

**JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO**  
**Taloustieteiden tiedekunta**

**SUOMEN RATAMAKSUN UUDISTAMINEN**  
**-EKONOMETRINEN ANALYYSI RATAVERKON**  
**KÄYTÖN RAJAKUSTANNUKSISTA**

Kansantaloustiede

Pro gradu -tutkielma

Toukokuu 2002

Laatija: Tiina Idström

Ohjaaja: Professori Jaakko Pehkonen

## JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

Tekijä Tiina Idström	
Työn nimi Suomen ratamaksun uudistaminen -ekonometrinen analyysi rataverkon käytön rajakustannuksista	
Oppiaine Kansantaloustiede	Työn laji Pro gradu -tutkielma
Aika Toukokuu 2002	Sivumäärä 90 + 9 liitesivua
<p>Tiivistelmä – Abstract</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena on tarkentaa ratamaksun infrastruktuurikustannuksien laskentaperusteita. Yhtäältä laskentaperusteiden tarkentamisen tarve muodostuu kotimaisesta tarpeesta täsmentää laskentamenetelmiä ja toisaalta EU:n lainsäädäntömuutoksista, joissa velvoitetaan radan käyttömaksujen pääsääntöisesti pohjautuvan lyhyen aikavälin rajakustannuksiin.</p> <p>Tutkimuksessa tehdään kirjallisuuskatsaus ratamaksun lainsäädännölliseen taustaan, eri EU maissa sovellettuja ratamaksu käytäntöihin, infrastruktuurin hinnoittelun talousteoriaan ja aiheesta aiemmin julkaistuihin tutkimuksiin. Tutkimuksen empiirisessä osiossa selvitetään, missä määrin infrastruktuurikustannukset aiheutuvat liikennemäärästä. Menetelmänä käytetään ruotsalaisen referenssitutkimuksen tapaan ekonometristä mallintamista. Analysoitavina kustannuksina käytetään EU:n työryhmän suositusten mukaisia kustannuksia (HLG-kustannuksia) sekä kunnossapitokustannuksia. Tarkasteluvuodet ovat 1997-1999.</p> <p>Tulokset osoittavat, että tärkeimmät radan infrastruktuurikustannuksia selittävät tekijät ovat rai-depituus ja liikennemäärä. Saadut liikennemäärän joustokertoimet ovat selvästi alle yhden. Tämä merkitsee, että mikäli radankäytön maksut asetetaan vastaamaan saatuja rajakustannuksia, kattavat maksutuotot vain osan kokonaiskustannuksista. Toinen tutkimuksen johtopäätös on, että käytetyllä mallilla voitiin paremmin selittää kunnossapitokustannuksia kuin kunnossapitokustannusten ja korvausinvestointikustannusten summasta muodostuneita HLG-kustannuksia. Tulos on odotettu, sillä korvausinvestointien mallintaminen ihannetapauksessa vaatisi pidemmän aikasarjan kuin aineiston kolme tarkasteluvuotta.</p> <p>Saatujen bruttotonnien rajakustannuskertoimien käytäntöön soveltaminen ei juuri muuta ratamaksun kokonaismaksutasoa infrastruktuurikustannusten osalta. Sen sijaan esitetty laskutapa heikentäisi hieman henkilöliikenteen suhteellista markkina-asemaa tavaraliikenteeseen nähden.</p>	
Asiasanat Rajakustannukset, rautatie, infrastruktuurin hinnoittelu	
Säilytyspaikka Jyväskylän yliopisto / Taloustieteiden tiedekunta	

# SISÄLTÖ

<b>1. JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LAINSÄÄDÄNTÖ JA SOVELLETTUJA RATAMAKSUKÄYTÄNTÖJÄ</b> .....	<b>4</b>
2.1 NYKYINEN LAINSÄÄDÄNTÖ .....	5
2.1.1 EU-direktiivit.....	5
2.1.2 Suomen lainsäädäntö .....	6
2.2 SUOMEN RATAMAKSUKÄYTÄNTÖ .....	7
2.2.1 Ratamaksun perusteet .....	7
2.2.2 Ratamaksun suuruuden määrittäminen käytännössä .....	8
2.2.3 Kunnossapito-, päästö- ja onnettomuuskustannusten laskentaperusteet .....	11
2.2.4 Kunnossapitokustannusten laskentaperusteisiin liittyviä ongelmia.....	14
2.3 ERI EU-MAIDEN RATAMAKSUKÄYTÄNTÖJÄ .....	15
2.3.1 Skandinaavinen lähestymistapa .....	15
2.3.2 Sovitettujen keskimääräisten kustannusten lähestymistapa .....	16
2.3.3 Ison-Britannian lähestymistapa .....	17
2.3.4 Yhteenveto eri maksukäytännöistä .....	19
2.4 VASTA VALMISTUNUTTA LAINSÄÄDÄNTÖÄ .....	21
2.4.1 Lähtökohta: Valkoinen kirja infrastruktuurin käytön hinnoittelusta .....	21
2.4.2 Direktiivi ratamaksujen määräytymisestä ja ratakapasiteetin jaosta.....	22
2.4.3 Ratamaksun määräytymisperusteet.....	23
2.4.4 Poikkeukset rajakustannushinnoitteluun.....	25
2.4.5 Muutostarve Suomen ratamaksukäytäntöön .....	25
<b>3. RATAINFRASTRUKTUURIN HINNOITTELUN TALOUSTEORIAA</b> .....	<b>27</b>
3.1 RAJAKUSTANNUSHINNOITTELU.....	27
3.1.1 Peruseriaate .....	27
3.1.2 Kasvavat skaalaedut ja kustannusten kattaminen.....	29
3.1.3 "Toiseksi paras" -lähetystapa .....	32
3.2 VAIHTOEHTOISIA HINNOITTELUPERIAATTEITA.....	34
3.2.1 Ramsey-hinnoittelu.....	34
3.2.2 Kaksi- tai moniosaiset maksut.....	36
<b>4. TUTKIMUKSIA RAUTATIEINFRASTRUKTUURIN HINNOITTELUSTA</b> .....	<b>37</b>
4.1 ANALYYSI RUOTSIN RATOJEN KUNNOSSAPITOKUSTANNUKSISTA .....	37
4.1.1 Aineisto.....	37
4.1.2 Malli ja estimointi .....	38
4.1.3 Tulokset .....	40
4.1.4 Rajakustannusten johtaminen .....	40
4.2 EU:N KÄYNNISTÄMIÄ TUTKIMUSPROJEKTEJA INFRASTRUKTUURIN HINNOITTELUSTA .	42
4.2.1 Tutkimusprojekteihin liittyviä käsitteitä.....	43
4.2.2 Lyhyt tutkimusprojektiesittely.....	44

<b>5</b>	<b>SUOMEN RAUTATIEINFRASTRUKTUURIN KÄYTÖN RAJAKUSTANNUKSET .....</b>	<b>46</b>
5.1	EU:N ASIAANTUNTIJARYHMÄN SUOSITUS RAJAKUSTANNUSTEN LASKENTA- MENETELMISTÄ (HLG) .....	47
5.1.1	<i>Käsitteiden määritelmiä ja rajauksia</i> .....	47
5.1.2	<i>Rajakustannusten estimointimenettelyt</i> .....	50
5.1.3	<i>Kustannusten jako lyhyen- ja pitkän aikavälin kustannuksiin</i> .....	52
5.1.4	<i>Suosittelusten soveltaminen Suomen raitainfrastruktuurikustannuksiin</i> .....	52
5.2	ANALYYSI SUOMEN RAUTATIEINFRASTRUKTUURIN RAJAKUSTANNUKSISTA .....	58
5.2.1	<i>Rataverkon jakaminen yhtenäisiin rataosiin</i> .....	59
5.2.2	<i>Aineiston kuvaus</i> .....	60
5.2.3	<i>Kustannusten funktiomuoto</i> .....	66
5.2.4	<i>Pienimmän neliösumman –menetelmän oletukset</i> .....	66
5.2.4	<i>Oletuksien toteutuminen aineistossa</i> .....	71
5.2.5	<i>Poikkeavien havaintojen poisto</i> .....	71
5.2.6	<i>Tutkimuksen tulokset: <math>\beta</math>-estimaatit</i> .....	73
5.2.6	<i>Tutkimuksen tulokset: Rajakustannukset</i> .....	77
5.2.7	<i>Rajakustannuskertoimen soveltaminen käytännön hinnoitteluun</i> .....	81
<b>6.</b>	<b>YHTEENVETO.....</b>	<b>82</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>84</b>
	<b>LIITEET</b>	

# 1. JOHDANTO

Perinteisesti Suomessa rautateiden liikennöinnistä ja radanpidosta on huolehtinut Valtionrautatiet (VR). Suomen Euroopan unioniin liittymisen myötä edellytettiin, että kyseiset toiminnot erotetaan toisistaan rautatieliikenteen tehostamiseksi ja toiminnan läpinäkyvyyden lisäämiseksi. Käytännössä tämä merkitsi, että VR jatkoi liikennöitsijänä, sen sijaan ratainfrastruktuurista huolehtimaan perustettiin uusi virasto Ratahallintokeskus (RHK). Samassa yhteydessä otettiin käyttöön ratamaksu, jonka rautatieliikennettä harjoittava yritys maksaa oikeudestaan käyttää ratainfrastruktuuria. Ratamaksusta saadut varat käytetään rautatieinfrastruktuurin ylläpitämiseen ja kehittämiseen. Käytännössä ratamaksun on maksanut Suomen ainoana liikennöitsijänä VR.

Ratamaksun suuruus määräytyy kolmesta osatekijästä: onnettomuus-, päästö- ja infrastruktuurikustannuksista. Onnettomuus- ja päästökustannusten osalta on laadittu omat erilliset selvitykset vaadittavasta maksutasosta kyseisten kustannusten kattamiseksi. Tämän tutkimuksen tavoitteena on tarkentaa ratamaksun infrastruktuurikustannuksien laskentaperusteita. Käytännössä tutkimuksessa selvitetään ekonometrisin menetelmin, mikä osa radanpitäjälle aiheutuneista infrastruktuurikustannuksista johtuu lyhyellä aikavälillä liikennemääristä. Toisin sanoen tarkoituksena on johtaa radankäytön lyhyen aikavälin rajakustannukset.

Kotimaisen arvostelun lisäksi ratamaksun laskentaperusteiden tarkistamiseen aiheutuu paineita myös EU:n suunnalta, jossa on laadittu kolme direktiiviä sisältävä ns. rautateiden infrastruktuuripaketti. Yhden direktiivin (EY 2001/14) osasisältönä on, että rautatieliikennöinniltä perittävät maksut tulee perustua liikennöinnin lyhyellä aika välillä aiheuttamiin rajakustannuksiin. Käytännön laskelmia rajakustannusten tasosta ei ole juuri tehty. Sen sijaan rajakustannusten laskentatavasta on annettu suositukset raportissa Calculating Transport Infrastructure Costs, Final report of the expert advisors to the high level group in infrastructure charging (working group 1). Tässä tutkimuksessa rajakustannusten laskemisessa on pyritty soveltamaan edellä mainitun raportin ohjeita.

Tutkielman tarkastelu aloitetaan ratamaksun lainsäädännöllisen taustan selvittämisellä. Tässä yhteydessä käydään läpi, mitä ratamaksun määräytymisperusteista sanotaan niin EU:n direktiiveissä kuin Suomen laissa. Seuraavaksi on vertailtu sitä, miten eri EU maissa ratamaksulainsäätöä on sovellettu käytäntöön. Esimerkkinä käydään tarkemmin läpi Suomen, Saksan ja Iso-Britannian ratamaksukäytäntö. Lainsäädännöllisen osuuden lopuksi ennakoitaan vielä tulevia EU:n lainsäädäntömuutoksia ja niiden aiheuttamia muutospaineita Suomen ratamaksukäytäntöön. Tärkein muutos valmisteilla olevassa EU lainsäädännössä on, että ratamaksujen edellytetään perustuvan rajakustannushinnoitteluun.

Luvussa 3 perehdytään infrastruktuurin hinnoittelun talousteoriaan. Rajakustannushinnoittelusta todetaan, että se on talousteoreettisesti tehokkain tapa hinnoitella infrastruktuuri. Ratainfrastruktuurin tapauksessa rajakustannushinnoittelulla pystytään kattamaan vain pieni osa rautatieliikennöinnin aiheuttamista kokonaiskustannuksista. Luvussa 3 käydään läpi myös rajakustannushinnoittelulle vaihtoehtoisia hinnoittelumenetelmiä, joilla voidaan saavuttaa tietty kustannusten kattamistavoite.

