestön suorituskyvyn kaikissa olosuhteissa hyvänä. Ja keskimäärin koko kunnan alueella, jossa koko ajan jossain sen tieverkoston osassa suoritetaan päällystys-

⁸Oletuksena on, että rikkoutumisen riski on aina niin pieni, ettei sillä ole vaikutusta laskemiin.

⁹Fraumeni, 1999b, olettaa siltojen geometriseksi kulumisasteeksi 1.82 %.

töitä, päällystetyn tiestön suorituskyky pysyy samalla keskimääräisellä tasolla. Tästä syystä tiestön vakioisen suorituskyvyn oletus kuntatasoisessa datassa on perusteltu.

Laskelmien toteutus

Käytettävissä oleva data määrää sekä periaatteellista tapaa, jolla pääomakantaa estimoidaan, että käytännön toteutusta. Tutkimuksen lähtökohtana on, että pääomakantalaskelmia pitää tarvittaessa voida saada eri tavoin alueellisesti aggregoituna. Tämä sulkee pois historiallisen investointidatan, jota ei ole saatavilla riittävästi alueellisesti eriteltynä. Historiallisesta datasta ei myöskään aina tiedetä, minkätyyppiseen toimenpiteeseen se liittyy.

Käytettävissä oleva aineisto on luokiteltu kunnittain ja tieluokittain. Vuotuiset investointimenot tieverkostoon saadaan inventoimalla ensiksi tieverkoston fyysiset muutokset ja kertomalla nämä tämän jälkeen jälleenhankintahinnoilla.¹⁰

Oletuksista

Edellä on useassa yhteydessä viitattu laskelmissa tehtäviin oletuksiin. Kootaan vielä yhteen keskeiset oletukset:

- Tien laatutaso (pientareiden leveys, tien geometria jne.) investointiheydestä lähtien on pysynyt samana. Teitä ei ole lakkautettu.
- Tien ikä-tehokkuusprofiili $\{\phi_j\}$ on annettu, perustapauksessa se oletetaan vakioksi $\{\phi_j\} = (1, 1, 1, \dots)$. Perustapauستا verrataan muilla ikä-tehokkuus-profiileilla saatuihin tuloksiin.
- Pääoman suoritteet kasvavat eksoogeenisesti annetulla kasvuprosentilla α . Perustapauksessa α oletetaan nolllaksi.
- Vakaa hinta- ja korkotaso. Vakaan hintatason oletus sisältyy jälleenhankintojen käyttöön.

Vakioinen tien laatutason oletus yliarvostaa varhaisempia investointeja. Oletus on tehty lähinnä käytännön syistä mutta sitä on myöhemmässä vaiheessa mahdollista lieventää.

¹⁰Toisena vaihtoehtona olisi ollut historiallisten yksikköhintojen käyttäminen ja näiden deflatoiminen (ks. Fang ja Han, 1998).

Vaihtoehtoisista suorituskyvyn muutosta koskevista oletuksista äkkikuolema-tyyppinen kuluminen on ehkä realistisin varsinkin nyt valitussa kuntatasoisessa tarkastelussa.

Jälleenhankintahintoihin perustuva menettely voi yliarvostaa varhaisempia investointeja jättäessään huomiotta hyödykkeen laadussa tapahtuneet parannukset. Toisaalta jälleenhankintahintojen käyttöä voidaan perustella sillä, että näin vältytään siltä tyypilliseltä deflaattorien ongelmalta, että ne jättävät huomiotta työn tuottavuudessa tapahtuneet muutokset (ks. esim. Piper, 1990).¹¹

Vakaan korkotason oletusta voi perustella halulla keskittyä oleelliseen.

Laskelmien proseduuri

Täydennetään vielä kaavoja (10) ja (11) liittämällä niihin kunnan k ja tieluokan ℓ indeksit sekä investoinnin käyttöönottovuosi s :

$$P_{t,s}^{k,\ell} = u_0^{k,\ell} \sum_{j=t}^N \phi_j \left(\frac{1+\alpha}{1+r} \right)^{j-t+1} - c_K^{k,\ell} \sum_{j \in T_k} \frac{1}{(1+r)^{j-t}}. \quad (10')$$

$$Q_{t,s}^{k,\ell} = w_0^{k,\ell} \sum_{j=t}^L \phi_j \left(\frac{1+\alpha}{1+r} \right)^{j-t+1}. \quad (11')$$

$c_K^{k,\ell}$ on alusrakenteen tai siltojen korjauskustannus, jonka suuruus voi riippua rakennuspaikasta k (kaupunki, taajama vai maaseutu) ja tien luokasta ℓ . Korjauskustannuksien riippuminen kunnan tyypistä ja tieluokasta aiheuttaa sen, että myös vuokrahinta $u^{k,\ell}$ riippuu niistä. Päälysrakenneinvestointiin liittyvä vuokrahinta $w^{k,\ell}$ voi riippua kunnan tyypistä ja tieluokasta, koska päälysteen pitoaika L voi riippua niistä.

¹¹Seuraava esimerkki valaisee tätä kustannusindeksien ominaisuutta. Oletetaan, että molempina vuonna, 0 ja 1, valmistettiin 1 kilometri tietä. Vuonna 0 rakentamisessa tarvittiin 100 h työtä (\acute{a} 1 euro/h) ja 100 tn massaa (\acute{a} 1 euro/tn) ja vuonna 1 vastaavasti 50 h työtä (\acute{a} 10 euroa/h) ja 100 tn massaa (\acute{a} 2 euroa/tn). Olkoon vuoden 0 indeksiluku 100, jolloin vuoden 1 indeksi saadaan kaavasta $I_1 = [(10/1)w_t + (2/1)w_m]100$. Painot w_t ja w_m määräytyvät työn ja massan kustannusosuuksien mukaan vuonna 0 eli $w_t = w_m = 0,5$. Sijoittamalla w_1 :n ja w_2 :n arvot indeksin lausekkeeseen saadaan $I_1 = 600$. Vuoden 0 kokonaiskustannukset ovat 200 euroa ja vuoden 1 kokonaiskustannukset 700 euroa. Käyttämällä saatua kustannusindeksiä vuoden 0 investoinnin saattamiseksi vuoden 1 "hintatasoon" tulokseksi saadaan 1200. Näyttäisi siis siltä, että vuonna 0 on valmistunut 1,7 kertainen määrä tietä vuoteen 1 verrattuna, vaikka todellisuudessa sitä valmistui yhtä paljon. Ongelma ei ratkea, vaikka painoina käytettäisiin vuoden 1 kustannusosuuksia. Se ratkeaa tässä tapauksessa käyttämällä lopputuotteen hintoihin perustuvaa indeksiä. Vuoden 1 indeksi on tällöin $100(700/200) = 350$.

Laskelmat etenevät seuraavasti:

- Tieinvestoinnit. Periodi kerrallaan jokaisen kunnan k jokaiselle tieluokalle ℓ arvioidaan investoinnit $I_j^{k,\ell}$ tien alusrakenteeseen:

$$I_j^{k,\ell} = c_I^{k,\ell} dT_j^{k,\ell}. \quad (12)$$

$c_I^{k,\ell}$ on tien rakennuskustannus, joka riippuu kunnan tyypistä (kaupunki/taajama/maaseutu) ja tieluokasta ℓ . $dT_j^{k,\ell}$ on rakennettujen tiekilometrien lisäys kunnan k tieluokassa ℓ vuonna j .

- Uuden investoinnin vuokrahinta. Muodostetaan korjauskustannuksien nykyarvo investoinnin käyttöönottohetkellä s [viimeinen termi kaavassa (10')]. Asettamalla $P_{s,s} = 1$ uuden investoinnin vuokrahinta $w_0^{k,\ell}$ saadaan ratkaistua kaavasta (10') korjauskustannuksien nykyarvon ja annetun ikä-tehokkuus-profilin $\{\phi_j\}$ avulla. Sarjan $\{\phi_j\}$ j 's jäsen eri ikä-tehokkuusprofileissa on seuraava:

$$\begin{aligned} \phi_j &= 1 && \text{Äkkikuolema-kuluminen} \\ \phi_j &= (1 - \delta)^j && \text{Geometrinen kuluminen} \\ \phi_j &= 1 - \frac{rj}{rN + 1} && \text{Lineaarinen arvon aleneminen} \end{aligned}$$

- Varallisuushinnat. Lasketaan investointiin $I_j^{k,\ell}$ liittyvät varallisuushinnat $P_{t,s}^{k,\ell}$ investointihetkestä eteenpäin ($t = s, \dots, 2003$).
- Sillat. Siltojen suhteen menetellään vastaavalla tavalla kuin alusrakenteen kohdalla paitsi, että siltojen investointikustannukset määräytyvät mallista (ks. kohta 4.4). Sillat poikkeavat teistä myös siinä suhteessa, että annettuna vuonna annetun kunnan annetussa tieluokassa voi olla useita siltainvestointeja, joita jokaista käsitellään erikseen. Annetun kunnan annetussa tieluokassa annettuna vuonna on vain yksi tieinvestointi, tiekilometrien muutos ko. vuonna.
- Päälysteet. Lasketaan päälysteen uusimisen kustannukset kunnan k tieluokassa ℓ :

$$E_j^{k,\ell} = \left(\sum_{z=a,b} c^{z,k,\ell} s_j^{z,k,\ell} \right) T_j^{k,\ell}. \quad (9')$$

Päälysteen uusimisen kustannus $c^{z,k,\ell}$ riippuu päälystelajin z ($z = a, b$) ohella liikennemäärästä ko. kunnan ko. tieluokassa (ks. mallia kohdassa 4.3).

Lasketaan päälysteinvestointiin liittyvä vuokrahinta $w_0^{k,\ell}$ ja varallisuushinnat $Q_{t,s}^{k,\ell}$ ($t = s, \dots, 2003$) samalla tavalla kuin alusrakenteen

kohdalla edellä. Päälysteinvestointiin ei kuitenkaan nyt liity korjausinvestointeja.

- Varallisuuden arvo. Investointien ja niihin liittyvien varallisuushintojen avulla muodostetaan varallisuuden arvot eri vuosina:

$$W_t^{k,\ell} = \sum_{j=t_0}^t P_{t,j}^{k,\ell} I_j^{k,\ell} + \sum_{q=1}^{H_t(k,\ell)} \sum_{j=t_0}^t P_{s_{t,j}^{k,\ell}}(q) I_{s_j^{k,\ell}}(q) + \sum_{j=t_0}^t Q_{t,j}^{k,\ell} E_j^{k,\ell}, \quad (5')$$

missä sillan q investointikustannusta on merkitty $Is(q)$:llä ja siihen liittyviä varallisuushintoja $Ps(q)$:llä. $H_t(k, \ell)$ on siltojen lukumäärä kunnan k tieluokassa ℓ vuonna t . $t_0 = 1900$ eli tarkasteluperiodin ensimmäinen vuosi.

Varallisuushinnat voidaan edelleen aggregoida yli haluttujen alueiden ja tieluokkien. Koko maan varallisuusarvot saadaan summaamalla $W_t = \sum_k \sum_\ell W_t^{k,\ell}$.

- Varallisuushintoja vastaavalla tavalla (painoina vuokrahinnat) muodostetaan pääomapalvelusten volyyymi-indeksit.
- Varallisuusarvojen W_t ja kumuloituneiden investointien $\sum_{j=t_0}^t I_j$ avulla saadaan keskimääräiset varallisuushinnat P_t [kaava (5)]. Vastaavasti pääomapalveluiden volyyymi-indeksin S_t ja kumuloituneiden investointien avulla saadaan keskimääräisten vuokrahintojen arvot u_t [kaava (6)].

4 Aineiston rakentaminen

4.1 Lähteet

Investointeja ja korjauskustannuksia koskeva aineisto täytyy luoda eri lähteistä. Tärkeimmät lähteet ovat tiehallinnon ylläpitämät tie- ja siltarekisteri sekä tietilastot (ks. viitattu kirjallisuus).

Tierekisterin ja -tilastojen ongelmana on, että ne eivät ajallisesti ulotu riittävän kauas taaksepäin. Tietilastoista voi saada kuntatasoista tietoa vasta vuodesta 1970 lähtien. Kuntatasoista tietoa teiden päällystämistä voi tietilastoista saada vasta vuodesta 1980 lähtien. Liitteessä II on esitetty tietilastoista saatavien tietojen rakenne tämän tutkimuksen kannalta relevanttien muuttujien osalta.

Tierekisteri puolestaan antaa kuvan tieverkoston tämän hetkisestä tilanteesta. Tierekisteriin on kirjattu kaikki tieverkkoon viimeisimmäksi kohdistuneet toimenpiteet ja niiden suoritusvuodet. Toimenpide siis tavallaan antaa tieverkoston tieosuuksille "leiman", sen mukaan minkälainen toimenpide siihen on viimeisimmäksi kohdistunut. Käytetty toimenpideluokitus on seuraava:

- uuden tien rakentaminen
- rakenteen parantaminen
- suuntauksen parantaminen
- kevyt parantaminen.

Näiden lisäksi tieosuuden "leimana" voi olla "valtion haltuun" tai "ei tietoa".

Aina kun johonkin tieverkoston osaan kohdistuu jokin edellä mainituista toimenpiteistä, se rekisteröityy tieosuuden uudeksi "leimaksi", peittäen alleen vanhan. Tieosuuksiin liittyy toimenpideluokan (ja kilometrimäärän) lisäksi muutakin tietoa, kuten liikennemäärä, nopeusrajoitus ja tieluokka.

Myös päällysteiden suhteen tierekisteri antaa tieosuuksille leiman sen mukaan, minkälainen päällystystoimenpide siihen on viimeisimmäksi kohdistunut.

Siltarekisteristä on tätä tutkimusta varten saatu seuraavat tiedot kaikista Suomen silloista: tunnistekoodi, tien tyyppi, johon silta liittyy, rakennusvuosi, pinta-ala ja investointikustannus. Investointikustannuksia ja pinta-alatietoja ei kuitenkaan ole läheskään kattavasti.

4.2 Tieinvestoinnit

Vaikka tierekisteri antaa lähinnä kuvauksen nykyisestä tieverkostosta, sen tieosuuksille antamien 'leimojen' avulla voi tehdä johtopäätöksiä tieosuuksien perustamisajankohdista. Tieosuudet, joiden leimana on 'uuden tien rakentaminen', ovat varmuudella rakennettu ilmoitettuna vuonna. Muissa tapauksissa tieosuuksien rakentaminen on suoritettu joskus ennen leimaan liittyvää päivämäärää. Kun tielle tehdään rakenteen tai suuntauksen parantaminen tai kevyt parantaminen, se on rakennettu hyvän aikaa aikaisemmin. Mikä on tämä 'hyvä aika', riippuu tietysti toimenpiteen motiiveista. Jos motiivina on normaali peruskorjaus, tie on rakennettu 30...80 vuotta aikaisemmin sillä 30...80 vuotta on normaali alusrakenteen pitoaika (ks. myös liite I).

'Rakenteen parantamisessa' on todennäköisesti kysymys normaalista peruskorjauksesta. 'Suuntauksen parantamisen' yhteydessä tehdään yleensä myös samalla rakenteen parantaminen. 'Kevyt parantaminen' on suhteellisen uusi toimenpideluokka ja sen motiivit voivat olla hyvin erilaiset.

Jatkossa oletetaan, että jos tieosuuteen viimeisemmäksi kohdistunut toimenpide on 'rakenteen parantaminen', 'suuntauksen parantaminen' tai 'kevyt parantaminen', se on rakennettu 50 vuotta aikaisemmin.

Edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi tierekisterissä on vielä kaksi toimenpideluokkaa: 'valtion haltuun' siirtyneet tiet ja 'ei-tietoa' tiet eli tiet, joista ei ole muuta tietoa kuin tieluokka ja sijainti. Teiden siirtyminen valtion haltuun on keskittynyt 1920-luvun alkuun (lähes 3000 kilometriä) ja 1960-luvun alkuun (noin 20000 kilometriä). 'Ei tietoa' -teitä on hieman yli 3000 km.

