

VATT-KESKUSTELUALOITTEITA
VATT DISCUSSION PAPERS

439

SUOMEN INFRASTRUKTUURI-
PÄÄOMA: RAUTATIET*

Sakari Uimonen♣

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus
Government Institute for Economic Research
Helsinki 2008

* Tutkimus liittyy Liikenne- ja viestintäministeriön rahoittamaan tutkimusohjelmaan ‘Liikenne-infrastruktuurin ja logistiikkajärjestelmän vaikutukset’.

♣ Kiitokset aineistoista Mikael Anttoselle, Janne Wuorenjuurelle, Marko Tuomiselle ja Juha Tervoselle. Erityiset kiitokset Matti Nissiselle RHK:sta, jota olen työn kuluessa joutunut vaivaamaan säännöllisesti. Kiitokset kommenteista ja keskusteluavusta Erkki Siivoselle ja Risto Sullströmille. Jaana Grönlund avusti tutkimusapulaisena aineiston hankinnassa ja käsittelyssä kesällä 2006. Työssä esiintyvät virheet ovat luonnollisesti tekijän vastuulla.

ISBN 978-951-561-759-0 (nid.)
ISBN 978-951-561-760-6 (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, helmikuu 2008

SAKARI UIMONEN: SUOMEN INFRASTRUKTUURIPÄÄOMA: RAUTATIET. Helsinki, VATT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Government Institute for Economic Research, 2008, C, ISSN 0788-5016 (nid.), ISSN 1795-3359 (PDF), No 439, ISBN 978-951-561-759-0 (nid.), ISBN 978-951-561-760-6 (PDF).

Tiivistelmä: Tutkimuksessa kehitetään rautatiepääoman laskemiseen soveltuva laskentamenetelmä. Menetelmä perustuu rautatieverkoston fyysisten muutosten inventointiin, radan komponenttien fyysisen kulumisen mallittamiseen ja jälleenhankintahintojen käyttöön. Mallin avulla arvioidaan Suomen rautatieverkostoon sitoutuneen varallisuuden arvo ensimmäisen ratayhteyden perustamisen hetkestä vuodesta 1862 vuoteen 2005. Tulokset riippuvat rautateiden suorituskyvyn muutoksia koskevasta oletuksesta. Koska rautateihin kohdistuu säännöllisesti toistuvia korvausinvestointeja, on luontevaa olettaa suorituskyvyn pysyvän vakaana. Rautatievarallisuuden arvoksi vuonna 2005 saadaan tällöin noin 7 mrd euroa, mikä on 2,5-kertainen viralliseen kirjanpidolliseen tasearvoon verrattuna. Vaihtoehtoisilla pääoman suorituskykyä koskevilla oletuksilla (lineaarinen tai geometrinen kuluminen) rautatievarallisuuden arvo on yli kolmanneksen pienempi kuin peruslaskelmassa.

Asiasanat: rautatiepääoma, infrastruktuuripääoma, ikä-tehokkuusprofiili, pääoman kuluminen, pääomapalvelut

SAKARI UIMONEN: SUOMEN INFRASTRUKTUURIPÄÄOMA: RAUTATIET. Helsinki, VATT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Government Institute for Economic Research, 2008, C, ISSN 0788-5016 (nid.), ISSN 1795-3359 (PDF), No 439, ISBN 978-951-561-759-0 (nid.), ISBN 978-951-561-760-6 (PDF).

Abstract: In this study concepts and methods for measuring the railway infrastructure capital are developed. Maintenance and repair are essential elements in the railway infrastructure management and their expenditures should be included in the capital stock calculations. Due to regular maintenance of railways in Finland the one-hoss-shay age-efficiency-profile is the most natural assumption to describe the depreciation of capital. The value of the Finnish railway capital stock under this assumption is 7 mrd euros in 2005. The figures under alternative age-efficiency-profiles, the geometric depreciation ($\delta = 3\%$) and the straight line depreciation, are considerably lower, 5 and 4.5 mrd euros, respectively.

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

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Pääoman käsite	4
3	Rautatiepääoma	9
4	Aineiston rakentaminen	15
4.1	Suomen rautatieverkosto	15
4.2	Liikennemäärät	15
4.3	Alusrakenne	18
4.4	Radan tukikerros	18
4.5	Ratakiskot	21
4.6	Ratapölkkyt	23
4.7	Vaihteet	24
4.8	Sivuraiteet	25
4.9	Sillat	26
4.10	Rummut	29
4.11	Tunnelit	30
4.12	Tasoristeykset	31
4.13	Sähköistys	33
4.14	Turvalaitteet	33
5	Tulokset	35

6 Yhteenveto ja johtopäätökset	42
Lähteet	44
Liitteet I-II	46-47
Kuvat 22-34	48-54

1 Johdanto

Pääoma on taloustieteen keskeisimpiä käsitteitä ellei keskeisin. Se on keskeinen muuttuja selitettäessä yrityksien tuotantopäätöksiä, makrotaloudellisia suhdanteita, kauppavirtoja, tulonjakoa, kansantaloudellisen tuottavuuden muutoksia, maantieteellisten alueiden talouskasvua ja rakenteellisia muutoksia, kilpailua ja markkinarakenteita toimialoilla, ympäristönsuojelun ohjaukskeinoja, optimaalista verotusta jne.

Pääoma on myöskin yksi taloustieteen hankalimpia ja kiistellyimpiä käsitteitä. Hankaluus on siinä, että yhden ja saman muuttujan pitäisi kuvata hyvinkin heterogeenisten tuotantohyödykkeiden tuotantomahdollisuuksia ja niiden kehittymistä yli ajan. Suuri pääomaa koskeva oppiriita (ns. Cambridge controversy) kulmineitui 1950- ja -60 lukujen taitteeseen. Kiistan toinen osapuoli (Cambridge, England) piti koko käsitettä loogisesti ristiriitaisena ja hyödyttömänä; toinen osapuoli (Cambridge, USA), ns. neoklassinen koulukunta, oli tasan päinvastaista mieltä (ks. Harcourt, 1969). Vuosien saatossa kiista on laantunut, vaikka taustalla olevat ongelmat ovat pääosin edelleenkin ratkaisematta (Brown, 1980; Cohen ja Harcourt, 2003). Neoklassisen koulukunnan näkemys on jäänyt elämään taloustieteen valtavirtaan.

Viimeaikainen pääomakeskustelu lähinnä valtavirtaan sitoutuneiden tutkijoiden keskuudessa on keskittynyt käytännöllisempiin kysymyksiin: mikä pääoman toisiinsa liittyvistä käsitteistä soveltuu mihinkin tarkoitukseen (esim. Hulten, 1990), miten erityyppiset pääomaesineet aggregoidaan yhdeksi muuttujaksi (esim. Diewert, 1980), miten inflaatio otetaan huomioon pääomalaskelmissa (Diewert, 2003), miten pääoman fyysinen kuluminen tulisi ottaa huomioon (esim. Jorgenson 1973; Hulten ja Wykoff, 1996), miten pääomaesineisiin liittyvä tekninen kehitys tai taloudellinen kuluminen otetaan huomioon (Diewert ja Wykoff, 2007), jne.

Tutkijoiden keskuudessa ollaan tällä hetkellä yksimielisiä siitä, että on erotettava toisistaan kaksi toisiinsa liittyvää pääoman käsitettä: varallisuuspääoma ja tuottava pääoma (pääomapalvelusten volyyymi-indeksi). Kummallakin on oma määrätty käyttötarkoituksensa. OECD on kahdessa raportissaan (OECD 2001a, 2001b) selventänyt käsitteitä ja suosittanut niiden käyttöönottamista. OECD:n suositusten mukaisia pääomalaskelmia tehdään tällä hetkellä neljässä maassa. Suomi ei ole mukana näissä.

Suomen tilastoviranomaiset julkaisevat kahden pääomakäsitteen mukaisia sarjoja: brutto- ja nettopääoman. Bruttopääoma koostuu menneiden investointien kumuloituneesta arvosta, arvotettuna "uutta vastaavin" hinnoin, vähennettynä kumuloituneella poistumalla. Poistuma määritetään laskennalli-

sesti ja sen oletetaan noudattavan vinoa Weibull-jakaumaa. Nettopääoma koostuu menneiden investointien kumuloituneesta arvosta vähennettynä kumoituneella pääoman kulumisella. Kuluminen määritetään laskennallisesti käyttäen pääomaesineestä riippuen lineaarista tai geometristä tasapoistoa (ks. <http://www.stat.fi/til/pka>).

Kumpikaan mainituista pääomakäsitteistä ei välttämättä sovellu kovin hyvin taloudellisten analyysien lähtökohdaksi. Pääomakantaan liittyvillä valinnoilla, so. minkä käsitteen mukaista pääomakantasarjaa käytetään, on ilmeinen vaikutus tutkimustuloksiin oli kyseessä tuottavuustutkimus tai tieliikenteen runkoverkkosuunnitelmien aluetaloudellisten vaikutuksien analysointi.

Tämän tutkimuksen lähtökohtana on viimeaikaisessa pääomatutkimuksessa saadut tulokset ja OECD:n suositukset. Tutkimus jatkaa aikaisemmin aloitettua sarjaa (Uimonen 2007) ja kohteena on nyt toinen suomalaisen infrastruktuuripääoman laji: rautatiepääoma.

Liikenneinfrastruktuuriin sitoutuneen pääoman arvon laskemisella on merkitystä monestakin syystä. Suomessa siihen sisältyy — jo pitkien etäisyyksien ja harvan asutuksen vuoksi — merkittävä määrä kansallista varallisuutta ja sillä on ilmeisen suuri merkitys tuotannollisen toiminnan tai kotitalouksien jokapäiväisten toimintojen kannalta. Kirjanpidolliset tasearvot eivät anna läheskään täyttä kuvaa sen määrästä (ks. Uimonen, 2007). Voidaan arvioida, että pelkästään liikenneinfrastruktuuriin Suomessa tällä hetkellä sitoutuneen varallisuuden määrä vastaa yksityiseen tuotannolliseen pääomaan sitoutuneen varallisuuden määrää.

Lajeittain tai alueittain eriteltyä tietoa infrastruktuuriin sitoutuneesta pääomasta tarvitaan mm. infrastruktuurin taloudellisia vaikutuksia koskevassa tutkimuksessa. Tällä tavalla eriteltyä tietoa ei tällä hetkellä ole Suomessa käytettävissä. Käsillä oleva tutkimus pyrkii tässä suhteessa korjaamaan tilannetta rautatieinfrastruktuurin osalta.

Koko talouden näkökulmasta infrastruktuuri on yksityiseen pääomaan verrattavissa oleva tuotannon välttämätön edellytys. Infrastruktuuripääoma ja yksityinen tuotannollinen pääoma kuitenkin poikkeavat toisistaan eräissä suhteissa, mistä johtuen jälkimmäisen laskemisessa käytetyt menettelytavat eivät ole suoraan käyttökelpoisia ensimmäisen laskemisessa. Ensiksi, infrastruktuuri ei kulu samalla tavalla kuin yksityinen pääoma. Koska infrastruktuurista huolehtivien viranomaisten tehtävänä on pitää se kaikissa tilanteissa toimintakykyisenä, tyypilliset pääoman kulumista koskevat oletukset eivät välttämättä ole perusteltuja. Parempi kulumistapaa koskeva oletus tässä yhteydessä on ns. "äkkikuolema-kuluminen". Toisaalta, jos toimintakyvyn ylläpitäminen edellyttää toistuvia kunnossapito- ja peruskorjausinvestointeja,

nämä pitää ottaa laskelmissa huomioon. Infrastruktuurihyödykkeeseen voi myös liittyä positiivisia ulkois- tai verkostovaikutuksia, jotka voidaan ottaa huomioon.

Pääomalaskelmat ovat perinteisesti perustuneet historiallisiin, toteutuneita investointeja koskeviin tietoihin. Sopivasti alueellisesti ja toimenpidelajeittain eriteltyä investointitietoa ei Suomen rautateistä ole kuitenkaan saatavissa. Tästä syystä tässä tutkimuksessa sovelletaan toisenlaista lähestymistapaa kustannustiedon hankkimisessa. Ensimmäisessä vaiheessa inventoidaan rataverkoston vuosien mittaan suoritettujen toimenpiteiden ainoastaan ensimmäisen ratayhteyden perustamisen hetkestä nykyhetkeen ja arvioidaan eri rataverkoston komponenttien kulumisen. Arviot suoritetuista investoinneista saadaan tämän hetken hintatasoon kertomalla havaitut rataverkoston fyysiset muutokset jälleenhankintahinnoilla. Korvausinvestointien kustannukset arvioidaan vastaavalla tavalla käyttämällä hyväksi jälleenhankintahintoja ja tietoja rautatieverkoston kohdistuneista peruskorjaustoimenpiteistä tai, milloin tällaista tietoa ei ole käytettävissä, asiantuntijoiden ohjeita ja suosituksia peruskorjauksille.

Kustannusaineiston tuottamisen menetelmän varjopuolena on suuritöisyys mutta positiivisena puolena on sen läpinäkyvyys ja toistettavuus. Menetelmällä myös ratkaistaan tyypillinen deflaattoriin liittyvä ongelma; tällä hetkellä käytettävissä olevat deflaattorit eivät ota huomioon työn tuottavuudessa tapahtuneita muutoksia, mikä seikka heikentää niiden käyttökelpoisuutta.

Olettamalla äkkikuolema-kuluminen Suomen rautatieverkoston sitoutuneen varallisuuden arvoksi vuonna 2005 saadaan 7 mrd euroa, mikä on noin 70 % rautatieverkoston sitoutuneen bruttopääoman (aikaisempien vielä hengissä olevien investointien) arvosta. Vaihtoehtoisilla suorituskyvyn muutoksia koskevilla oletuksilla — geometrinen ja lineaarinen ‘kuluminen’ — varallisuuden arvo jää yli kolmanneksen pienemmäksi. Vertailun vuoksi todettakoon, että viimeisen 8 vuoden aikana toteutuneet kirjanpidon tasearvot ovat olleet 2,5–3 mrd euroa.

Tutkimuksen rakenne on seuraava. Seuraavassa luvussa puhutaan pääoman käsitteestä. Luvussa 3 selostetaan, miten rautatiepääoma aiotaan laskea. Luvussa 4 kuvataan aineisto. Luvussa 5 esitetään tulokset ja luku 6 päättää.

2 Pääoman käsite

Tässä kohdassa tarkastellaan yksityisiä tuotannollisia varallisuusesineitä.¹

Oletetaan, että periodin 0 alussa suoritetaan tuotannollinen investointi, joka aina periodien lopussa periodista 0 periodiin N tuottaa säännöllisen tulovirran u_j , $j = 0, \dots, N$. Hinta- ja korkotason oletetaan pysyvän vakiona. Uuden varallisuusesineen hinta P_0 on odotettavissa olevien tuottojen nykyarvo. Sama pätee myös käytettyyn varallisuusesineeseen: hinta ajanhetkellä t on tulevien tuottojen nykyarvo (pääomateorian perusyhtälö):

$$P_t = \sum_{j=t}^N \frac{u_j}{(1+r)^j}, \quad t = 0, \dots, N. \quad (1)$$

Jos käytetyille varallisuusesineille olisi olemassa kilpailulliset markkinat, kaavan (1) vasen puoli ilmaisisi niiden markkinahinnan. Käytännössä kuitenkin vain uusille esineille on olemassa markkinat, koska yritykset yleensä omistavat tuotantovälineensä itse. Jos varallisuusesineille olisi olemassa vuokramarkkinat, kaavan (1) oikealla puolella olevat termit u_j ilmaisisivat käytetyn varallisuusesineen vuokrahinnan periodeilla j ($j = 1, \dots, N$) (tästä englanninkielinen nimitys capital rent).

Esimerkiksi kaavan (1) sovelluksesta käy asuinvuokratalo. Jos mittayksiköksi valitaan koko fyysinen 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 periodilla t ja u_t neliövuokran samana vuonna. Mittayksiköksi voitaisiin myös valita alkuperäinen investointisumma. Tällöin $P_0 = 1$ (euron hinta on yksi euro) ja P_t (u_t) ilmaisisi käytetyn talon markkinahinnan (vuokrahinnan) suhteessa alkuperäiseen investointikustannukseen periodilla t .

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').²

¹ Joitain täydennyksiä ja tarkennuksia lukuun ottamatta tämän kohdan sisältö on sama kuin luku 2 tutkimuksessa Uimonen (2007).

² Taloustieteellisessä kirjallisuudessa on kohtalaisen paljon käyty keskustelua pääoma-

Jos muut vuokrahintoihin vaikuttavat tekijät (kuten verotus, korko tai hintataso) pysyvät vakiona, ainoa vuokrahintojen sarjan $\{u_j\} \equiv (u_0, u_1, \dots)$ muotoon vaikuttava tekijä on tapa, jolla esine kuluu fyysisesti tai ‘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

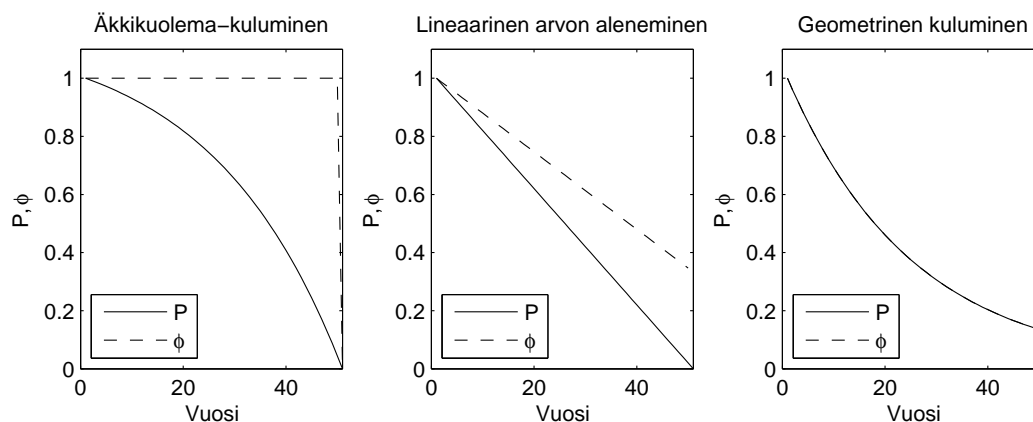
$$\phi_j = u_j/u_0. \quad (2a)$$

ϕ_j , jonka arvo on välillä $[0, 1]$, ilmaisee $j - 1$ vuotta vanhan varallisuusesineen tehokkuuden suhteessa uuden esineen tehokkuuteen (ks. Jorgenson, 1973). 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 lukuun ottamatta) ei ole olemassa markkinoita, pääomakantojen laskemisessa joudutaan turvautumaan jommankumman sarjan muotoa koskevaan oletukseen. Pääomakantojen mittaaminen perustuu aina — enemmän tai vähemmän valistuneeseen — arvaukseen tavasta, jolla esine kuluu.