Luvussa 4 selvitetään aikaisempia rajakustannusten tasoa rautateillä määrittäneitä tutkimuksia. Tällaisia tutkimuksia on vähän. Ainoa viime vuosina ilmestynyt rajakustannuksia rautateillä käsitellyt tutkimus on Per Johansson ja Jan-Erik Nilssonin selvitys Ruotsin rautateiden kunnossapitokustannusten rajakustannuksista. Luvussa 4 esitellään tämä tutkimus. Samaista ruotsalaistutkimusta käytetään esimerkkitutkimuksena luvussa 5 mallinnettaessa Suomen ratainfrastruktuurikustannuksia. Luvun 4 lopuksi tutustutaan EU:n käynnistämiin infrastruktuurin hinnoittelua käsitteleviin tutkimushankkeisiin. Tämä antaa suuntaa, mihin infrastruktuurin tutkimusprojektit ovat jatkossa EU:n alueella keskittymässä.

Luku 5 sisältää tutkimuksen empiiriseen osion, jonka tavoitteena on määrittellä radankäytön lyhyen aikavälin rajakustannukset. Menetelmänä käytetään regressioanalyysiä, jolla mallinnetaan ratainfrastruktuuri kustannustietojen sekä liikennemäärätietojen välinen keskinäinen riippuvuus. Luvun 5 aluksi määritellään ensin analysoitavat kustannukset. Tässä työssä käytetään lähtökohtana aiemmin mainitun EU:n asiantuntijaryhmän suosituksia rajakustannusten laskemisesta. Seuraavaksi vuorossa on varsinainen regressioanalyysi, jolla määritetään ratainfrastruktuurin kustannusfunktio. Kustannusfunktioista johdetaan

derivoimalla varsinaiset rajakustannukset. Lopuksi lasketaan käytännön rajakustannushinnoittelun perusteeksi keskimääräinen bruttotonnikilometri kerroin (penniä/bruttotonni km). Tämä kerroin kertoo, kuinka monta penniä raitainfrastruktuuri kustannuksia aiheuttaa, kun kuljetetaan veturin paino mukaan luettuna tonnin painoista tavaraa kilometrin matka.

## 2. LAINSÄÄDÄNTÖ JA SOVELLETTUJA RATAMAKSUKÄYTÄNTÖJÄ

Euroopan komission valkoisessa kirjassa "Oikeudenmukainen maksu infrastruktuurin käytöstä" (Euroopan komissio 1998) on hahmoteltu komission ehdotus eri liikennemuotojen tulevaisuuden hinnoittelustrategiaksi. Kirjan mukaan liikenneinfrastruktuurin hinnoittelussa on kolme keskeistä ongelmaa. Ensinnäkin useissa tapauksissa infrastruktuurin haltijat eivät pysty kattamaan pääomakustannuksiaan, josta puolestaan aiheutuu haluttomuutta tehdä tarvittavia lisäinvestointeja. Toisena ongelmana on että, ulkoiskustannukset, kuten onnettomuus- ja päästökustannukset, eivät näy eri liikennemuotojen hinnoissa. Tällöin joitakin liikennemuotoja käytetään liikaa. Kolmannen ongelman muodostavat erot veroissa ja maksuissa, jotka myös aiheuttavat vääristymiä hintoihin ja sitä kautta liikennevalintoihin (Euroopan komissio 1998: 1). Ratkaisuksi ongelmiin esitetään yhteiskunnallisiin rajakustannuksiin perustuvaa hinnoittelua (Euroopan komissio 1998: 7).

Rajakustannushinnoittelun ottaminen infrastruktuurin hinnoittelun perusteeksi on edennyt EU:ssa vaiheittain. Ensimmäisenä pyrkimyksenä on ollut vapauttaa asteittain EU:n sisäinen liikenne. Rautatieliikenteen osalta tämän tavoitteen toteuttamiseksi säädettiin direktiivi 91/440 sekä kyseisen direktiivin tarkennukset 95/18 ja 95/19. Suomen lainsäädäntöön nämä direktiivit on sovitettu lähinnä lain 21/1995 (Suomen laki 1995) muodossa. Seuraavassa käydään lyhyesti läpi yksityiskohtaisemmin kutakin direktiiviä ja lakia ratamaksun näkökulmasta. Tämän jälkeen tarkastellaan lakien käytäntöön sovellustapoja Suomessa ja eräissä muissa EU-maissa. Lopuksi palataan lainsäädännön pariin ja perehdytään EU:ssa vasta valmistunutta lainsäädäntöä, jossa ensisijaiseksi hinnoitteluperiaatteeksi asetetaan rajakustannushinnoittelu.



## 2.1 Nykyinen lainsäädäntö

### 2.1.1 EU-direktiivit

Ensimmäisessä vaiheessa rautatiealan toiminnan tehostamiseksi EU:ssa säädettiin rautateiden kehittämisdirektiivi 91/440. Direktiivin pääasiallisena käytännön sisältönä on vaatimus jäsenmailta erottaa toisistaan kirjanpidollisesti radanpito ja kuljetustoiminta. Direktiivin pyrki- myksenä on rautatieyritysten hallinnollisen ja taloudellisen riippumattomuuden lisääminen sekä sitä kautta kilpailun lisääntyminen ja toiminnan tehostuminen.

Ratamaksusta kehittämisdirektiivissä todetaan, että radanpidon hallinnon on asetettava vastaamalleen rautatieinfrastruktuurille käyttömaksu, jota peritään infrastruktuuria käyttävältä rautatieyritykseltä ja kansainväliseltä ryhmittymältä. Maksu on laskettava siten, että se ei syrji mitään rautatieyritystä. Lisäksi laskennassa voidaan ottaa huomioon matkan pituus, junan kokoonpano ja erityisvaatimukset kuten nopeus, akselipaino, infrastruktuurin käytön määrä tai ajanjakso. Kukin jäsenvaltio määrää maksun perusteet neuvoteltuaan radanpidon hallinnon kanssa.

Direktiiveissä 95/18 ja 95/19 on tarkennettu edellä mainittua direktiiviä rautatieyritysten toimilupien ja rataverkon käyttöoikeuksien osalta. Näistä erityisesti viimeksi mainittu (95/19) on merkityksellinen, sillä kyseisessä direktiivissä on täsmennetty myös ratamaksun perusteita. Niiden mukaan maksu on määrättävä kaupallisin ja tasapuolisin perustein. Tasapuolisuus merkitsee sitä, että maksu peritään samoissa olosuhteissa samoin perustein kotimaisilta ja kansainvälisiltä rautatieyrityksiltä. Maksun perusteiden määrittelyssä kullakin jäsenmaalla on laaja päätösvalta, jotta maiden erityisolosuhteet voisivat tulla otetuksi huomioon. Maksunperusteina voivat olla:

- rataverkon käyttö
- rataverkon taso
- markkinatilanne
- radanpidon kustannukset
- ympäristökustannukset
- yhteiskuntataloudelliset kustannukset

Direktiivissä edellytetään, että maksu on määrättävä palvelun luonteen ja -laadun, markkinatilanteen ja infrastruktuurin laadun mukaisesti. Lisäksi kohtuuttomia maksuja ei saa periä, toisin sanoen maksu ei voi olla korkeampi kuin mitä rataverkon tai sen osan käyttöoikeudesta saataisiin tarjouskilpailussa.

Kokonaisuudessaan direktiivien ohjeet ratamaksun sisällöstä ovat luonteeltaan teknisiä: ratamaksua on perittävä ja se ei saa syrjiä ketään. Direktiivit jättävät jäsenvaltioille edelleen melko laajan päätäntävällän, millä perusteilla ratamaksua käytännössä peritään.

### **2.1.2 Suomen lainsäädäntö**

Suomen lainsäädäntöön rataverkon kehittämistä koskevat direktiivit sovellettiin alkuun säätämällä Laki valtion rataverkosta, radanpidosta ja rataverkon käytöstä (Suomen laki 1995). Lain tarkoituksena on edistää rataverkon käyttöä niin, että kansantalouden ja kuljetustalouden kustannukset alenevat rautatieyritysten kilpailukykyisen liikenneväylän myötä. Kokonaisuudessaan laissa säädetään valtion omistaman rataverkon hallinnasta, rautatieyritysten ja radanpitäjän välisistä vastuusuhteista, rautatieliikenteen turvallisuusvastuusta, radanpidosta vastaavista viranomaisista sekä rataverkon käyttöoikeudesta. (1§ )

EU:n rautateiden kehittämisdirektiivin (91/440) mukaisesti Suomen rataverkkolaissa eritellään liikennöintiä harjoittavan yrityksen (VR) ja rataverkosta huolehtiva viraston (RHK) toiminnot. Ratahallintokeskuksen (RHK) tehtävät määritellään lain 10 §:ssa, jonka mukaan RHK toimii radanpitäjänä, radanpidon omaisuuden haltijana sekä huolehtii liikenneturvallisuudesta ja radanpitoon liittyvistä viranomaistehtävistä. Liikennöintiä harjoittavaa yritystä säädellään erityisesti lain rataverkon käyttöoikeus (3§) ja rautatieyrityksen yleiset velvollisuudet (5§) kohdissa. Eriyttämisen tarkoituksena on, että myös ulkomaiset tai kotimaiset yritykset voisivat päästä liikennöimään Suomen rataverkolla.

Tässä yhteydessä tulee myös ensimmäistä kertaa esille ratamaksun käsite. Laissa säädetään, että rataverkolla liikennöivien yritysten tulee maksaa rataverkon käytöstään vuotuista rata-

maksua. Maksun perusteina ovat edellä mainitut direktiivin 95/19 maksuperusteet kuitenkin niin, että liikenneministeriö päättää tarkemmin käytettävistä perusteista ja määrittää ratamaksun suuruuden. Ratamaksun tulee olla kohtuullinen ja tasapuolinen kaikkia rautatieyrityksiä kohtaan. RHK perii maksun neuvoteltuaan ensin ratayrityksen kanssa maksun suorittamisen yksityiskohdista (4§). Tätä varten RHK:n tulee valmistella ratamaksun perusteet (10§). Lisäksi ratamaksusta on säädetty, että se käytetään radanpidon rahoitukseen (2§). Toisin sanoen ratamaksu on valtion budjetissa niin sanottu “korvamerkitty” maksuerä, jonka käyttötarkoitus on jo ennalta määrätty.

Käytännössä rataverkkolaki asetti vielä varsin väljät perusteet ratamaksun määräytymiselle. Lähinnä säädettiin, että rataverkon käytöstä tulee maksaa ratamaksua ja velvoitettiin RHK laatimaan tarkemmat lain hengen mukaiset määräytymisperusteet ratamaksulle. Toisin sanoen maksuperusteina voitiin käyttää direktiivin 95/19 esittämiä periaatteita. Seuraavassa kappaleessa käydään läpi vuosina 1995-2000 sovellettuja ratamaksuperiaatteita.

## **2.2 Suomen ratamaksukäytäntö**

### **2.2.1 Ratamaksun perusteet**

Ratamaksun määräytymisperiaatteet laadittiin vuonna 1996. Virallisesti näitä perusteita ei ole dokumentoitu, joten seuraavassa viitataan RHK:n muistioon “Tulisiko ratamaksun periaatteita muuttaa” (Ratahallintokeskus 1999a). Muistioon kirjattujen ratamaksuperiaatteiden lähtökohdaksi on otettu rataverkkolaki sekä taloustieteen teoria väylän käytön hinnoittelusta. Muistion mukaisesti rataverkkolaissa ja sen perusteluissa edellytetään ratamaksulta, että:

1. ratamaksu asetetaan siten, että rautatieinfrastruktuurin käyttö on tehokasta
2. ratamaksua peritään rataverkon käytöstä
3. ratamaksun perusteissa otetaan huomioon rautatieliikenteen yhteiskuntataloudelliset ja ympäristön suojelulliset tekijät
4. rautatieliikennettä ei tarkoituksellisesti rasiteta suuremmalla maksulla, kuin minkä osuuden muut liikennemuodot kattavat yhteiskuntataloudellisista kustannuksistaan
5. ratamaksu ei syrji mitään rautatieyritystä.