Näiden tiettyyppien valmistumisajankohdan suhteen tehdään seuraavat oletukset. Jos tieosuuksien rakentaminen on kirjattu siirtyneeksi valtion haltuun, sen oletetaan valmistuneen tasaisesti 15 vuoden aikana ennen valtiolle siirtymistään. Jos tieosuudesta ei ole muuta tietoa (kuin sijaintikunta ja pituus), sen oletetaan valmistuneen tasaisesti vuosina 1900...1939.

Ylemmässä kuvassa 3 on esitetty tieverkostoon viimeisimmäksi kohdistuneiden toimenpiteiden ajoittuminen ja alemmassa kuvassa 3 on näiden perusteella edellä tehtyihin oletuksiin perustuen arvioitu uusien teiden valmistumisen volyyymi vuodesta 1900 lähtien. (Vuotta 1900 vanhempia merkintöjä ei tierekisterissä ole.)

Kuvan 3 mukaan tieverkoston perusta olisi luotu ennen 1950 lukua. Vuoden 1952 kohdalla näkyy yksittäinen korkea piikki valmistuneiden teiden

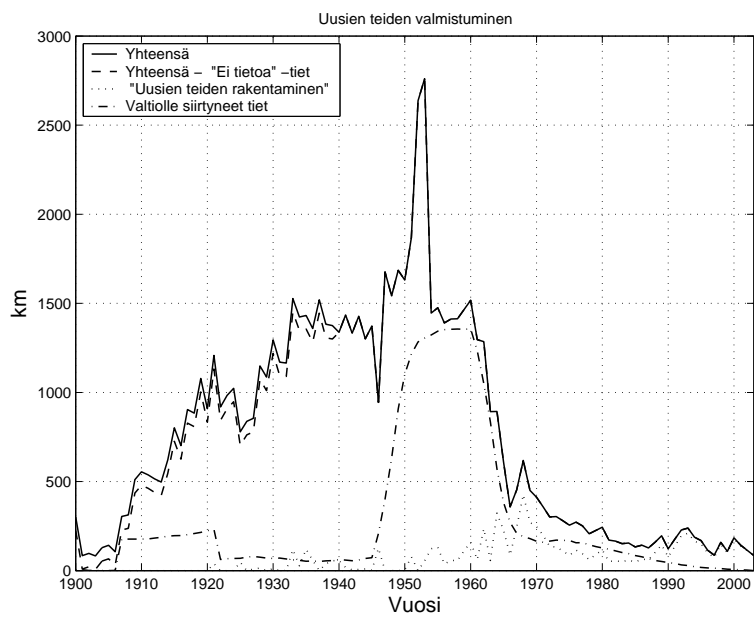
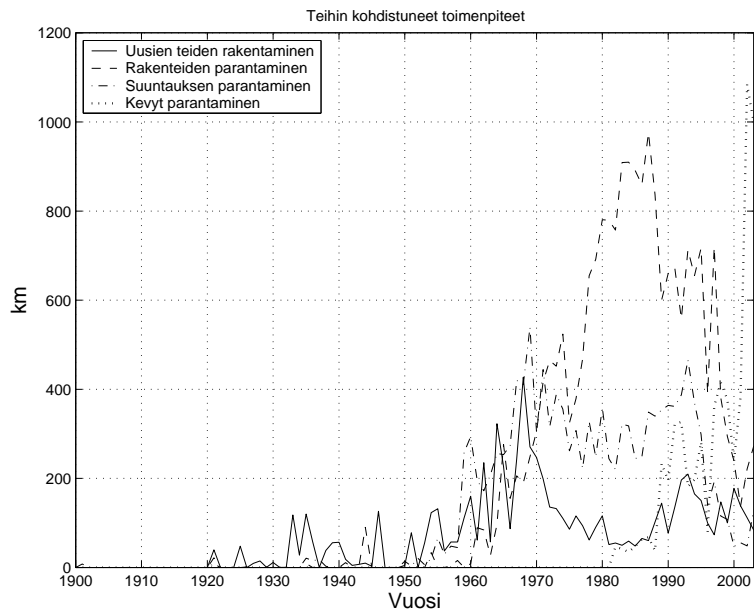
määrässä. Tämä johtuu suuresta “kevyesti parannettujen” teiden määrästä vuonna 2002 (yli 1000 km) ja 50 vuoden pitoajan oletuksesta. Tällaisen piikin olemassaolo on epätodennäköistä mutta sillä ei kuitenkaan jatkossa näytä olevan merkittävää vaikutusta tuloksiin.

Rakenteiden pitoaika on käytännössä voinut olla pienempi kuin 50 vuotta (vrt. kuva I.1 liitteessä I). Tässä tapauksessa tien rakentamisen ajankohta on arvioitu liian aikaiseksi. Tosin rakenteita on tien historian aikana voitu parantaa useampaankin kertaan. Jos näin on, tien rakentamisen ajankohta on arvioitu liian myöhäiseksi. Pitoajan pienentäminen siirtäisi tieinvestointien painopistettä myöhäisemmäksi ja rakenteiden parantamisen uusimiskertojen kasvattaminen aikaisemmaksi. Muiden tietolähteiden antama kuva tieverkoston kehityksestä ei selvästi tue kumpaakaan vaihtoehtoa. Kuvassa 4 on esitetty Suomen tieverkoston pituus vuosina 1930/1939/1970–2003 kolmen eri lähteen: tierekisterin, tietilastojen yhteenvetotaulukoiden ja tietilastojen kuntakohtaisten tietojen mukaan. Tierekisterin (2004) kuvaaja perustuu kuvaan 3 (se on “yhteensä”-käyrän pinta-alakäyrä). Vuosina 1955–2003 se on hienoisesti kahden muun kuvaajan yläpuolella. Tarkastelujakson loppupuolella vv. 1970–2003 erotus johtuu lähinnä siitä, että tierekisterin kuvaajaan on sisällytetty myös rampit. Nämä eivät ole mukana tietilastojen tiepituuk-sissa.

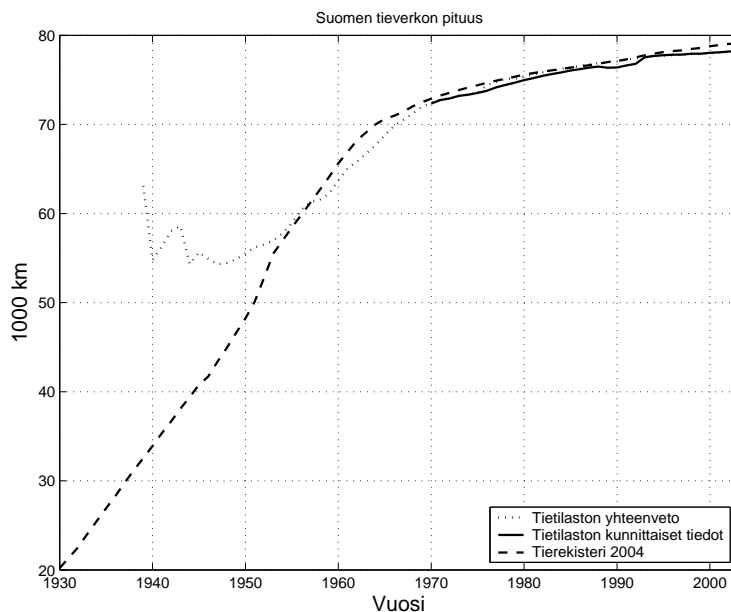
Jaksolla 1955–1970 tierekisterin kuvaaja on selvästi tietilaston yhteenvetotietoihin perustuvan kuvaajan yläpuolella. Suurimmillaan erotus, noin 1400 km, on vuonna 1965. Yksi selitys erotukseen saattaa olla liian pitkässä alus-rakenteen pitoajan oletuksessa.

Vuotta 1955 edeltävinä vuosina tierekisterin kuvaaja on tietilaston yhteenvetokuvaajan alapuolella ja erotus kasvaa mitä kauemmas ajassa taaksepäin siirrytään. Vuonna 1939 erotus on noin 30000 kilometriä! Eron täytyy johtua siitä, että tierekisteristä on poistettu siihen aikanaan sisältyneitä tieosuuksia. Luovutetuilla alueilla olevat tiet ovat selvä tapaus. On myös hyvin tiedossa, että tiestöä on erityisesti kasvukeskuksissa siirtynyt kunnan omistukseen, asemakaavoituksen piiriin. Tätä kuntien haltuun siirtymistä on jatkunut viime aikoihin saakka, mikä käy selvästi ilmi tarkasteltaessa tieverkoston kehitystä kuntatasolla (kuvia saa pyydettäessä tekijältä).

Tieverkoston kehityksen suhteen jää avoimia kysymyksiä. Tierekisterin (2004) tietoihin perustuva käyrä (kuva 4) on sopusoinnussa muiden lähteiden kanssa 1950-luvun puolivälistä lähtien. Mutta varhaisempien tietilastojen mukaan teitä vuosina 1940–1955 olisi ollut paljon enemmän kuin mitä tierekisterin (2004) tietojen avulla voisi päätellä. Mutta toisaalta tierekisterin (ja 50 vuoden pitoajan oletuksen) mukaan vuosina 1920–1950 olisi valmistunut suhteellisen paljon teitä (kuva 3). Yleinen käsitys on kuitenkin, että tieverkos-



Kuva 3: Teihin kohdistuneet toimenpiteet (ylempi kuva) ja arvio teiden valmistumisesta (alempi kuva)



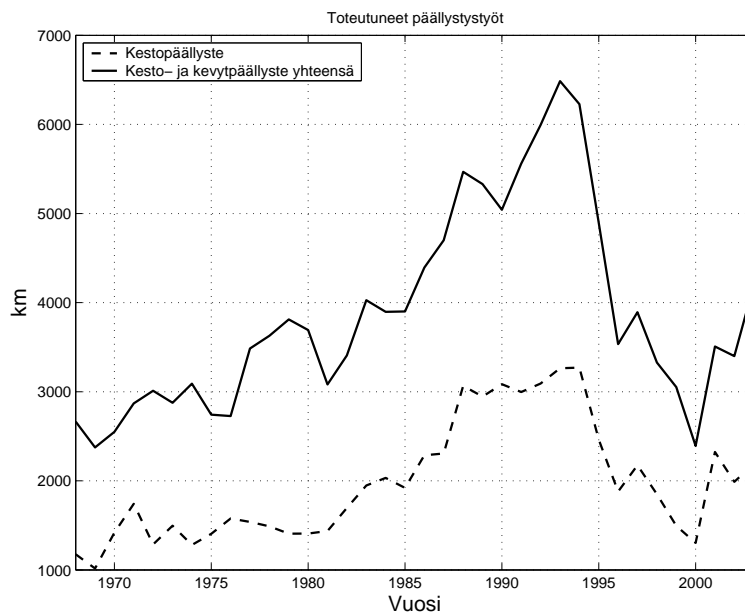
Kuva 4: Suomen tieverkon pituus eri lähteiden mukaan.

toa alettiin toden teolla rakentaa vasta 1950-luvun jälkeen, jolloin koneiden käyttö tien rakentamisessa alkoi yleistyä (ks. esim. Masonen ja Hänninen, 1995). Tosiasia kuitenkin on, että nämä ennen vuotta 1950 rakennetuksi oletetut tiekilometrit ovat tällä hetkellä olemassa. Jos niiden rakentamisajankohta ei sovi tarkastelujakson jälkimmäiselle puoliskolle, sen täytyy sopia ensimmäiselle.

Muutamasta avoimesta kysymyksistä huolimatta jatkossa nojaututaan tierekisterin (2004) tietoihin tiepituuksien arvioissa (kuvan 4 katkoviivalla piirretty käyrä). Se näyttää kuitenkin antavan parhaan mahdollisen käytettävissä olevan kuvan tieverkoston kehityksestä. Epätarkalla arvauksella tien rakentamisajankohdasta ei tien pitkistä pitoajasta johtuen ole suurta vaikutusta varallisuusarvoihin enää tarkastelujakson loppupuolella.

4.3 Päälysteiden uusiminen

Kuvassa 5 on esitetty toteutuneet päällystystyöt vuosina 1968–2003 tietilastojen mukaan. Lukuihin sisältyy sekä ensi kertaa päällystetyt tiet että teiden uudelleen päällystykset. Kuten kuvasta nähdään, päällystystöissä on ollut suurta ajallista vaihtelua, jonka on vaikea osoittaa olevan suorassa suhteessa liikennemäärien perustella arvioitavaan uudelleen päällystämisen tarpeeseen.



Kuva 5: Toteutuneet päällystystyöt (1000 km) (lähde: tietilastot).

Kuvassa 6¹² on esitetty eri päällystetyyppien päällystysosuuksien kehitys vuosina 1960–2003 kaikilla teillä sekä erikseen valta-, kanta- ja muilla maanteillä. Teiden päällystäminen on alkanut Suomessa vasta 1960-luvun taitteessa.¹³ Kesto- tai kevytpäällysteellä päällystettyjä teitä oli tarkastelujakson loppussa Suomessa lähes 65 % kaikista teistä. Päällystysasteet ovat kasvaneet jatkuvasti mutta hidastuvalla nopeudella. 1970-luvun “energiakriisi” hillitsi väliaikaisesti päällystysasteiden kasvua.

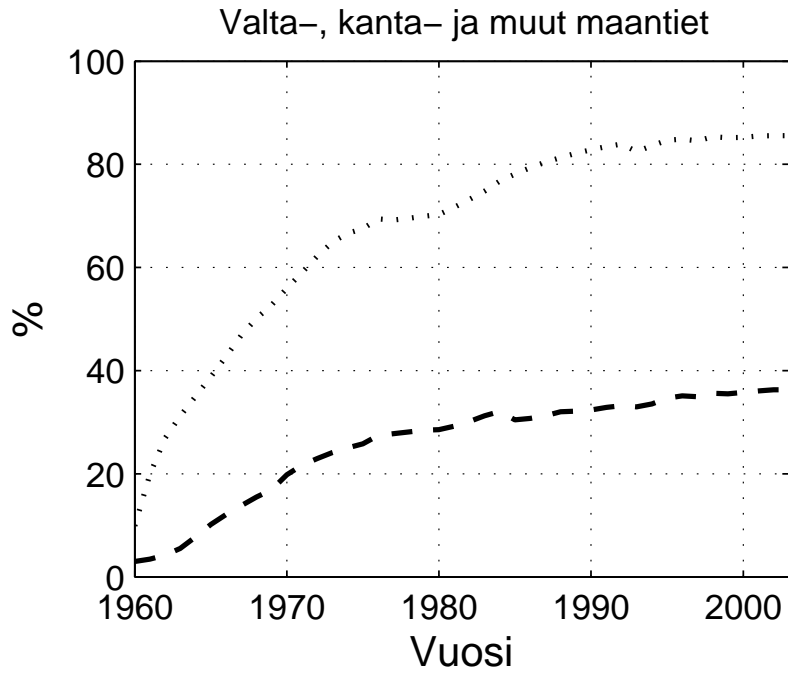
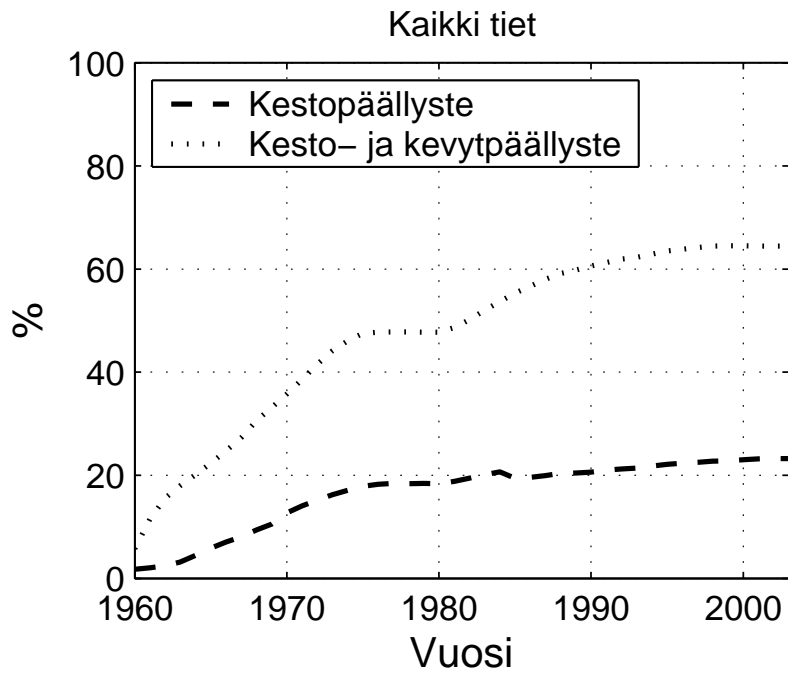
Tiedot toteutuneista päällystystöistä eivät valitettavasti ulotu kuntatasolle ja lisäksi tiedot päällystämisen varhaisemmilta vuosilta puuttuvat. Näistä syistä johtuen teiden uudelleenpäällystämisen tarve arvioidaan tarkoitusta varten kehitettävällä mallilla. Vaikka malli ‘pistää mutkia suoriksi’, sen voi uskoa tuottavan keskimääräisesti uskottavia lukuja – perustuuhan se havaintoihin toteutuneista päällystyksistä.