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.

kustannuksien määräytymisestä (mm. Hall ja Jorgenson, 1967). Niiden tasoon vaikuttavat mm. markkinakorko, hintatason muutokset, esineen fyysinen kuluminen ja verotus.



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

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 (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.³ 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 valmistumisestaan 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. Ongelmana sen hyödyntämisessä tuottavuustutkimuksissa on, että se sisältää informaation varallisuusesineiden kaikesta tuotantopotentialista tarkasteluhetkestä eteenpäin, koska painokertoimina toimivat hinnat ovat tulevien tuottojen nykyarvo kaavan (1) mukaan. Paremmin tarkastelua ajankohdan tuotantopotentialia kuvaava-

³Ks. Diewert (2003) yleisempää tapausta.

na pääomakannan mittarina pidetään pääomapalveluiden volyyymi-indeksiä (tuottavaa pääomakantaa):⁴

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

Pääomapalveluiden volyyymi-indeksi (jatkossa PPVI) on pääomakustannuksilla painotettujen investointien summa. Sitä pidetään varallisuusarvoa soveliaampana mittarina tuottavuustutkimuksiin, koska eri vuosikertainvestointeihin liittyvät vuokrahinat 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 K_t on vuonna t käytössä oleva bruttopääomakanta ja P_t on varallisuusesineen hintojen painotettu keskiarvo:

$$P_t = \frac{W_t}{\sum_{j=t}^{N-1} I_{t-j}} \equiv \frac{W_t}{K_t}.$$

W_t saadaan kaavasta (3).

Vastaavasti volyyymi-indeksi voidaan hajottaa hinta- ja määräkomponenttiinsa:

$$S_t = U_t \cdot K_t, \quad (6)$$

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).

Kaavojen (5) ja (6) soveltamisen edellytyksenä on investointien sarjan I_{t-1} , I_{t-2} , ... ja varallisuushintojen sarjan P_0 , P_1 , ... tai investointien ja vuokrahintojen sarjan tunteminen.⁵ Käytännössä laskelmien tekijällä on harvoin käytössään näin yksityiskohtaista tietoa. Tästä seuraa, ettei varallisuuden tai

⁴Ks. esim. Hulten (1990), Hulten ja Wykoff (1996), Triplett (1996) tai OECD (2001a) perusteluista.

⁵Lisäksi ehdon (2a) täytyy olla voimassa (Diewert ja Wykoff, 2007).

volyymi-indeksin (PPVI) jakaminen komponentteihinsa yllä esitetyllä tavalla ole mahdollista. (Eikä se välttämättä olisi järkevääkään.) Ns. indeksiteoriassa on kuitenkin osoitettu, että näiden *muutokset* voidaan jakaa hinta- ja määräekomponentteihinsa (ks. esim. IMF, 2004).⁶

Käsillä olevassa tapauksessa kaavojen (5) ja (6) soveltuvuuden mahdollistaa osaltaan oletus rautatien komponenttien homogeenisuudesta, mikä sisältyy jo yhteisen mittayksikön (euro) valintaan. Homogeenisuus on tässä yhteydessä ymmärrettävä niin, että komponentit ovat yhden homogeenisen hyödykkeen osia, jotka sisältyvät kokonaisuuteen määrättyssä suhteessa.

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 volyymi-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).

3 Rautatiepääoma

Rautatieverkosto koostuu liikennepaikoista (jatkossa solmu) ja niitä yhdistävistä rataosuuksista (jatkossa solmuväli). Solmuvälillä voi olla yksi tai useampia rinnakkaisia raiteita. Työn lähtökohtana on, että tulokset pitää voida saada halutulla tavalla alueellisesti aggregoituna. Tämä edellyttää laskelmien suorittamista solmuväleittäin.

Rautatie koostuu eri komponenteista. Karkea jako voi olla esimerkiksi seuraava: pohjamaa, alusrakenne, päällysrakenne, turva- ja valvontalaitteet, sähköratalaitteet ja tiedonsiirtolaitteet. Rautatieverkostoon kuuluu lisäksi siltoja, tunneleita ja kallioleikkauksia, rumpuja, sivuraiteita, rautatieasemia ratapihoineen ja ratapihalaitteineen (ks. esim. Tuominen, 2004). Rautatievarallisuuteen voidaan lisäksi laskea mukaan immateriaalinen erä: omistusoikeus maapohjaan. Mainitut komponentit voidaan vielä jakaa alaryhmiin. Esimerkiksi radan päällysrakenne koostuu ratakiskoista, pölkyistä, vaihteista ja tukikerroksesta, joka voi olla sepeliä tai soraa. Tekniset ratkaisut, rakennusosat ja komponenttien materiaalit voivat vaihdella rakentamisajankohdan, olosuhteiden ja radan käytön mukaan. Rautatie on maantiehen verrattuna paljon monimuotoisempi ja heterogeenisempi infrastruktuurihyödyke, jos katsotaan, miten hyödyke on rakennettu ja mistä se muodostuu.

Käytettävissä oleva data ja mallin käyttötarkoitus viime kädessä sanelevat, miten yksityiskohtaisesti rautatie ja rautatieverkosto voidaan tai on tarkoituksenmukaista kuvata. Tietojen puuttumisen ja/tai suuritöisyytensä vuoksi osa rautatieverkostoon sisältyvistä komponenteista, erityisesti ratapihat ratapihalaitteineen on jouduttu jättämään tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

Tutkimukseen otettiin mukaan seuraavat rautatieverkoston komponentit:

1. Alusrakenne; Tukikerros;
2. Sepeli tai
3. Sora;
4. Ratapölkyt;
5. Kiskot;
6. Vaihteet;
7. Sivuraiteet;
8. Sillat;
9. Rummut;
10. Tunnelit;
11. Tasoristeykset;
12. Sähköistys ja
13. Turvalaitteet.

Tarkastellaan investointia, jolla perustetaan uusi ratayhteys. Uusinvestointi sisältää investoinnit kaikkiin edellä mainittuihin komponentteihin ($k = 1, \dots, 13$). Jokaiseen komponenttiin liittyy oma korvausinvestointien sarjansa $\{C_j^k\}$. Lisäksi investointiin voidaan liittää laskennallinen vuokrahintojen sarja — julkinen investointi ei poikkea yksityisestä investoinnista tässä suhteessa. Muiden seikkojen (korko, inflaatio, verotus, jne.) taloudessa pysyessä ennallaan, vuokrahintojen sarjan muoto riippuu rataosuuden suorituskyvyn kehittymisestä. Vuokrahintojen tulkinnassa voidaan viitata edellä esitettyyn vuokrataloesimerkkiin. Vuokrahinnat ilmaisevat tässä tapauksessa rautatietä saatavan yhden periodin tuoton (kuvitteellisilla) vuokramarkkinoilla.

“Muut seikat” taloudessa eivät kuitenkaan välttämättä pysy ennallaan. On mahdollista, että alkuperäiseen rautatieinvestointiin liittyy taloudellisia vaikutuksia, jotka eivät sisälly normaalien taloudellisten vaikutusten luetteloon. Ratayhteys saattaa parantaa yhteydenpitoa paitsi välittömästi alueiden välillä, johon se on suunniteltu, myös laajemmalla alueella. Ratayhteys saattaa parantaa koko verkoston toimintaa. Kyseessä on tässä tapauksessa positiivinen verkosto- tai ulkoisvaikutus.⁷ Ulkoisvaikutukset voivat olla myös negatiivisia, esimerkkinä ruuhkautuminen. Jatkossa oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi, että ulkoisvaikutusten aikaansaama tuottojen kasvuaste on vakio (α).

Korvausinvestoinnit ja mahdollisesti ulkoisvaikutukset ovat osia rautatiepääoman arvon määräytymisessä. Aikaisemmin esitetty perusyhtälö (1) ei sisällä kumpaakaan tekijää. Miten perusyhtälöä pitäisi modifioida? Ulkoisvaikutukset voidaan ottaa huomioon suoraviivaisesti kertomalla laskennallinen vuokrahintaa kasvuasteen sisältävällä kertoimella. Korvausinvestoinnit puolestaan voidaan ajatella menoeriksi, jolla mahdollistetaan alkuperäisen investoinnin tulontuottokyvyn säilyminen. Tämän mukaisesti alkuperäisen investoinnin arvo on tulevien tuottojen nykyarvo miinus tulevien korvausinvestointien nykyarvo (vrt. Diewert, 2003, luku 12):

$$P_t = \sum_{j=t}^N u_j \left(\frac{1+\alpha}{1+r} \right)^{j-t+1} - \sum_k \sum_{j \in T_k} \frac{c_j^k}{(1+r)^{j-t}}. \quad (7)$$

P_t ilmaisee vuonna 0 käyttöön otetun ratainvestoinnin varallisuushinnan periodin t alussa (tai sen, kuinka monta prosenttia alkuperäisestä varallisuudesta on jäljellä periodin t alussa). Uuteen käyttämättömään rataosaan liittyvän varallisuuden arvo on sama investoinnin arvo: $W_0 = P_0 I_{-1}$, missä hinta $P_0 = 1$. u_j on periodin j vuokrahintaa ja $c_j^k = C_j^k / I_{-1}$ eli komponentin k korvausinvestointi yhtä alkuperäisen investoinnin euroa kohden periodilla j . Joukko T_k sisältää komponenttiin k kohdistuvien korjausinvestointien ajankohdat. Koko investoinnin pitoajaksi on oletettu N vuotta ja korjausinvestointien oletetaan toteutuvan aina periodien alussa.

Kaavaa (7) voidaan ajatella sovellettavaksi tilanteessa, jossa korvausinvestoinneilla taataan tietyn etukäteen annetun vuokrahintojen profiilin (suorituskyvyn ikä-tehokkuusprofiilin) säilyminen investointihetkestä investoinnin pitoajan loppuun. Tässä yhteydessä luonnollinen valinta ikä-tehokkuusprofiiliksi on äkkikuolema -kuluminen mutta periaatteessa se voisi olla muukin.

⁷Tässä yhteydessä pitää olla tarkkana, ettei ulkoisvaikutuksiin sisällytetä tavanomaisia positiivisia kansantaloudellisia vaikutuksia. Täsmennyksien tekeminen jää jatkotutkimuksen tehtäväksi. Tässä on nyt lähinnä haluttu jättää tilaa ulkoisvaikutuksille siinä merkityksessä kuin talusteoriassa ne ymmärretään (ks. esim. Cornes ja Sandler, 1996). Ulkoisvaikutus on tässä analoginen Wykoff’in (2004) investointivuosi kertoihin liittyvän teknisen kehityksen kanssa.

Kaavan (7) soveltaminen osoittautuu kuitenkin hankalaksi, jos myöhemmin tapahtuvilla investoinneilla (esimerkiksi sähköistys tai turvalaitteiden asentaminen) kohotetaan rataosan suorituskykyä. Ratkaisuna on kaavan hajottaminen siten, että jokaista komponenttia ja komponentin osaa käsitellään itsenäisenä investointina. Yksittäisiin investointeihin liittyvät varallisuudet ja pääomapalvelut (vuokrahinnat) aggregoidaan lopuksi komponentin, koko solmuvälin ja alueen varallisuudeksi ja pääomapalveluiksi.

Ottamalla vielä huomioon, että sijainnilla ja investointiajankohdalla on merkitystä, komponenttiin k solmuvälillä m vuonna s tehdyn investoinnin varallisuushinnaksi vuonna t saadaan:

$$P_{t,s}^{k,m} = \sum_{j=t}^N u_{j,s}^{k,m} \left(\frac{1 + \alpha^m}{1 + r} \right)^{j-t+1}.$$

Olettamalla, että kaikilla komponenteilla k sijaintipaikasta m riippumatta on sama ikä-tehokkuus -profiili ja hyödyntämällä kaavaa (2), perusyhtälö saa lopullisen muotonsa:

$$P_{t,s}^{k,m} = u_s^{k,m} \sum_{j=t}^N \phi_{j-s} \left(\frac{1 + \alpha^m}{1 + r} \right)^{j-t+1}, \quad (8)$$

missä ϕ_{j-s} on $j-s$ periodia vanhan investoinnin suorituskyky (suhteessa uuden investoinnin suorituskykyyn) ja $u_s^{k,m}$ on uuteen, vuonna s investoituun komponenttiin k liittyvä vuokrahinta.

Komponenttiin k sitoutuneen varallisuuden arvoksi vuonna t saadaan

$$W_t^{k,m} = \sum_{s \in T_k} P_{t,s}^{k,m} I_s^{k,m}, \quad (9)$$

eli komponenttiin k ennen vuotta t (ja vuonna t) tehtyihin ja vielä hengissä oleviin investointeihin liittyvien varallisuuksien summa. Joukko T_k sisältää aiemmin suoritettujen vielä hengissä olevien korjausinvestointien ajankohdat. Käsillä olevassa tapauksessa tehdään seuraava laskelmia yksinkertaistava ja käytettävissä olevan datan sanelema oletus. Komponentin k uusinvestointi voidaan jakaa korkeintaan kahteen osaan: korvattavaan osaan ja säilyvään osaan. Korvattava osa voi olla täsmälleen uusinvestoinnin suuruisen (esim. kiskot tai pölkyt), jolloin säilyvä osa on nolla. Säilyvä osa kestää uusinvestoinnin hetkestä investoinnin pitoajan loppuun. Korvattavan osan suuruisen investointi tehdään epäsäännöllisin tai säännöllisin (laskennallinen korvausinvestointien väli) väliajoin toistuvana vähintään kahdesti investoinnin pitoaikana. Tehdystä oletuksesta seuraa, että T_k sisältää korkeintaan kaksi ajankohtaa: uusinvestoinnin ajankohdan ja viimeisimmän korvausinvestoinnin ajankohdan.

Varallisuudet $W_t^{k,m}$ voidaan aggregoida eri tavoin, esimerkiksi seuraavassa järjestyksessä. Aggregoidaan ensiksi yli komponenttien eli lasketaan solmuvälin m varallisuus:

$$W_t^m = \sum_k W_t^{k,m}. \quad (10)$$

Lasketaan seuraavaksi varallisuushinnat koko maassa (tai annetuilla alueilla):

$$W_t = \sum_m W_t^m. \quad (11)$$

Pääomapalvelujen volyyymi-indeksit saadaan edellistä vastaavasti korvaamalla varallisuushinnat $P_{t,s}^{k,m}$ vuokrahinnoilla $u_{t,s}^{k,m}$.

Laskelmat perustuvat seuraaviin oletuksiin:

- Alusrakenteen, kiskojen, ratapölkkyjen, tukikerroksen, sähköistyksen ja turvalaitteiden korvausinvestoinnit kohdistuvat aina koko solmuväliin kerrallaan. Jos solmuvälin jollain osalla jonain vuonna uusitaan esimerkiksi kiskotusta, samana vuonna uusitaan koko solmuvälin kiskotus.
- Korvausinvestointien sykli pyritään arvioimaan niitä koskevien havaintojen avulla. Milloin tällaisia havaintoja ei ole saatavana, korvausinvestointien ajankohdat perustuvat arvioituihin pitoaikoihin (liite II).
- Ratayhteyden lopettamisen oletetaan tulevan yllätyksenä. Lopettavan rataosan investoinnilla voi olla pitoaikaa ja varallisuutta jäljellä lopettamisen hetkellä.
- Taloudessa vallitsee vakaa hinta- ja korkotaso.
- Ellei toisin mainita, komponentti tai sen osa pysyy laadultaan samanalaisena koko radan pitoajan.
- Pääoma ei kulu ensimmäisen vuoden (investointivuotensa) aikana.

Oletus, että korvausinvestoinnit kohdistuisivat aina koko solmuväliin kerralla, on tosiasioiden vastainen. Esimerkiksi solmuvälin kiskotuksesta korvataan tavallisesti yhtenä vuonna osa, seuraavana vuonna toinen osa jne. Tämä oletus on tehty lähinnä laskelmien yksinkertaistamiseksi mutta sitä voi puolustella myös sillä, että tulokset on tarkoitus esittää laajempia alueita

(maakunta, lääni, koko maa) koskevana lukuina, jolloin korvausinvestointien ajankohdissa tehdyt virhearviot tasoittavat toisiaan.⁸

Oletus komponenttien tai komponentin osien pysymisenä samanlaisena koko radan pitoajan on tehty laskelmien yksinkertaistamiseksi. Käytetyt komponenttien yksikköhinnat (liite I) perustuvat korkeimpien teknisten standardien mukaisiin hintoihin ja koska teknisillä standardeilla on ollut taipumus kasvaa, varhaisempia investointeja tulee jonkin verran yliarvostettua.

Investointien pitoaikaoletuksia (liite II) voi kritisoida siitä, että ne näyttävät jonkin verran asiantuntijoiden suosituksia pidemmiltä. Pitoajat valittiin tarkoituksellisesti hieman pidemmiksi, koska ne käytännössä näyttävät todella olleen sitä.⁹

Laskelmat toteutetaan seuraavassa järjestyksessä. Ensiksi suoritetaan laskelmat solmuväleittäin jokaiselle rataverkon komponentille — kahden komponentin osalta (vaihteet ja sivuraiteet) laskelmat tehdään liikennepaikoittain. Tämän jälkeen komponenttien arvot aggregoidaan solmuvälien tai liikennepaikkojen arvoiksi, jotka lopuksi yhdistetään valittujen alueiden tai koko maan arvoiksi. Käsillä olevassa raportissa tulokset esitetään vain koko maan osalta.