Ensimmäisen kohdan mukaan rautatieinfrastruktuuria tulee käyttää tehokkaasti. Talousteorian mukaan väylä on tehokkaassa käytössä, kun väylän käytön hinta on yhtä suuri kuin väylän käytöstä aiheutuneet lyhyen aikavälin rajakustannukset. Käytännössä tätä on tulkittu niin, että ratamaksun tarvitsee kattaa vain junaliikenteen määrästä johtuvat välittömät rataverkon kunnossapitokustannukset (Ratahallintokeskus 1999a:1). Tämän tulkinnan perusteena oli ajatus, että lyhyellä aikavälillä muut kustannukset, kuten korvaus- ja uusintainvestointikustannukset, ovat liikennemäärästä riippumattomia kustannuksia.

Toinen kohta ratamaksun perusteista, maksun periminen radan käytöstä, on varsin yksiselitteinen. Sen sijaan kolmannen kohdan yhteiskuntataloudelliset ja ympäristön suojelliset tekijät saattavat kaivata tarkennusta. Lain tarkoituksena on, että suoraan liikennemäärästä riippuvien kustannusten lisäksi ratamaksun tulee kattaa myös junaliikenteen aiheuttamia ulkoisia kustannuksia. Käytännössä tämä merkitsi päästö- ja onnettomuuskustannuksien sisällyttämistä ratamaksuun. Kohdan neljä mukaisesti rautatieliikennettä ei ole kuitenkaan tarkoitus rasittaa suuremmalla maksulla kuin, mitä kilpailevat liikennemuodot kattavat yhteiskuntataloudellisista kustannuksistaan. Toisin sanoen mikäli muut liikennemuodot eivät kata kaikkia vastaavia kustannuksiaan, tulee rautatieliikenteen maksu olla samassa suhteessa matalampi (Ratahallintokeskus 1999a: 1-2).

Viimeisenä rataverkkolaista johdettuna kohtana ratamaksusta vaaditaan, että se ei saa syrjiä mitään rautatieyrittäjästä. Tällä hetkellä Suomen rataverkolla on vai yksi liikennöitsijä, VR. Tällä lainkohdalla onkin haluttu varautua mahdolliseen kilpailun avautumiseen rautatieliikenteessä.

## **2.2.2 Ratamaksun suuruuden määrittäminen käytännössä**

Käytännössä edellä kuvatut rataverkkolain vaatimukset johtivat varsin monivaiheiseen ratamaksun laskentaprosessiin. Seuraavassa kuvataan ensin, miten ratamaksun kokonaistuotto-tasoon on päädytty kiinteän maksun ja muihin liikennemuotoihin vertailun kautta. Luvussa 2.2.3 puolestaan esitetään laskentaperusteet yhteiskuntataloudellisille rajakustannuksille.

Lähtökohdaksi ratamaksun tason määrittämisessä otettiin rajakustannusten kattaminen. Mutta sovelletulla rajakustannusten laskentatavalla saatu ratamaksun tuotto olisi jäänyt pieneksi suhteessa kaikkiin radanpidon menoihin. Tämän tulkittiin merkitsevän, että huomattava osa radanpidon menoista on liikenteen määrästä riippumattomia kiinteitä kustannuksia. Näitä kustannuksia kattamaan otettiin ratamaksuun mukaan niin sanottu perusmaksu. Perusteen perusmaksulle antaa vertailu kuorma- ja linja-autoliikenteeseen. Linja-autoliikenne ei maksa kiinteitä maksuja, joten katsottiin, että myöskään henkilöjunaliikenteeltä ei tule periä kiinteää maksua. Sen sijaan kuorma-autoliikenne maksaa moottoriajoneuvoveroa. Tasapuolisen kilpailutilanteen turvaamiseksi junien tavaraliikenteen maksu suhteutettiin yli 44 tonnia painavien kuorma-autojen moottoriajoneuvoveroihin. Tällöin perusmaksun suuruudeksi saatiin 75 penniä kuljetettua tonnia kohden. Täten ratamaksusta muodostui kaksiosainen: ensimmäisen osan maksusta koostuu liikenteenmäärästä johtuvista yhteiskuntataloudellisista kustannuksista (kunnossapitokustannukset, päästö- sekä onnettomuuskustannukset) ja toinen osa muodostuu kiinteitä kustannuksia kattavasta perusmaksusta. (Ratahallintokeskus 1999a: 2)

Perusmaksun suuruus on pysynyt vuosina 1997-99 samana eli 75 p/tonni, sillä kuorma-autoliikenteen ajoneuvovero ei muuttunut tänä aikana. Perusmaksua on kertynyt vuosittain noin 30 Mmk (Ratahallintokeskus 1999a: 2). Perusmaksu pysyi samana myös vuonna 2000. Perusmaksu on kattanut vain murto-osan radanpidon kiinteistä kustannuksista.

Yhteiskuntataloudellisten kustannusten suuruus on vaihdellut vuosittain. Käytännössä näiden kustannusten suuruuden määrittäminen on sisältänyt neljä työvaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa arvioidaan henkilö- ja tavarajunien aiheuttamat rataverkon kunnossapito-, päästö- ja onnettomuuskustannukset. Taulukossa 1 on esitetty arvio vuoden 1997 kustannuksista.

**TAULUKKO 1 Rataverkon käytön yhteiskuntataloudelliset kustannukset vuodelle 1997**  
( Mmk)

Kustannus	Henkilöjunat	Tavarajunat	Yhteensä
Radan kunnossapitokustannukset	75,4	176,6	252,0
Onnettomuuskustannukset	20,8	10,2	31,0
Päästökustannukset	25,6	60,3	85,9
Yhteensä	121,8	247,1	368,9

(Lähde: Ratahallintokeskus 1999a)

Seuraavassa työvaiheessa saadut rautatieliikenteen muuttuvat kustannukset suhteutetaan kilpailuvien liikennemuotojen eli linja- ja kuorma-autoliikenteen (yli 44 tonnin kuorma-autot) rajakustannusvastaavuuksiin. Vuoden 1997 osalta oletettiin, että linja-autoliikenne kattaa aiheuttamistaan rajakustannuksista 78,1 % ja kuorma-autoliikenne 75 %. Tämän perusteella henkilöjunaliikenteeltä voitaisiin periä muuttuvaa ratamaksua 95,1 Mmk ja tavarajunaliikenteeltä 185,3 Mmk.

Kolmantena työvaiheena edellä mainituista summista vähennetään VR Osakeyhtiön jo maksumat polttoaineverot. VR Osakeyhtiön arvioitiin maksavan sähköveroa sekä polttoaineveroa kevyestä polttoöljystä vuonna 1997 yhteensä 34,2 Mmk. Ratamaksun kokonaistuotto on esitetty taulukossa 2.

**TAULUKKO 2 Ratamaksun kokonaistuotto vuodelle 1997 (Mmk)**

	Henkilöjunat	Tavarajunat	Yhteensä
Rajakustannukset suhteutettuna linja- ja kuorma-autoihin	95,1	185,3	280,3
Vähennetään polttoaineverot	12,9	21,3	34,2
Maksettavaksi jää	82,2	164,0	246,3

*(Lähde: Ratahallintokeskus 1999a)*

Lopuksi saadut summat jaettiin vielä henkilö- ja tavarajunien arvioiduilla bruttotonnikilometreinä mitatulla liikennemäärällä. Henkilöjunien brtkm oletettiin vuonna 1997 olevan 8240 milj. ja tavaraliikenteen 19300 miljoonaa, joten yhteiskuntataloudellisen maksun osuudeksi olisi muodostunut:

henkilöjunat 0,998 p/brtkm

tavarajunat 0,850 p/brtkm

Käytännössä vuodelta 1997 ei peritty edellä kuvattujen laskelmien mukaista ratamaksua, vaan VR maksoi kiinteän 300 Mmk:n summan. Tämä johtui Valtiovarainministeriön tulkinnasta (Ratahallintokeskus 1999a: 3). Puolestaan vuonna 1998, 1999 ja 2000 esitettyjä maksuperusteita käytettiin. RHK:n tilinpäätöstietojen mukaisesti ratamaksua kertyi vuonna 1998 319 Mmk , 1999 316 Mmk ja 2000 320 Mmk (Ratahallintokeskus 2001:26).

### **2.2.3 Kunnossapito-, päästö- ja onnettomuuskustannusten laskentaperusteet**

Edellisessä kappaleessa tuotiin esille ratamaksun vuosittaiset kokonaismaksutuotot. Mutta millä laskentatavoilla kyseisiin ratamaksumääriin ollaan päädytty? Kuten aiemmin mainittiin, ratamaksu koostuu kolmesta osatekijästä: päästö-, onnettomuus- ja infrastruktuurikustannuksista.

Tässä yhteydessä merkityksellisin on infrastruktuurikustannuksien laskentatapa. Päästökustannusten osalta voidaan kuitenkin mainita, että kyseisiä kustannuksia laskettaessa on otettu huomioon junaliikenteen aiheuttamista päästöistä typen oksidi - ( $\text{NO}_x$ ), hiilivety- (HC), hiukkas- ja hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ) päästöt. Markkamäärien saamiseksi nämä päästöt on arvotettu käyttäen Tielaitoksen yksikköarvoja. Samojen yksikköarvojen käyttö helpottaa eri liikennemuotojen välistä vertailua. Lisäksi päästöjen arvottamisessa on huomioitu diesel- ja sähkövetureiden aiheuttama erilainen päästökuormitus (Ratahallintokeskus 1996:23).

Onnettomuuskustannuksista voidaan todeta, että käytetyt laskentaperusteet ovat luettavissa myös liikenneministeriön julkaisusta "Liikenteen ulkoiset haitat ja väyläkustannukset huomiioon ottava hinnoittelu" (LM 1995). Kyseisessä julkaisun mukaan liikenneonnettomuuksien ulkoisia kustannuksia aiheutuu hallinnollista kustannuksista, sairaanhoitokuluista sekä netto-tuotannon ja hyvinvoinnin menetyksestä. Samassa yhteydessä on myös määritetty onnettomuuksissa kuolleille ja loukkaantuneilla yksikköhinnat. Nämä arvot vastaavat tielaitoksen henkilövahingoille asettamia yksikköarvoja (LM 1995: 24).

Kahdesta edellisestä poiketen kunnossapitokustannukset ovat jo valmiiksi markkamääräisiä. Siten rajakustannusten laskemisessa ei tarvita arvottamista. Sen sijaan kunnossapitokustannusten rajakustannusten selvittämisessä on lähdetty liikkeelle kustannusten jakamisesta kiinteisiin- ja muuttuviin kustannuksiin. Apuna on käytetty RHK:n rata-asiantuntijoiden arvioita siitä, missä määrin erilaisien kunnossapitotoimien kustannukset johtuvat liikennemäärästä eli ovat muuttuvia kustannuksia. Rata-asiantuntijat arvioivat muun muassa, että vaihteisiin ja kiskoihin kohdistuvista kunnossapitotoista 80% johtuu liikennemäärästä. Sitä vastoin pölkyt haurastuvat sään vaikutuksesta, joten vain 10% pölkkyjen vaihtokustannuksista arvioitiin johtuvan liikennemäärästä. Vastaavalla tavalla myös muille kunnossapitotoille annettiin liikennemäärästä johtuva prosenttiosuus (Ratahallintokeskus 1996: 13).

Arvioiden tulokset on koottu taulukkoon 3. Yksinkertaistamiseksi taulukossa eri kunnossapitotoimet ovat yhdistetty kahdeksaan tehtäväryhmään. Kunkin tehtäväryhmän prosenttiosuus liikennemäärästä johtuvista kustannuksista laskettu kyseisen tehtäväryhmän eri kunnossapito-



töiden markkamäärällä painotettuna keskiarvona.<sup>1</sup> Tehtävälajien muuttuvien kustannusten summaksi saadaan 250,9 Mmk, joka on lähes sama kuin aiemmin taulukossa 1 esitetty 252 Mmk:n arvio vuodelle 1997.

### TAULUKKO 3 Rata-asiantuntijoiden arvio kunnossapitokustannuksien ja liikennemäärästä

Kustannus	Mmk	%	Mmk
Peruskunnossapito	368,4	47,3	174,3
Erikseen tilattavat työt	105,1	70	73,6
Naulakiinnitteiset radat	28,2	0	0
Sähkölaitteiden kun.pito	111,2	2,7	3,0
Laiturit	29,0	0	0
Käyttö	49,9	0	0
EMMA –mittausvaunu	3,5	0	0
Ultraääni ja hionta	6,0	0	0
Yhteensä	701,3	35,8	250,9

(Lähde: Ratahallintokeskus 1996)

Seuraavassa vaiheessa muuttuvien kustannusten kokonaissummasta on erotettu henkilö- ja tavaraliikenteen aiheuttamat kustannusosuudet. Jakoperusteena on käytetty bruttotonnikilometrejä. Myös kustannusten jakaantuminen eri liikennemuotojen välillä on esitetty aiemmassa taulukossa 2. Eri liikennemuotoihin erottelun jälkeen liikennemääristä johtuvista kustannuksista on johdettu rajakustannukset luvussa 2.2.2 esitellyllä tavalla.