Teiden päällystysohjelma

Päällysteen keskimääräisen uusimisasteen eri tie- ja päällysteluokissa oletetaan riippuvan liikennemäärästä (keskimääräinen vuorokausiliikenne, kvl).

¹²Vuoden 2003 luvut on korjattu aikaisempien vuosien tieluokittelun mukaisiksi.

¹³Vuonna 1958 päällystettiin ensimmäinen tie Suomessa, öljysoralla. Vuonna 1960 Suomessa oli soraa kestävämmillä aineilla päällystettyjä teitä vain 760 km (Hänninen, 1995).



Kuva 6: Päällystysasteet (%) (lähde: tietilastot).

Tämä riippuvuus (jatkossa “p-funktiot”) estimoidaan siten, että ensiksi muodostetaan (annetulle päällysteelle annetuissa tieluokissa) päällysteen ikäjakaumat eri liikennemääräluokissa, seuraavaksi muodostetaan näihin ikäjakumiin liittyvät keskimääräiset uudelleenpäällystysasteet, jotka lopuksi suhteutetaan liikennemääräluokkien luokkakeskiarvoihin. Eri tie- ja päällystetyypeille saadaan (periaatteessa) omat p-funktionsa.

Liitteessä V on esitetty tierekisteristä saadusta aineistosta muodostetut päällysteiden ikäjakaumat erikeen moottoriteille (ml. 2-ajorataiset tiet ja moottoriliikennetiet; nämä ovat kaikki kestopäällystettyjä teitä) sekä kesto- ja kevytpäällysteellä päällystetyille teille (pl. moottoritiet).¹⁴ Havaintojen avulla muodostettujen sovitteiden oletetaan noudattavan Gaussin käyrää¹⁵:

$$y = ae^{-\left(\frac{x-b}{c}\right)^2},$$

missä a , b ja c ovat parametrejä.

Olettamalla päällysteen maksimaaliseksi pitoajaksi 30 vuotta päällysteen keskimääräinen uusimisaste annetussa päällyste- ja liikennemääräluokassa saadaan kaavasta (8). Liitteen III ikäjakaumasovitteiden avulla saadaan päällysteille taulukossa 1 esitetyt keskimääräiset uusimisasteet.

Taulukko 1: Päällysteen keskimääräiset uusimisasteet (p).

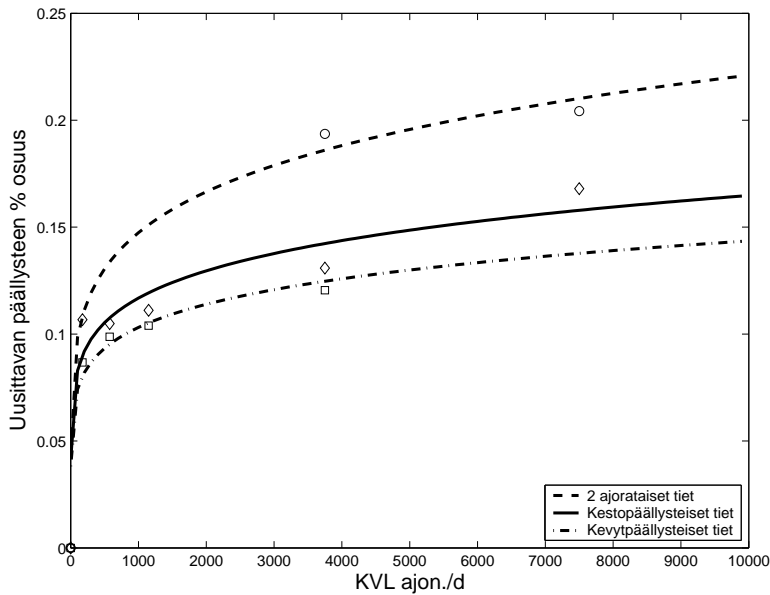
Tie-/ päällystetyyppi	kvl <350	(ajon./d) 350...800	800...1500	1500...6000	> 6000
2-ajorataiset tiet	–	–	–	0.1936	0.2042
Kestopäällyste	0.1067	0.1049	0.1111	0.1309	0.1680
Kevytpäällyste	0.0860	0.0987	0.1040	0.1205	–

Päällysteen uusimisen frekvenssiä on tavallisemmin ehkä kuvattu päällysteen keskimääräisellä kiertoajalla. Päällysteen keskimääräinen kiertoaika saadaan keskimääräisen uusimisasteen käänteislukuna. Liitteen VI taulukossa VI.1 on taulukon 1 keskimääräiset uusimisasteet muutettu kiertoajoiksi.

Taulukon 1 arvojen ja vastaavien liikennemäärien luokkakeskiarvojen avulla muodostetaan seuraavaksi sovite, joka kuvaa päällysteen keskimääräisen uusimisasteen riippuvuutta liikennemäärästä (p-funktio). Sovitekäyrän muodoksi valitaan potenssifunktio $y = ax^b$. Sen kertoimiksi saadaan taulukossa 2 esitetyt arvot. Kuva 7 havainnollistaa estimoituja p-funktioita. (Liitteen IV

¹⁴Aineistossa päällystetyt tiekilometrit eri tie-, liikennemäärä ja päällysteluoissa on jaettu ikäryhmiin sen mukaan, mikä on ollut päällysteen ikä viimeisimmän uusimiskerran yhteydessä.

¹⁵Gauss-jakauma sopi hieman paremmin havaintoihin kuin yleisesti käytetty Weibull-jakauma.



Kuva 7: Päällysteen keskimääräinen uusimisaste liikennemäärän funktiona.

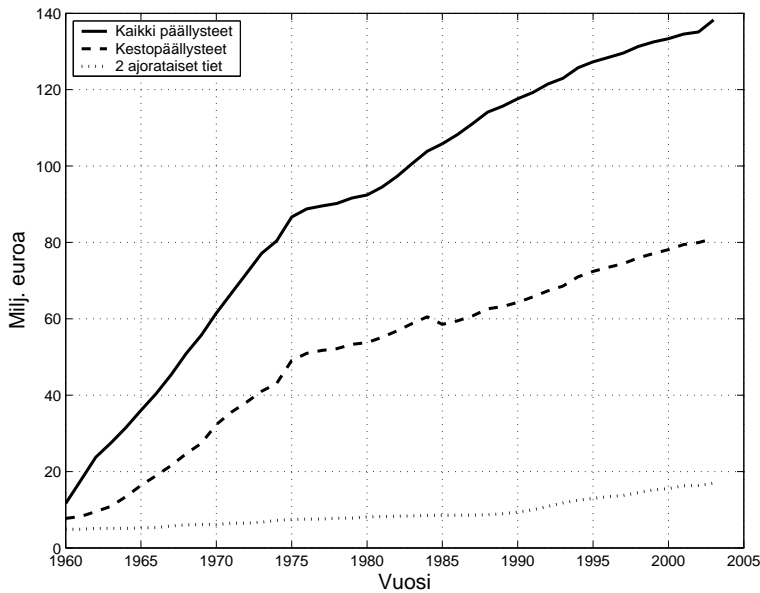
kuvassa IV.1 on esitetty vastaavasti päällysteen keskimääräisten kiertoaikojen ja liikennemäärän välinen riippuvuus.)

Taulukko 2: p-funktion parametrit.

Tie-/päällystetyyppi	a	b
2-ajorataiset tiet	0.04368	0.1761
Kestopäällyste	0.04157	0.1496
Kevytpäällyste	0.03820	0.1437

Päällysteiden uusimiskustannukset annetussa kunnassa, annetussa tieluokassa annetulle päällystetyypille annettuna vuonna voidaan nyt arvioida seuraavasti:

1. Todetaan päällystettyjen teiden pituus.
2. Todetaan liikennemäärä.
3. Muodostetaan arvio päällysteen keskimääräisestä uusimisasteesta kuvan 7 sovitteiden avulla. Kertomalla uusimisaste päällystettyjen teiden pituudella saadaan päällystettyjen teiden pituus.
4. Todetaan päällystystyön yksikkökustannukset. Kunnan tyyppi (kaupunki/taajama/maalaiskunta) ja tieluokka vaikuttavat yksikkökustannukseen (liite IV).
5. Kertomalla yksikkökustannus päällystettyjen teiden pituudella saadaan päällysteen uusimiskustannus.



Kuva 8: Päällysteen uusimiskustannukset: laskennallinen arvio.

Kuvassa 8 on esitetty laskennallinen arvio päällystystöiden kustannuksista vuosina 1960–2003. (Vuotta 1960 edeltävien vuosien päällystyskustannukset on oletettu nollassi; päällystettyjen teiden määrä oli tänä ajanjaksona suhteellisen pieni.) Arviot ovat sopusoinnussa toteutuneiden päällystyskustannuksien kanssa (kuva 5). Laskennalliset arviot leikkaavat pois 1990-luvun alkupuolen “päällystysboomin” ja korjaavat 1990-luvun loppupuolen “päällystyslamaa”.¹⁶

Lopuksi vielä muutama huomautus. Ensiksi, laskennallinen arvio sisältää vain päällysteen uusimisen, ei päällystysasteiden kasvattamisesta aiheutuvia päällystystöitä. Osa päällystysasteen kasvusta johtuu uusien teiden rakentamisesta ja päällysteet sisältyvät jo tien rakennuskustannuksiin. Toiseksi, käytetyt uudelleenpäällystysasteet voivat jossain määrin yliarvioida todellisia uudelleenpäällystysasteita, sillä ikäjakauman vasempaan häntään sisältyviä lukuja on vaikea perustella normaalilla kulumisella. (Eri syistä johtuen päällysteitä kuitenkin todellisuudessa uusitaan jossain määrin jo 1–3 vuoden ikäisenä.)

Lopuksi on syytä mainita, että laskennalliset arviot todennäköisesti yliarvioivat varhaisempien vuosien päällystystöitä- ja kustannuksia, jolloin nastarenkaiden käyttö ei vielä ollut Suomessa yhtä yleistä kuin nykyään.

¹⁶Pieni pudotus kestopäällysteiden kohdalla vuonna 1985 johtuu siitä, että tietilastossa on vuoden 1985 kohdalla pudotus kestopäällystettyjen teiden määrässä.

4.4 Sillat

Kuvassa 9 on esitetty vuosina 1900–2003 valmistuneiden siltojen lukumäärä ja niiden keskimääräinen pinta-ala. Kaikkiaan aineistossa on 14175 siltaa. Näistä tarkastelujen ulkopuolelle suljetaan ennen vuotta 1900 valmistuneet sillat, joita on muutamia kymmeniä. Mukaan ei myöskään ole otettu siltoja, joista puuttuu tieto pinta-alasta tai valmistumisvuodesta. Tällä perusteella hylättyjä tietoja on 206 kappaletta.

Tietoja siltojen rakennuskustannuksista on vain pienestä osasta siltoja. Näiden tietojen avulla voidaan kuitenkin rakentaa kustannusmalli, jonka avulla muiden siltojen rakennuskustannukset voidaan arvioida.

Kustannusmalli on yksinkertainen: siltojen rakentamisen yksikkökustannuksen (y) (per m^2) oletetaan riippuvan vain sillan pinta-alasta (x):

$$y = ax^b + c, \quad a > 0, b < 0, c > 0.$$

a , b ja c ovat parametreja, jotka estimoidaan siltarekisteristä saadun aineiston avulla.¹⁷

Siltarekisterin aineistosta lasketaan ensiksi siltojen yksikkökustannukset niille vuoden 2000 jälkeen rakennetuille silloille, joista on tiedossa pinta-ala ja investointikustannus. (Aineistoon sisältyvissä investointikustannuksissa ei ole mukana suunnittelukustannuksia.) Eri aikaiset kustannukset muutetaan rakennuskustannusindeksillä vuoden 2000 hintatasoon. Yksikkökustannukset suhteutettuna sillan pinta-alaan ja niiden perusteella muodostettu sovite on esitetty kuvassa 10.¹⁸

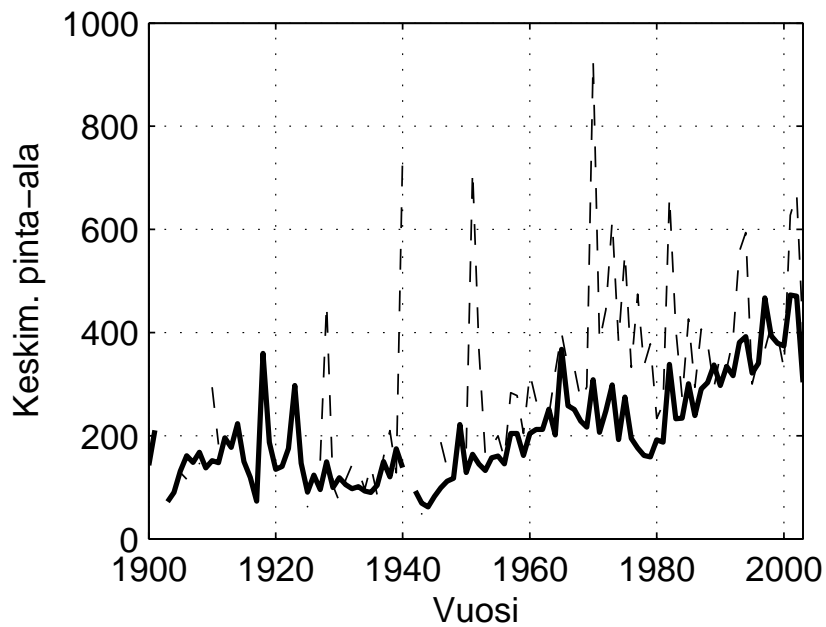
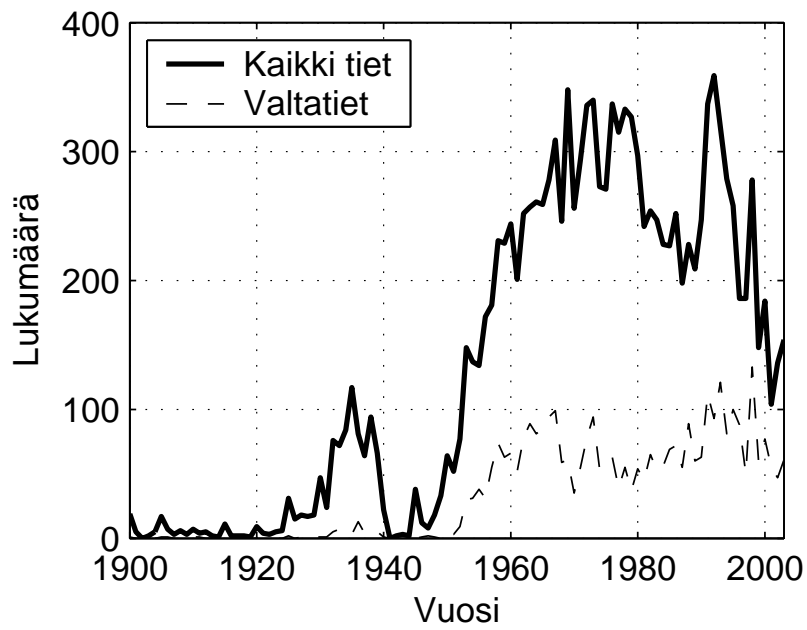
Kuvan 10 yksikkökustannusfunktion ja siltojen pinta-alatietojen avulla saadaan laskennallinen arvio kaikista siltainvestoinneista. Näihin lukuihin lisätään vielä arvioidut suunnittelukustannukset, 15 % investoinneista. Tulokset on esitetty kuvassa 11.