Laskelmien proseduuri on yksityiskohtaisemmin seuraava:

1. Lasketaan investointien arvot $I_s^{k,m}$ (s = investoinnin ajankohta) jokaisella solmuvälillä (m) komponenteittain (k). Komponenttiin liittyy tavallisesti peräkkäisiä toisiaan korvaavia investointeja.
2. Lasketaan investoinnin tuottojen skaalaustekijä $u_s^{k,m}$ kaavasta (8) asettamalla vasemmalla puolella $P_{s,s}^{k,m} = 1$ ja olettamalla investoinnin ikätehokkuus -profili.
3. Ratkaistaan hintojen sarjat $\{P_{t,s}^{k,m}\}$ ($t > s; \forall k, m$) kaavan (8) avulla.
4. Lasketaan komponentteihin sitoutuneet varallisuudet rataosuuden perustamisen hetkestä tarkasteluperiodion loppuun solmuväleittäin (kaava (9)). Komponentit aggregoidaan seuraavaksi koko solmuvälin varal-

⁸Vaihtoehtoisesti solmuvälin kiskotuksen vuotuista uusimisastetta olisi voitu mallittaa kumuloituneiden liikennemäärien avulla esimerkiksi samaan tapaan kuin tiepäällysteen uusimisen mallitus Uimosen (2007) tutkimuksessa.

⁹Pitoajan pidentämisellä on käänköpuolensa: komponentin ennen aikaisen rikkoutumisen riski kasvaa. Ennen aikaiseen rikkoutumiseen liittyvä taloudellinen vahinko voi olla moninverroin suurempi kuin varsinainen korjausinvestointi. Rikkoutumiseen liittyvän riskin arviointi ja miten se otettaisiin pääomalaskelmissa huomioon vaatisi oman tutkimuksensa.

lisuudeksi (kaava (10)) ja solmuvälien varallisuudet tämän jälkeen kokonaan varallisuudeksi (kaava (11)).

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

4 Aineiston rakentaminen

4.1 Suomen rautatieverkosto

Suomen rautatieverkoston rakentaminen käynnistyi ensimmäisen yhteyden perustamisesta vuonna 1862. Tämän jälkeen yhteenlasketut raidekilometrit kasvoivat tasaisesti vuoteen 1940 saakka. Sodassa luovutettujen alueiden mukana Suomi menetti noin 17 % rautateistään. Sodan jälkeen rautatieverkoston kasvu on jatkunut hieman hitaampana. 1980-luvun alun jälkeen rautateiden yhteenlaskettu pituus ei ole enää oleellisesti kasvanut. Viimeaikaiseen kehitykseen on osittain vaikuttanut myös muutamien rataosuuksien sulkeminen. Kuvassa 2 on esitetty raidekilometrien kokonaispituuden kehitys vuosina 1862–2005.

Suomen rautatieverkostossa on kaikkina aikoina ollut yli 700 sellaista liikennepaikkaa, jotka ovat joskus tilastoissa olleet junayhteyden lähtöpaikkana tai määränpäänä (ml. luovutetulle alueelle jääneet ja lakkautetut liikennepaikat). Tilastoissa on mukana myös paljon väliasemia, jotka eivät koskaan ole päässeet yhteyden lähtöpaikaksi tai määränpääksi. Tässä tutkimuksessa on mukana 710 liikennepaikkaa (”solmua”). Tarkoituksenmukaisuussyistä noin 25 varhaisissa rautatietilastoissa esiintynyttä liikennepaikkaa on sijoitettu lähimpänä sijaitsevaan liikennepaikkaan.¹⁰ Valitut 710 solmua muodostavat 731 solmuväliä.

4.2 Liikennemäärät

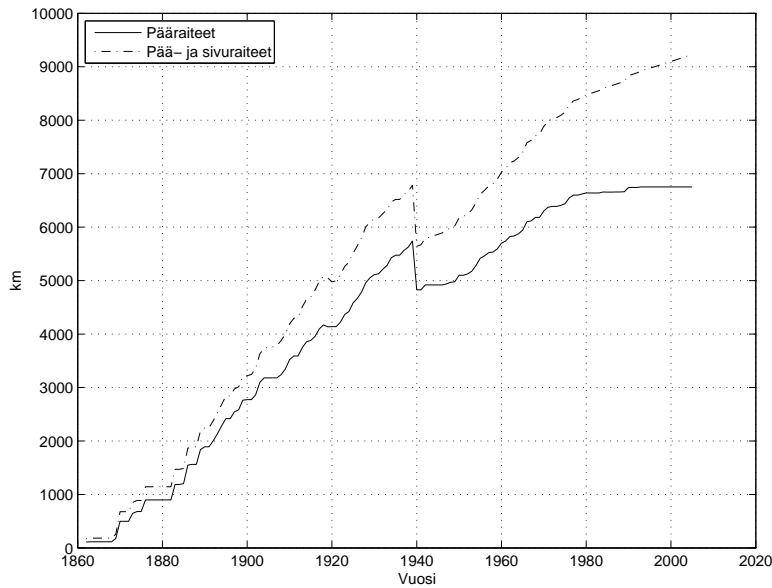
Liikennemäärää voidaan pitää keskeisenä selittäjänä radan kulumiselle. Sitä voidaan kuvata monilla eri yksiköillä: henkilömäärinä, junien lukumäärinä tai tavaratonneina. Liikennemäärää kuvaavaksi yksiköksi valitaan bruttotonni määrä vuodessa. Bruttotonnit sisältävät kuljetetun massan lisäksi kaluston painon ja vaihtoehtoisista yksiköistä ne selittänevät parhaiten radan kulumista.

Rataosuuksittaisia liikennemääriä on tilastoitu ainakin vuodesta 1900 lähtien (Rautatietilastot).¹¹ Näiden tietojen avulla arvioitiin liikennemäärät kaikilla tutkimukseen valituilla solmuväleillä vv. 1862–2005.¹²

¹⁰Mm. muuttuneen nimen johdosta sijaintipaikkaa ei aina pystytty määrittämään täysin eksaktisti.

¹¹Tietoja on aikaisemmiltakin vuosilta. Tätä tutkimusta varten tietojen keruu rajoitettiin kuitenkin vuosiin 1900–2005.

¹²Lähiliikenteen liikennemäärät vv. 1997–2005 saatiin Juha Tervoselta.



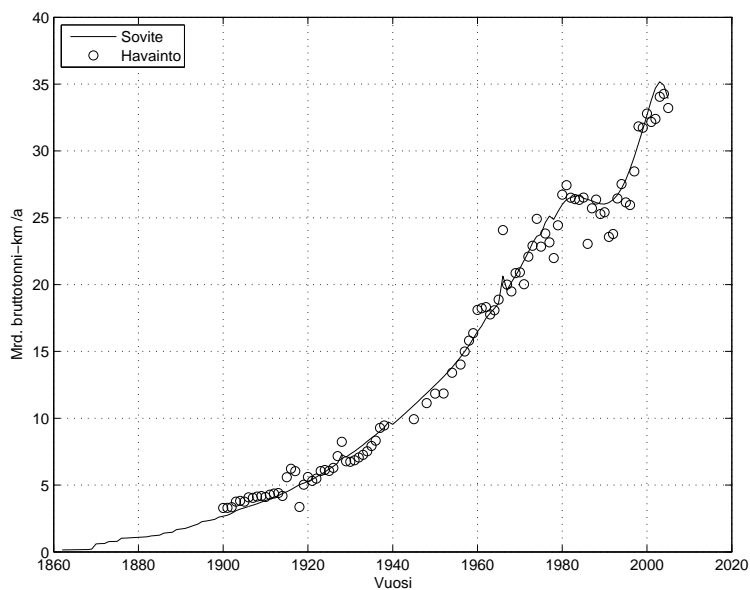
Kuva 2: Raiteiden kokonaispituus vuosina 1862—2005.

Varsinkin vanhemmista rautatietilastoista löytyy yksityiskohtaisesti raportoituja liikennemäärätietoja eri rataosuksilta. Tilastoista saa vahvasti sen kuvan, että paikallisliikenteellä on varhaisempina vuosina ollut suuri yhteiskunnallinen merkitys. Tilastojen hyödyntämistä hieman hankaloittaa se seikka, että liikennöidyt rataosuudet ovat vaihdelleet vuodesta toiseen ja sisältävät yhteisiä solmuvälejä. Esimerkiksi rataosuudet Helsinki-Turku ja Helsinki-Pietari sisältävät yhden yhteisen solmuvälin: Helsinki-Pasila. Rataosuksittain kerätyt vuosittaiset liikennemäärätiedot on kohdennettu solmuväleille ja solmuvälien liikennemäärätiedot on lopuksi laskettu yhteen.

Vuodesta 1958 alkaen rataosuksittaiset liikennemäärät on ilmoitettu suoraan bruttotonneina. Tätä edeltävältä ajalta liikennemääriä on kuvattu vuoden aikana rataosuksilla liikkuneiden junien lukumäärinä. Vuodelta 1958 on tiedossa sekä junien lukumäärät että bruttotonnit. Näistä on muodostettu solmuvälikohtaisesti junien lukumäärien ja bruttotonnien väliset muuntokertoimet, joiden avulla edeltävien vuosien junien lukumäärätiedot voitu muuttaa bruttotonneiksi.

Joiltain vuosilta ei ole saatavana minkäänlaisia liikennemäärätietoja. Puuttuvat tiedot on estimoitu käyttämällä hyväksi Gaussin käyrään perustavaa sovitetta.¹³ Puuttuvien tietojen estimoinnissa on pidetty huolta siitä, ettei lakkautetulla tai vielä rakentamattomalla solmuvälillä voi olla liikennettä.

¹³Sovite on muotoa $y = \sum_{i=1}^3 a_i e^{-[(x-b_i)/c_i]^2}$, missä a_i , b_i ja c_i ovat parametrejä.



Kuva 3: Suomen rautateiden bruttotonnikilometrit vuosina 1862—2005.

Vuosien 1862–1899 liikennemäärät on arvioitu olettamalla, että liikennemäärät solmuväleillä ovat kehittyneet eksponentiaalisesti. Eksponenttifunktio on sovitettu vuosien 1900–1910 liikennemääriin.

Kuvassa 3 on esitetty havaitut ja havaintojen avulla estimoidut bruttotonnikilometrit (so. bruttotonni- ja liikennöityjen välien pituuksien tulot) koko maassa yhteensä. Vuosien 1939–40 kohdalla todennäköisesti tapahtunutta notkahdusta ei sovitteissa pyrittykään ottamaan huomioon. Ottaen huomioon sovitteiden käyttötarkoituksen radan kulumisen arvioinnissa tällä ei ole oleellista merkitystä jatkon kannalta.

Rautatien komponentit ja niiden kuluminen

4.3 Alusrakenne

Varsinainen alusrakenne koostuu eristys-, suodatin- ja lämmöneristys- (routalevyt) ja välikerroksista sekä penkereestä. Alusrakenteeseen luetaan tässä kuuluvaksi myös pohjamaa.

Eristyksen tai pohjamaan lujittamisen tarve vaihtelee solmuväleittäin. Tietojen puuttumisen takia on jouduttu olettamaan, että kaikilla solmuväleillä on samanlainen alusrakenne.

Alusrakenne oletetaan rakennetun rataosille vain kerran ja sen oletetaan kestävänsä 100 vuotta. Alusrakenteen kustannukseksi oletetaan 400 euroa raideometriä kohden.¹⁴

Eristyksen ja pohjamaan lujittamisen tarpeesta vuoden 2005 jälkeen olisi ollut jonkin verran tietoa (esim. Tuominen, 2004). Tutkimuksen aikahorisontti päätettiin kuitenkin lopettaa vuoteen 2005. Tulevaisuutta koskevia suunnitelmia ei tästä syystä otettu huomioon.

4.4 Radan tukikerros

Radan tukikerros muodostuu raidesorasta tai sepelistä. Sepelöintiin on siirrytty vähitellen 1960-luvulta lähtien. Vain vähemmän liikennöidyillä rataosuuksilla käytetään nykyään raidesoraa.

Tiedot sepelöityjen rataosuuksien kokonaispituuksista ja vuotuisista muutoksista ovat olemassa vuosilta 1966–1989 (Rautatietilastot). Tarkempaa rataosittaista tietoa on saatavana vasta vuodelta 2005. Tietoa siitä, missä järjestyksessä solmuväleillä on siirrytty sepelöintiin, ei ole saatavana.

Tietoja täydennettiin seuraavien periaatteiden mukaisesti:

1. Sepelöinnin oletetaan alkaneen vuonna 1960. Sepelöntien kokonaismäärät koko maassa (muutokset raidesorasta sepeliksi) sepelöinnin alkamisen het-

¹⁴Liitteeseen I on koottu tiedot kaikista tutkimuksessa käytetyistä yksikköhinoista. Niitä on kerätty kirjallisuudesta (mm. Tuominen, 2004 ja RIL, 2006) ja tarkistutettu RHK:n asiantuntijoilla. Tutkimusmenetelmän suurena etuna on, että tulokset voidaan tarvittaessa helposti päivittää uusilla yksikköhinoilla.

kestä, 1960, vuoteen 1965 ja edelleen vuodesta 1990 vuoteen 2004 arvioidaan interpoloimalla (ks. ylempi kuva 4).

2. Solmuvälien järjestys sepelöintiin siirtymisen suhteen arvioidaan seuraavasti: (i) Jos solmuvälin raide tai pääraiteen rinnakkaisraide on rakennettu vuoden 1960 jälkeen, se oletetaan perustetun suoraan sepelille. (ii) Jäljellä oleva osa vuotuisista sepelöintimääristä vuodesta 1960 alkaen allokoidaan liikennemäärien (bruttotonnit) määräämässä järjestyksessä niille solmuväleille, joilla ei vielä ole sepelöintiä.

Menettelyllä taataan, että vuonna 2005 sepelöidyt solmuvälit ja vain ne tulevat sepelöityä — joskus vuosien 1960–2005 välisenä ajankohtana sepelöintijärjestyksen määräytyessä sepelöintiajankohdan liikennemäärien perusteella.

3. Tietoja kuluneen sepelikerroksen uusimisista ei ole käytettävissä. Sepelin kuluminen riippuu periaatteessa sepelin lujuusluokasta ja kumuloituneesta liikennemäärästä. Taulukossa 1 on esitetty sepelin kulumista koskeva suunnitteluhje.

Taulukko 1: Sepelin lujuusluokat ja kestoikä (lähde: RHK 2002).

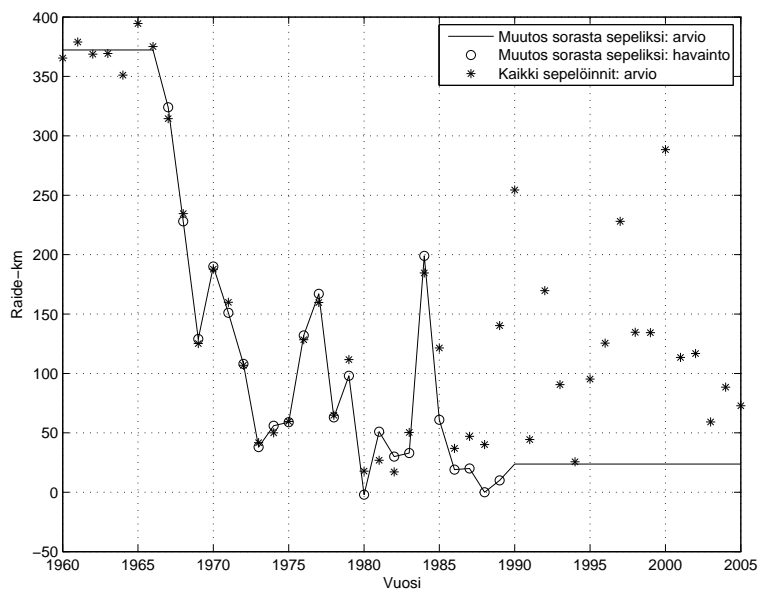
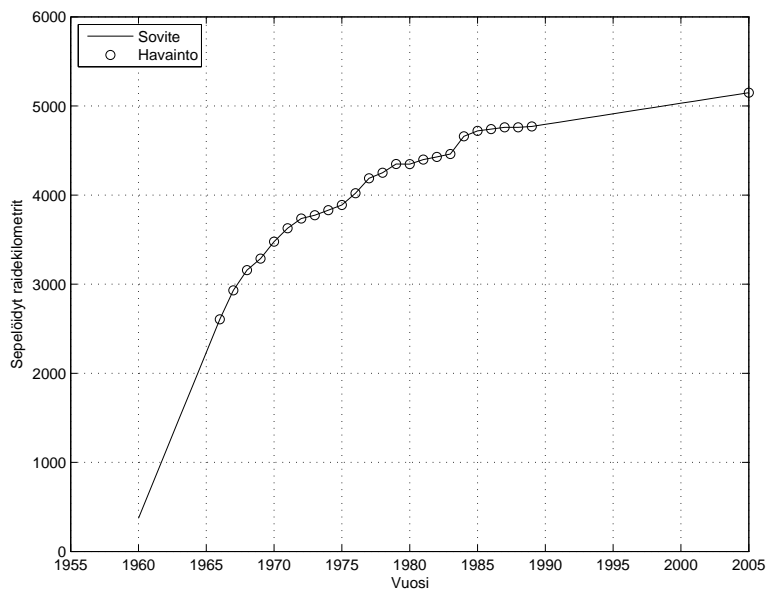
Sepelin lujuusluokka	Kestoikä (Mbrt)	Vuotuinen liikennemäärä (Mbrt)
R1/R2	350	≥ 9
R3	250	3 ... 9
R4	150	≤ 3

Sepelin uusimisen volyyymi arvioidaan olettamalla kriittiseksi kumuloituneeksi liikennemääräksi kaikilla sepelöidyillä solmuväleillä 250 milj. bruttotonnia (lujuusluokka R3 taulukossa 1).