<sup>1</sup> Esimerkiksi erikseen tilattavat työt kohdistuivat päällysrakenteeseen (78,83 mmk/ 66,7%) ja vaihteisiin (26,27mmk/ 80%). Täten erikseen tilattavien töiden painotetuksi keskiarvoksi saadaan:  $(78,83 \text{ mmk} * 66,7\% + 26,27 \text{ mmk} * 80\%) / (78,83 \text{ mmk} + 26,27 \text{ mmk}) = 70,02\%$

## 2.2.4 Kunnossapitokustannusten laskentaperusteisiin liittyviä ongelmia

Kunnossapitokustannusten osalta ratamaksun määrittämisessä käytettyihin laskentamenetelmiin liittyy kaksi selkeää ongelmaa. Ensinnäkin edellä esitetyissä yhteiskuntataloudellisten rajakustannusten laskelmassa on oletettu kaikkien kustannusten olevan lineaarisesti riippuvaisia liikennemäärästä. Toisin sanoen oletetaan, että kustannukset kasvavat samassa suhteessa liikennemäärän lisäyksen kanssa. Tämä oletus pitääkin paikkansa päästökustannusten suhteen, mutta kuten myöhemmästä empiirisestä osasta luvussa 5 havaitaan, prosenttien lisäys liikennemäärässä johtaa alle prosenttien kasvuun kunnossapitokustannuksien. Täten saadut rajakustannusarvot ovat liian suuria. Saadut kustannukset eivät vastaa rajakustannuksia vaan rata-asiantuntijoiden arviota keskimääräisistä muuttuvista kunnossapitokustannuksista.

Toinen rajakustannusten määrittämiseen liittyvän ongelman muodostaa asiantuntija-arvioiden käyttö rajakustannusten laskemisessa. Kuten taulukosta 3 voidaan nähdä, asiantuntija-arvio prosenttiosuudesta, missä määrin kukin kunnossapitotehtävän kustannukset aiheutuvat liikennemäärästä, vaikuttaa merkittävästi saatuun muuttuvien kustannusten kokonaisarvoon. Esimerkiksi jos sähkölaitteiden kunnossapidon prosenttiosuutta muutetaan 2,7 prosentista 25 prosenttiin kasvaisi muuttuvien kustannusten kokonaismäärä 24,8 Mmk:lla. Täten laskelmien luotettavuus on pitkälle kiinni asiantuntija-arvioiden oikeellisuudesta. Lisäksi RHK:n olisi periaatteessa mahdollista lisätä saamaansa ratamaksun tuottoa kohdentamalla kustannuksiaan korkean liikennemäärästä johtuvien kustannusten prosenttiosuuden tehtäviin, kuten erikseen tilattuihin töihin. Käytännössä kuitenkin esimerkiksi laiturialueiden kunnossapitoa ei voida jättää tekemättä.

Myöhemmässä luvussa 5.2 esitetty rajakustannusten laskentamenetelmä poistaa kyseiset ongelmat. Rajakustannukset johdetaan matemaattisesti korrektisti kustannusfunktion osittaisderivaatalla liikennemäärän suhteen. Samalla kiinteät, liikennemäärästä riippumattomat, kustannukset saavat arvon nolla, joten myöskään erillistä asiantuntija-arviota kustannusten jakaantumisesta muuttuviin ja kiinteisiin ei tarvita.

## 2.3 Eri EU-maiden ratamaksukäytäntöjä

Entä millaisia käytäntöjä on muissa EU-maissa? Eroaako Suomen käytäntö paljon muiden maiden vastaavista käytännöistä? Rautatieliikennettä unionissa säätelevä lainsäädäntö on viime vuosina muuttunut paljon. Viimeisimpänä uutena lainsäädäntönä on Euroopan komissiossa joulukuussa 2000 hyväksytty rautatieliikenteen infrastruktuuripaketti, johon osana kuuluu ratamaksua käsittelevä direktiivi. Kyseistä direktiiviä ja sen vaatimuksia käsitellään tarkemmin luvussa 2.4.

Lainsäädäntömuutokset ovat jatkuvia. Eri maat ovat pystyneet sopeuttamaan omaa lainsäädäntöään eri tahtiin tarkentuneisiin direktiiveihin, joten muutoksia ratamaksun suuruudessa ja määräytymisperusteissa tapahtuu jatkuvasti. Sen sijaan yleisemmät periaatteet ratamaksun määräytymisestä ovat olleet pysyvämpiä. Tässä yhteydessä viitataan huhtikuussa 1998 ilmestyneeseen tutkimukseen "An Examination of Rail Infrastructure Charges" (Nera 1998). Tämän tutkimuksen mukaan unionimaat voidaan jakaa ratamaksukäytäntöjensä perusteella kolmeen ryhmään: skandinaaviseen, sovitettujen keskimääräisten kustannusten ja Iso-Britannian lähestymistapaan. Seuraavassa on käyty tarkemmin läpi näitä eri lähestymistapoja sekä käytännön toteutustapoja.

### 2.3.1 Skandinaavinen lähestymistapa

Aiemmin esitelty Suomen ratamaksukäytäntö noudattaa Skandinaavista lähestymistapaa. Suomen lisäksi samantapaisia ratamaksuperusteita noudattava järjestelmä on ollut käytössä Ruotsissa ja Tanskassa. Ominaista näille lähestymistavoille on suhteellisen yksinkertainen maksunkäytäntö, joka perustuu lyhyen aikavälin rajakustannusten kattamiseen. Lisäksi on kuitenkin otettu huomioon yleisempiä liikennepolitiikan päämääriä kuten eri liikennemuotojen kilpailuaseman tasapaino.

Etuna skandinaavisessa käytännössä on, että se asettaa maksutason lähelle lyhyen aikavälin rajakustannuksia. Lisäksi maksukäytäntö on suhteellisen helppo toteuttaa hallinnollisesti.

Merkittävin ongelma skandinaavisessa lähestymistavassa on, että se edellyttää valtiotalta halukkuutta käyttää suuria summia ratainfrastruktuurin rahoittamiseen. Tässä tapauksessa

suurin osa infrastruktuurin haltijan tuloista tulee suoraan valtiolta. Siten valtion tukitoiminta määrittää sen, onko infrastruktuurin haltijalla riittävästi kannustimia toimia mahdollisimman tehokkaasti.

Toinen skandinaavisen lähestymistavan puute on, että ei ota huomioon ruuhkautumisen aiheuttamia vaihtoehtokustannuksia. Kuitenkin kyseisistä käytäntöä soveltavissa maissa ruuhkat eivät ole yhtä yleisiä ongelmia. Lisäksi niin kauan kuin rataverkolla on vain yksi operaattori, kohdistuvat ruuhkien aiheuttamat viivytyskustannukset operaattoriin itseensä ja näin ollen aiheutuneet kustannukset tulevat sisäistetyksi yrityksessä itsessään. (Nera 1998: 43-45)

### **2.3.2 Sovitettujen keskimääräisten kustannusten lähestymistapa**

Sovitettujen keskimääräisten kustannusten lähestymistapaa (lyhenne SKKL) on sovellettu EU:n jäsenmaista Itävallassa, Ranskassa ja Saksassa. Edellisestä Skandinaavisesta lähestymistavasta poiketen SKKL:ssa ei keskitytä lyhyen aikavälin kustannusten kattamiseen vaan lähtökohtana on halutun tulomäärän kerääminen infrastruktuurin haltijalle. Tämä tulomäärä vastaa radanpidon kustannuksia, joita ei kateta valtion tukimäärärahoihin.

Ensimmäisessä vaiheessa SKKL:ssa määritelläänkin ratamaksun tulojen tavoitetaso. Toiseksi johdetaan edellisestä keskimääräinen ratamaksu (per junakilometri), jolla pystytään keräämään tuo haluttu tulojen tavoitetaso. Tämän lisäksi eri maissa on vaihtelevassa määrin otettu huomioon kustannuksiin ja markkinatilanteeseen liittyviä tekijöitä määriteltäessä ratamaksun perusteita.

Lähestymistapa johtaa maksukäytäntöön, jossa suurin osa tuloista kerätään muuttuvilla maksuilla. Edellinen yhdistettynä valtionvallan korkeisiin kustannusten kattamistavoitteisiin johtaa siihen, että ainakin jotkin muuttuvat maksut ovat huomattavasti korkeampia kuin mitä skandinaavisen lähestymistavan maksut. Tämä puolestaan merkitsee, että yleensä SKKL periaatteella kerätyt maksut ylittävät lyhyen aikavälin rajakustannukset. (Nera 1998: 45)

Käytännön esimerkkinä SKKL:sta käydään tässä yhteydessä tarkemmin läpi Saksassa sovellettua käytäntöä. Skandinaavisessa lähestymistavassa ratamaksujen kustannusvastaavuus jää suhteellisen alhaiselle tasolle. Saksassa sovellettu käytäntö puolestaan edustaa toista ääripäätä kustannusvastaavuuden suhteen: Saksassa minkäänlaiset tuet jatkuvaan kunnossapitoon tai käyttöön eivät ole sallittuja. Sen sijaan osavaltion hallinto voi tukea uusia ratainvestointeja tai infrastruktuurin tason parannuksia.

Lisäksi Saksassa ei ole lainkaan kiinteitä ratamaksuja vaan kaikki maksut ovat muuttuvia, junakilometriä kohti laskettuja. Maksut kuitenkin vaihtelevat käytetyn linjan nopeus- ja liikennemäärätason (10 luokkaa) sekä junatyyppien (12 luokkaa) mukaan. Tämän jaottelun mukaan Saksan rataverkko jakaantuu 350 erilliseen linjasegmenttiin. Yleisesti erot eri tasoisista rata-linjoista perittävissä maksuissa on korkeampia kuin erot eri junakategorioiden välillä perittävissä maksuissa.

Vuoden 1998 tietojen mukaan tyypillinen maksu toissijaiselle ratalinjalle oli 5-10 Saksan markkaa (2.5-5.0 ECU) per junakilometri ja vastaavasti maksu korkean nopeuden pääradalle oli 25 DM (12.6 ECU) per junakilometri. Näitä perusmaksuja voidaan kuitenkin edelleen sovitaa ottamaan huomioon seuraavia tekijöitä: luotettavuus (+/- 20 % perusmaksuun), paino (+/- 10 % perusmaksuun), suuret liikennöintimäärät (0-5 % vähennystä perusmaksuun) ja pitkät sopimukset (0-6% vähennystä perusmaksuun). (Nera 1998: 37) Käytännössä Saksassa sovellettu ratamaksukäytäntö johtaa moneen eritasoiseen maksuun. Mutta maksuperusteet ovat saatavissa hintalistalta. (Nera 1998: 46)

### **2.3.3 Ison-Britannian lähestymistapa**

Isossa-Britanniassa käytetty ratamaksu ei sovi kumpaankaan edellä mainituista kategorioista. Ensinnäkin Ison-Britannian lähestymistapa yhdistää tekijöitä edellä mainituista ratamaksukäytännöistä. Lähtökohtana on skandinaavisen lähestymistavan mukaisesti lyhyen aikavälin rajakustannusten kattaminen, mutta toisaalta tavoitteena on myös SKKL:lle tyypillinen korkea kustannusten kattamisosuus. Toiseksi ainoana EU-jäsenmaana Isossa-Britanniassa osa ratamaksuista määritellään suoraan infrastruktuurin haltijan ja liikennöitsijän välisissä neuvotte-

luissa. Osaltaan myös edellisestä johtuen Isossa-Britanniassa sovellettu ratamaksukäytäntö on huomattavasti monimutkaisempi kuin missään muussa jäsenmaassa. (Nera 1998: 44)

Lähtökohtana Iso-Britannian tilanteessa on, että radanpidosta huolehtii yksityistetty organisaatio, Railtrack. Vastaavasti liikennöitsijöiden puolella erityistä on, että henkilöliikenteen tarjonnasta vastaa 25 toimiluvanvaraista yksityistä yritystä. Toimiluvassa liikennöitsijä saa yksinoikeuden matkustajaliikenteen tarjoamiseen toimilupa-alueellaan. Lisäksi liikennöitsijä saa tukea tarjoamistaan henkilöliikennepalveluista. Toisaalta liikennöitsijältä edellytetään minimipalveluvaatimusten täyttämistä toimilupa-alueellaan. Yleensä toimilupa kullekin alueelle on myönnetty sille operaattorille, joka on antanut alhaisimman tarjouksen tarvitsemastaan tuesta minimi palveluvaatimusten täyttämiseksi. Nämä tuet, kaikkina 2 biljoonaa puntaa (3 biljoonaa ECU:a) vuonna 1996/7, muodostivat pääasiallisen tavan, jolla valtiolta tuki rautatieliikennettä. (Nera 1998: 42)

Toimiluvallisen matkustajaliikennetoiminnan lisäksi Britannian rautateillä on myös muuta liikennöinti- ja palvelutoimintaa. Tätä edustavat tavaraliikenne ja muut henkilöliikennepalvelut kuten toimiluvallisilta yrityksiltä ostetut lisäpalvelut. Jako toimiluvallisiin palveluihin ja muihin palveluihin näkyy myös ratamaksujen hinnoitteluperusteissa.