Tiehallinnosta saadun tiedon mukaan siltojen vuotuinen korjausrahoitus nousi 1980-luvulla 10 milj. euroon, missä se pysyi vuoteen 1998 saakka. Tämän jälkeen korjausrahoitusta nostettiin tasaisesti 34 miljoonaan euroon vuodessa vuonna 2005.

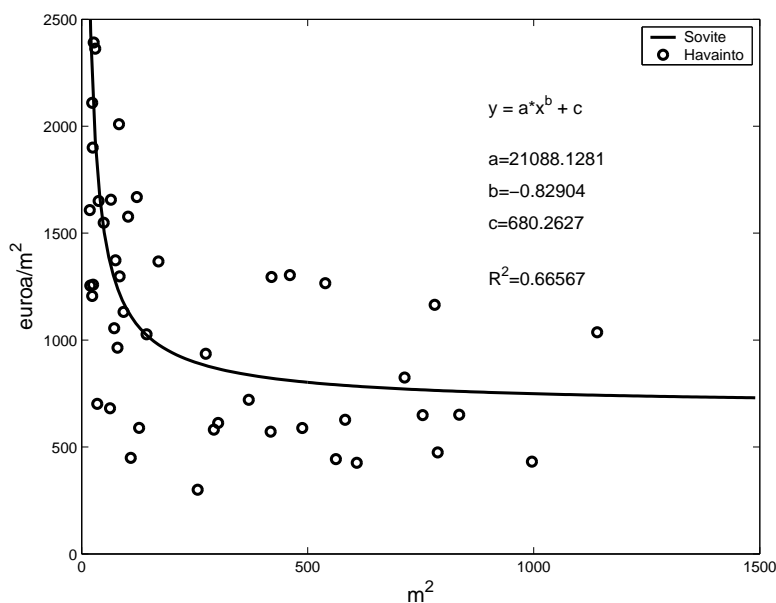
Siltainsinöörien mukaan siltoja tulisi peruskorjata 30...35 vuoden välein ja

¹⁷Mallissa jätetään huomiotta monia tekijöitä, kuten sillan materiaali, tyyppi tai rakennuspaikka. Yksinkertainen malli on kuitenkin tarkoitukseensa sopiva tässä yhteydessä.

¹⁸Eri tieluokkiin kuuluvien siltojen rakennuskustannuksissa ei voitu havaita oleellisia eroja.



Kuva 9: Uusien siltojen lukumäärä ja keskimääräinen pinta-ala (lähde: siltarekisteri).



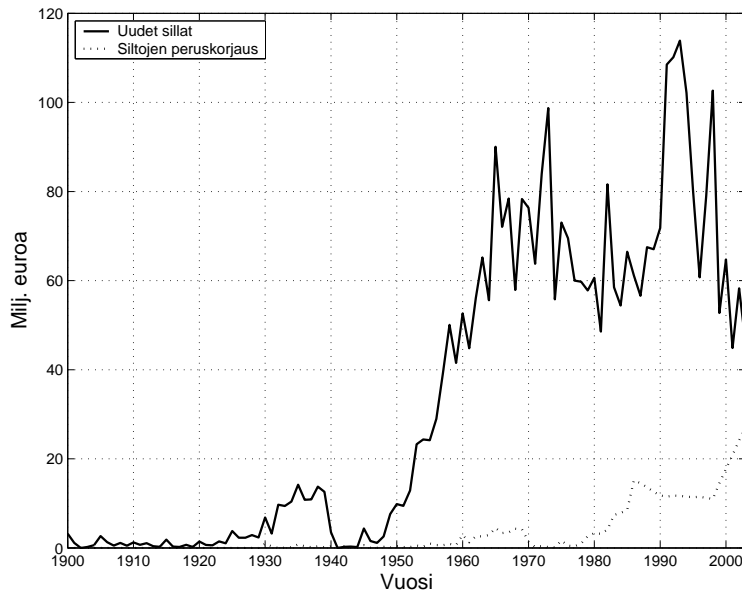
Kuva 10: Siltojen yksikkökustannukset (euroa/ m^2 ; pl. suunnittelukustannukset, v. 2000 hintataso).

siltojen peruskorjauksen yksikkökustannus on keskimäärin 350 euroa/ m^2 . Näillä tiedoilla laskettuna toteutuneet peruskorjausinvestoinnit vuosina 1985–2003 ovat jonkin verran laskennallisia peruskorjausinvestointeja pienemmät. Kuvassa 11 on esitetty laskennallisesti arvioidut siltainvestoinnit ja peruskorjauksien kustannukset. Vuoden 1985 ja myöhemmät korjauskustannukset ovat toteutuneita kustannuksia; aikaisemmat luvut ovat arvioituja (30 vuoden pitoajalla ja edellä mainituilla yksikkökustannuksilla).

4.5 Liikennesuorite

Liikennemääriä tarvitaan vuotuisten päällystysten määrän arvioimisessa. Kuntakohtaisia liikennemäärätietoja eri tieluokissa on saatavana vasta vuodesta 1985 lähtien. Vuosilta 1966–1984 on saatavana tiepiirikohtaisia tietoja. Vuosilta 1960–1965 on käytettävissä koko maan liikennemäärien kehitystä kuvaava indeksi. (Tietojen rakennetta on kuvattu liitteessä II.) Tiepiirikohtaisia tietoja ja koko maan indeksiiä on käytetty hyväksi arvioitaessa liikennemääriä kuntien tieluokissa vv. 1960–1985. Arvioissa on pyritty ottamaan huomioon toisaalta yleinen kehitys ja toisaalta vuosina 1985–2003 havaitut liikennemäärien erot kuntien ja tieluokkien välillä.¹⁹

¹⁹Tarkempaa tietoa arviointimenetelmistä saa tekijältä.



Kuva 11: Arviot siltainvestoinneista ja menoista peruskorjaukseen (v. 2000 hinnoin).

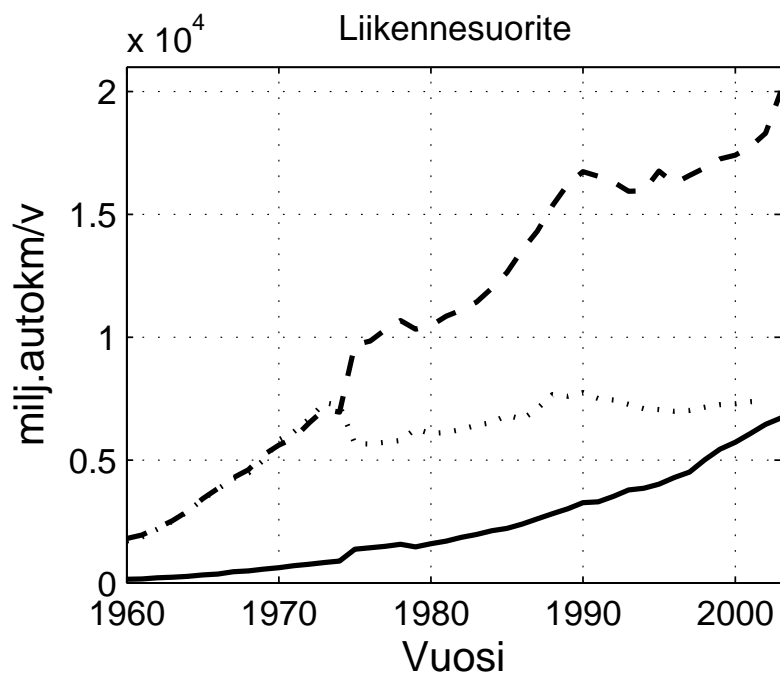
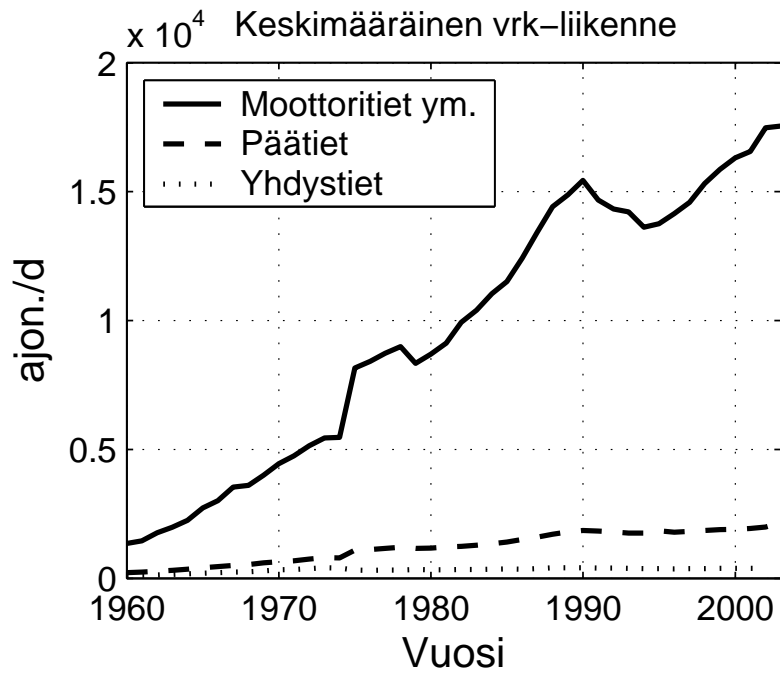
Kuvassa 12 on esitetty keskimääräisen vuorokausiliikenteen ja liikennesuoritteiden kehitys tarkastelujaksolla erikseen moottoriteillä (ml. moottoriliikennetiet ja muut 2-ajorataiset tiet), pääteillä ja yhdysteillä. Liikennemäärän kasvu oli viime vuosikymmeneen saakka suhteellisen tasaista. Vasta 1990-luvun alun lama pudotti liikennemääriä (moottoritiet) tai hidasti niiden kasvua.

4.6 Toteutuneet vs arvioidut investointimenot

Tässä kohdassa verrataan laskennallisia investointimenoja toteutuneisiin menoihin. Tietoja toteutuneista menoista ei voitu käyttää pääomalaskelmissa, koska ne eivät ole alueellisesti riittävän tarkasti eriteltyjä ja koska niiden sisältöä on usein vaikea selvittää. Nämä luvut saattavat kuitenkin olla hyödyllisiä arvioitaessa miten hyvin investointimenojen laskennallisessa arvioimisessa onnistutaan.

Laskennalliset menot perustuvat tätä tutkimusta varten kerättyyn aineistoon ja Tiehallinnon (2001) "Mitä maksaa?" julkaisusta kerättyihin yksikköhintoihin (liite IV). Toteutuneet investointimenot puolestaan perustuvat tiehallinnosta saatuihin tietoihin²⁰, jotka on deflatoitu tie- ja maanrakennus-

²⁰Kiitokset DI Heikki Blockille ja DI Pertti Virtalalle.



Kuva 12: Keskimääräinen vuorokausiliikenne ja liikennesuorite Suomen teillä vuosina 1960–2003 (Lähde: tietilastot).

kustannusindekseistä ketjuttamalla muodostetulla indeksillä^{21,22}.

Teiden investointikustannukset saadaan suoraviivaisesti kertomalla volyymin muutokset yksikköhinnoin. Yksikköhinnat riippuvat tietyylistä ja rakennuspaikasta (kaupunki/taajama/maaseutu). Maan hankintakustannuksia ei ole mukana kustannusarvioissa.

Laskennalliset teiden kunnossapidon kustannukset muodostetaan kertomalla toteutuneet rakenteen, suuntauksen ja kevyen parantamisen volyymit vastaavilla yksikköhinnoin (liite IV).

Kuvassa 13 on esitetty laskennallisesti saadut investoinnit (vuoteen 1960 saakka yhtenäinen ohut viiva, vuodesta 1960 lähtien katkoviivalla) sekä toteutuneet investoinnit vuoden 2003 hintatasossa. Valtion haltuun siirtyneiden teiden investointikustannukset on esitetty erikseen. Toteutuneista investoinneista on poistettu maa-alueiden hankintakustannukset.

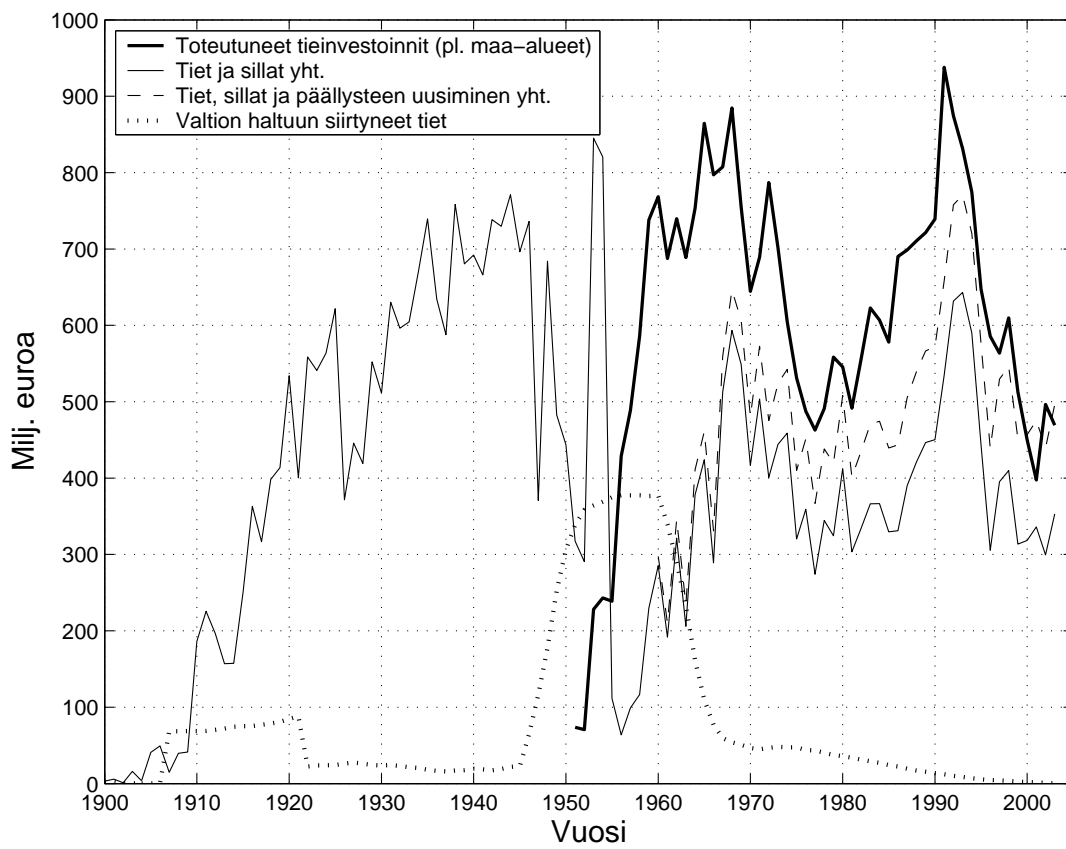
Toteutuneet ja arvioidut investointimenot ovat hämmästyttävän lähellä toisiaan. Tosin jälkimmäisten muutokset näyttävät seuraavan pienellä, 1–2 vuoden, viiveellä toteutuneiden investointien muutoksia. Tähän voi olla syynä se, että toimenpide on kirjattu tierekisteriin vasta sen valmistuttua mutta toteutuneita menoja on kirjattu sitä mukaa kuin niitä syntyy.