Ylemmässä kuvassa 4 on esitetty havainnot ja arviot sepelöityjen rataosuuksien kokonaismääristä. Alemmassa kuvassa 4 on esitetty havainnot, interpoloimalla muodostetut arviot sepelöintitöistä sekä arvio sepelöintitöistä yhteensä (sepelikerrosten uusimiset mukana) vuosina 1960–2005.¹⁵

Raidesoran pitoajaksi oletetaan 50 vuotta. Toisin sanoen, riippumatta liikennemäärästä solmuvälin raidesora oletetaan uusittavan 50 vuoden välein tarkastelujakson loppuun tai siihen hetkeen saakka, jolloin solmuväli on se-

¹⁵ Arviot sepelöintien kokonaismääristä (*:llä merkityt pisteet kuvassa) ovat joinain vuosina interpoloimalla lasketun määrän (o:lla merkityt pisteet) alapuolella. Tämä johtuu siitä, ettei solmuväleille kohdennettavia vuotuisia muutoksia (periaatteessakaan) saada täsmäämään solmuvälien kokonaispituuden kanssa. Erotukset on siirretty seuraavaan vuoteen.



Kuva 4: Sepelöityjen raiteiden yhteispituus (ylempi kuva) ja sepelöinnin muutokset (alempi kuva).

pelöity.

Sepelöinnin kustannus muodostuu sepelin hinnasta (90 euroa/raidemetri), päällysrakenteen stabiloinnista ja harjauksesta (23,5 euroa/raidemetri) sekä turva- ja sähkölaitteiden asennuksesta ja purusta (7,5 euroa/raidemetri). Sepelin vaihto oletetaan suoritettavan sepelin seulonnalla (160 euroa/raidemetri). Raidesoran asennuksen ja uusimisen kustannukseksi oletetaan 90 euroa/raidemetri.¹⁶

4.5 Ratakiskot

Tiedot vaihdettujen kiskojen määrästä kerättiin Rautatietilastoista vuodesta 1900 lähtien. Vuosien 1900–1966 tiedot olivat rata-alueittain eriteltyinä, vuosilta 1967–1989 oli saatavana vain koko maan tiedot. Laskelmia hankaloitti osaltaan se, että rata-alueiden lukumäärä ja laajuus ovat vaihdelleet vuodesta toiseen. Tietoja kiskojen vaihdoista vuoden 1990 jälkeen ei ollut saatavana. Ajanjaksolla 1900–1967 on myös muutamia 1-2 vuoden jaksoja, joilta tiedot kiskojen vaihdosta puuttuivat kokonaan. Havaitut kiskojen vaihdot yhteensä koko maassa on esitetty kuvassa 5.

Havaitut kiskojen vaihdot kohdennettiin solmuväleille, minkä jälkeen kiskojen vaihtomäärät arvioitiin niiltä vuosilta, joilta tiedot puuttuivat. Kehitetty malli perustuu seuraaviin periaatteisiin ja oletuksiin:

1. Koko solmuvälin kiskotus oletetaan vaihdettavan samanaikaisesti. Mahdollisia rinnakkaisia raiteita käsitellään erillisinä yhteyksinä, jolloin rinnakkaisilla raiteilla kiskojen vaihdot voivat tapahtua eri aikoina.
2. Kuluminen riippuu kumuloituneesta liikennemäärästä (bruttotonneina).
3. Jokaisella solmuvälillä lasketaan kumuloituneita liikennemääriä. Niiden saavutettua “kriittisen tason” tapahtuu kiskojen vaihto. Kiskojen vaihdon tapahduttua liikennemäärän laskuri nollataan ja laskeminen aloitetaan jälleen alusta.
4. Kumuloituneiden liikennemäärien kriittiset tasot, jolloin kiskonvaihdot tapahtuvat, määräytyvät siten, että rata-alueen (koko maan) havaitut yhteenlasketut kiskojen vaihdot allokoidaan solmuväleille kumuloituneiden liikennemäärien määräämässä järjestyksessä.

¹⁶Miksi raidesoraa käytetään, jos sen hinta on samaa suuruusluokkaan kuin sepelin kustannus? Valintaan vaikuttaa tässä pitkälti materiaalien saatavuus.

Koska solmuvälin koko kiskotus oletuksen mukaan uusitaan yhdellä kertaa, arvioituja kiskonvaihtojen yhteismääriä on mahdotonta saada vuositason tasolla täsmäämään tarkasti toteutuneiden kokonaismäärien kanssa. Toteutuneiden ja arvioitujen määrien välinen erotus siirretään seuraavaan vuoteen.

5. Jos tiedot vaihdettujen kiskojen kokonaismääristä rata-alueella puuttuvat, arviot perustuvat havaittujen kokonaismäärien avulla solmuväleille laskettuihin kriittisiin bruttotonniarvoihin. Menettelyä ei kuitenkaan voi käyttää jaksolle 1990–2005, sillä toteutuneilla kriittisillä kumuloituneilla bruttotonneilla on ollut taipumus kasvaa lähestyessä 1990-luvun taitetta. Jakson 1990-2005 arviot perustuvat radan eri kunnossapitoluokille lasketuille kriittisten bruttotonnimäärien keskiarvoihin, jotka on laskettu vuosien 1987-1989 arvoista.
6. Vuoden 1967 jälkeen solmuvälien kriittiset bruttotonniarvot on suhteutettu kiskotyyppiin ja niiden laskennallisiin vaihtorajoihin. (Kiskotyyppi on keskeinen tekijä solmuvälin “kunnossapitoluokan” määräytymisessä.)

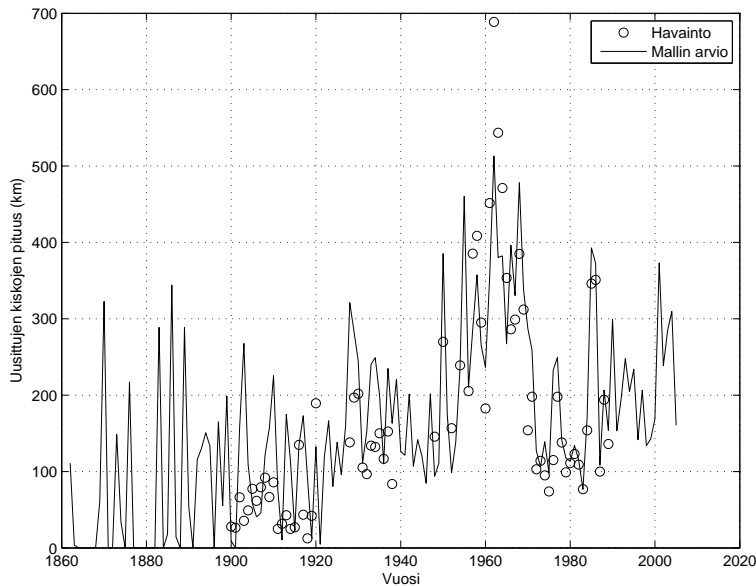
Rataosien kunnossapitoluokat vuonna 2005 ja kiskojen laskennalliset vaihtorajat (milj. bruttotonnia) niissä ovat seuraavat (vrt. RHK 2002b, s. 43):

A	B1	B2	C1	C2	D
50	200	250	300	300	450

Vuonna 2005 vallinneen kunnossapitoluokituksen oletetaan kiskotyyppien osalta vallinneen jo vuonna 1967. Oletus saattaa kuulostaa vahvalta mutta sillä ei välttämättä tehdä kovin suurta virhettä, koska oletuksella on merkitystä lähinnä eri kiskojen vaihdon “kiireellisyysjärjestykseen” solmuväleillä.

Mallilla arvioidut yhteenlasketut kiskojen vaihdot vuosina 1862–2005 on esitetty kuvassa 5. Näyttää siltä kuin mallilla lasketut arviot olisivat hieman korkeammalla tasolla kuin havainnot. Tämä johtuu lähinnä siitä, että mallin antamissa luvussa on mukana myös uusiin rataosuuksiin ja rinnakkaisiin raiteisiin sisältyvät kiskotyöt.

Uuden kiskoparin yksikköhinnaksi oletetaan 140 euroa/raidemetri, mikä muodostuu uuden kiskon hinnasta (45 euroa/juoksumetri) ja työn hinnasta (50 euroa/raidemetri). Kiskon vaihdon kustannuksia kasvattaa vielä turva- ja sähkölaitteiden asennus- ja purkutyöt, 7,5 euroa/raidemetri.

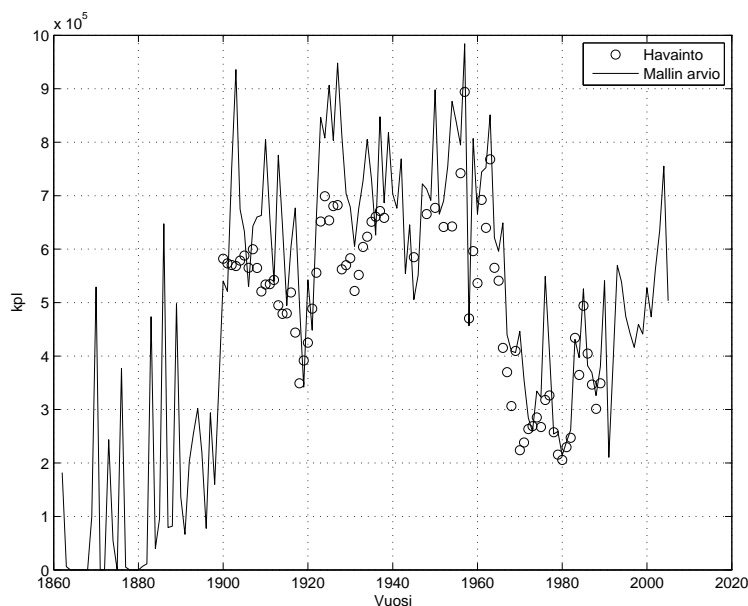


Kuva 5: Kiskojen vaihtotyöt (km) vuosina 1862—2005.

4.6 Ratapölkkyt

Tietoja vaihdettujen ratapölkkyjen määristä on vastaavilta vuosilta ja vastaavalla tavalla alueellisesti eriteltynä kuin kiskotöistä. Puuttuvien tietojen täydentämisessä ja vaihdettujen pölkkyjen kokonaismäärien kohdentamisessa solmuväleille on menetelty pitkälti samalla tavalla kuin kiskotietojen kohdalla. Erityisesti on syytä mainita seuraavat seikat:

1. Vaihdettujen ratapölkkyjen määrät rata-alueilla vuosina 1939-1944, 1946-47, 1949, 1951, 1953, 1955, joilta tieto vaihdettujen pölkkyjen määristä puuttuu, arvioidaan interpoloimalla.
2. Solmuvälin kaikki ratapölkkyt oletetaan vaihdetun samalla kertaa.
3. Vaihdettujen ratapölkkyjen kokonaismäärät rata-alueilla kohdennetaan alueen solmuväleille kumuloituneiden liikennemäärien määräämässä järjestyksessä (samalla tavalla kuin kiskot edellä).
Pölkkyjen kokonaismäärä solmuvälillä saadaan kertomalla solmuvälin pituus (kilometreinä) luvulla 1640, joka on pölkkyjen keskimääräinen lukumäärä raidekilometriä kohden rautatieverkostossa.
4. Ratapölkkyjen vaihdot vuosina 1862–1899 sekä 1989–2005 arvioidaan, kuten kiskojen vaihdot edellä, hyödyntämällä mallilla solmuväleille laskevia keskimääräisiä kriittisiä bruttotonneja.



Kuva 6: Vaihdettujen ratapölkkyjen lukumäärä vuosina 1862—2005.

5. Puupölkyn iän oletetaan olevan 0,7 kertainen betonipölkyn ikään verrattuna. Vuoteen 1967 saakka rataverkoston kaikkien pölkkyjen oletetaan olevan puupölkkyjä. Ensimmäisen pölkkyjen vaihdon yhteydessä vuoden 1967 jälkeen puupölkkyt oletetaan vaihdetun betonipölkkyiksi, jos solmuvälillä on ollut betonipölkkytys vuonna 2005.

Kuvassa 6 on esitetty havainnot ja mallilla lasketut arviot vaihdettujen pölkkyjen määrästä koko maassa. Mallin antamat luvut ovat hieman havaintoja korkeammalla tasolla. Tämä johtunee lähinnä siitä, että mallin luvuissa on mukana myös uusiin rataosuuksiin sisältyvät pölkkyt.

Pölkkyvaihdon kustannus muodostuu pölkkyjen hankintahinnasta (50 euroa/puupölkky ja 75 euroa/betonipölkky) ja asennuskustannuksesta (64 euroa/raidemetri). Ottamalla huomioon, että pölkkyjä tarvitaan keskimäärin 1,64 kappaletta metriä kohden, puupölkkyjen kustannukseksi saadaan 146 euroa/raidemetri ja betonipölkkyjen kustannukseksi 187 euroa/raidemetri.

4.7 Vaihteet

Tutkimukseen otettiin mukaan liikennepaikkojen yhteydessä olevat vaihteet. Liikennepaikkojen ulkopuolelle jää pieni osa rautatieverkoston vaihteista.

Vaihteiden lukumäärät liikennepaikoilla vuosina 1900–1925 on kerätty rautatietilastoista ja vuoden 2007 tiedot on saatu vaihderekisteristä. Vuonna 2005 liikennepaikoilla oletettiin olevan sama määrä vaihteita kuin vuonna 2007.

Puuttuvia tietoja täydennetään seuraavasti:

1. Vaihteiden lukumäärä liikennepaikalla vuosina 1862—1899 (liikennepaikan perustamisesta alkaen) oletetaan samaksi kuin vuonna 1900.
2. Vaihteiden lukumäärät liikennepaikoilla vuosina 1926—1940 oletetaan samaksi kuin vuonna 1925.
3. Vaihteiden lukumäärät liikennepaikoilla vuosina 1941—2004 muodostetaan interpoloimalla.
4. Jokaiselle yksittäiselle vaihteelle erikseen arvioidaan oma elinkaarensa. Vaihte joko (i) lakkautetaan tai (ii) se korvataan säännöllisin välein toisella. Vaihte voidaan lakkauttaa, jos liikennepaikan vaihteiden kokonaismäärän arvioidaan vähenevän ko. vuonna. Vaihteet lakkautetaan vanhimmasta päästä alkaen. Vaihteet vaihdetaan uuteen, kun liikennepaikan läpi kulkenut kumuloitunut liikennemäärä on saavuttanut 150 milj. bruttotonnin rajan.¹⁷

Kuvassa 7 on esitetty havaitut vaihteiden kokonaismäärät ja niiden perusteella muodostetut arviot. Vuonna 1940 tapahtunut notkahdus johtuu luovutetulle alueelle jääneiden liikennepaikkojen menettämisestä.

Uuden vaihteen hinnaksi oletetaan 120000 euroa.

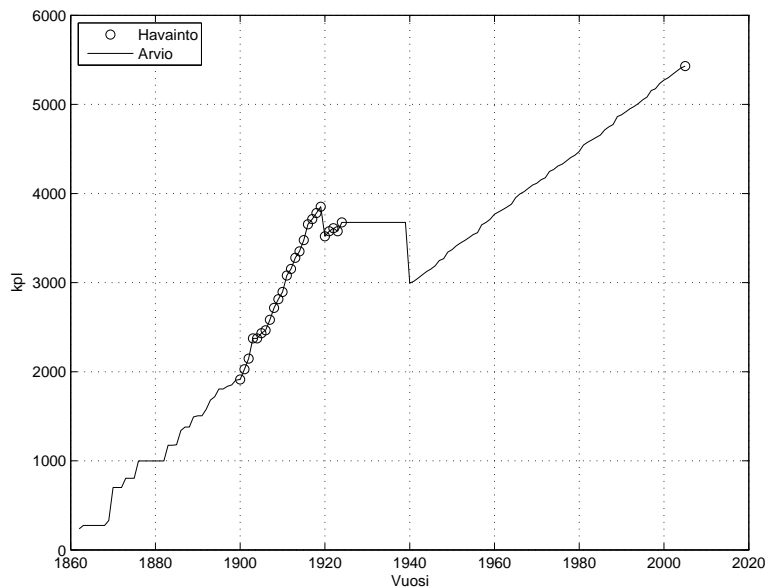
4.8 Sivuraiteet

Myös sivuraiteet ovat enimmäkseen liikennepaikkojen yhteydessä. Liikennepaikkojen ulkopuolella olevia sivuraiteita ei tässä tutkimuksessa ole mukana.

Sivuraiteita koskevia tietoja on samoilta vuosilta kuin vaihteita koskevia tietoja ja samalla tavalla liikennepaikoittain eriteltyinä.

Puuttuvat tiedot arvioidaan vastaavalla tavalla kuin vaihteiden kohdalla. Ensiksi arvioidaan puuttuvat tiedot liikennepaikoittain interpoloimalla ja tämän jälkeen liikennepaikkojen sivuraidekilometreille muodostetaan “histo-

¹⁷Liikennepaikan läpi kulkevien liikennemäärien laskemisessa on otettu huomioon, että useamman solmuvälin risteyksessä olevalle liikennepaikalle “kasautuu” liikennettä eri suunnista.



Kuva 7: Suomen rautatieverkostossa olevien vaihteiden lukumäärä.

ria” eli arviot siitä, minä vuosina kunkin vuosikerran sivuraiteet uusitaan ja minkä vuosikerran sivuraiteisiin mahdollinen kokonaismäärän väheneminen kohdistuu.

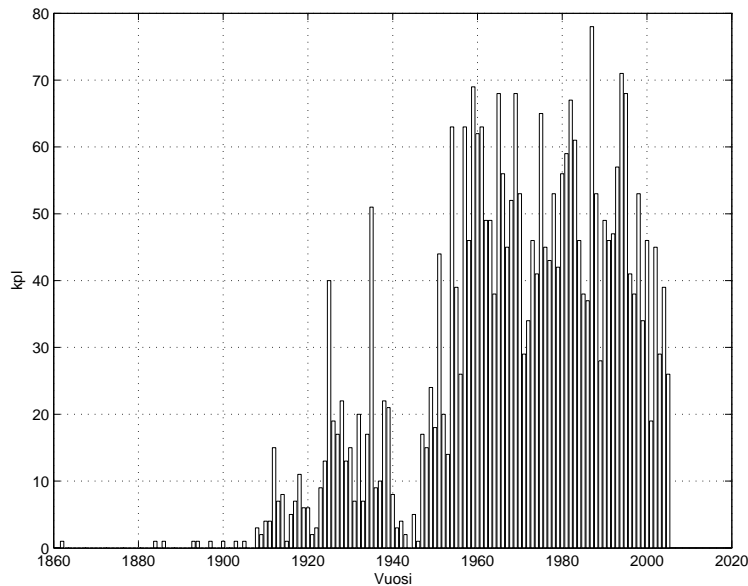
Kuvassa 2 on esitetty arvioidut yhteenlasketut sivuraidekilometrit (käyrien erotuksena).