Toimiluvallisten yritysten ratalinjalle pääsymaksuista päättää valtiollinen Rail Regulator. Säädetty maksut ovat kiinteitä kuuden vuoden ajan. Maksut koostuvat kolmesta osasta: kiinteästä ja muuttuvasta maksusta sekä ulkoiskustannussäännöksistä. Kiinteät maksut kullekin operaattorille ovat suuria. Kiinteät maksut muodostavat 85 % kaikista Rail Trackin saamista käyttöoikeusmaksuista ja kattavat noin 90 % Rail Trackin kokonaiskustannuksista. Muuttuvien maksujen taso(per jkm) on matala. Tämä taso vastaa lyhyen aikavälin rajakustannuksien kattamista. Ulkoiskustannussäännösten mukaisesti operaattori saa hyvitystä häiriötilanteiden synnyttämistä tulonmenetyksistä. Toisaalta se joutuu myös itse maksamaan korvausta toisille operaattoreille aiheuttamistaan häiriötilanteista.

Muiden palveluiden käyttöoikeusmaksut ovat neuvoteltuja yritysten ja Railtrackin kanssa. Mikäli osapuolet eivät pääse sopuun, määrää Rail Regulator maksut. Neuvotellut maksut voi-

vat ylittää rajakustannusten tason, mutta korkeammat hinnat eivät saa syrjiä operaattoria tai asiakasta. Lisäksi tavaraliikenteen lisähintojen tulee kattaa ne kiinteät kustannukset, joita Rail Trackille aiheutuu tavaraliikenneverkostosta. Vastaavasti ei-toimiluvallisen matkustajaliikenteen puolella Rail Trackin tulee saada uusien palveluiden tuottamisen nettohyödystä itselleen se osuus, joka on verrannollinen Rail Trackin osuuteen uusiin palveluihin liittyvistä riskeistä.

Etuna Iso-Britanniassa noudatetussa ratamaksukäytännössä on, että siinä on onnistuttu pääsemään korkeaan ratainfrastruktuurikustannusten kattamisosuuteen samalla, kun monet maksuista ovat lähellä lyhyenaikavälin rajakustannuksia. Lisäksi ulkoiskustannussäännöksissä on otettu huomioon toisille osapuolille aiheutuneet haittakustannukset. Kolmantena etuna Britanniassa sovelletussa ratamaksu käytännössä on, että useaksi vuodeksi kiinteäksi asetetut maksutuotot yksityiselle Rail Track -yritykselle kannustavat sitä toimimaan tehokkaasti. (Nera 1998: 42)

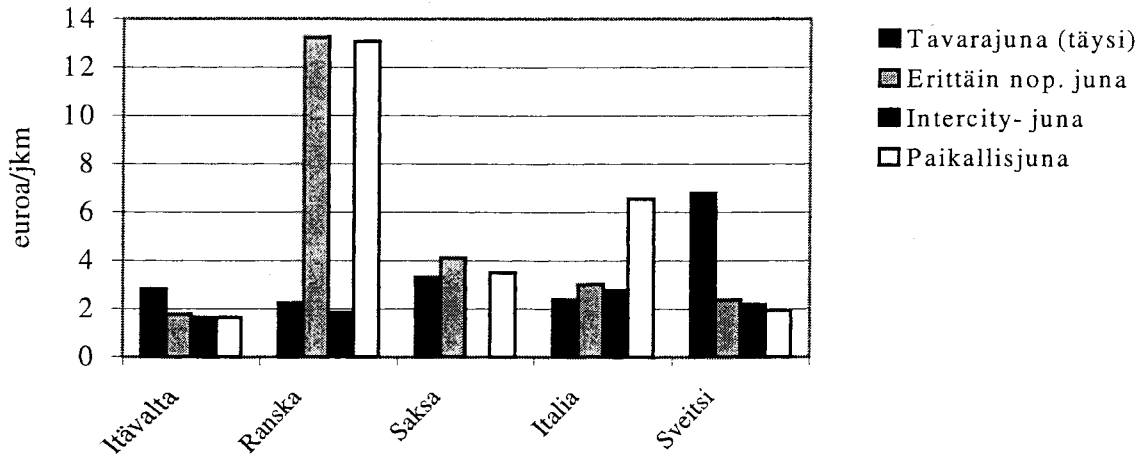
Puutteena Isossa-Britanniassa käytetyssä menettelyssä on, ettei siinä oteta huomioon vaihtoehtoisuuksia, jotka muodostuvat kapasiteetin niukkuuden vuoksi pois jätetyistä palveluista. Tällä puutteella voi olla suuria vaikutuksia rataverkolla, jolle on ominaista useat operaattorit ja kapasiteetin ruuhkautuminen. (Nera 1998: 46)

Käytännössä ongelmia sovelletussa ratamaksu käytännössä on aiheuttanut Rail Regulatorin korkeat maksuliikennekustannukset. Toinen ongelmakohta on ollut se, ettei junaoperaattoreilla ole ollut tietoa Rail Trackin kustannusrakenteesta. Tästä on ollut etua Rail Trackille sen käydessä neuvotteluja eri operaattoreiden kanssa. (Nera 1998: 43)

#### **2.3.4 Yhteenveto eri maksukäytännöistä**

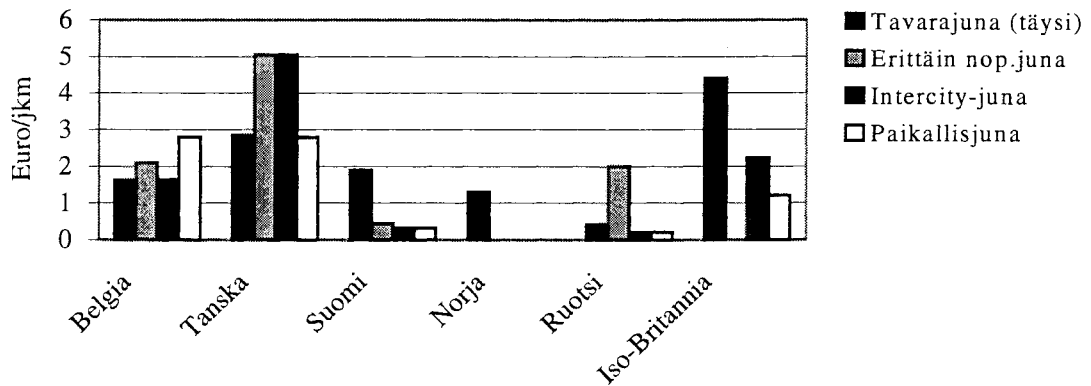
Euroopan Unionissa vallitsevia erilaisia ratamaksukäytäntöjä ja perittyjen maksujen tasoja voidaan havainnollistaa graafisen esityksen avulla. Kuvioissa 1 ja 2 on esitetty kymmenen Euroopan unioniin kuuluvan maan sekä Norjan vuonna 1999 perimät ratamaksut. Yksikkönä on käytetty euroa jaettuna junakilometrillä. Lisäksi kuvioissa maksut on eritelty markkinasegmenteittäin henkilö-, tavar-, paikallis-, "intercity" ja erittäin nopeaan liikennöintiin.

KUVIO 1 Eri Euroopan maiden ratamaksutasoja



(Lähde: Pricewaterhouse Coopers 1999)

KUVIO 2 Eri Euroopan maiden ratamaksutasoja



(Lähde: Pricewaterhouse Coopers 1999)

Kuviosta 1 ja 2 voidaan havaita, että SKKL-lähestymistapaa ratamaksunsa määrittämisessä käyttävässä Saksassa ratamaksun taso on jokaisessa olemassa olevassa markkinasementissä huomattavasti korkeammalla tasolla kuin skandinaavista lähestymistapaa soveltavissa Suomessa ja Ruotsissa. Kolmannen lähestymistavan Iso-Britannian maksut puolestaan ovat tavaliikenteen maksua lukuun ottamatta hieman matalammalla kuin Saksan vastaavat maksut. Poikkeuksen skandinaavisen lähestymistavan suhteellisen mataliin maksu tasoihin muodostaa



Tanska. Tanskan ratamaksussa on mukana Ison-Beltin sillan ylittämistä perittävä erikoismaksu. Jos tämä maksu poistetaan esitetyistä luvuista, esimerkiksi tavaraliikenteeltä peritty maksu tippuu lähes yhteen kolmasosaansa eli 1,073 euroon yhtä junakilometriä kohti (PricewaterhouseCoopers 1999: 28).

Yleisesti voidaan todeta tarkastelun kohteena olleiden maiden ratamaksutasoista, että kuvioiden 1 ja 2 perusteella eri maiden välillä on suuria eroja ratamaksutasoissa. Lisäksi maksut kohdentuvat eri markkinasektoreihin hyvin vaihtelevassa määrin. Esimerkiksi Ranskassa erittäin nopeilta junilta peritään suhteessa merkittävästi korkeampaa maksua kuin tavaraliikenteeltä. Sveitsissä tilanne on juuri päinvastainen. On kuitenkin huomattava, että kuvioissa esitetyt eri maiden ratamaksutasot eivät ole aivan täysin keskenään vertailtavissa. Kussakin maassa ratamaksuun sisältyy tietty määrä peruspalveluita, joka ei välttämättä ole samoja joka maassa. Saksassa sovellettuun ratamaksun peruspalvelupakettiin ei kuulu oikeutta tavaraterminaalien eikä ratapihojen käyttöön kuten esimerkiksi Italiassa ja Itävallassa (PricewaterhouseCoopers 1999: 23)

## **2.4 Vasta valmistunutta lainsäädäntöä**

Edellisten kappaleiden perusteella voidaan havaita, että EU-maiden kansalliset ratamaksukäytännöt vaihtelevat suuresti. Näin ollen voidaan todeta, että rautatieliikenteen osalta EU:n pyrkimys yhtenäiseen liikennepolitiikkaan on vielä varsin kaukana käytännön toteutumisestaan. EU:n lainsäädännön vaatimukset ovat kuitenkin etenemässä suuntaan, joka edellyttää jäsenmailta yhtenäisempiä infrastruktuurin hinnoitteluperiaatteita. Seuraavassa käydäänkin läpi aiheesta valmistunutta lainsäädäntöä.

### **2.4.1 Lähtökohta: Valkoinen kirja infrastruktuurin käytön hinnoittelusta**

Euroopan komission valkoisessa kirjassa ”Oikeudenmukainen maksu infrastruktuurin käytöstä” on hahmoteltu komission ehdotus eri liikennemuotojen tulevaisuuden hinnoittelustrategiaksi. Kirja on koottu aiempien komission mietintöjen (KOM(92) 494 ja KOM(95) 691) sekä asiantuntijaryhmien raporttien (julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyö, kumppanuus- ja infrastruktuurin hinnoittelun asiantuntijaryhmät) synnyttämien keskustelujen pohjalta.

Valkoisen kirjan mukaan infrastruktuurijärjestelmien erot liikennemuotojen ja jäsenvaltioiden välillä heikentävät Euroopan liikennejärjestelmien tehokkuutta ja kestävyyttä. Tämän vuoksi yhteisön jäsenmaiden on asteittain yhdenmukaistettava kaikkien merkittävien kaupallisten liikennemuotojen hinnoitteluperiaatteita. Ehdotuksessa suositetaan yhteiskunnallisiin rajakustannuksiin perustuvan hinnoittelujärjestelmän käyttöönottoa.