Laskennallisissa investoinneissa on käytetty vuoden 2000 hintatasossa olevia yksikköhintoja. Lisäksi niistä on jätetty ulkopuolelle pienempiä menoeriä, kuten investoinnit erilaisiin oheislaitteisiin (opasteet, valaistus, kevyen liikenteen väylät jne.). Näistä syistä arvioidujen investointimenojen voi olettaa olevan jonkin verran todellisten menojen alapuolella. Arvioidut luvut ovat kuitenkin hyvin sopusoinnussa toteutuneiden kanssa tarkastelujakson loppupuolella. Toteutuneet arvot viideltä viimeiseltä vuodelta yhteensä ovat vain 3,7 % arvioituja suuremmat.

Varhaisempina vuosina toteutuneiden ja laskennallisten investointien erotus on suurempi. Erityisen suuri se on jakson alkupäässä vuosina 1951–1970 ja sitten vuosina 1980–1992. Yhtenä selityksenä suurempiin eroihin voi olla valtion haltuun siirtyneiden teiden puuttuminen laskennallisista investoinneista. Jos ne lasketaan mukaan, koko jakson 1951–2003 toteutuneiden ja laskennallisten investointien erotus häviää lähes kokonaan! Eroa tasoittaa vielä se, että vuoteen 1952 asettuvan laskennallisten investointien korkean piikin tulisi ehkä olla jakautuneena tasaisemmin myöhemmille vuosille. Piikki

²¹Ensisijaisesti on käytetty tierakennuskustannusindeksiä silloin, kun sellainen on ollut saatavilla.

²²Suoritettujen laskelmien jälkeen ilmestyi RIL (2006) rakennusosahinnasto. Se olisi ehkä kuitenkin ollut liian yksityiskohtainen tämän tutkimuksen tarpeisiin.



Kuva 13: Toteutuneet ja laskennalliset tieinvestoinnit.

johtuu 50 vuoden pitoajan oletuksesta ja siitä, että vuodelle 2002 tierekisteriin on kirjattu poikkeuksellisen paljon toimenpiteitä, joiden nimikkeenä on “kevyt parantaminen”.²³

Toteutuneiden ja laskennallisten investointien sarjat näyttävät siis olevan melko hyvin yhteensopivia. Tähän johtopäätökseen voi kuitenkin heittää vielä muutaman kommentin:

- Vaikka valtio on aikanaan rahoittanut haltuunsa tulleita teitä, se on todennäköisesti rahoittanut niitä vain osittain. Todellisesta rahoitusosuudesta ei ole tietoa. Myöskään ei ole tarkempaa tietoa valtion haltuun siirtyneiden teiden valmistumisen ajankohdista. On kuitenkin epätodennäköistä, että valtiolle siirtyneet tiet yksinään selittäisivät suurta toteutuneiden ja laskennallisten investointien eroa vuosina 1951–1970.
- Laskennallisissa investoinneissa on tehty oletus tiestön laatu- ja varustetason vakioisuudesta (tarkasteluperiodin lopun taso). Tämä oletus todennäköisesti korottaa investointimenoja todellista suuremmaksi tarkastelujakson alkupäässä. On selvää, että pinnoitteiden laatu on parantunut, pientareiden leveydet ovat kasvaneet, tien geometria on parantunut, taajama-alueiden valaistusta on lisätty, suojateitä ja kevyen liikenteen väyliä on lisätty jne. Tosin nykyään myös säästetään joissain kohdin. Esimerkiksi pinnoitteiden laadun parantumisen ja kokemuksien myötä päällystemateriaalien käytössä säästetään menneisiin aikoihin verrattuna.

Yhtenä johtopäätöksenä voi todeta, että toteutuneiden investointimenojen deflatoinnissa käytetty kustannusindeksi todennäköisesti yliarvostaa varhaisempia investointeja. Tämän yliarvostuksen täytyy olla vähintään samaa suuruusluokkaa kuin tien parantuneen laatu- ja varustetason vaikutus tien investointikustannuksiin mutta todellisuudessa se on voinut olla vieläkin suurempaa.

Kustannusindeksi ei kuitenkaan ole ainoa toteutuneiden ja laskennallisten investointien eroa selittävä tekijä. Tämä koskee erityisesti tarkastelujakson loppupäätä. Laskennallisista investoinneista ehkä puuttuu eriä, joita toteutuneisiin investointeihin sisältyy (esim. liikenteen ohjaus- ja turvalaitteet). On mahdollista, että tierekisteristä on vuosien saatossa poistettu (valtion rahoittamia) teitä, jotka ovat mukana toteutuneissa investointimenoissa. Ja

²³“Kevyt parantaminen” on heterogeeninen toimenpideryhmä, jossa pitoajat saattavat vaihdella paljon, mutta ilman parempaa tietoa näiden toimenpiteiden laadusta, on tyydyttävä yhtenäisiin ja luontevan tuntuisiin oletuksiin.

on mahdollista, että toteutuneisiin investointeihin sisältyy sellaisia tekijöitä, joita sinne ei välttämättä pitäisi kuulua. Esimerkiksi päällystystyöt ovat saattaneet ajallisesti vaihdella tavalla, jota ei suoraan voi selittää todellisella kulumisella.

5 Tulokset

Kuvassa (14) on esitetty laskemalla saadun tievarallisuuden arvon kehitys vuosina 1900–2003. Tievarallisuuden arvo vuonna 2003 oli 37 mrd euroa. Siltojen osuus tästä oli 2,9 mrd euroa ja päällysrakenteen 0.84 mrd. euroa. Tievarallisuuden arvo vuonna 2003 oli 87 % bruttopääomasta eli edeltävien investointien kumulatiivisesta summasta.²⁴

Tievarallisuuden arvon kasvu johtuu uusien teiden rakentamisesta. Ilman niitä varallisuuden arvo olisi alkanut laskea kiihtyvällä nopeudella (kuva 1).

Kuvassa (15) on esitetty pääomapalveluiden volyyymi-indeksin (PPVI) kehitys vuosina 1900–2003. Vuoteen 1960 saakka sen kehitys on ollut lähes samanlaista kuin varallisuuden kehitys mutta tämän jälkeen se on kasvanut hieman varallisuutta nopeammin. Kehitys vaikuttaa luonnolliselta; pysyyhän investointiin liittyvä vuokrahinta ikä-tehokkuus -profilia koskevan oletuksen nojalla vakiona mutta varallisuushinta sen sijaan laskee kiihtyvällä nopeudella.

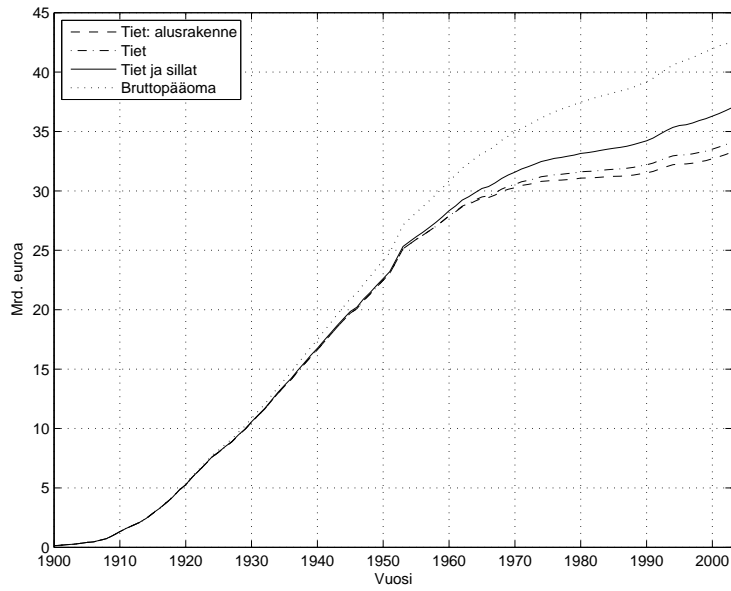
Tievarallisuuden keskimääräinen hinta (osuus bruttopääomasta) on laskenut tasaisesti 1:stä 0.865:en vuonna 2000, minkä jälkeen se on hieman noussut aivan tarkastelujakson lopussa²⁵. On ehkä yllättävää, että uusien teiden rakentamisesta huolimatta keskimääräinen varallisuushinta on laskenut vuoteen 2000 saakka. Tämä tarkoittaa sitä, ettei uusien teiden rakentamisen volyyymi tai niiden arvo ole ollut riittävän voimakas kompensoimaan vanhojen teiden arvon alenemista.

Pääomapalveluiden arvo pysyi vuoteen 1960 asti lähes vakiona, minkä jälkeen se on kasvanut 40 vuoden aikana noin 7 %. Kasvu on johtunut lähinnä päällystystöiden lisääntymisestä.

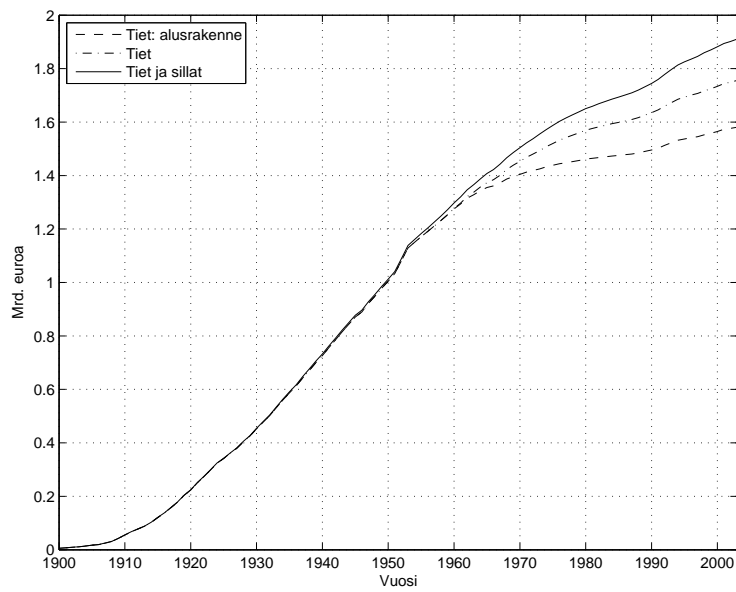
Kuvissa (17) ja (18) verrataan kolmea pääoman kulumista koskevaa oletusta: äkkikuolemaa, geometrista kulumista ja lineaarista arvon alenemista. Äkkikuolema-kulumisessa varallisuuden hinta alenee kiihtyvällä nopeudella. Lineaariseen arvon alenemiseen liittyy oletus lineaarisesta suorituskyvyn alenemisesta (kuva 1). Pääoman pitoajaksi jälkimmäisessä oletetaan 50 vuotta alusrakenteen ja siltojen osalta ja 10 vuotta päällysrakenteen osalta. (Nämä ovat tiehallinnon käyttämiä lukuja taselaskelmissa.) Geometrisessa kulumisessa kulumisasteeksi oletettiin $\delta = 0.03$.

²⁴Periaatteessa aineistossa olevasta tiekannasta ei ole hävinnyt mitään; jos jokin osa on kulunut, se on korvattu uudella osalla.

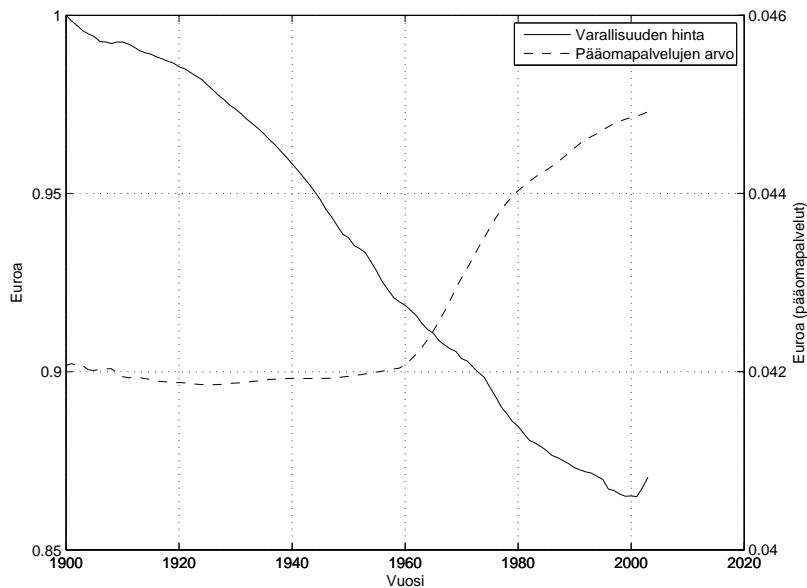
²⁵Järvenpää-Lahti moottoritien rakentamisen johdosta.



Kuva 14: Tievarallisuuden arvo vv. 1900–2003.



Kuva 15: Pääomapalveluiden volyymi-indeksi vv. 1900–2003.



Kuva 16: Varallisuuden hinta ja pääomapalveluiden arvo keskimäärin vv. 1900–2003.

Äkkikuolema-kulumisessa varallisuuden osuus bruttopääoman arvosta tarkastelujakson lopussa on edellä mainitut 87 %. Linearisessa arvonalenemisessä bruttopääomasta on jäljellä vain 27 % (kuva 17). Geometrisessa kulumisessa pääoman arvo näyttää aluksi alenevan voimakkaammin kuin lineaarisessa kulumisessa (vrt. myös kuva 1). Kulumisen voimakkuus on kuitenkin sidoksissa kulumisasteen δ arvoon. Pienemmällä δ :n arvolla varallisuuden arvon aleneminen näyttäisi lievemältä ja päinvastoin.

Äkkikuolema-kulumisessa tievarallisuuden arvo vuonna 2003 on aikaisemmin mainittu 37 mrd euroa. Linearisessa kulumisessa se on 11,5 mrd euroa. Linearisessa kulumisessa investointi häviää pääomakannasta 50 vuoden jälkeen. 1960-luvun taitteen jälkeen pääoman poistuma on alkanut ylittää pääomakannan bruttolisäyksen, mistä johtuen teiden varallisuusarvo on alkanut laskea. On yllättävää, että myös geometrisessa kulumisessa varallisuuden arvo näyttäisi alenevan 1960-luvulta lähtien. (Tosin tähän tulokseen vaikuttaa jälleen kulumisasteen δ arvo.) Varallisuuden arvon aleneminen on siis voimakkaampaa kuin pääoman bruttolisäys. Tämä ei ehkä ole yllättävää, jos katsoo tiestön kokonaispituuden kehitystä (kuva 4). Tieverkoston kasvu on 1960-luvun puolivälin jälkeen ollut oleellisesti hitaampaa kuin edeltävinä vuosikymmeninä.

Kulumistapa-oletuksen vaikutus varallisuuden arvoon on järkyttävän suuri.

Eroa selittää tapa, jolla varallisuuden hinta alenee varallisuusesineen ikään-
tyessä (kuva 1). Mutta siihen vaikuttaa myös se, että tosiasias-
sa eri kulumistapoihin liittyvät pitoajat poikkeavat. Lineaarisis-
sa kulumisessa esineen pitoaika on annettu vakio (tässä 50 vuotta). Äkkikuolemakulumisessa tie
korjataan säännöllisin välein (myös 50 vuotta tässä). Mutta äkkikuolemaole-
tuksessa investoinnin varallisuushinta laskee tässä ajassa (50 vuodessa) 1:stä
nollaan vain korjausinvestointia vastaavalta osalta. Alkuperäisen investoin-
nin ja korjausinvestoinnin erotus on suuri (ks. liite IV). Tämän erotuksen
osalta tien varallisuushinta laskee 1:stä nollaan paljon pidemmän ajanjakson
kuluessa (150 vuoden kuluessa tässä).