Sivuraiteen pitoajaksi oletetaan 50 vuotta. Samalla kertaa oletetaan uusittavan myös sivuraiteiden pölkytys. Kustannus muodostuu kiskon ja pölkyn vaihdon kustannuksesta (ks. edellä).

4.9 Sillat

Tutkimuksessa on mukana kaikki RHK:n siltarekisterissä olevat, vuoteen 2005 mennessä valmistuneet rautatiesillat (3207 kpl). Aineistossa on 578 siltaa, jotka eivät ole RHK:n omistuksessa (omistajana tielaitos, kaupunki tai kunta). Aineistosta karsittiin sillat (12 kpl), joita ei pystytty paikallistamaan.

Tutkimuksessa mukana oleviin siltoihin liittyy sijaintitieto, rakennusvuosi ja jännemitta. Sijaintitietojen avulla sillat voidaan kohdentaa solmuväleille. Niissä muutamassa tapauksessa, joissa tieto valmistumisen ajankohdasta puuttui, rakennusvuodeksi merkittiin rataosan valmistumisvuosi. Sillasta ei

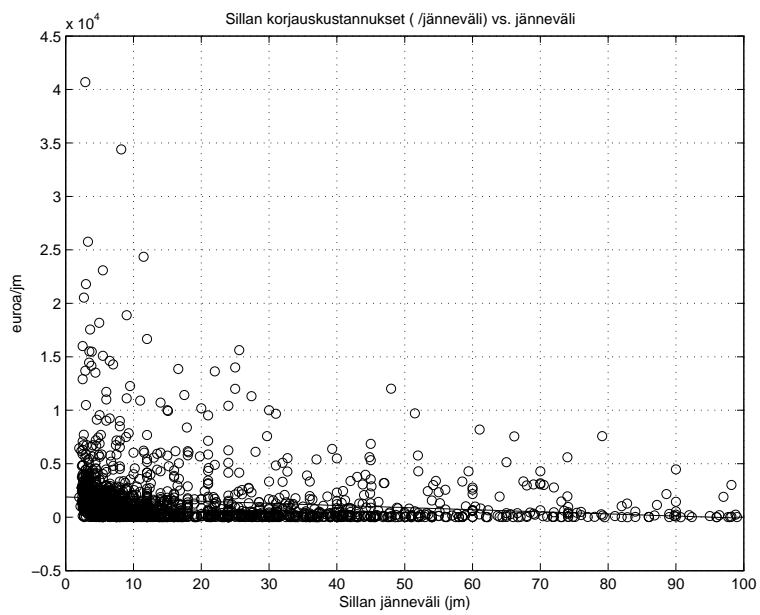
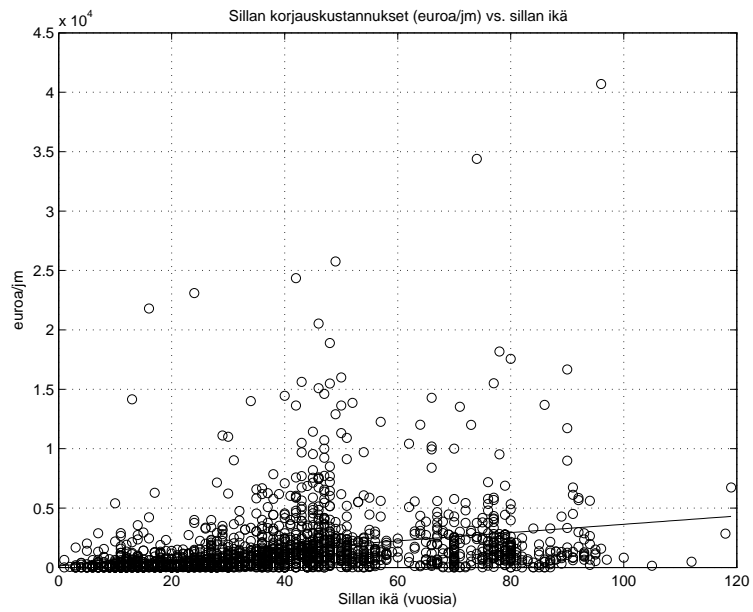


Kuva 8: Vuosina 1862–2005 valmistuneiden siltojen lukumäärä.

valitettavasti tiedetä, onko se kokonaan uusi korvaten esimerkiksi rautatien ja tien tasoristeyksen vai korvaako se vanhemman sillan. Jatkossa oletetaan johdonmukaisesti, että silta on kokonaan uusi eikä korvaa mitään vanhaa siltaa. Oletuksen vaikutus näkyy selvästi kuvassa 8, jossa on esitetty vuosina 1862–2005 valmistuneiden siltojen lukumäärä. Suhteellisen pieneltä näyttävään siltojen lukumäärään tarkastelujakson alkupuolella vaikuttaa sekin, ettei aineistossa ole mukana ennen sotaa rakennettuja, luovutetulle alueelle jääneitä siltoja.

Silloille tehdään säännöllisesti kuntotarvekartoituksia. Näissä kartoituksissa kohteena oleville silloille muodostetaan subjektiivisiin arviointeihin ja painoihin perustuvat kuntotarveindeksit ja arvioidaan tarvittavia korjauskustannuksia. Tätä tutkimusta varten käytettävissä oli vuosien 2002 ja 2005 kuntotarvekartoitusten aineisto. (Jälkimmäinen on dokumentoitu raportissa RHK 2005). Ehkä arviointien ja kuntokriteerien painojen subjektiivisesta luonteesta johtuen kuntotarveindeksin ja sillan iän välille ei pystytty löytämään tilastollista riippuvuutta. Myöskään kuntotarveindeksin ja korjauskustannuksien välille ei löytynyt selvää riippuvuutta. Näistä syistä johtuen kuntotarveindeksistä sillan kulumisen mallittamisessa täytyi luopua.

Aineistossa olevien siltojen korjauskustannuksia (jännevälän pituusmetriä kohden) näyttää parhaiten selittävän sillan ikä ja pituus (kuva 9).



Kuva 9: Sillan korjauskustannukset vs. sillan ikä (ylempi kuva) ja sillan pituus (alempi kuva)

Havainnoista laskettiin sovite seuraavalle funktiomuodolle¹⁸:

$$y = b_1 x^{b_2} + b_3 z^{b_4}, \quad (12)$$

missä y = korjauskustannukset (euroa/jm), x = sillan ikä ja z on pituus. Kertoimien arvoiksi saadaan

b_1	b_2	b_3	b_4
55.90	0.86	13020	-2.23

Siltojen peruskorjauksien väliksi oletetaan 40 vuotta.¹⁹ Peruskorjauksien jälkeen siltojen oletetaan olevan uutta vastaavassa kunnossa. Tällöin peruskorjauksen kustannus (jännevälin metriä kohden) jännevälin pituuden funktiona saadaan kaavasta (12) sijoittamalla $x = 40$. Sillan pitoajaksi oletetaan 120 vuotta (sisältäen 2 peruskorjausta), minkä jälkeen se oletetaan uusittavan.

Sillan rakentamiskustannukseksi oletetaan 8900 euroa/m.

4.10 Rummut

Tutkimuksessa on mukana kaikki rumpurekisteriin sisältyvät vuoteen 2005 mennessä valmistuneet rummut (5813 kpl). Aineistosta karsittiin rummut (29 kpl), joita ei pystytty paikallistamaan. Mukana oleviin rumpuihin liittyy sijaintitietojen lisäksi seuraavat tiedot: rakennusvuosi, fyysiset dimensiot, tyyppi (9 erilaista) ja perustamisen tapa. Jos tieto rummun rakentamisen ajankohdasta puuttui (5217 tapausta), rakennusvuodeksi oletettiin solmuvälin valmistumisvuosi.

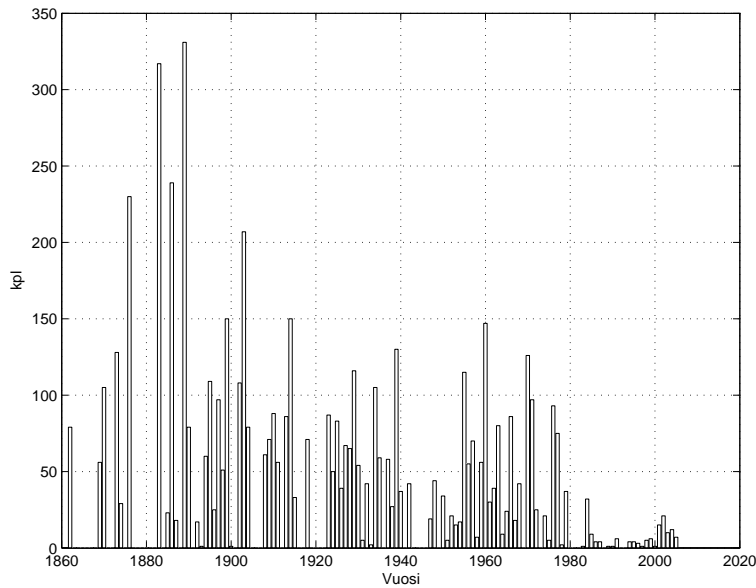
Kuvassa 10 on esitetty tarkastelujakson aikana valmistuneiksi arvioitujen rumpujen lukumäärä.

Sijaintitietojen avulla rummut kohdennettiin solmuväleille. Investointi- ja korjauskustannuksien oletettiin riippuvan pelkästään rummun pituudesta. Milloin pituustieto puuttui (522 tapausta), rummun pituudeksi oletettiin 15 m (aineiston keskiarvo 15.6 m).

Rummun pitoajaksi oletetaan 40 vuotta. Pitoajan jälkeen rumpu korvataan uudella. Rummun rakennuskustannukseksi oletetaan 1000 euroa/m.

¹⁸Milloin silta oli mukana sekä vuoden 2002 että vuoden 2005 kuntotarvekartoituksessa mukaan otettiin vain sen vuoden havainto, jolloin kuntotarveindeksi oli suurempi.

¹⁹Asiantuntijat suosittelevat tavallisesti lyhyempiä peruskorjauksien välejä, tässä tapauksessa 30 vuotta. Käytännössä asiantuntijoiden suosituksilla on taipumus tulla ylityksi. Tästä syystä tässä tutkimuksessa on käytetty hieman pidempiä pitoaikoja.



Kuva 10: Vuosina 1862–2005 valmistuneiden rumpujen lukumäärä.

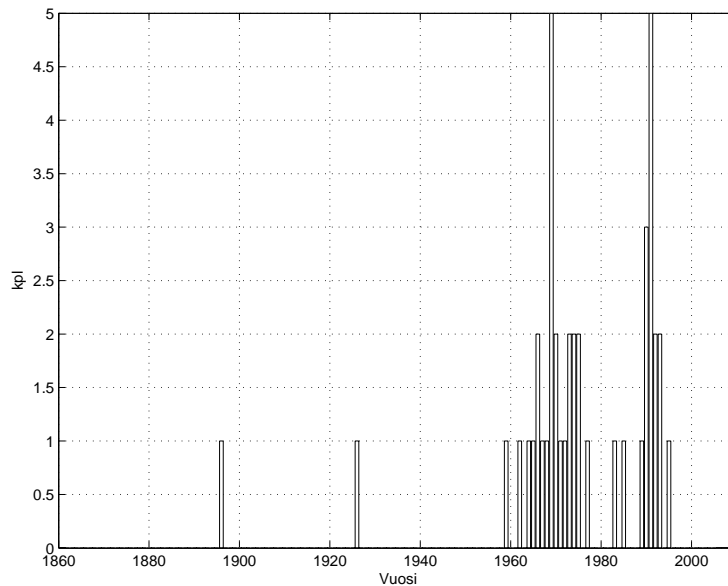
4.11 Tunnelit

Tutkimuksessa on mukana kaikki 42 tunnelirekisteriin sisältyvää tunnelia. Sijaintitietojen lisäksi aineistossa oleviin tunneleihin liittyy tiedot rakennusvuodesta ja pituudesta. Kuvassa 11 on esitetty tarkastelujakson aikana valmistuneiden tunneleiden lukumäärä.

Investointi- ja korjauskustannuksien oletetaan riippuvan tunnelin pituudesta. Peruskorjauksien yhteydessä oletetaan lisäksi suoritettavan suuaukkojen betonointi.

Tunnelin rakentamiskustannus muodostuu varsinaisesta rakentamisesta (7000 euroa/m) ja turvalaitteiden kustannuksesta (300 euroa/m). Tunnelin peruskorjauskustannus muodostuu varsinaisen peruskorjauksen kustannuksesta (1500 euroa/m), turvalaitteiden uusimisen kustannuksesta (300 euroa/m) ja tunnelin betonisten suuaukkojen uusimisesta (110000 euroa/tunneli).

Tunnelin peruskorjauksien väliksi oletetaan 40 vuotta ja koko tunnelin pitoajaksi 120 vuotta. (Käyttöikätaavoite kantavien rakenteiden suunnittelussa on 100 vuotta.)



Kuva 11: Vuosina 1862–2005 valmistuneiden tunneleiden lukumäärä.

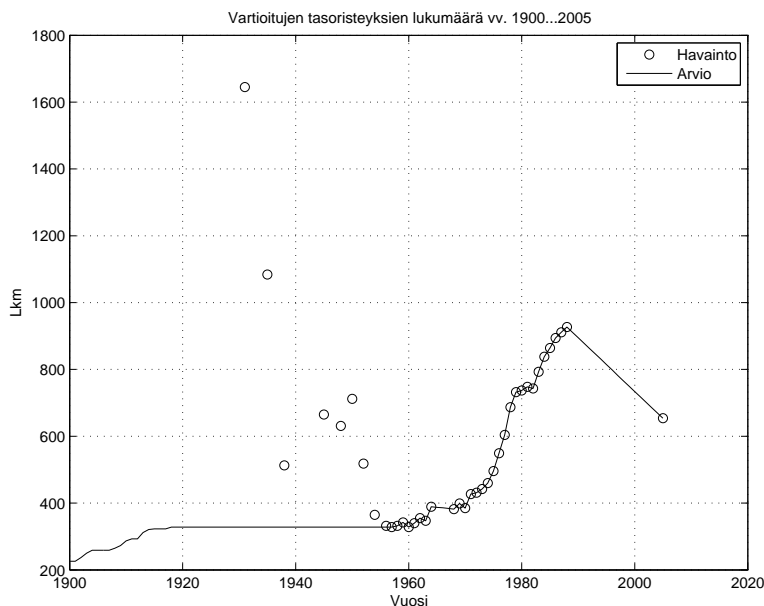
4.12 Tasoristeykset

Tasoristeyksiä oli vuonna 2005 yhteensä 3260 kappaletta. Tähän tutkimukseen sisällytettiin vain vartioidut tasoristeykset; so. risteykset, jotka on varustettu puomeilla, valoilla tai äänimerkeillä tai näillä kaikilla. Tällaisia risteyksiä oli 654 kpl vuonna 2005.

Vartioitujen tasoristeyksien lukumäärätietoja pyrittiin etsimään rautatietilastoista. Tietoja löytyi vuosita 1931–1988. Vuodelta 2005 on käytettävissä lukumäärätiedot 73 rataosuudelta.

Tietoja täydennettiin ja käsiteltiin seuraavasti:

1. Vuosien 1931–1956 lukumäärätiedot vaikuttavat epäilyttävän suurilta. Tästä syystä ne jätettiin aineiston ulkopuolelle.
2. Puuttuvat kokonaismäärät aikavälillä 1957–2004 arvioitiin interpolamalla.
3. Vuoden 2005 rataosittaiset tiedot kohdennettiin rataosien solmuväleille solmuvälien pituuksien suhteessa. Saadut luvut pyöristettiin kokonaisluvuksi ottaen samalla huomioon, että pyöristetyt arvot summautuvat oikein.

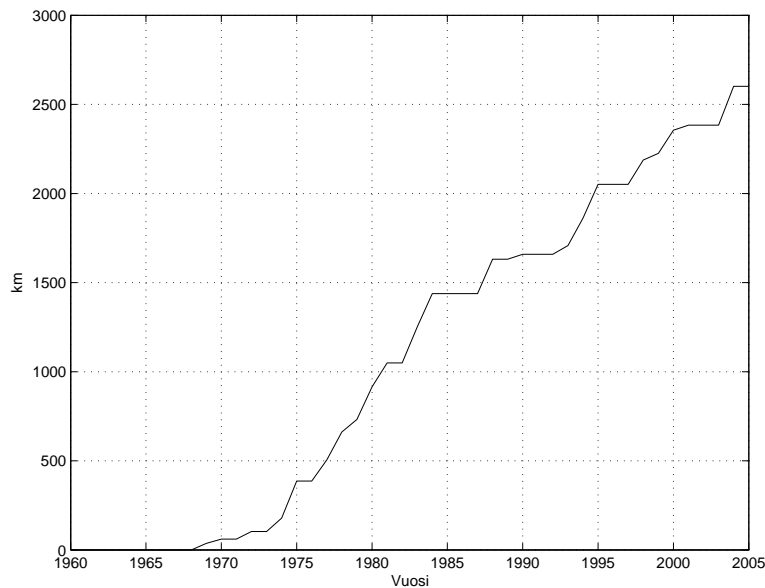


Kuva 12: Vartioitujen tasoristeyksien lukumäärä vuosina 1900—2005.

4. Koko maan lukumäärät vuosina 1957–2004 kohdennettiin solmuväleille vuoden 2005 määrien suhteessa (ottaen samalla huomioon, ettei tasoristeyksiä voi olla rataosalla, joka ei vielä ole olemassa).
5. Vuosina 1900–1956 (tai siitä lähtien, kun solmuväli on ollut olemassa) solmuvälillä oletettiin olevan sama määrä vartioituja tasoristeyksiä kuin vuonna 1957.
6. Lopuksi jokaiselle tasoristeykselle muodostettiin oma “historiansa”. Tasoristeys voi olla toiminnassa perustamisen hetkestä vuoteen 2005 tai se on voitu lakkauttaa ennen vuotta 2005. Solmuvälillä olevat tasoristeykset oletetaan lakkautetuksi aina vanhimmasta päästä alkaen. (Näinhän lakkauttamiset eivät välttämättä käytännössä toimi, mutta muun informaation puuttuessa tämä vaikuttaa järkevimmältä oletukselta.)