Ehdotuksen mukaan yhdenmukaisen hinnoittelun tulee perustua käyttäjä maksaa -periaatteeseen. Toisin sanoen liikenneinfrastruktuurin käyttäjien tulee maksaa aiheuttamansa kustannukset. Näissä kustannuksissa tulee huomioida myös ympäristövaikutuksista ja muista ulkoisista vaikutuksista aiheutuneet kustannukset. Jäsenvaltiot voisivat kuitenkin edelleen tukea julkisten palvelujen tai yleiseen etuun liittyvien palvelujen tarjontaa tukemalla infrastruktuuria käyttäviä liikenteenharjoittajia. Jäsenvaltiot voisivat myös suoraan korvata infrastruktuurin haltijalle infrastruktuurin tarjonnasta muille aiheutuvat laaja-alaiset hyödyt (esimerkiksi parantunut maankäytön suunnittelu). Ehdotetut periaatteet eivät edellytä keskitettyä hinnoittelujärjestelmää. Sen sijaan pyrkimyksenä on yhteinen kehys, jonka sisällä jäsenvaltiot voivat määrittää omat hinnoittelutasot.

Komission valkoinen kirja sisältää myös ehdotukset periaatteiden käytäntöön soveltamisesta eri liikennemuodoille. Rautatieliikenteen osalta ehdotukset pohjautuvat suoraan komission laatimaan direktiiviehdotukseen ratamaksujen määräytymisestä (Ratahallintokeskus 1999a: 4).

#### **2.4.2 Direktiivi ratamaksujen määräytymisestä ja ratakapasiteetin jaosta**

Rautatieliikennöinnin osalta valkoisen kirjan hinnoitteluperiaatteita on viety eteenpäin niin sanotun infrastruktuuripaketin avulla. Ensimmäisessä vaiheessa kesällä 1998 julkaistiin kolme direktiiviehdotusta:

1. Ehdotus rautateiden kehittämisestä annetun direktiivin 91/440/ETY muuttamisesta,
2. Ehdotus rautateiden toimiluvista annetun direktiivin 95/18/EY muuttamisesta,

3. Ehdotus direktiiviksi rautatieinfrastruktuurin kapasiteetin käyttöoikeuden myöntämisestä ja rautatieinfrastruktuurin käyttömaksujen perimisestä sekä turvallisuustodistusten antamisesta.

Seuraavassa vaiheessa direktiiviehdotuksia käsiteltiin EU:n neuvoston liikennetyöryhmässä. Kolmannen, ratamaksua koskevan, ehdotuksen osalta komission alkuperäinen esitys muuttui moneen kertaan käsittelyn aikana. Euroopan parlamentin ja neuvoston sovittelukomitean yhteisymmärrys rautatiepaketista saavutettiin marraskuussa 2000 (EU 2000/ Presse 448:1).

Tässä yhteydessä infrastruktuuripaketin direktiiveistä oleellisin on ratamaksua käsittelevä direktiiviehdotus. Seuraavassa käydään läpi, mitä kyseisessä direktiivissä on säädetty ratamaksun määräytymisperusteista. Lisäksi tutustutaan, mitä poikkeuksia direktiivi sallii rajakustannushinnoittelulle. Lopuksi tarkastellaan mitä muutoksia uusi lainsäädäntö vaatii Suomen nykyiseen käytäntöön.

### **2.4.3 Ratamaksun määräytymisperusteet**

Ratamaksut maksetaan infrastruktuurin hallinnolle (IH), joka käyttää ne toimintansa rahoittamiseen (Euroopan komissio 2000a: 20).

Hinnoittelussa on lähdetty palvelupakettiajattelusta: rautatieyritysten tarvitsee maksaa ainoastaan tarvitsemistaan palveluista, ei koko rautatieinfrastruktuurista. Tarjottavien palveluiden tulee olla kahdenlaisia: vähimmäiskäyttömahdollisuudet sekä vaadittavat käyttöpalvelut. Vähimmäiskäyttö mahdollisuudet sisältää kaikki dieseljunalla liikennöintiin tarvittavat tekijät. Näitä tekijöitä ovat kapasiteettihakemusten käsittely, oikeus käyttää myönnettyä ratakapasiteettia, vaihteiden ja risteysasemien käyttö, liikenteen ohjaus sekä muut tiedot, jotka tarvitaan ratakapasiteettia käyttävän liikenteen harjoittamiseen (Euroopan komissio 2000a: LIITE II 1).

Käyttöpalveluilla on puolestaan tarkoitus varmistaa, että rautatieyritys voi täysimääräisesti hyödyntää radan käyttöoikeuttaan (Euroopan komissio 2000a: 18). Käyttöpalveluja ovat muun muassa mahdollisuus käyttää tankkauspaikkoja, asemia, tavaraterminaaleja, ratapihoja,

junanmuodostuslaitteita, varastosivuraiteita ja huoltolaitteita (Euroopan komissio 2000a: LIITE II 1).

Kyseisten palvelupakettien hinnoittelun tulee perustua suoraan junaliikenteestä aiheutuviin kustannuksiin (Euroopan komissio 2000a: 21). Direktiivissä ei haluta käyttää sanaa rajakustannukset, mutta käytännössä tästä on juuri kyse. Toisin sanoen hinnoittelun periaatteeksi säädetään rajakustannushinnoittelu (Ratahallintokeskus 1999a: 5).

Maksuun voidaan sisällyttää myös kapasiteetin niukkuutta heijastava ruuhkamaksu. Tätä maksua saa periä vain niiltä rataosilta, joilla todistettavasti on kapasiteetin niukkuutta. Rata-maksua voidaan myös muokata tekijällä, joka ottaa huomioon junaliikenteen ulkoiset kustannukset, kuten päästö- ja onnettomuuskustannukset. Tällaiset maksut tulee suhteuttaa aiheutetun vaikutuksen suuruuden mukaan. Näiden maksujen määräytymisperusteet tulee olla julkisia (Euroopan komissio 2000a: 25).

Varmistaakseen turvallisen liikennöinnin rataverkolla IH voi vaatia rautatieyrityksiä hankkimaan tiettyjä pakollisia palveluja. Näitä ovat esimerkiksi avunanto onnettomuustilanteissa ja merkittävässä häiriötilanteissa (Euroopan komissio 2000a: 43).

Mikäli IH tarjoaa joitakin jäljempänä lueteltavia toimintoja, tulee IH:n toimittaa niitä pyynnöstä jokaiselle liikennöitsijälle (Euroopan komissio 2000a:18). Nämä lisäpalvelut koostuvat seuraavista tekijöistä: sähköenergia, henkilöjunien esilämmitys, polttoaineen toimitus, vaihtotyöt sekä räätälöidyt sopimukset: vaarallisten aineiden kuljetusten valvontaan sekä epäsäännöllisten junien kulun mahdollistamiseen (Euroopan komissio 2000a: LIITE II 2).

Rautatieyritykset voivat pyytää myös muita oheispalveluita IH:lta tai muilta toimittajilta (Euroopan komissio 2000a: 18). IH:n ei ole kuitenkaan pakko toimittaa näitä apupalveluja. Tällaisia palveluita ovat televiestintäverkon käyttömahdollisuus, lisätietojen toimittaminen sekä kaluston tekninen tarkastus (Euroopan komissio 2000a: LIITE II 2).

Jos ainoastaan yksi taho toimittaa lisäpalveluita, pakollisia palveluita ja oheispalveluita, tulee näiden palveluiden hinnan perustua käytön aiheuttamiin todellisiin kustannuksiin. Ratamaksu voidaan asettaa myös kapasiteetille, jota käytetään radan kunnossapitoon. Maksut eivät saa kuitenkaan ylittää niitä nettotulojen menetyksiä, jotka IH:lle aiheutuu kunnossapidosta. (Euroopan komissio 2000a: 22).

#### **2.4.4 Poikkeukset rajakustannushinnoitteluun**

Direktiivin artiklassa 8 on määritelty hinnoitteluperiaatteisiin liittyvät poikkeukset (Euroopan komissio 2000a: 22). Tämä artikla herätti eniten erimielisyyksiä direktiiviä valmistelleessa neuvoston liikennetyöryhmässä. Poikkeuksien salliminen hinnoittelun peruseriaatteeseen eli rajakustannushinnoitteluun on kuitenkin ollut tarpeen, sillä suurin osa jäsenmaista halusi periä rautatieyrityksiltä rajakustannuksia korkeampia maksuja. (Ratahallintokeskus 1999a: 6)

Jos jäsenvaltio haluaa periä korkeampia maksuja, on se mahdollista siinä tapauksessa, että markkinatilanne sallii korkeammat maksut. Peritty korkeampi maksu ei saisi kuitenkaan ylittää rautatieyritysten tuottavuuden lisäystä. Lisäksi IH:n tulee huolehtia, ettei maksu syrji mitään yritystä (Euroopan komissio 2000a: 22).

Käytännössä maksun korotus voitaisiin toteuttaa yksittäisen markkinahinnan korotuksena tai asiakaskohtaisella neuvottelulla. Yksittäisen markkinahinnan korotus merkitsee, että tietyiltä kuljetuksilta voidaan periä suurempaa maksua kuin toisilta. Esimerkiksi öljykuljetuksilta voitaisiin periä korkeampi maksu kuin raakapuukuljetuksilta. Samalla markkinasegmentillä kaikkia operaattoreita tulee kuitenkin kohdella samalla tavoin. Toisin sanoen kaikkien öljykuljetusten ratamaksu tulisi olla sama, vaikka liikennöitsijöitä olisi useampia (Ratahallintokeskus 1999a: 6). Tätä hinnoittelumekanismia kutsutaan myös Ramsey-hinnoitteluksi. Kyseistä hinnoitteluperiaatetta esitellään laajemmin luvussa 3.2.1.

#### **2.4.5 Muutostarve Suomen ratamaksukäytäntöön**

Direktiiviehdotuksen määrittelemät ratamaksuperusteet vastaavat melko hyvin edellä kuvattua Suomen ratamaksukäytäntöä. Toisin sanoen hinnoittelun peruseriaatteena on lyhyenaikavä-

lin rajakustannusten kattaminen. Lisäksi ratamaksuun voidaan sisällyttää ulkoiset kustannukset.

Direktiiviehdotus tuo myös lisäyksiä aiempaan. Näitä lisäyksiä ovat eri palvelupaketit, kapasiteetin niukkuusmaksu, mahdollisuus periä ratamaksua uusista investoinneista, ratakapasiteetin varausmaksu ja suoritejärjestelmä. Oleellisin uudistus on palvelupakettiajattelu, jonka mukaan palvelut jaetaan vähimmäiskäyttömahdollisuuksiin ja käyttöpalveluihin. Aiemmin tällainen jako ei ole ollut käytössä.

### **3. RATAINFRASTRUKTUURIN HINNOITTELUN TALOUSTEORIAA**

Luvun 2 lainsäädäntöosiossa infrastruktuurihinnoittelun peruseriaateeksi asetettiin rajakustannuksiin perustuva hinnoittelu. Tämän hinnoittelumenetelmän käyttö noudattaa taloustieteen perusteoriaa optimaalisesta markkinoiden käyttäytymisestä, kuten seuraavassa luvussa 3.1 esitetään. Rajakustannushinnoittelulla saatava ratamaksun tuotto jää kuitenkin alhaiseksi. Mistä tämä johtuu? Luvussa 3.2 on selvitetty asiaa kasvavien skaalaetujen avulla. Entä tulisi-ko rajakustannushinnoittelua soveltaa rautatieliikennöinnin toimialalla, jos muilta toimialoilta perittävät maksut eivät vastaa rajakustannushintoja? Tätä kysymystä selvennetään luvussa 3.3. Lopuksi esitellään vielä vaihtoehtoisia hinnoitteluperiaatteita. Näiden hinnoitteluperiaatteiden käyttö on mahdollista, mikäli halutaan kerätä rajakustannukset ylittävä maksutuotto.