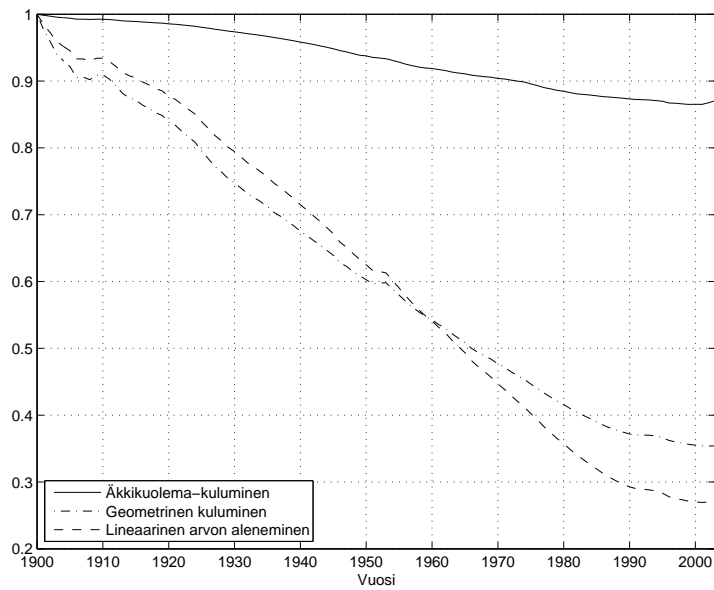
Lineaariseen kulumisoletuksella saatuja lukuja voi verrata tiehallinnon ta-
searvoihin. Molemmissa laskemisissa on käytetty samoja pitoaikaoletuksia.
Tiehallinnon tasearvot ovat noin 3,5 mrd euroa suuremmat kuin laskennal-
liset arvot. Molemmat sarjat ovat laskusuunnassa.

Siihen, miksi laskennalliset luvut lineaarisella arvon alenemisen oletuksella
ovat pienemmät kuin toteutuneet tasearvot, on useita mahdollisia selityksiä:

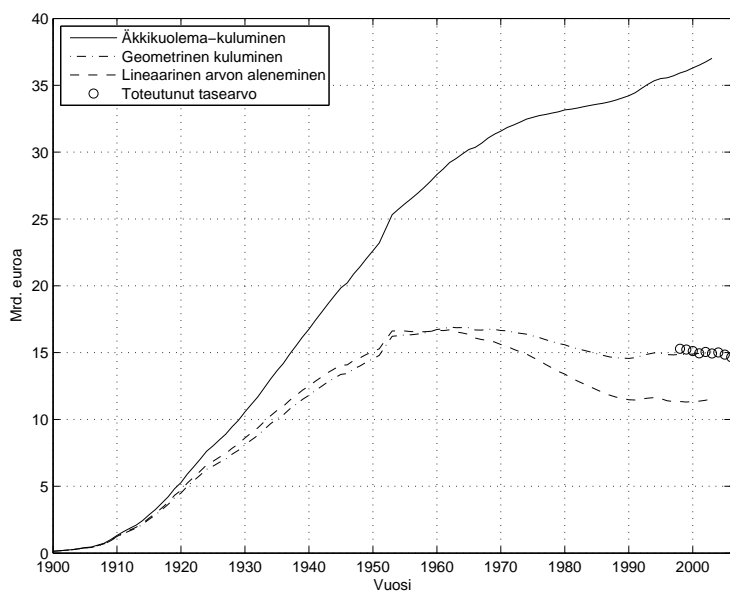
- Laskennallisesti arvioidut investoinnit ovat liian pieniä. Luvuissa ei ole
ehkä mukana kaikkia menoeriä, käytetyt yksikköhinnat ovat liian pieniä
tai arvioidut pitoajat ovat liian pitkiä.
- Teiden valmistumisajankohdat on arvioitu liian aikaisiksi. Myöhäisem-
mät valmistumisajat siirtäisivät kuvan 17 käyriä horisontaalisesti oi-
kealle, mikä pienentäisi eroa havaittujen tasearvojen ja laskennallisten
arvojen (lineaarinen kuluminen) välillä.
- Investointimenoissa, joihin tasearvot perustuvat, saattaa olla mukana
menoja, joita periaatteessa ei pitäisi lukea mukaan.²⁶ Erityisen suuri
vaikutus lukuihin on aloittavalla taseella. Kirjanpidollisia pääomalas-
kelmia alettiin tiehallinnossa tehdä vasta vuodesta 1998 lähtien, jolloin
tieverkostoa oli jo kehitetty vuosikymmenien ajan. Ei olisi mikään ih-
me, jos aloittavan tasearvon määrittämisessä olisi ollut mukana aimo
annos "harkintaa".

Oma mielenkiintonsa on sillä, miten tiepääoma on jakautunut eri tieluok-
kien kesken. Kuvassa 19 on esitetty tievarallisuuden kehitys kahdessa eri tie-
luokassa: pääteillä (mukaanlukien moottoritiet ja kaksiajorataiset tiet) sekä
yhdysteillä (kahden käyrän erotuksena kuvassa).

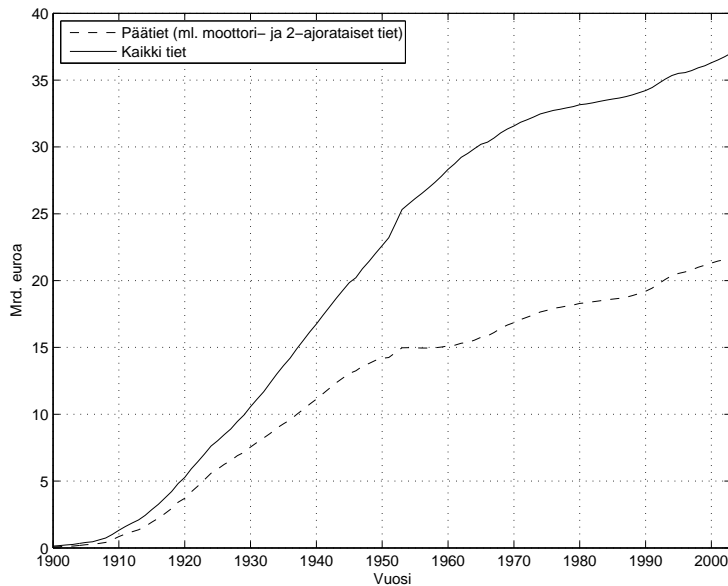
²⁶On avoin kysymys, pitäisikö esimerkiksi lyhytjännitteisestä suunnittelusta tai olosuh-
teiden äkillisistä muutoksista aiheutuva tehottomuus ottaa huomioon pääomalaskelmissa.



Kuva 17: Jäljellä olevan varallisuuden arvo alkuperäisistä investoinneista vv. 1900–2003 erilaisilla pääoman kulumista koskevilla oletuksilla.



Kuva 18: Varallisuuden arvo vv. 1900–2003 erilaisilla pääoman kulumisoletuksilla ja toteutuneet tasearvot vv. 1998–2006.



Kuva 19: Varallisuuden arvo eri tieluokissa vv. 1900–2003.

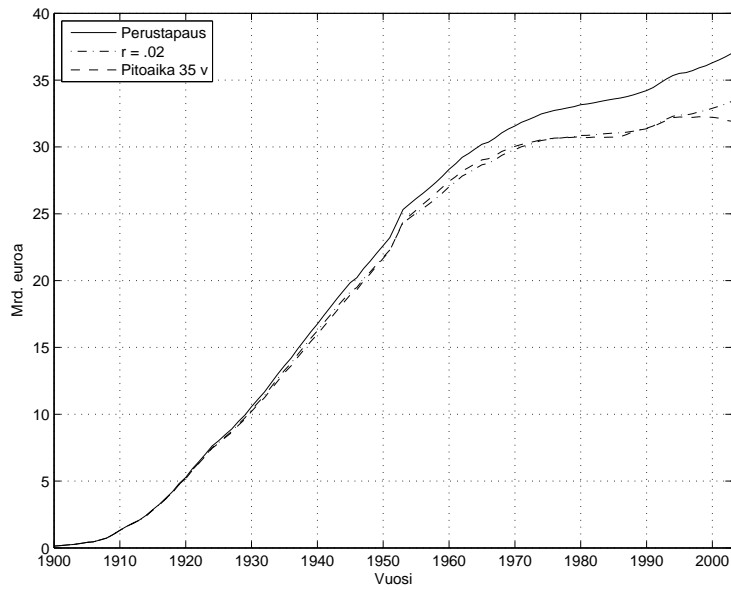
Yhdysteiden osuus tievarallisuudesta on kasvanut selvästi vuoden 1950 jälkeen, hieman yli kolmanneksesta vuonna 1950 hieman vajaaseen puoleen vuonna 2003.

Sillä miten tiepääoma jakaantuu eri tieluokkiin voi olla merkitystä taloudellisten vaikutusten kannalta. Pääteillä saattaa olla suurempi merkitys taloudellisen kasvun kannalta kuin yhdysteillä, jälkimmäisillä puolestaan suurempi merkitys alueellisen tasa-arvon kannalta.

Herkkyystarkasteluja

Koron lasku (nousu) pienentää (kasvattaa) uuden varallisuusesineen vuokrahintaa, kaikkia varallisuushintoja [kaavat $(10')$ ja $(11')$] ja siten myös varallisuusarvoja. Koron laskulla (nousulla) on sama vaikutus kuin ulkoisvaikutusterman (α) kasvulla (pienenemisellä). 2 %:n koron laskun vaikutus tievarallisuuteen vuonna 2003 on noin 5 mrd euroa (kuva 20). 2 %:n koron lasku vastaa 1.96 %:n positiivista ulkoisvaikutusta.

Tien peruskorjausvälien lyhentäminen laskee varallisuushintoja. Käsillä olevassa mallissa sillä on myös se vaikutus, että koko tien pitoaika lyhenee. (Koko tien pitoajaksi on oletettu 3 kertaa peruskorjauksien välinen aika.) Tien



Kuva 20: Koron ja pitoajan vaikutus tievarallisuuteen.

alusrakenteen peruskorjauksien välin lyhentäminen 50 vuodesta 35 vuoteen pienentää tievarallisuuden arvoa noin 7 mrd eurolla vuonna 2003 (kuva 20).

6 Yhteenveto

Tutkimuksessa on kehitetty tiepääoman laskemiseen soveliaista menetelmää. Korjausinvestoinnit ovat keskeinen osa laskentamenetelmää. Kaavat mahdollistavat myös ulkoisvaikutuksien huomioon ottamisen. Laskentamenetelmää on yritetty huolellisesti sovittaa käytettävissä olevaan dataan.

Tulokset riippuvat oleellisesti tien suorituskyvyn kehitystä (tien kulumista) koskevasta oletuksesta. Koska korjausinvestoinnit ovat mukana laskelmissa, tien suorituskyvyn voi perustellusti olettaa pysyvän vakiona koko tien pitoajan (”äkkikuolema”-tyyppinen kuluminen). Tällä oletuksella Suomen tiepääoman arvoksi vuonna 2003 saadaan 37 mrd euroa. Jos tie kuluisi sillä tavalla kuin kirjanpidollisen poistokäytännön yhteydessä implisiittisesti oletetaan — lineaarinen arvon aleneminen ja vastaavasti lineaarinen suorituskyvyn aleneminen — Suomen tiepääoman arvoksi työssä kehitetyllä laskentamenetelmällä ja aineistolla saataisiin 11.5 mrd euroa vuonna 2003. Toteutuneet ”oikeat” tasearvot ovat vain 3,5 mrd euroa suurempia!

Kehitetyllä laskentamenetelmällä voidaan tuottaa aineistoa Suomen tiepääoman taloudellisia vaikutuksia koskevalle tutkimukselle. Oletettavasti suuri merkitys on sillä, että lukuja voidaan tuottaa eri tavoin alueellisesti aggregoituina. ATK-pohjaisena menetelmä mahdollistaa myös pääoma-arvoihin vaikuttavien parametrien ja oletusten, kuten ulkoisvaikutusten olemassaolon tai ikä-tehokkuus-profilin, empiirisen testaamisen.

Laskentamenetelmää tulisi jatkossa kehittää siten, että se perustuisi yksityiskohtaisempaan, tieosuuksittaiseen dataan (vrt. Uimonen, 2008). Menetelmässä voitaisiin ottaa huomioon tien suorituskyvyn muutokset tiepäällysteen uusimisen ajankohtien välisinä aikoina. Tällainen malli voisi olla hyödyllinen myös tien kunnossapidon hallinnassa tai valtion budjetoinnin perustelujen kehittämisessä.

Lähteet:

- Aschauer D.A. 1989: Is public expenditure productive? *Journal of Monetary Economics* 23, 177–200.
- Barro R.J. 1990: Government spending in a simple model of endogenous growth. *Journal of Political Economy* 98, 103–125.
- Björkroth T. ja A. Kjellman 2000: Public capital and private sector productivity - A Finnish perspective. *Finnish Economic Papers* 13, 28–40.
- Cohen J.P. and C.J. Morrison Paul 2004: Public infrastructure investment, interstate spatial spillovers, and manufacturing costs. *The Review of Economics and Statistics*, 86, 551–560.
- Diewert W.E. 1980: Aggregation problems in the measurement of capital, s. 433–528. Teoksessa Usher (toim.): *The Measurement of Capital*. The Chicago University Press, Chicago.
- Diewert W.E. 2003: Measuring Capital. Working Paper 9526. NBER Working Paper Series.
- Durango P.L. and S.M. Madanat 2002: Optimal maintenance and repair policies in infrastructure management under uncertain facility deterioration rates: an adaptive control approach. *Transportation Research Part A*. 36, 763–778.
- Fang B. ja X. Han 1998: Highway capital stock: concepts and measurement. Second meeting of the Canberra group on capital stock statistics. Document nr. 22, OECD, Paris.
- Fisher W.H. and S.J. Turnovsky, 1998: Public investment, congestion, and private capital accumulation. *The Economic Journal* 108, 399–413.
- Fraumeni B.M. 1999a: Strategies for measuring productive highway capital stocks. Conference for information requirements for transportation economic analysis. August 19, 1999. Irvine, CA.
- Fraumeni B.M. 1999b: Productive Highway Capital Stock Measures. Federal Highway Administration Department of Transportation, January 1999.
- Gramlich E.M. 1994: Infrastructure investment: A review Essay. *Journal of Economic Literature* 32, 1176–1196.
- Hall R.E. and D.W. Jorgenson 1967: Tax policy and investment behavior. *American Economic Review* 57, 391–414.