Kuvassa 12 on esitetty havaitut ja arvioidut vartioitujen tasoristeyksien lukumäärät vuosina 1900–2005. Ennen vuotta 1900 ei vartioituja tasoristeyksiä oletuksen mukaan ollut olemassa. Tasoristeyslaitteet oletetaan uusittavan kokonaan aina 50 vuoden välein.

Vartioidun tasoristeyksen rakennuskustannukseksi oletetaan 105000 euroa/risteys.



Kuva 13: Sähköistetyt ratakilometrit vuosina 1960–2005.

4.13 Sähköistys

Tutkimusta varten oli käytettävissä kattavat tiedot sähköistyksestä (eli tieto siitä onko rataosa sähköistetty vai ei-sähköistetty) sekä sen tiedot sähköistytyn valmistumisen ajankohdista kaikilla rataosilla. Kuvassa 13 on esitetty sähköistettyjen rataosien kokonaispituus vuosina 1960–2005.

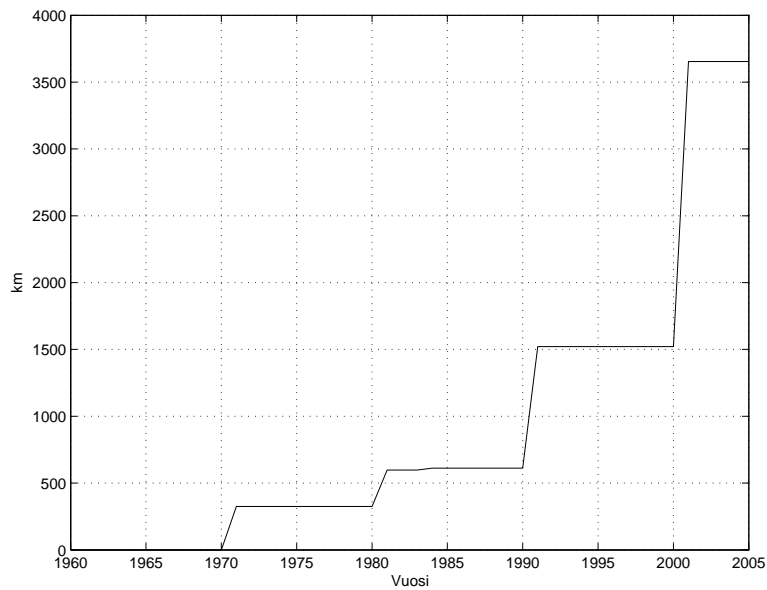
Sähköistytyn investointikustannukset arvoidaan keskimääräisillä raidekilometriä kohden lasketuilla kustannuksilla. Solmuvälin sähköistys oletetaan uusittavaksi kokonaisuudessaan pitoaikansa (40 vuotta) jälkeen.

Sähköistytyn kustannukseksi oletetaan 200 euroa/raidemetri.

4.14 Turvalaitteet

Tutkimusta varten käytettävissä oli tieto siitä, onko rataosalla (129 rataosaa) automaattinen kulunvalvonta, kauko-ohjaus tai suojustus (tai nämä kaikki). Lisäksi tiedettiin turvalaitteiden ikäluokka: 0–10, 11–20, 21–30 tai yli 30 vuotta.

Tutkimuksessa oletettiin, että kaikki rataosat, joissa oli jokin yllämainituis-



Kuva 14: Turvalaitteilla varustetut ratakilometrit vuosina 1960–2005.

ta turvajärjestelmistä, olivat homogeenisia turvalaitejärjestelmän suhteen. (Valtaosalla rataosia on käytössä kaikki mainitut järjestelmät.) Turvalaitejärjestelmän iäksi valittiin ikäluokan keskimäinen vuosi.

Kuvassa 14 on esitetty turvalaitteilla varustettujen ratakilometriä kehitys vuosina 1960–2005.

Turvalaitejärjestelmän pitoajaksi oletetaan 15 vuotta ja kustannukseksi 190 euroa/raidemetri.

5 Tulokset

Tulokset riippuvat mallin parametreistä (korkeus, ulkoisvaikutus), pääoman kulumistavasta (äkkikuolema-, geometrinen, lineaarinen kuluminen), yksikköhinnoista, pitoajoista ja muista taustalla olevista oletuksista. Tulokset esitetään ensiksi perustapaukselle, joita sitten verrataan vaihtoehtoisilla oletuksilla saataviin tuloksiin. Perustapauksessa:

- o Korkeus $r = 4$ %.
- o Ei ulkoisvaikutuksia ($\alpha = 0$).
- o Pääoman kuluminen on äkkikuolema-tyyppistä.

Valittu korkeus on hieman korkeampi kuin pitkällä aikavälillä valtion oblikaatioille maksettu reaalin korkeus. Ulkoisvaikutusten voimakkuuden selvittäminen vaatisi oman tutkimuksensa. Pääoman kulumistapaa koskevista oletuksista äkkikuolema -kuluminen on rautateiden kohdalla uskottavin. (Kulumisen aiheuttamaa suorituskyvyn edes tilapäistä alenemista ei sallita käytännössä.)

Kuvassa 15 on esitetty rautatieverkostoon sitoutuneen varallisuuden arvo komponentteittain ja yhteensä vuosina 1862–2005 perustapauksessa. (Alin käyrä kuvaa alusrakennetta, seuraava alusrakennetta ja tukikerrosta yhteensä jne.) Kuvassa 16 on esitetty vastaava kehitys pääomapalvelusten volyymindeksille.

Vuonna 2005 rautatievarallisuus oli noin 7 mrd euroa. Ensimmäisen ratayhteyden perustamisesta rautatievarallisuus kasvoi keskimäärin 4,5 %²⁰ vuodessa vuoteen 1939 saakka. Sodan seurauksena varallisuudesta menetettiin noin 14 %.²¹ Sodan jälkeen rautatievarallisuus on kasvanut keskimäärin 1 %:a vuodessa. Viimeisen reilun 20 vuoden aikana tapahtunut kasvu johtuu etupäässä rautateiden sähköistyksestä, turvalaitteiden asentamisesta ja siltojen rakentamisesta.²²

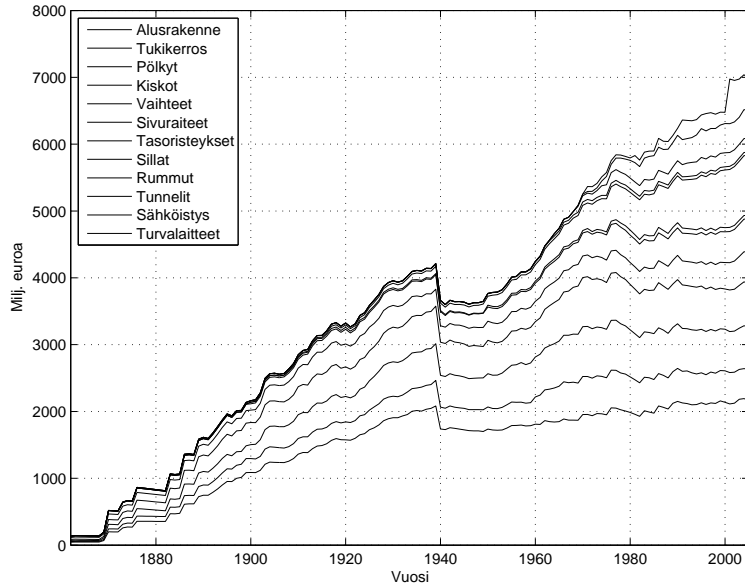
Rautatievarallisuus jakautui vuonna 2005 komponenttien kesken taulukossa 2 esitetyllä tavalla.

Pääomapalvelusten volyymindeksin (PPVI) kehitys on (skaalaa lukuun ottamatta) kokonaisuutena samanlaista kuin varallisuuden (kuva 16). Vuoteen

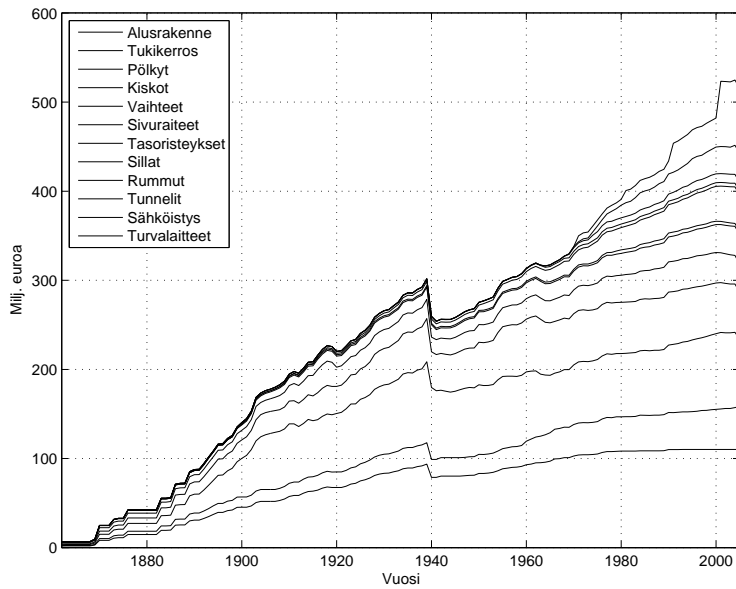
²⁰Logaritmien erotuksen keskiarvona.

²¹Luvun täytyy todellisuudessa olla jonkin verran korkeampi, sillä aineistossa ei ole mukana mm. luovutetuille alueille jääneitä rautatiesiltoja

²²Siltojen osalta kasvu saattaa olla näennäistä, sillä aineistossa ei ole mukana siltojen mahdollisesti korvaamia vanhoja siltoja.



Kuva 15: Rautatieverkoston sitoutunut varallisuus komponenteittain vuosina 1862–2005.



Kuva 16: Rautatieverkoston pääomapalvelusten volyyymi-indeksin kehitys komponenteittain vuosina 1862–2005.

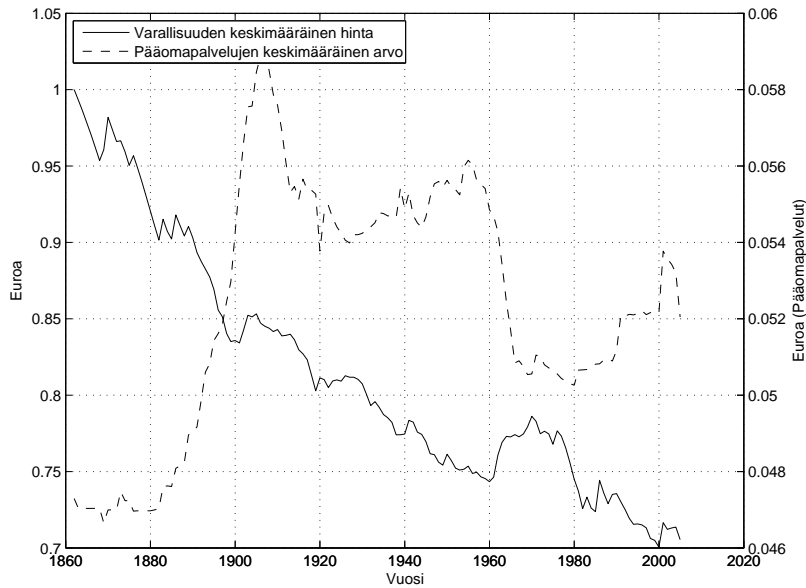
Taulukko 2: Rautatievarallisuuden jakaantuminen (%) eri komponenttien kesken vuonna 2005.

Alus- rakenne	Tuki- kerros	Pölkyt	Kiskot	Vaihteet	Sivu- raiteet
31.1	6.6	9.2	9.3	6.7	7.1
Tasoris- teykset	Sillat	Rummut	Tunnelit	Sähköis- tys	Turva- laitteet
0.7	12.9	0.7	3.0	6.0	6.8

1940 saakka kasvu oli keskimäärin 5 % vuodessa ja tämän jälkeen vuodesta 1940 vuoteen 2005 keskimäärin 1,1 % vuodessa. Komponenttien suhteellisessa asemassa on kuitenkin tapahtunut pieniä muutoksia. Pidemmän pitoajan omaavien komponenttien (alusrakenne, sillat) suhteellinen asema on pienentynyt ja lyhyemmän pitoajan omaavien komponenttien (pölköt ja turvalaitteet) suhteellinen asema on parantunut.

Kuvassa 17 on esitetty keskimääräisen varallisuushinnan (jäljellä olevan varallisuuden osuus bruttopääomasta) ja keskimääräisen vuokrahinnan kehitys tarkastelujaksolla. Keskimääräinen varallisuushinta lasketaan painotettuna keskiarvona yksittäisten komponenttien ja komponentin osien varallisuushinnoista. Yksittäisen varallisuushinnan kehitystä kuvaa peräkkäinen sarja kiihtyvästi ykkösestä nolnaan laskevia käyriä (ks. kuvan 1 vasemmanpuoleinen käyrä). Tästä syklimäisyydestä johtuen on ymmärrettävää, että myös tällaisten käyrien painotettu keskiarvo välillä kasvaa ja välillä laskee. Pidemmällä aikavälillä varallisuushintojen keskiarvo on selvästi laskussa, mikä johtuu omaisuuden pitkäikäisten komponenttien ja komponentin osien (alusrakenne ja sillat) vanhenemisesta. Pääoman keskimääräisen vuokrahinnan kehitys ei osoita mitään selvää tendenssiä — mikä vaikuttaa aivan oikealta; perustuvathan laskelmat pääoman kulumistavan osalta äkkikuolema -oletukseen, mihin liittyvä ikä-tehokkuus -profiili on vakio. Keskimääräisten vuokrahintojen heilahtelu johtuu rataosuuksien lakkauttamisista sekä uusien rataosuuksien tai komponenttien (sähköistys ja turvalaitteet) käyttöönotosta. Kuvassa 17 esiintyvää keskimääräisen vuokrahinnan voimakasta heilahtelua voi pitää osittain näennäisenä; se johtuu pystyakselille valitusta skaalasta.

Kuvassa 18 on esitetty rautatievarallisuuden arvot laskettuna kolmella vaihtoehtoisella kulumistapa -oletuksella. Lineaarinen kuluminen (lineaarinen arvon aleneminen) vastaa kirjanpidossa noudatettua poistotapaa ja siinä on pyritty käyttämään RHK:n noudatettavia pitoaikaoletuksia kirjanpidossaan. Geometrisen kulumisen kulumisasteena on käytetty 3 %. Komponentin tai sen osan pääoma on poistettu kokonaan pitoajan päätyttyä (uuden kompo-



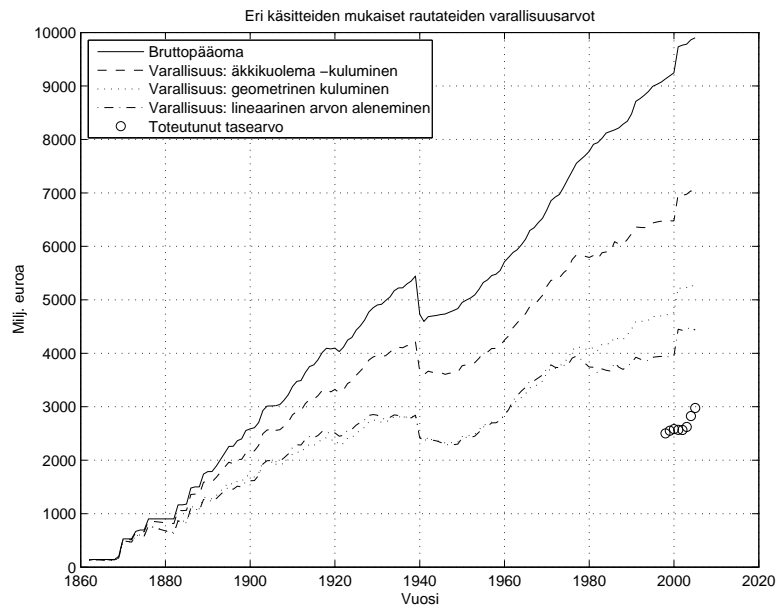
Kuva 17: Rautatievarallisuuden hinnan ja pääomapalvelujen arvon kehitys vuosina 1862–2005.

mentin tai sen osan korvatessa vanhan). Geometriseen ja lineaariseen kulumiseen liittyvät varallisuusarvot ovat viimeistä kahta vuosikymmentä lukuun ottamatta olleet hyvin lähellä toisiaan, keskimäärin 74 % äkkikuolemakulumiseen liittyvästä varallisuusarvosta ja 61 % bruttopääomasta. Kuvassa on myös esitetty toteutuneet RHK:n rautateiden käyttöomaisuuden tasearvot viimeiseltä 8 vuodelta. Ne ovat noin 1,5 mrd alemmalla tasolla kuin mallilla lasketut lineaariseen kulumiseen liittyvät varallisuusarvot. Miksi toteutuneet arvot poikkeavat (suhteellisesti) näinkin paljon laskennallisista arvoista? Yksi selitys on siinä, että havaitut tasearvot perustuvat historiallisiin arvoihin. Varsinkin pidempikestoisissa komponenteissa (alusrakenne, sillat ja tunnelit) tämä voi hyvinkin aiheuttaa havaitun suuruisen poikkeaman.