#### **3.1 Rajakustannushinnoittelu**

##### **3.1.1 Peruseriaate**

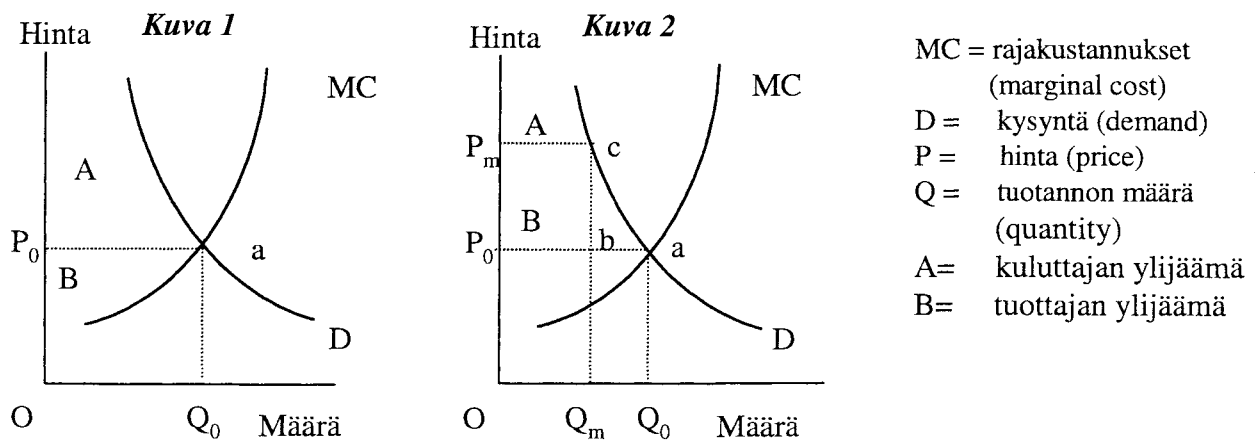
Rajakustannuksella tarkoitetaan kokonaiskustannusten muutosta tuottaessa yksi yksikkö enemmän (Begg 1991, 104). Rajakustannuksia ovat esimerkiksi ne kustannukset, jotka aiheutuvat, kun tietylle rataosalle lisätään kulkemaan yksi juna aiempaa enemmän. Matemaattisesti määriteltynä rajakustannus on kokonaiskustannusfunktion ensimmäinen derivaatta yhden lisäyksikön, tässä tapauksessa liikennelisäyksen suhteen (High level, 20).

Talousteorian mukaan yhteiskunnan resurssien tehokkain jako saavutetaan silloin, kun resurssien uudelleenjaolla ei ole mahdollista parantaa jonkun yksilön hyvinvointia laskematta samalla toisen yksilön hyvinvointia. Tilannetta kutsutaan Pareto-optimiksi (Broadway 1984, 15). Täydellisen kilpailun markkinoilla Pareto-optimaalinen resurssien jako saavutetaan, kun kaikkien yritysten tuotteistaan perimä hinta on yhtä suuri tuotteiden rajakustannusten kanssa

(Broadway 1984, 171). Toisin sanoen tuotteesta tai palvelusta perittävän hinnan tulisi olla yhtä suuri kuin sen rajakustannukset.

Rajakustannushinnoittelun optimaalisuutta koko yhteiskunnan kannalta voidaan havainnollistaa kuvion 3 avulla:

**KUVIO 3 Rajakustannushinnoittelu ja tehokkuus**



(Lähde: Roy 1998)

Oletetaan, että markkinoilla vallitsee täydellinen kilpailu. Toisin sanoen markkinoilla on useita ostajia ja myyjiä, joilla kellekään ei ole mahdollisuutta vaikuttaa tuotteista perittävään hintaan (Begg 1991, 133). Tällöin kuvion 3 **kuvassa 1** markkinoiden tarjontakäyrä **MC** on tuotetun määrän suhteen nouseva rajakustannuskäyrä: yhden lisäyksikön tuottaminen aiheuttaa kasvavassa määrin kustannuksia yritykselle, mikä puolestaan pakottaa yrityksen nostamaan tuotteestaan perimää hintaa. Korkeammalla hinnalla kuluttajat ovat valmiita ostamaan vähemmän tuotetta. Tätä kuvaa tuotetun määrän suhteen laskeva kysyntäkäyrä **D**. Markkinoiden tasapaino saavutetaan käyrien leikkauspisteessä **a**. Tasapainossa tuotettava määrä on  $Q_0$  ja hinta  $P_0$  (Roy 1998, 11).

Markkinoiden tasapaino saavutetaan rajakustannuksia vastaavalla tasapainohinnalla  $P_0$ . Mikäli tuotteen hinta on korkeampi kuin  $P_0$ , niin yritykset lisäävät tuotantoaan tai toimialalle tulee lisää yrityksiä. Lisääntyneen kilpailun myötä tuotteen tarjonta kasvaa ja hinta laskee. Tuotannon lisäystä jatkuu niin kauan kuin tuotannon rajakustannukset, eli yhden lisäyksikön aiheut-



tamat kustannukset, ylittävät tuotteen hinnan. Vastaavasti mikäli tuotteen hinta on tuotannon rajakustannuksia matalammalla tasolla, joutuvat yritykset vähentämään tuotantoaan tai lopettamaan toimintansa toimialalla. Tällöin tuotteen tarjonta vähenee, mikä puolestaan nostaa hintaa. Lopulta jälleen saavutetaan tasapainohinta  $P_0$ , jossa tuotteesta perittävä hinta on yhtä suuri tuotannon rajakustannusten kanssa. (Roy 1998, 11)

Kuluttajan tuotteen ostamisesta saamaa hyötyä kuvaa **kuvasa 1** tasapainohinnan yläpuolella oleva kysyntäkäyrän rajaama alue **A**. Aluetta kutsutaan kuluttajan ylijäämäksi. Se muodostuu kuluttajien maksuhalukkuutta kuvaavan kysyntäkäyrän **D** ja tuotteesta maksetun hinnan  $P_0$  välisestä erotuksesta. Vastaavasti tuottajan ylijäämän muodostaa hintasuoran  $P_0$  alapuolinen ja tarjonta käyrän **MC** rajaama alue **B**. Tämä alue kuvaa tuotantokustannusten ja tuotteesta saadun hinnan välistä erotusta. (Roy 1998, 12)

Oletetaan kuitenkin, että esimerkiksi monopolistisen kilpailun vuoksi toimialan yritysten on mahdollista periä kuluttajilta tuotannon rajakustannukset ylittävää hintaa  $P_m$ . Tätä on havainnollistettu **kuvasa 2**. Korkeamman hinnan johdosta tuottajan ylijäämä kasvaa eli alue **B** laajenee, samalla kuitenkin kuluttajan ylijäämä **A** vähenee. Oleellista tilanteessa on se, että tuottajan ylijäämän lisäys ei ole yhtä suuri kuin kuluttajan hyvinvoinnin menetys. Monopolistinen hinnoittelu muodostaa hyvinvointitappion, jota kuvaa alue **abc**. Täten rajakustannukset ylittävän hinnan periminen johtaa koko yhteiskunnan kannalta tehottomaan hinnoitteluun. Rajakustannushinnoittelua noudattava hinnoittelu on koko yhteiskunnan hyvinvoinnin kannalta tehokkainta. (Roy 1998, 12-13)

Kuviossa 3 MC-käyrät ovat minirajakustannuskäyriä. Toisin sanoen ne ovat johdettu kustannusfunktioista, jossa oletetaan toimialan toimivan tehokkaimmalla mahdollisella tavalla. Tällöin toimialalla ei ole liikakapasiteettia.

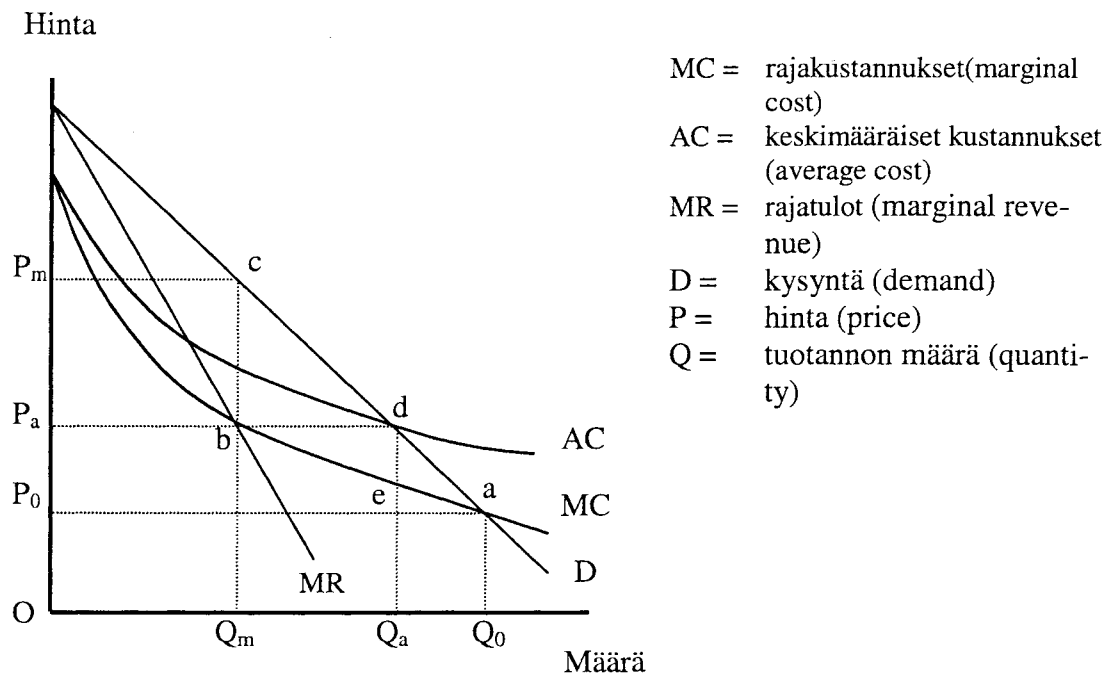
Käytännössä rajakustannushinnoittelun soveltaminen johtaa mataliin maksutuottoihin. Mutta mistä matalat maksutuotot johtuvat? Seuraavassa kasvavia skaalaetuja ja kustannusten kattamista käsittelevässä luvussa paneudutaan tähän aiheeseen.

### 3.1.2 Kasvat skaalaedut ja kustannusten kattaminen

Perinteisesti rautatieliikennettä pidetään toimialana, jolla vallitsee kasvavat skaalaedut. Toisin sanoen prosentin lisäys tuotannontekijässä johtaa yli prosentin lisäykseen tuotannossa (Broadway 1984, 185). Kasvat skaalaedut aiheutuvat rautatieliikenteen korkeista kiinteistä kustannuksista (Button 1993,128). Tämä johtaa tuotannon mittakaavaetuihin eli mitä laajemmassa mittakaavassa yritys toimii, sitä enemmän yritys voi tuottaa voittoa. Mikäli mittakaavaedut ovat tarpeeksi suuria markkinoiden kokoon nähden, voi yksi yritys hinnoitella kilpailijansa ulos markkinoilta. Tuloksena on luonnollinen monopolit (Begg 1991,159). Jos mittakaavaetuja omaavalle toimialalle sovelletaan rajakustannushinnoittelua ja asetetaan infrastruktuurin hinta vastaamaan lyhyen aikavälin rajakustannuksia, on seurauksena rahoituksen alijäämä. Rajakustannushinnoittelu ei siten kata kaikkia rautatieliikennöinnistä aiheutuneita kustannuksia (Button 1993,128).

Tätä on havainnollistettu **kuvion 4** avulla. Oletetaan, että kuvan toimialalla monopolina toimiva yritys ei voi vaikuttaa käyttäminensä raaka-aineiden hintoihin, tällöin kasvavien skaalaetujen vuoksi toimialan rajakustannuskäyrä  $MC$  sijaitsee keskimääräisten kustannusten käyrän  $AC$  alapuolella. Talousteorian mukaan yhteiskunnan resurssit ovat tehokkaimmassa käytössä, kun kaikki yritykset hinnoittelevat tuotteensa niiden rajakustannusten suuruiseksi. Tämä tilanne toteutuisi pisteessä  $a$  hinnalla  $P_0$  ja tuotantomäärällä  $Q_0$ . Kyseinen tuotantomäärä ja hinta kuitenkin edellyttävät, että toimialan yritys tuottaa tappiota, sillä pisteessä  $a$  yrityksen tuotteistaan saama hinta  $P_0$  on matalampi kuin keskimääräiset tuotantokustannukset  $P_a$ . Tällöin kokonaiskustannukset ylittävät kokonaistuotot.