- Hjerpe R. J. Kiander and M. Virén 2006: Are government expenditure productive? Measuring the effect on private sector production. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus. Keskustelualoitteita 381, Helsinki.
- Hulten C.R. 1990: The measurement of capital, teoksessa Berndt E.R. ja J.E. Triplett (eds.): *Fifty Years of Economic Measurement*, Studies in Income and Wealth. NBER Studies in Income and Wealth, vol. 54. The University of Chicago Press, Chicago.
- Hulten C.R. ja F.C. Wykoff 1996: Issues in the measurement of economic depreciation. Introductory remarks. *Economic Inquiry* 34, 10–22.
- Hänninen M. 1995: Kunnossapitäjän kesä, sivut 320–335. Teoksessa Masonen ja Hänninen (toim.): Pikeä, Hikeä, autoja.
- IMF (International Monetary Fund) 2004: Producer Price Index Manual. Theory and Practice. www.imf.org.
- Jorgenson D.W. 1973: The economic theory of Replacement and Depreciation. In *FEconometrics and Economic Theory*, ed. W. Sellekaerts, 189–221. New York, MacMillan.
- Jorgenson D.W. and Z. Griliches 1967: The explanation of productivity change. *The Review of Economic Studies* 34, 249–283.
- Kalliokoski A. ja A. Ruotoistenmäki 2000: Tien kunnan ja ajokustannusten välinen yhteys. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 19/2000.
- Li Y. ja S. Madanat 2002: A steady-state solution for the optimal pavement resurfacing problem. *Transportation Research, Part A*, 36, 525–535.
- Masonen J. ja Hänninen M. (toim.) 1995: Pikeä, hikeä, autoja. Tiet, liikenne ja yhteiskunta 1945–2005. Tuhat vuotta tietä, kaksisataa vuotta tielaitosta 3. Tielaitos. Painatuskeskus, Helsinki.
- OECD 2001a: Measuring Capital. OECD manual. Measurement of Capital Stocks, Consumption of Fixed Capital and Capital Services. www.sourceOECD.org.
- OECD 2001b: Measuring Productivity. OECD manual. Measurement of aggregate and industry-level productivity growth. www.sourceOECD.org.
- Piper P.E. 1990: The measurement of construction prices: retrospect and prospect, teoksessa Berndt E.R. ja Triplett J.E. (toim.): *Fifty Years of Economic Measurement*. NBER Studies in Income and Wealth, vol. 54. The University of Chicago Press, Chicago.
- RIL (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry) 2006: Infrarakentamisen kustannushallinta. Hanke- ja rakennusosahinnasto. RIL 231-2-2006.

Tiehallinto 2001: Mitä maksaa? Tienpidon kustannuksia 2001.

Tietilastot:

Suomen virallinen tilasto XIX:86–90: Tie- ja vesirakennukset vv. 1970–1974.

Tie- ja vesirakennuslaitos: Tie- vesirakennukset 1975, ..., 1988.

Tielaitos: Tie- ja vesirakennukset 1989.

Tielaitos: Tietilasto 1990,...,1999.

Tiehallinto: Tietilasto 2000,...,2003.

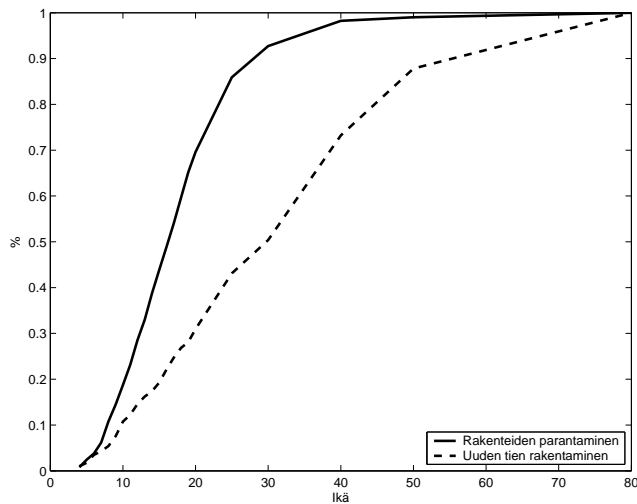
Triplett J.E. 1996: Depreciation in production analysis and in income and wealth accounts: resolution of an old debate. *Economic Inquiry* 34, 93–115.

Uimonen S. 2006: Suomen tiepääoma. *Tiehallinnon selvityksiä* 4/2006.

Uimonen S. 2008: Suomen infrastruktuuripääoma: rautatiet. VATT keskustelualoitteita. Ilmestymässä.

LIITE I: Tien pitoaika

Kuvassa I.1 on esitetty tierekisterin otoksista lasketut rakenteen ikäjakaumien kertymäfunktiot kahdentyyppisille toimenpiteille: rakenteiden parantamiselle ja uuden tien rakentamiselle. Rakenteiden parantamisen (rakentamisen) käyrä edustaa tapauksia, joissa viimeisin toimenpide on ollut rakenteiden parantaminen (uuden tien rakentaminen). Aikaisempi toimenpide on voinut olla mikä tahansa seuraavista: rakentaminen, rakenteiden parantaminen, suuntauksen parantaminen tai kevyt parantaminen. ‘Rakenteiden parantamisen’ käyrä edustaa 6700 tiekilometriä ja ‘uusien teiden’ käyrä 3800 kilometriä. Käyrien (tai niistä johdettavat tiheysfunktioiden) avulla on vaikea tehdä johtopäätöksiä oikeasta pitoajasta.



Kuva I.1: Toimenpiteiden ikäjakaumien kertymäfunktiot.

LIITE II: Tietilastojen 1960–2003 tie- ja päällystetiedot

Vuosijakso	KUNTA				TIEPIIRI			
	V_i	K_i	S_i	D_i	V	K	S	D
2003					X_V	X_K	X_S	X_D
	X_i	Y_i	Z_i		Y_V	Y_K	Y_S	Y_D
					Z_V	Z_K	Z_S	Z_D
1980...2002	V_i	K_i	M_i	P_i	V	K	M	P
					X_V	X_K	X_M	X_P
	X_i	Y_i	Z_i		Y_V	Y_K	Y_M	Y_P
1977...1979					Z_V	Z_K	Z_M	Z_P
	V_i	K_i	M_i	P_i	V	K	M	P
					X_V	X_K	X_M	X_P
1975...1976					Y_V	Y_K	Y_M	Y_P
					Z_V	Z_K	Z_M	Z_P
	V_i	K_i	M_i	P_i	T			P
1974					X_T			X_P
	T_i			P_i	Y_T			Y_P
					Z_T			Z_P
1972...1973						A		
						X_A		
						Y_A		
1970...1971						Z_A		
	T_i			P_i	T			P
					X_T			X_P
1965...1969					Y_T			Y_P
					Z_T			Z_P
					T			P
1960...1963					X_T			X_P
					Y_T			Y_P
					Z_T			Z_P
1960...1963						A		
						X_A		
						Y_A		
						Z_A		

V = valtatiet (km), K = kantatiet, M = muut maantiet, P = paikallistiet, alaindeksi i viittaa kuntatason tietoon; esim. V_i = valtateiden määrä (km) kunnassa.

S = seututiet ja D = yhdystiet.

T = maantiet (poislukien paikallistiet), A = kaikki maantiet (ml. paikallistiet).

X = kestopäällysteet (km), Y = kevytpäällysteet, Z = sorapäällysteet.
 $X_i/Y_i/Z_i$ = kesto-/kevyt-/sorapäällysteiden määrä kunnassa.

X_V = kestopäällystettyjen valtateiden määrä, X_K kestopäällystettyjen kantateiden määrä jne.

Tietilastojen 1960–2003 liikennemäärätiedot

Vuosijakso	KUNTA				TIEPIIRI				KOKO MAA
2003	L_{Vi}	L_{Ki}	L_{Si}	L_{Di}					
1985...2002	L_{Vi}	L_{Ki}	L_{Mi}	L_{Pi}					
1977...1984					L_V	L_K	L_M	L_P	
1966...1975					dL_{V+K}		dL_{M+P}		
1960...1965									DL

L_{Ji} keskimääräinen liikennemäärä (KVL, ajon./d) kunnan tieluokassa $J = V, K, S, D, M, P$.

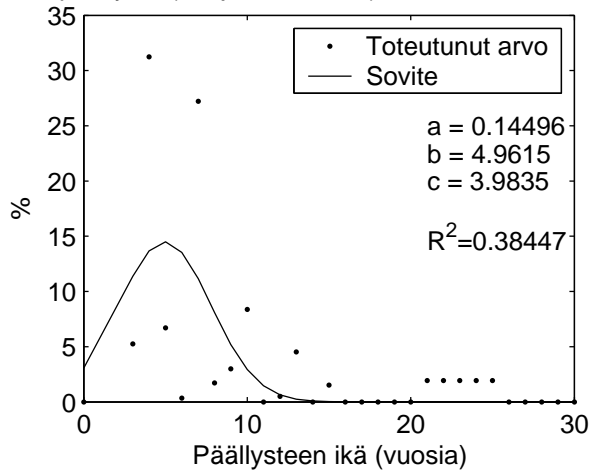
L_J = keskimääräinen liikennemäärä tiepiirissä tieluokassa $J = V, K, M, P$.

$dL_{V+K}[dL_{M+P}]$ = liikennemäärän kehitystä kuvaava indeksi tiepiirissä valta- ja kantateillä [muilla maanteillä ja paikallisteillä].

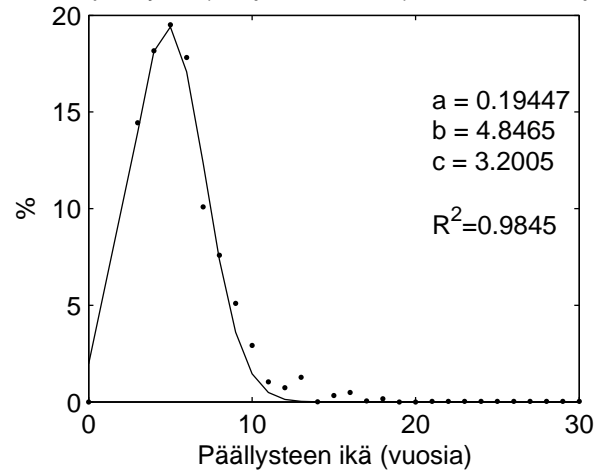
DL keskimääräisen liikennemäärän kehitystä kuvaava indeksi koko maassa.

LIITE III: Päällysteen ikäjakaumat

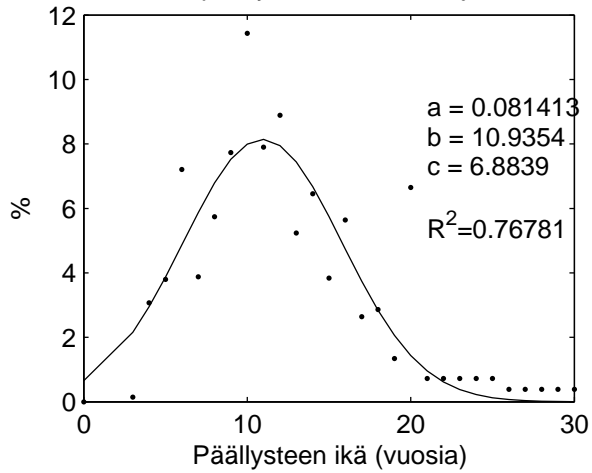
Kestopäällyste (2-ajorataiset tiet): KVL 1500...6000 ajon./d



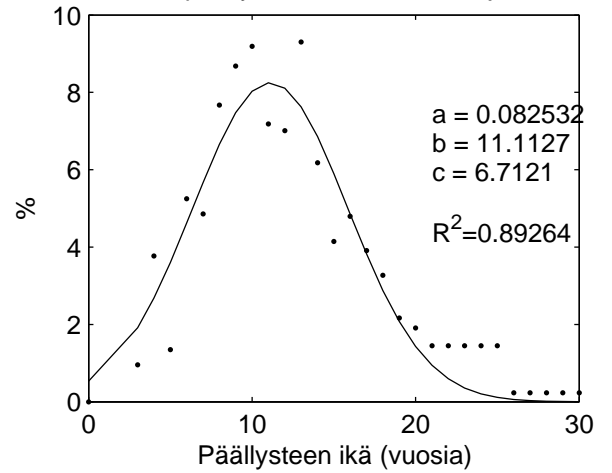
Kestopäällyste (2-ajorataiset tiet): KVL > 6000 ajon./d



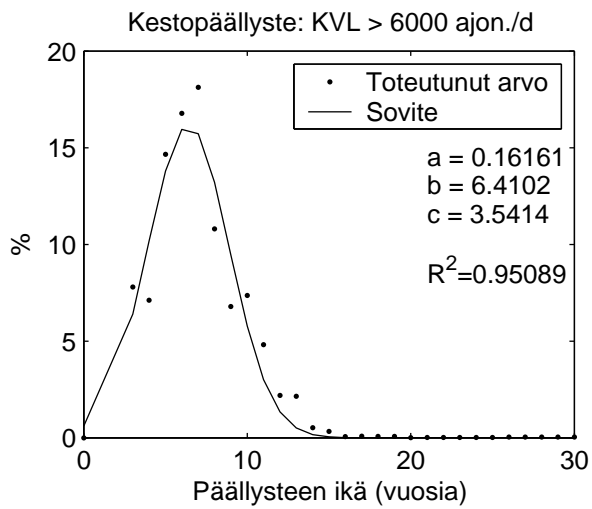
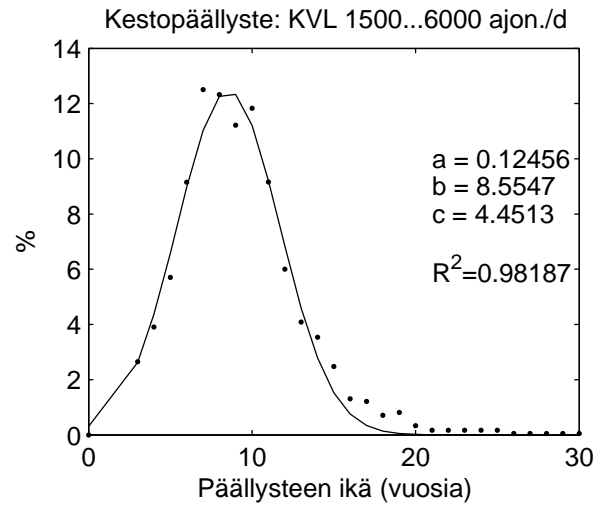
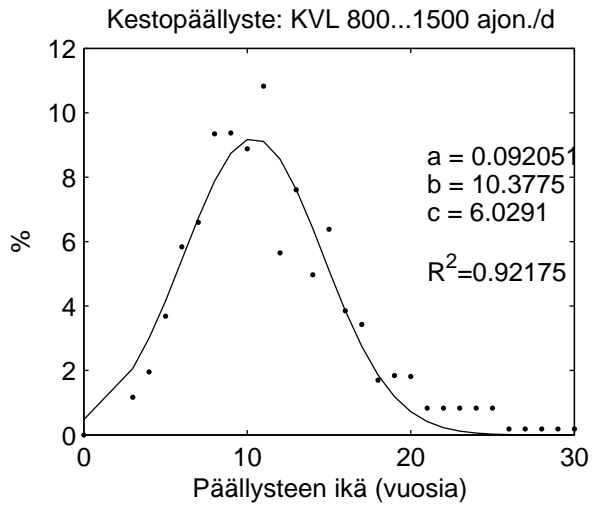
Kestopäällyste: KVL < 350 ajon./d