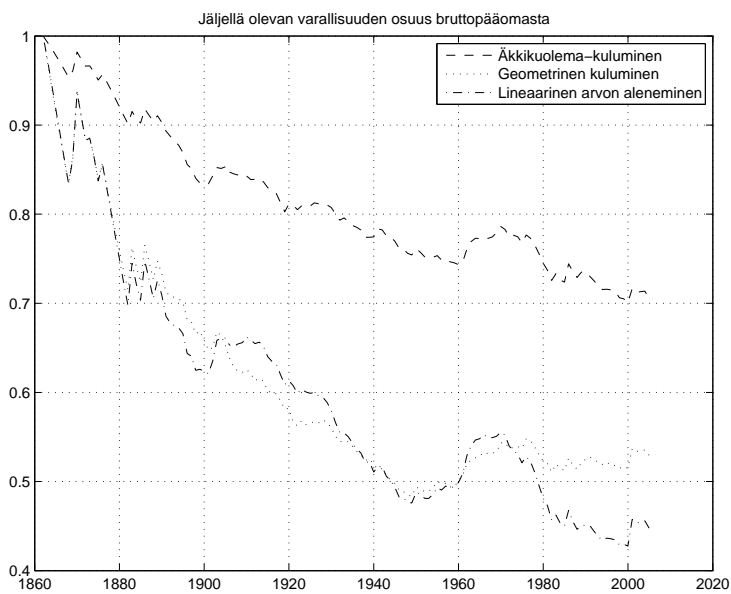
Kuva 19 näyttää kuinka paljon eri kulumistapoihin liittyvistä varallisuusista on jäljellä alkuperäisestä (hengissä olevasta) varallisuudesta (bruttopääomasta) tarkastelujaksolla. Äkkikuolemakulumiseen liittyvä käyrä on esiintynyt jo kuvassa 17. Kuva 18 osoittaa selvästi sen, kuinka lineaarisessa ja geometrisessa kulumisessa varallisuutta katoaa selvästi nopeampaan tahtiin kuin äkkikuolemakulumisessa.

Herkkyystarkasteluja

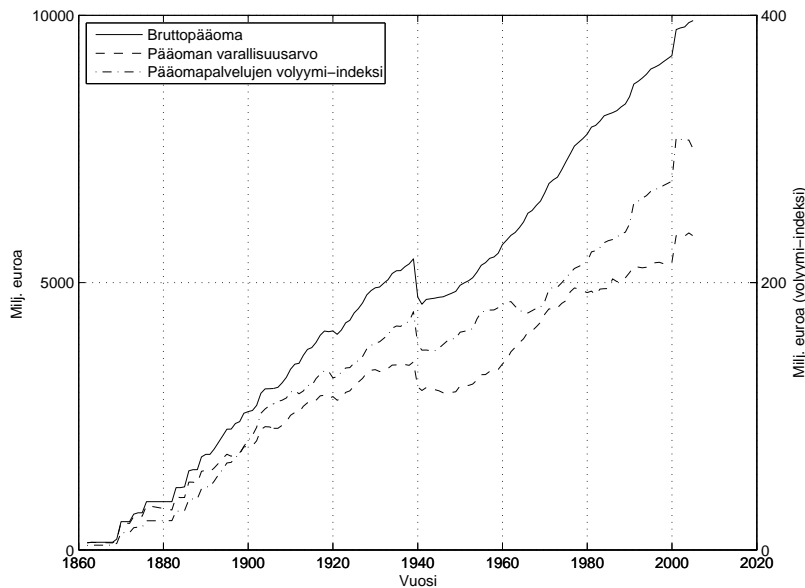
Kuten aiemmin todettiin, tulokset riippuvat mallin parametreista, kulumistapaa koskevasta oletuksesta, hinnoista, pitoajoista ja muista oletuksista.



Kuva 18: Eri kulumistapojen mukaisen rautatievarallisuuden kehitys vuosina 1862–2005.



Kuva 19: Eri eri kulumistapojen mukaisen rautatievarallisuuden osuus bruttopääomasta vuosina 1862–2005.

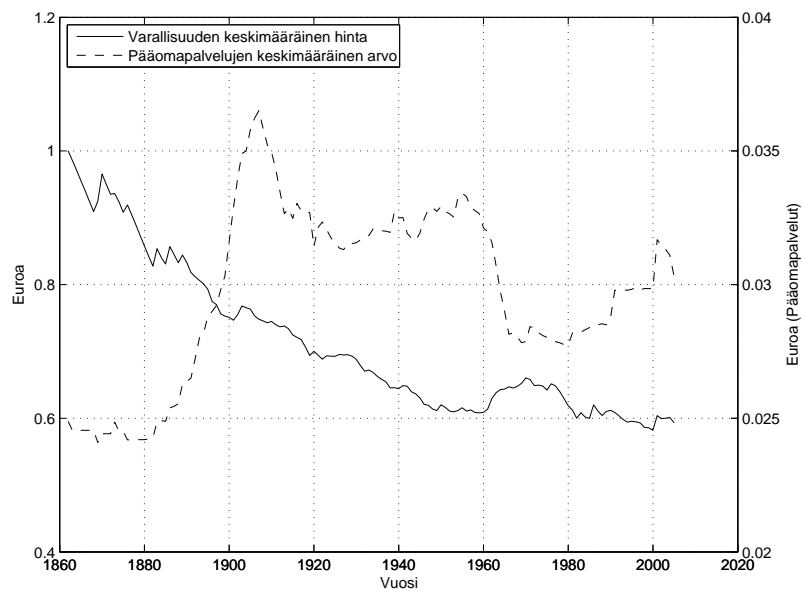


Kuva 20: Rautatievarallisuuden ja pääomapalvelusten volyyymi-indeksin kehitys, kun tuottojen kasvuaste $\alpha = 3\%$.

Edellä tarkasteltiin jo kulumistapa-oletuksien vaikutuksia tuloksiin. Seuraavassa tutkitaan koron r ja ulkoisvaikutuksen voimakkuuden (tuottojen kasvuasteen) α vaikutuksia. Itse asiassa tuottojen kasvuasteen kasvu merkitsee samaa kuin koron lasku. Tästä syystä huomio voidaan kiinnittää vain toiseen näistä parametreistä. Periaatteessa koron lasku (nosto) alentaa (nostaa) uuden pääomaesineen vuokrahintaa [kaava (8)], kaikkia varallisuushintoja ja siten kaikkia varallisuusarvoja.

Oletetaan, että tuottojen kasvuaste on $\alpha = 3\%$ perustapauksen $\alpha = 0\%$ asemasta.²³ Tämä merkitsee samaa kuin, jos korkoa laskettaisiin 4% :sta $0,97\%$:iin. Kuvassa 20 on esitetty vaikutukset varallisuusarvoihin ja pääomapalveluiden volyyymi-indeksiin. Varallisuuden arvo vuonna 2005 laskee 14% kuvan 15 perustilanteesta ja pääomapalvelusten volyyymi-indeksi vuonna 2005 noin 35% kuvan 16 perustilanteesta. Keskimääräinen varallisuushinta laskee nyt nopeammin perustapaukseen verrattuna (kuva 21). Tarkasteluperiodin lopussa alkuperäisestä varallisuudesta on jäljellä 60% , kun perustapauksessa sitä oli jäljellä 70% (kuva 17). Keskimääräinen pääoman vuokrahinta heilahtelee kuten perustapauksessa.

²³Tuottojen 3% :n vuotuinen kasvuaste on epärealistisen suuri mutta tarkoituksena onkin lähinnä demonstroida vaikutuksien suuntaa ja tuloksien herkkyyttä parametrien muutoksille.



Kuva 21: Rautatievarallisuuden hinnan ja pääomapalvelujen arvon kehitys, kun tuottojen kasvuaste $\alpha = 3\%$.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksessa pyritään arvioimaan suomalaisen rautatieinfrastruktuurin arvoa kahden pääoman käsitteen: pääoman varallisuusarvon ja pääomapalvelusten volyyymi-indeksin (tuottava pääoma) avulla.

Tutkimuksessa kehitettävä laskentamenetelmä perustuu rautatieverkoston toteutuneiden fyysisten muutosten inventointiin, arvioihin korvausinvestointien tarpeesta ja jälleenhankintahintojen käyttöön.

Tulokset riippuvat mallin parametreista (korke, mahdollisen ulkoisvaikutuksen voimakkuus), rautatien suorituskvyn kehitystä (pääoman kulumista) koskevasta oletuksesta, yksikköhinoista, pitoajoista ja muista taustalla olevista oletuksista. Laskentamenetelmän etuna on läpinäkyvyys ja se, että laskelmat voidaan tarvittaessa toistaa uusilla oletuksilla ja parametrien arvoilla.

Koska viranomaisten tehtävänä on säännöllisesti toistuvien korvausinvestointien avulla huolehtia rautatieverkoston suorituskvyn säilymisestä, luonteva oletus suorituskvyn muutoksille on äkkikuolema-kuluminen: rautatie suorittaa tehtävänsä koko pitoaikansa 100 %:sti (tai ainakin lähes) suorituskvyn romahtaessa vasta, kun rautatie on palvelunsa palvellut.

Tällä kulumistapa-oletuksella Suomen rautatieverkostoon sitoutuneen varallisuuden arvoksi vuonna 2005 saadaan 7 mrd euroa, mikä on noin 70 % rautatieverkostoon sitoutuneen bruttopääoman (aikaisempien vielä hengissä olevien investointien) arvosta. Vaihtoehtoisilla suorituskvyn muutoksia koskevilla oletuksilla — geometrinen kuluminen, joka on taloustieteilijöiden suosiossa, ja lineaarinen suorituskvyn aleneminen, joka vastaa kirjanpidossa yleisesti noudatettua oletusta — varallisuuden arvo jää yli kolmanneksen pienemmäksi. Viimeisimmät toteutuneet kirjanpidon tasearvot ovat olleet noin 1,5 mrd nyt (samoilla pitoaika-oletuksilla) laskettuja arvoja pienemmät. Erotus johtunee siitä, että kirjanpidon luvut perustuvat historiallisiin arvoihin, kun mallilla lasketut luvut perustuvat viimeisimpiin jälleenhankintahintoihin.

Käytetyt jälleenhankintahinnat saattavat jonkin verran yliarvostaa varhaisempia investointeja. Tätä kompensoi se, että varhaisemmista investoinneista saattaa puuttua joitain kohteita (siltoja). Ratapihojen ja asemarakennuksien puuttuminen aineistosta on myös otettava huomioon tuloksia tulkittaessa.

Mallia on mahdollista kehittää monella tapaa. Erityisesti komponenttien kulumista selittävien mallien kehittämisessä rautatieinfrastruktuurin tutkimuk-

sella olisi paljon niittämätöntä työsarkaa.

Malliin sisällytettiin ulkoisvaikutuksen voimakkuutta kuvaava muuttuja, jonka arvo kuitenkin asetettiin nolaksi (ei ulkoisvaikutuksia). Mahdollinen ulkoisvaikutuksen suuruus on estimoitava erikseen esimerkiksi ekonometrisessä mallissa — mahdollisesti yhdessä tässä työssä kehitetyn mallin kanssa. Kehitetyn mallin etuna on, että se mahdollistaa tämän tyyppisen yhteistyön.

Lähteet:

- Brown M. 1980: The Measurement of Capital Aggregates: A Postreswitching Problem. Teoksessa: Usher (toim.): *The Measurement of Capital*. The Chicago University Press, Chicago.
- Cohen A.J. ja G. C. Harcourt 2003: Retrospectives: Whatever happened to the Cambridge capital theory controversies? *Journal of Economic Perspectives* 17, 199-214.
- Cornes R. and T. Sandler 1996: *The Theory of Externalities, Public Goods, and Club Goods*. 2nd edition. Cambridge University Press.
- Diewert W.E. 1980: Aggregation problems in the measurement of capital. pp. 433–528 in the *Measurement of Capital*, D. Usher (ed.), Chicago: The University of Chicago Press.
- Diewert W.E. 2003: Measuring Capital. Working Paper 9526. NBER Working Paper Series.
- Diewert W.E. and F.C. Wykoff 2007: Depreciation, deterioration and obsolescence when there is embodied or disembodied technical change. http://microeconomics.ca/erwin_diewert/final.pdf
- Hall R.E. and D.W. Jorgenson 1967: Tax policy and investment behavior. *American Economic Review* 57, 391–414.
- Harcourt G.C. 1969: Some Cambridge controversies in the theory of capital. *Journal of Economic Literature* 7, 369–405.
- 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.
- 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. pp. 189–221 in *Econometrics and Economic Theory*, W. Sellekaerts (ed.), New York: Macmillan.
- OECD 2001: Measuring Capital. OECD manual. Measurement of Capital Stocks, Consumption of Fixed Capital and Capital Services. <http://www.SourceOECD.org>.

- OECD 2001b: Measuring Productivity. OECD manual. Measurement of aggregate and industry-level productivity growth.
<http://www.sourceOECD.org>.
- Rautatietilastot 1900–2005
- RHK (Ratahallintokeskus): Vuosikertomukset 1999–2005.
- RHK (Ratahallintokeskus) 2002: Raidesepelin hankinta- ja toimitusohje.
- RHK (Ratahallintokeskus) 2002b: Ratatekniset määräykset ja ohjeet, osa 11: Radan päällysrakenne.
- RHK (Ratahallintokeskus) 2005: Rautatiesiltojen hallintaraportti 2005. Oy VR-Rata Ab Rautatiesuunnittelu.
- RHK (Ratahallintokeskus) 2005b: Rautatierumpujen hallintaraportti 2005. Oy VR-Rata Ab Rautatiesuunnittelu.
- RHK (Ratahallintokeskus) 2005c: Rautatietunneleiden hallintaraportti 2005. Oy VR-Rata Ab Rautatiesuunnittelu.
- RIL (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry) 2006: Infrarakentamisen kustannushallinta. Hanke- ja rakennusosahinnasto. RIL 231-2-2006.
- Triplett J.E. 1996: Depreciation in production analysis and in income and wealth accounts: resolution of an old debate. *Economic Inquiry* 34, 93–115.
- Tuominen Marko 2004: Rautatieinfrastruktuurin elinkaarikustannukset. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 3/2004.
- Uimonen S. 2007: Suomen infrastruktuuripääoma: tiet. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus. Keskustelualoitteita 436, Helsinki.
- Wykoff 2004: Obsolescence vs. deterioration with embodied technological change. October 9, 2004. Paper presented at the SSHRC International Conference of Index Number Theory and the Measurement of Prices and Productivity, in Vancouver.

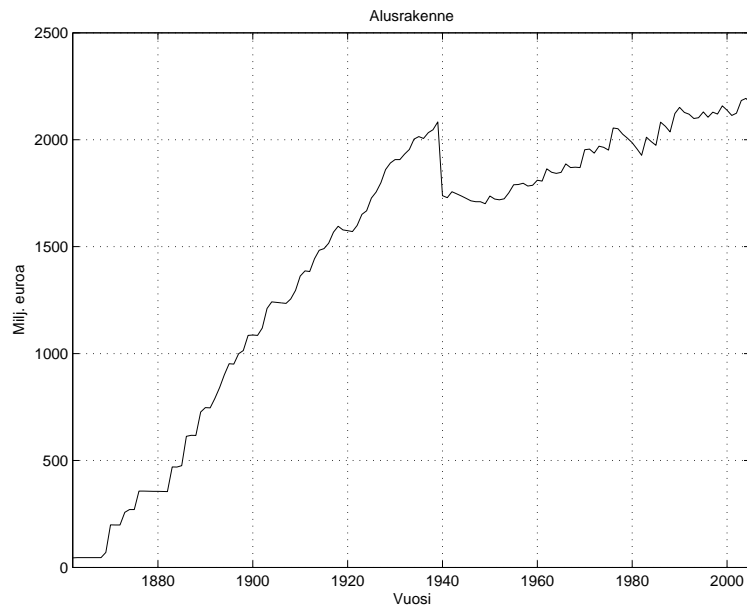
LIITE I: Yksikköhintoja

Työ tai rakenneosa	euroa	yksikkö
Alusrakenne	400	rd-m
Vaihde	120000	kpl
Sähköistys	200	rd-m
Turvalaitteet	190	rd-m
Tasoristeys, vartioitu	160000	kpl
Tasoristeys, vartioimaton	50000	kpl
Sillan rakentaminen	8900	rd-m
Tunnelin rakentaminen	7000	rd-m
Kiskon (60 E1) uusiminen	90	rd-m
Kiskonvaihdon työkustannus	50	m
Betonipölkyn hinta	75	kpl
Puupölkyn hinta	50	kpl
Pölkynvaihdon työkustannus	64	m
Sepelin seulonta	160	m
Päällysrakenteen tuenta, stabilointi ja harjaus	23.5	rd-m
Routaeristys (75 %)	47	rd-m
Routaeristys (10 %)	16	rd-m
Turva- ja sähkölaitteiden purku- ja asennustyöt	7.5	rd-m
Puolisepelöinti	60	rd-m
Täyssepelöinti	90	rd-m
Valaistus	5	m ²
Rummun rakentaminen	1000	m
Tunnelin peruskorjaus	1500	rd-m
Tunnelin betoniset suuaukot	110000	tunneli
Tunnelin turvalaitteet	300	tunneli-m
Raidesoran uusiminen	90	rd-m

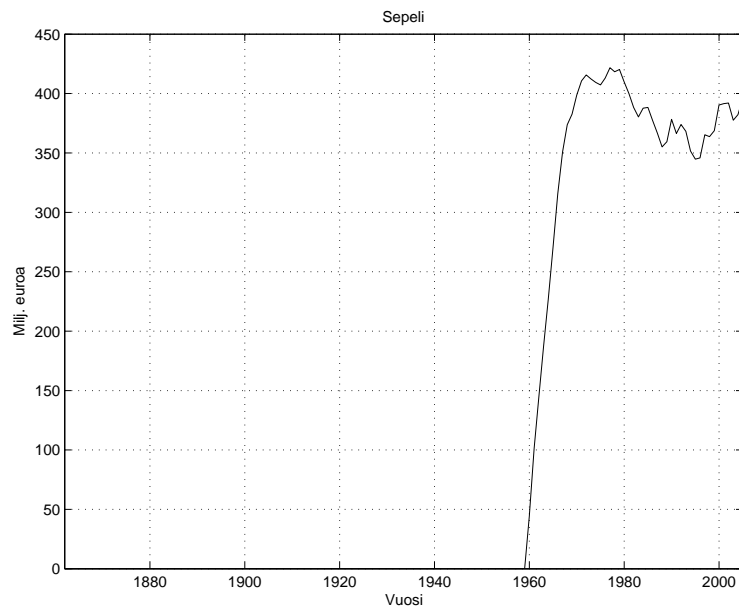
LIITE II: Pitoaikoja

Radan osa	pitoaika	yksikkö
Alusrakenne	100	vuotta
Puupölkky	0.7	kertaa betonipölkyn kestoikä
Sepeli	250	milj. br-tonnia
Sora	50	vuotta
Vaihteet	150	milj. br-tonnia
Sivuraiteet	50	vuotta
Sillat	120	vuotta
Sillat (peruskorjausten väli)	40	vuotta
Rummut	120	vuotta
Rummut (peruskorjausten väli)	40	vuotta
Tunnelit	120	vuotta
Tunnelit (peruskorjauksien väli)	40	vuotta
Tasoristeyslaitteet	50	vuotta
Sähköistys	40	vuotta
Turvalaitteet	15	vuotta