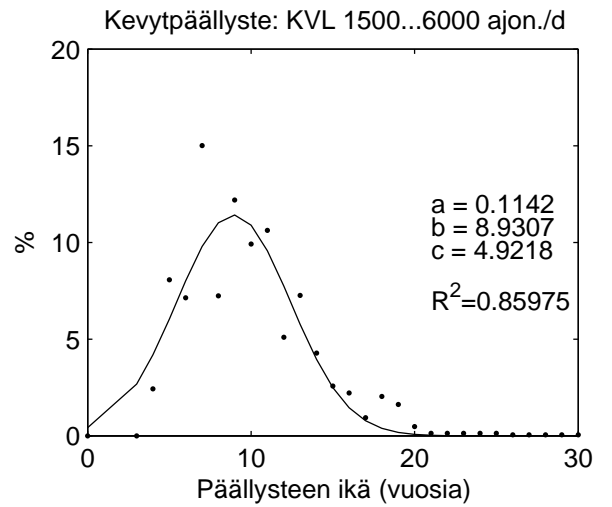
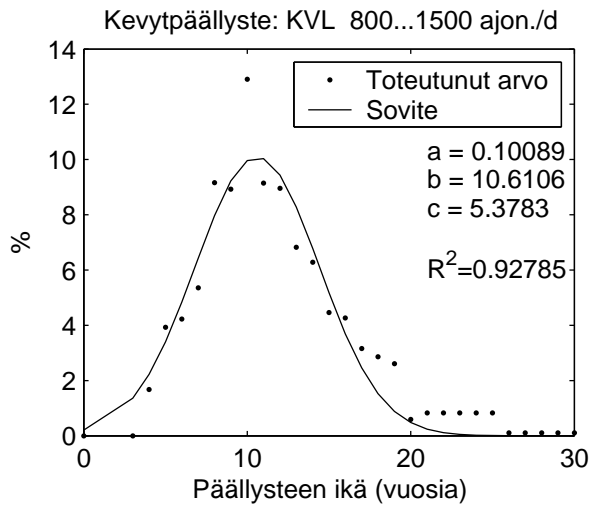
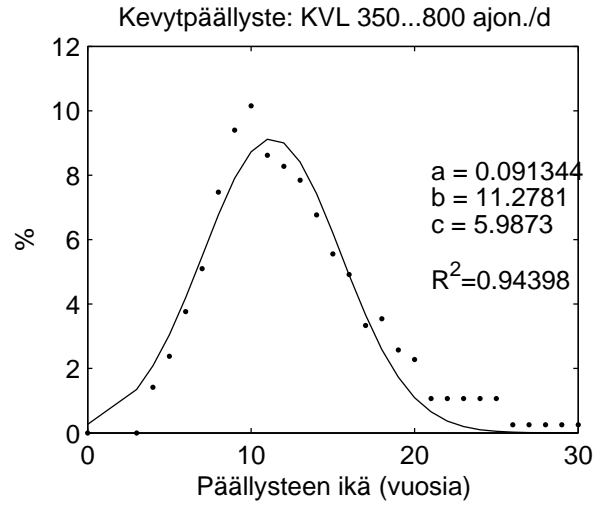
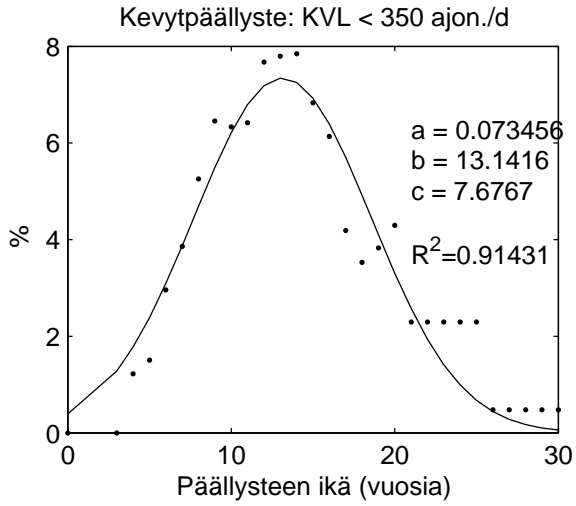
Kestopäällyste: KVL 350...800 ajon./d



Liite III jatkuu



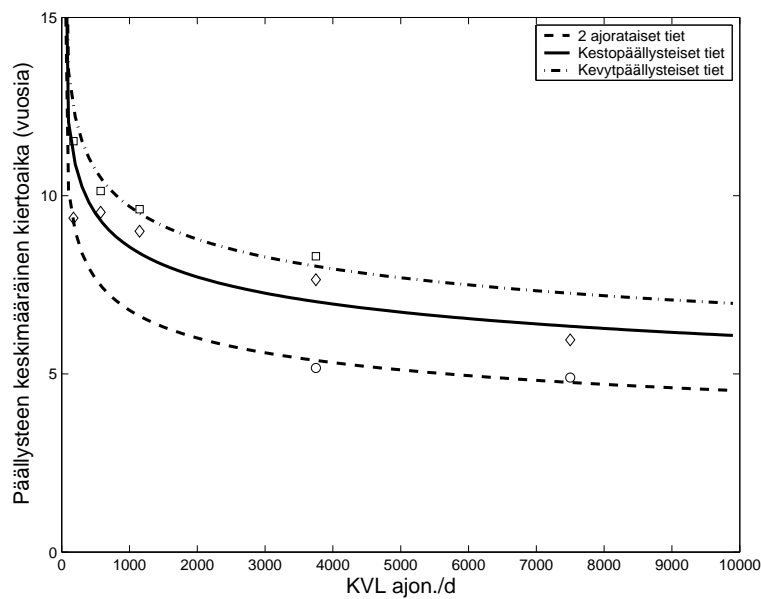
Liite III jatkuu



Liite IV: Päällysteen keskimääräinen kiertoaika

Taulukko IV.1: Päällysteen keskimääräiset kiertoajat eri liikennemääräluokissa (vuosia).

Tie-/ päällystetyyppi	kvl (ajon./d)				
	< 350	350...800	800...1500	1500...6000	> 6000
2-ajorataiset tiet	–	–	–	5.1653	4.8972
Kestopäällyste	9.3721	9.5329	9.0009	7.6394	5.9524
Kevytpäällyste	11.6279	10.1317	9.6154	8.2988	–



Kuva IV.1: Päällysteen keskimääräinen kiertoaika (vuosia) liikennemäärän funktiona.

LIITE V: Jälleenhankintahintoja

(vuoden 2000 hinnoin)

Uuden tien rakentaminen (c_I) (milj. euroa/km)

Tieluokka	Kaupunki	Taajama	Maaseutu
Moottoritie	3.70	2.03	1.48
Muu 2-ajor. tie	1.85	1.39	1.11
M1 -tie	1.48	1.29	0.97
Valtatie	0.92	0.74	0.66
Kantatie	0.74	0.55	0.47
Seututie	0.55	0.47	0.29
Yhdys-/paikallistie	0.37	0.29	0.24

Rakenteiden parantaminen (c_K) (milj. euroa/km)

Tieluokka	Kaupunki	Taajama	Maaseutu
Moottoritie	0.40	0.36	0.30
Muu 2-ajor. tie	0.35	0.30	0.25
M1 -tie	0.30	0.28	0.20
Valtatie	0.20	0.18	0.15
Kantatie	0.18	0.15	0.12
Seututie	0.17	0.15	0.10
Yhdys-/paikallistie	0.15	0.13	0.10

Suuntauksen parantaminen (milj. euroa/km)

Tieluokka	Kaupunki	Taajama	Maaseutu
Moottoritie	1.22	1.00	0.84
Muu 2-ajor. tie	1.10	0.90	0.70
M1 -tie	1.00	0.75	0.60
Valtatie	0.61	0.50	0.42
Kantatie	0.52	0.39	0.40
Seututie	0.42	0.34	0.24
Yhdys-/paikallistie	0.40	0.32	0.22

Kevyt parantaminen

Puolet rakenteiden parantamisen kustannuksista.

Tien uudelleen päällystäminen (c_{PA} ja c_{PB}) (euroa/km)

	Kesto	Kevyt
Moottoritie	80000	
Valtatie	30000	23000
Kantatie	25000	20000
Muu maantie	25000	20000
Yhtys-/paikallistie	25000	16000

**VATT-KESKUSTELUALOITTEITA / DISCUSSION PAPERS ISSN 0788-5016
- SARJASSA ILMESTYNEITÄ**

381. Hjerppe Reino – Kiander Jaakko – Virén Matti: Are Government Expenditure Productive? Measuring the Effect on Private Sector Production. Helsinki 2006.
382. Riihelä Marja – Sullström Risto: Väestön ikääntyminen, kulutus, säästäminen ja eriarvoisuus. Helsinki 2006.
383. Hynninen Sanna-Mari – Kangasharju Aki – Pehkonen Jaakko: Regional Matching Frictions and Aggregate Unemployment. Helsinki 2006.
384. Ghatak Subrata – Sánchez-Fung José R.: Is Fiscal Policy Sustainable in Developing Economies? Helsinki 2006.
385. Lyytikäinen Teemu: Rent Control and Tenants' Welfare: the Effects of Deregulating Rental Markets in Finland. Helsinki 2006.
386. Riihelä Marja: Kotitalouksien kulutus ja säästäminen: Ikäprofiilien ja kohorttien kuvaus. Helsinki 2006.
387. Siivonen Erkki: Finanssisäännöt ja varallisuus oikeudet julkisten investointien analyysissa. Helsinki 2006.
388. Berghäll Elina: R&D and Productivity Growth in Finnish ICT Manufacturing. Helsinki 2006.
389. Berghäll Elina: Technical Efficiency in an R&D Intensive Industry: Finnish ICT Manufacturing. Helsinki 2006.
390. Berghäll Elina: Technical Change, Efficiency, Firm Size and Age in an R&D Intensive Sector. Helsinki 2006.
391. Ervasti Heikki – Venetoklis Takis: Unemployment and Subjective Well-being: Does Money Make a Difference? Helsinki 2006.
392. Hietala Harri – Kari Seppo: Investment Incentives in Closely Held Corporations and Finland's 2005 Tax Reform. Helsinki 2006.
393. Räisänen Heikki: Kaksi näkökulmaa julkisen työlläytymisen tehokkuuteen. Helsinki 2006.
394. Honkatukia Juha – Moilanen Paavo – Törmä Hannu: Runkoverkkosuunnitelman aluetaloudelliset vaikutukset. Helsinki 2006.
395. Honkatukia Juha – Rajala Rami – Sulamaa Pekka: Julkisen sektorin tuottavuuden kasvu ja työikäisen väestön määrän muutos 2005–2020, Rakenteellinen pitkän aikavälin tarkastelu alueellisella tasapainomallilla. Helsinki 2006.
396. Kyyrä Tomi – Wilke Ralf A.: Reduction in the Long-Term Unemployment of the Elderly: A Success Story from Finland Revised. Helsinki 2006.
397. Martikainen Emmi – Virén Matti: Valmisteverojen välittyminen kuluttajahintoihin Suomessa 1997–2004. Helsinki 2006.
398. Mälkönen Ville: Eri hankintamuodot julkisissa investoinneissa. Helsinki 2006.

399. Haataja Anita – Mattila-Wiro Päivi: Impact of Alternative Benefit Levels and Parental Choices on the Parents' Income. Micro-simulation Approach on the Finnish Parental Leave. Helsinki 2006.
400. Kyyrä Tomi – Ollikainen Virve: To Search or Not to Search? The Effects of UI Benefit Extension for the Elderly Unemployment. Helsinki 2006.
401. Hämäläinen Pellervo: Julkisten investointien tuottavuus. Katsaus kirjallisuuteen ja Suomi vuosina 1948-2003. Helsinki 2006.
402. Virén Matti: Fiscal Policy in the 1920s and 1930s. How Much Different It Is from the Post War Period's Policies. Helsinki 2006.
403. Aaltonen Juho: Perusterveydenhuollon menoeroja selittävät tekijät ja terveyskeskusten kustannustehottomuus. Helsinki 2006.
404. Venetoklis Takis: Guide to FUSSEP (Finnish University Students Socio-Economic Preferences) 2005 round. Helsinki 2006.
405. Honkatukia Juha – Mälkönen Ville – Perrels Adriaan: Impacts of the European Emission Trade System on Finnish Wholesale Electricity Prices. Helsinki 2006.
406. Kyyrä Tomi – Maliranta Mika: The Micro-Level Dynamics of Declining Labour Share: Lessons from the Finnish Great Leap. Helsinki 2006.
407. Korkeamäki Ossi – Uusitalo Roope: Employment Effects of a Payroll-Tax Cut: Evidence from a Regional Tax Exemption Experiment. Helsinki 2006.
408. Kari Seppo – Kiander Jaakko – Ulvinen Hanna: Vapaaehtoinen eläkevakuutus ja verotus. Katsaus kirjallisuuteen ja empiirinen kuva vapaaehtoisen eläkesäästämisen kehityksestä. Helsinki 2006.
409. Jalava Jukka – Kavonius Ilja Kristian: Durable Goods and Household Saving Ratios in the Euro Area. Helsinki 2006.
410. Sulamaa Pekka – Widgrén Mika: Turkish EU Membership: A Simulation Study on Economic Effects. Helsinki 2007.
411. Kohonen Anssi: Perintö- ja lahjaverotus – Näkökulmia talousteoriasta, maailmalta ja Suomesta. Helsinki 2007.
412. Perrels Adriaan: Economic Implications of Differences in Member State Regulations for the European Union Emission Trade System. Helsinki 2007.
413. Lehtonen Sanna – Moisio Antti: Kuntien valtionosuusjärjestelmä Suomessa ja Ruotsissa. Helsinki 2007.
414. Seppä Elina: Innovation Performance of Firms in Manufacturing Industry: Evidence from Belgium, Finland and Germany in 1998-2000. Helsinki 2007.
415. Kannianen Vesa – Kari Seppo – Ylä-Liedenpohja Jouko: Nordic Dual Income Taxation of Entrepreneurs. Helsinki 2007.
416. Kari Seppo – Karikallio Hanna: Tax Treatment of Dividends and Capital Gains and the Dividend Decision under Dual Income Tax. Helsinki 2007.
417. Perrels Adriaan – Kangas Elina: Vapaa-ajan asuntojen omistus ja käyttö – Esiselvitys ekotehokkuuden kartoitusta varten. Helsinki 2007.

418. Riihelä Marja – Sullström Risto – Tuomala Matti: Economic Poverty in Finland 1971–2004. Helsinki 2007.
419. Lyytikäinen Teemu: The Effect of Three-Rate Property Taxation on Housing Construction. Helsinki 2007.
420. Korkeamäki Ossi: Laskelmia miesten ja naisten välisen palkkaeron kaventamisesta julkisella sektorilla. Helsinki 2007.
421. Kosonen Tuomas: The Increased Revenue from Finnish Corporate Income Tax in the 1990s. Helsinki 2007.
422. Appelqvist, Jukka: Wage and Earnings Losses of Displaced Workers in Finland. Helsinki 2007.
423. Honkatukia Juha – Rajala Arto: Energia, päästökauppa ja kilpailukyky – Suomalaisen energiaintensiivisen teollisuuden näkemyksiä EU:n päästökaupasta ja pohjoismaisista energiamaarkkinoista. Helsinki 2007.
424. Kari Seppo – Kosonen Tuomas – Kröger Outi: Vakuutusturvan vaje perhehuoltajan kuoleman kohdatessa. Julkisen turvan taso ja yksityinen henkivakuutusurva. Helsinki 2007.
425. Luoma Kalevi – Moisio Antti – Aaltonen Juh: Secessions of Municipal Health Centre Federations: Expenditure and Productivity Effects. Helsinki 2007.
426. Kari Seppo – Karikallio Hanna – Pirttilä Jukka: Anticipating Tax Changes: Evidence from the Finnish Corporate Income Tax Reform of 2005. Helsinki 2007.
427. Honkatukia Juha – Marttila Kimmo – Sulamaa Pekka: Budjetin aluevaikutukset – Valtion alueellistamis- ja tuottavuusohjelman vaikutukset maakunnissa. Helsinki 2007.
428. Kirjavainen Tanja: Efficiency of Finnish Upper Secondary Schools: An Application of Stochastic Frontier Analysis with Panel Data. Helsinki 2007.
429. Aaltonen Juh: Determinants of Health Care Expenditures in Finnish Hospital Districts 1993-2005. Helsinki 2007.
430. Haataja Anita: Soviteltu työttömyysetuus: Taustaa ja nykytilanne. Helsinki 2007.
431. Haataja Anita – Korkeamäki Ossi: Soviteltu työttömyysetuus: Kohdentuminen ja toimeentulo. Helsinki 2007.
432. Hämäläinen Kari – Tuomala Juha: Vocational Labour Market Training in Promoting Youth Employment. Helsinki 2007.
433. Parkkinen Pekka: Riittääkö työvoima terveydenhuolto- ja sosiaalipalveluihin? Helsinki 2007.
434. Kohonen Anssi: Yritysverotuksen koordinointi ja verokilpailu Euroopan unionissa. Helsinki 2007.
435. Berghäll Elina: Revealing Agglomeration Economies with Stochastic Frontier Modelling in the Finnish ICT Industry. Helsinki 2008.