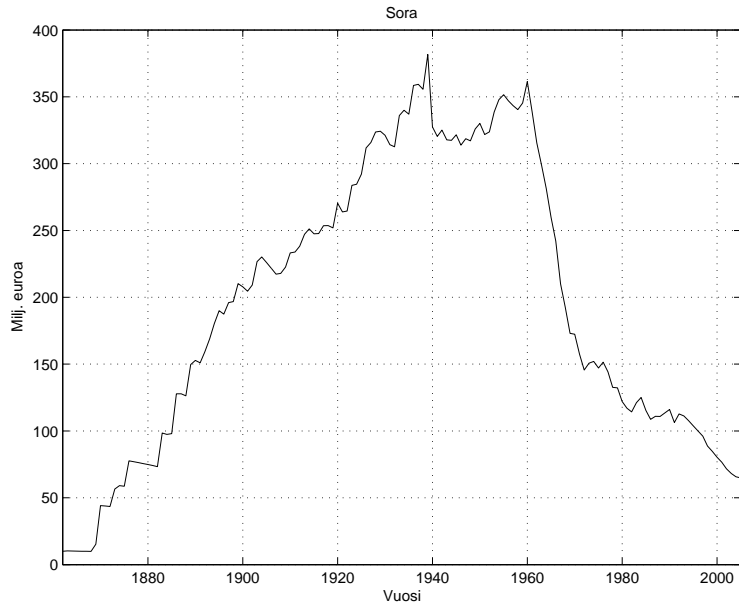
KUVAT 22–34



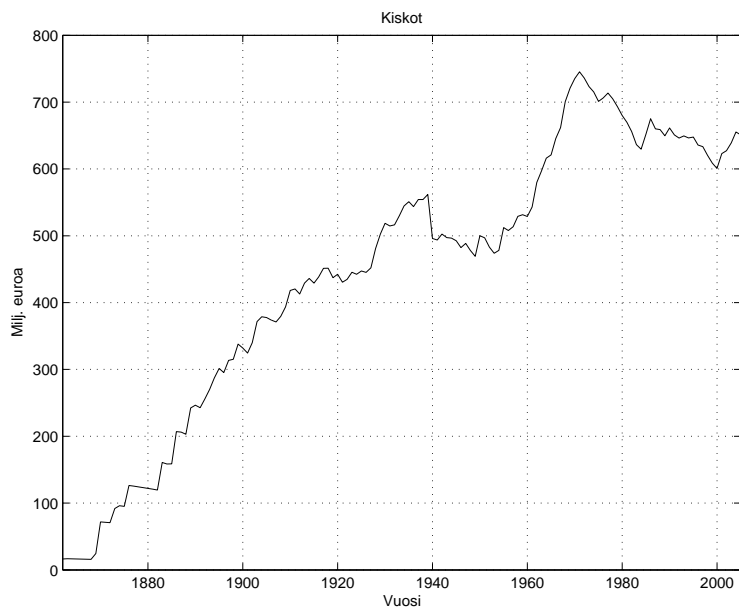
Kuva 22: Alusrakenteeseen sitoutunut varallisuus.



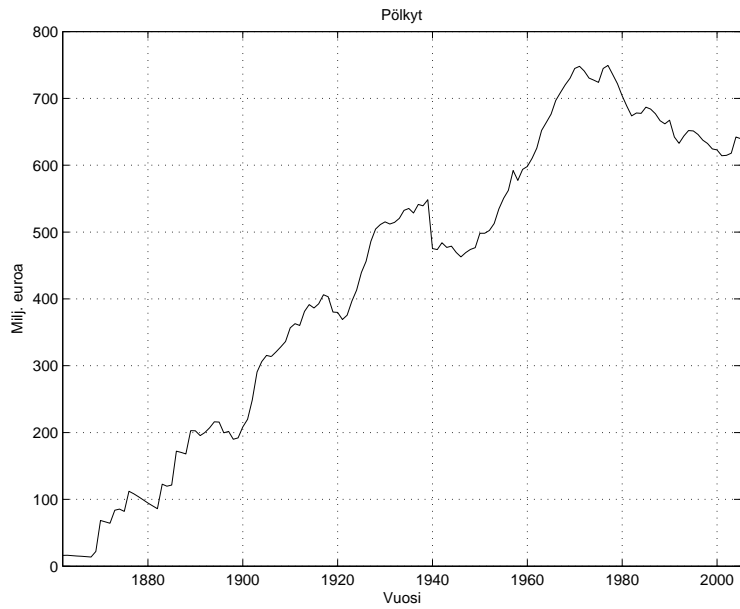
Kuva 23: Raidesepeliin sitoutunut varallisuus



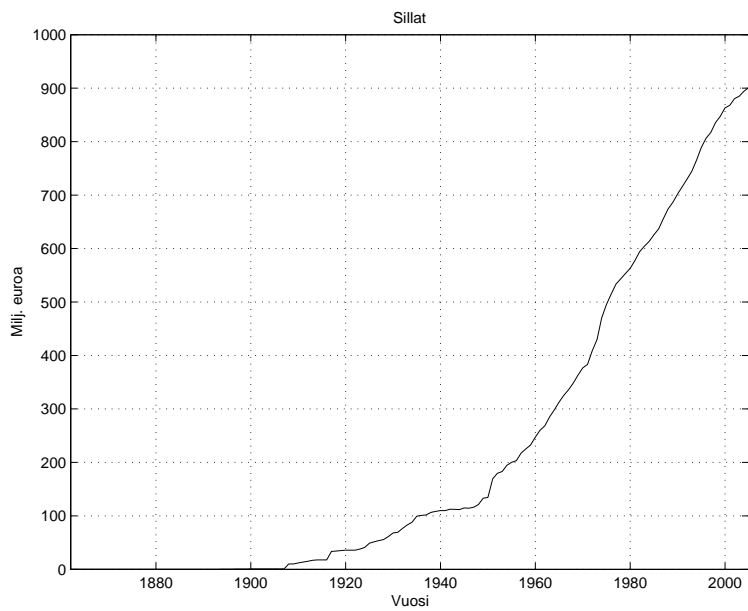
Kuva 24: Raidesoraan sitoutunut varallisuus



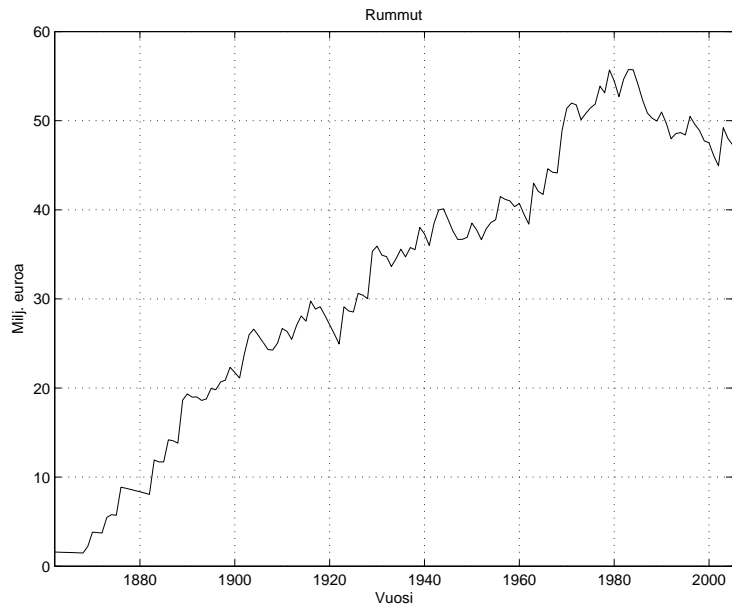
Kuva 25: Ratakiskoihin sitoutunut varallisuus



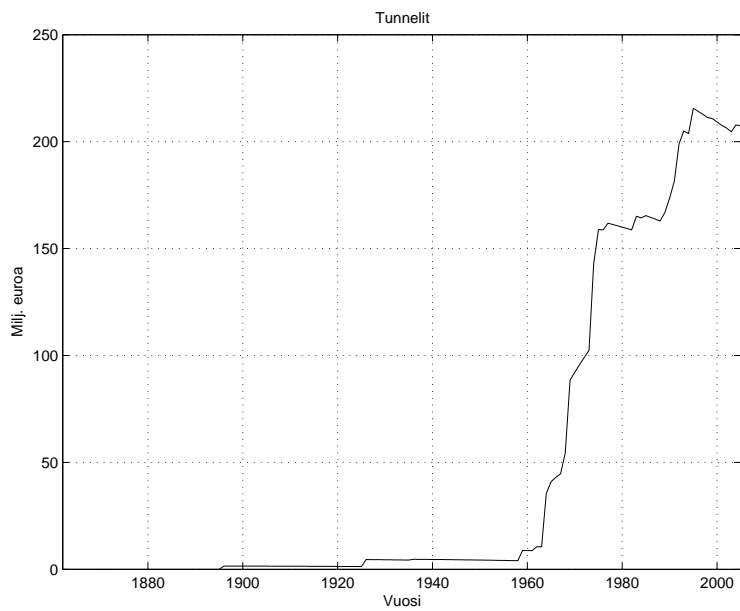
Kuva 26: Ratapölkkyihin sitoutunut varallisuus



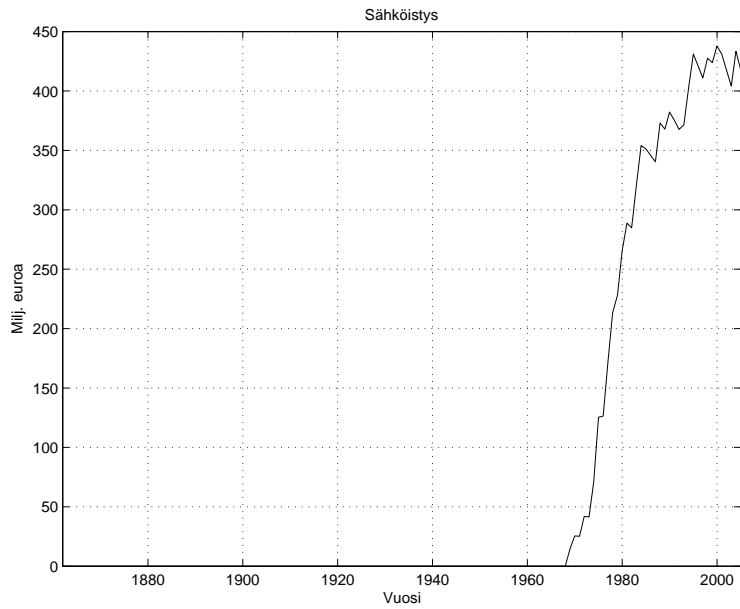
Kuva 27: Rautatiesiltoihin sitoutunut varallisuus



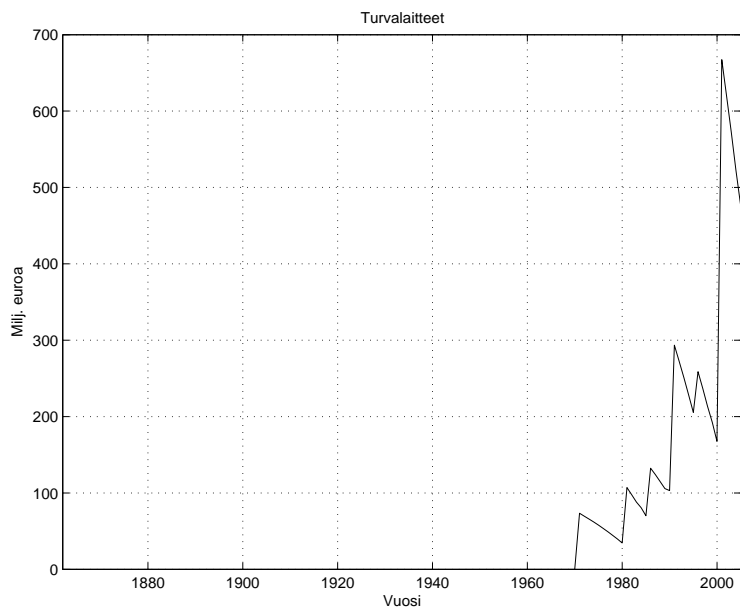
Kuva 28: Rautatierumpuihin sitoutunut varallisuus



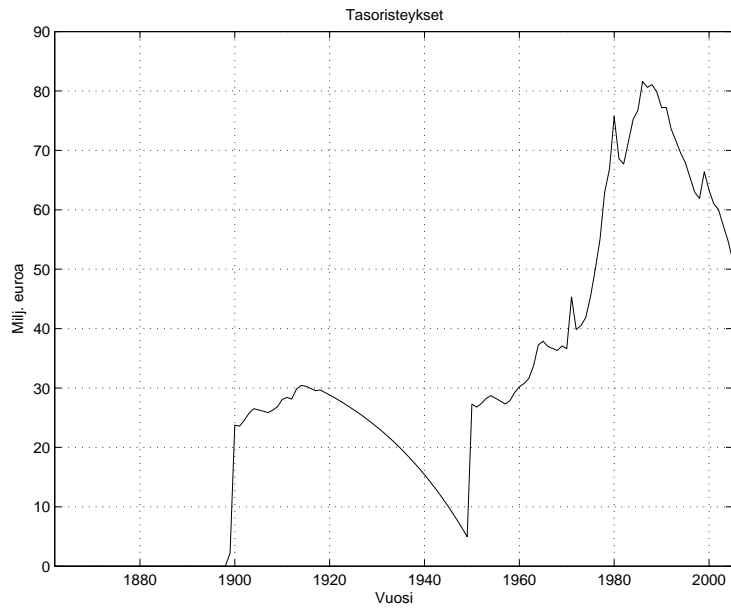
Kuva 29: Rautatietunnelieihin sitoutunut varallisuus



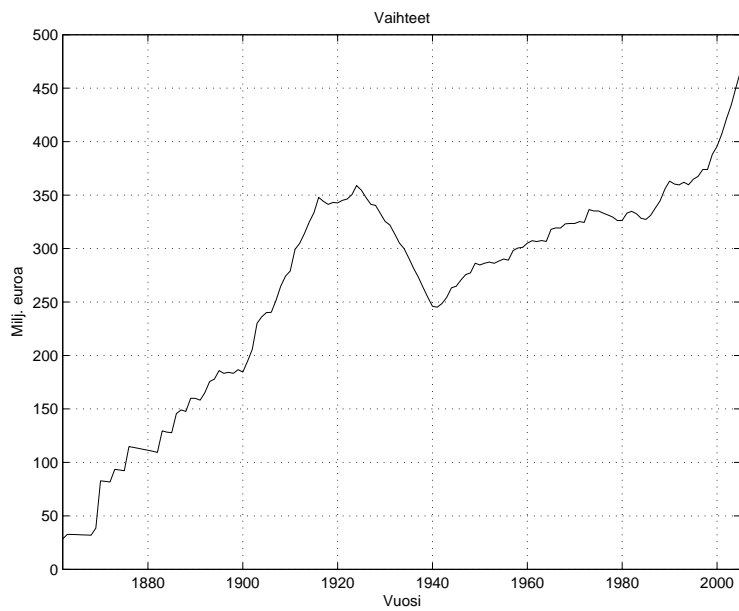
Kuva 30: Sähköistykseen sitoutunut varallisuus



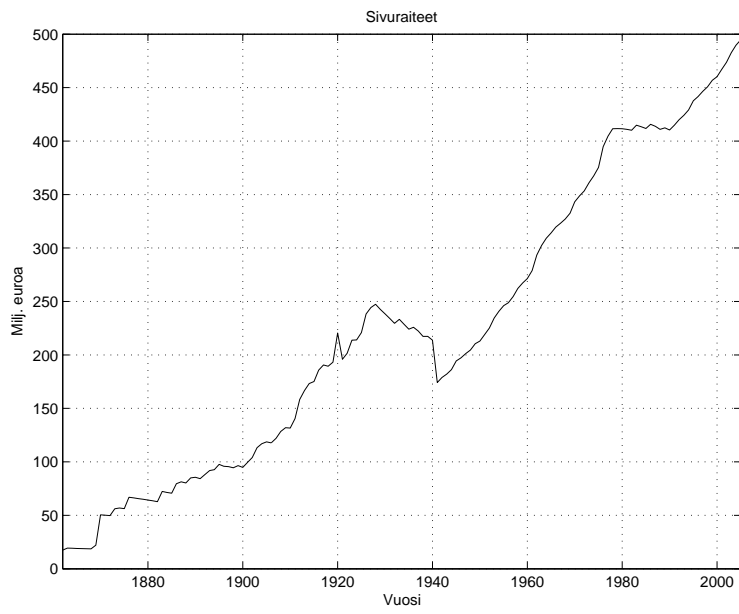
Kuva 31: Turvalaitteisiin sitoutunut varallisuus



Kuva 32: Tasoristeyksiin sitoutunut varallisuus



Kuva 33: Vaihteisiin sitoutunut varallisuus



Kuva 34: Sivuraiteisiin sitoutunut varallisuus

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

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 analyysissä. 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 työnvälityksen 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-Wirola 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. Kanniainen 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 energiemarkkinoista. Helsinki 2007.
424. Kari Seppo – Kosonen Tuomas – Kröger Outi: Vakuutusturvan vaje perheenhuoltajan kuoleman kohdatessa. Julkisen turvan taso ja yksityinen henkivakuutusturva. Helsinki 2007.
425. Luoma Kalevi – Moision Antti – Aaltonen Juhon: 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 Juhon: 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.
436. Uimonen Sakari: Suomen infrastruktuuripääoma: Tiet. Helsinki 2007.
437. Lehtonen Sanna: Suomalaisten lukioiden tehokkuus – DEA yksilötason aineistolla. Helsinki 2007.
438. Hämäläinen Kari – Uusitalo Roope – Vuori Jukka: Varying Biases in the Matching Estimates: Evidence from two Randomized Job Search Training Experiments. Helsinki 2008.