**KUVIO 4 Kasvavat skaalaedut ja kustannusten kattaminen**



(Lähde: Broadway 1984)

Yrityksen kannalta optimaalisin tilanne olisi se, että yritys voisi toimia voittoaan maksimoivana monopolina ja asettaa tuotantonsa tasolle, jossa yhden lisäyksikön tuottaminen aiheuttaa yhtä paljon niin menoja kuin tuloja ( $MC=MR$ ). Tätä tilannetta kuvaa piste  $c$ , jossa yritys tuottaa pienemmän määrän  $Q_m$  korkeammalla hinnalla  $P_m$ . Tällainen menettely olisi kuitenkin koko yhteiskunnan hyödyn kannalta haitallista. Kuluttajien hyödyn lasku muodostuu siitä, että monopolihinnoittelun vallitessa he joutuvat tyytymään pienempään kulutusmäärään ( $Q_m < Q_0$ ). Kuluttajan hyödyn laskua kuvaa kysyntäkäyrän  $D$  alapuolinen alue  $Q_m$   $caQ_0$ . Toisaalta pienempi tuotantomäärä säästää tuotannontekijöitä. Tästä säästöstä muodostuu hyötyjä rajakustannuskäyrän  $MC$  alapuoliselle alueelle  $Q_m$   $baQ_0$ . Vähentämällä kaksi edellä mainittua aluetta toisistaan saadaan yhteiskunnan kokonaishyödyn muutos. Tässä tapauksessa yhteiskunnan kokonaishyöty laskee alueen  $abc$  verran.

Ollakseen juuri ja juuri kannattava yrityksen tuotteet pitää hinnoitella keskimääräisten kustannusten mukaan. **Kuviossa 4** tämä toteutuu tuotantomäärällä  $Q_a$  ja hinnalla  $P_a$ . Rajakustannushinnoitteluun verrattuna keskimääräiskustannushinnoittelu johtaa yhteiskunnan hyödyn

laskuun. Tätä kuvaa alue **ade**. Kyseinen alue on kuitenkin pienempi kuin monopolihinnoittelun aiheuttama hyödyn vähentyminen eli alue **abc**. (Broadway 1984, 171-173)

Rautatieinfrastruktuurin hinnoittelun kannalta edellä esitettyä voidaan tulkita siten, että sovellettaessa keskimääräiskustannushinnoittelua junaliikenteen aiheuttamat kustannukset tulevat katetuksi. Koska rautatietoimialan kasvavien skaalaetujen vuoksi keskimääräiset kustannukset ylittävät aina rajakustannukset, keskimääräiskustannushinnoittelusta aiheutuu hyvinvointitappiota. Sen sijaan käytettäessä rajakustannushinnoittelua hyvinvointitappiota ei muodostu. Junaliikenteeltä perityt maksut eivät kata aiheutuneita kustannuksia, siten yhteiskunnan on oltava valmis tukemaan rautatieinfrastruktuurin ylläpitoa ja käyttöä.

### 3.1.3 “Toiseksi paras” -lähetystapa

Kuvioissa 3 ja 4 koko yhteiskunnan kannalta paras tilanne saavutettiin, kun rautatieliikenteeltä perittiin hinta  $P_0$ . Silloin rajakustannus  $MC$  vastaa kysyntää  $D$ . Tämä on yhteiskunnan “ensimmäiseksi parhaaksi” tilanne. Mutta tulisiko rajakustannushinnoittelua soveltaa myös siinä tapauksessa, että kilpailevilla toimialoilla ei sovelleta samaa hinnoitteluperiaatetta?

Rautatieliikennöinnin ja radanpidon toisistaan erottaminen on uusi asia myös teorian kannalta. Kirjallisuudesta ei löydy tilannetta täysin huomioivaa esimerkkiä. Seuraavassa käytetään esimerkkinä matkalipun hinta -tarkastelua.

Oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi, että yhteiskunnassa on vain rautatie- ja linja-autokuljetuksia. Lisäksi bussiliikenteessä valitsee monopolistinen kilpailu, joka mahdollistaa rajakustannuksia korkeampien hintojen perimisen bussimatkestajilta. Pitäisikö tässä tilanteessa junalippujen hintojen edelleen vastata rajakustannuksia?

Vastaus on, että mikäli halutaan päästä yhteiskunnan kannalta mahdollisimman hyvään lopputulokseen, tulee myös junalippujen hinnoissa soveltaa eri hinnoitteluperiaatetta. Tätä kutsutaan “toiseksi parhaaksi” -lähestymistavaksi. Tämän lähestymistavan soveltaminen merkitsisi yksinkertaistettuna sitä, että rajakustannushinnoittelun sijaan junalippujen hinnat tulee asettaa

samassa suhteessa korkeammiksi kuin linja-autolippujen hinnat eroavat rajakustannuksistaan. Toisin sanoen:

$$\frac{P_{juna} - MC_{juna}}{MC_{juna}} = \frac{P_{linja-auto} - MC_{linja-auto}}{MC_{linja-auto}}$$

P = hinta  
MC = rajakustannus

Käytännössä laskelmista muodostuu monimutkaisempia., sillä tämä menettely määrittää vain eri liikennemuotojen optimaalisen käytön jakauman. Muilla yhteiskunnan sektoreilla olevia vääristyneitä hintarakenteita ei huomioida. Lisäksi siinä tapauksessa, että kaikkien muiden toimialojen hinnat vastaavat rajakustannuksiaan, ainoastaan liikennesektorille sovellettu “toiseksi paras” -lähestymistapa johtaa tilanteeseen, jossa liikennesektorin hinnat ovat kalliimpia suhteessa muihin sektoreihin. Ihanteellisessa tilanteessa “toiseksi paras” -lähestymistapaa tulee soveltaa kaikkiin talouden toimialoihin, jos vain yhdenkin talouden sektorin hintarakenne on vääristynyt.

Tarvetta kaikki sektorit kattavaan tarkasteluun ei ole siinä tapauksessa, että ihmiset käyttävät kiinteän rahasumman matkamenoihinsa. Silloin muiden sektoreiden hinnoilla ei ole juuri vaikutusta liikennesektorin hintoihin. Toisin sanoen muiden sektoreiden ja liikennesektorin välinen hintojen ristikkäisjousto on matala. Tässä tapauksessa tarkastelua voidaan rajata niin, että koko yhteiskunnan kannalta paras mahdollinen tilanne saavutetaan jo sillä, että liikennesektoreiden välinen jakauma on taloudellisesti tehokas. (Button 1993, 128-130)

Edellisten kappaleiden perusteella on havaittavissa, että markkinoiden vääristymät vaikuttavat siihen, johtaako pelkkä rajakustannushinnoittelu koko yhteiskunnan kannalta parhaaseen tulokseen. Ratkaisevaa “toiseksi paras” - lähestymistavan tarpeellisuuden kannalta on, missä määrin tietyn liikennemuodon kysyntä on riippuvainen talouden muiden tavaroiden ja palveluiden kysynnästä. Tätä yhteyttä kutsutaan ristikkäisjoustoksi. Kun kahden eri talouden alan ristikkäisjousto on pieni ei, alojen välillä ole keskinäistä riippuvuutta. Tällöin kyseisten alojen tuotteiden hinnoittelussa ei tarvitse ottaa huomioon mahdollisia toisen alan hintavääristymiä. Sen sijaan, jos alojen välinen ristikkäisjousto on korkea, täytyy yhden alan optimaalista hintatasoa määrittäessä ottaa huomioon myös toisen alan hinnan optimaalisuus. Käytännössä eri

talouden alojen keskinäisten ristikkäisjoustojen suuruuden selvittäminen on hyvin hankalaa (Button 1993, 130).

## 3.2 Vaihtoehtoisia hinnoitteluperiaatteita

Kasvavia skaalaetuja käsitelleessä kappaleessa todettiin, että rajakustannushinnoittelun käyttäntöön soveltaminen rautatieliikenteeseen johtaa infrastruktuurirahoituksen alijäämään. On kuitenkin olemassa muita hinnoittelumenetelmiä, joilla voidaan päästä pienempään rahoituksen alijäämään. Seuraavassa käsitellään näitä keinoja.

### 3.2.1 Ramsey-hinnoittelu

Ratamaksudirektiivi sallii rajakustannuksia korkeampien maksujen periminen, mikäli markkinatilanne mahdollistaa kyseisen menettelyn. Käytännössä tämä merkitsisi Ramsey-hinnoittelun soveltamista. ”Toiseksi paras”- lähestymistavan tapaan Ramsey-hinnoittelussa optimaalisen maksutason määrittämiseksi käytetään toimialojen hintajoustoja.

Periaatteena Ramsey-hinnoittelussa on, että asiakkailta joilla on joustamaton kysyntä, peritään korkeampia maksuja. Näin voidaan tehdä, koska he eivät ole niin herkkiä vähentämään kuluustaan korkeampien hintojen vuoksi. Vastaavasti joustavan kysynnän omaavilta asiakkailta peritään alhaisempia maksuja. Sama asia voidaan esittää myös yhtälömuodossa. Jos mahdollinen eri junaoperaattoreiden keskeinen riippuvuus jätetään huomiotta, optimaalisen hinnoittelun säännöksi saadaan:

$$(p_i - MC_i) / p_i = k / \varepsilon_i \quad (1)$$

Kaavassa 1  $p_i$  merkitsee ratalinjan  $i$  käytöstä perittävää hintaa,  $MC_i$  on lyhyen aikavälin rajakustannukset linjalla  $i$ ,  $k$  on vakio ja  $\varepsilon_i$  on kysynnän hintajousto linjalle  $i$ ;  $\varepsilon_i$  mittaa, miten herkästi kysyntä reagoi hintamuutoksiin. Korkeat  $\varepsilon_i$  arvot merkitsevät kysynnän laskevan herkästi hinnan noustessa, tällöin kysynnän sanotaan olevan joustavaa. Vastaavasti alhaiset  $\varepsilon_i$  arvot merkitsevät, että kysyntä ei reagoi herkästi hintamuutoksiin eli kysyntä on joustamatonta.

Kirjaimellisesti tulkittuna Ramsey-hinnoittelu merkitsisi, että jokaiselle rataosalle tulee asettaa erillinen ratamaksu. Tämä johtaisi erittäin monimutkaiseen maksumenettelyyn. Käytännössä yksinkertaisempi ja siten toimivampi ratamaksumenettely olisi periä eri suuruisia maksuja markkinasegmenttien mukaan. Tällöin jokainen lyhyen aikavälin rajakustannukset ylittävä hinnannlisä tulisi olla kääntäen verrannollinen toimialan hintajoustoon. Toisin sanoen herkästi hintamuutoksiin reagoivilta toimialoilta tulisi periä suhteellisen matalia lisähintoja, kun taas joustamattoman kyynnän markkinoilta voitaisiin periä korkeampia lisähintoja. Tämä kuitenkin edellyttää, että markkinasegmenttien tulee olla erotettavissa toisistaan selvästi havaittavien tekijöiden perusteella. Tällaisia erottavia tekijöitä voivat esimerkiksi olla liikenne- luokka (tavarajuna/henkilöjuna/paikallisjuna/ kappaletavarajuna jne.), vuorokauden aika (ruuhka/ei-ruuhka-aika) ja maantieteellinen sijainti (kilpailevia reittejä/ei). Tarvittava luokittelutarkkuus riippuu osaltaan kustannusten kattamistavoitteesta eli kuinka paljon yli rajakustannusten maksuja halutaan kerätä.

Ramsey-hinnoittelu muistuttaa aiemmin esiteltyä ”sovitettujen keskimääräisten kustannusten” -lähestymistapaa. Tärkeimpänä erona näiden kahden hinnoittelu menettelyn välillä on, että Ramsey-hinnoittelussa maksutason määrittämisessä lähtökohtana on rajakustannukset eikä tietty maksutuottotaso. Rajakustannukset ylittäviä maksuja Ramsey-hinnoittelussa voidaan periä vain markkinatilanteen sallimien lisähintamahdollisuuksien verran. Oletettavasti Ramsey-hinnoittelulla kerättävät maksutuotot jäävät huomattavasti pienemmiksi kuin sovitettujen keskimääräisten kustannusten menettelyllä saatavat tuotot. (Nera 1998, 90-92)

Ramsey-hinnoittelun etuna on, että se antaa viranomaisille selkeän periaatteen asettaa eritasoisia maksuja. Käytännössä eri markkinasegmenttien hintajoustoihin vaikuttavien tekijöiden määrittäminen ja toisistaan erottaminen voi olla hankalaa. Esimerkiksi Suomessa voitaisiin periä korkeampaa hintaa kemianteollisuuden kuljetuksilta kuin puukuljetuksilta, sillä kemikaalit eivät siirry yhtä helposti kuorma-autoliikenteen kuljetettavaksi (Ratahallintokeskus 1999a: 6). Molempien markkinasegmenttien kuljetuksiin käytetään kuitenkin samanlaista kalustoa, joten markkinasegmenttien toisistaan erottaminen ei onnistu yksinkertaisimmalla liikenneluokituksella; tarvitaan yksityiskohtaisempi hinnoittelumenettely. Ramsey-hinnoittelun ongelma voi olla monimutkainen maksujärjestelmä, mikäli halutaan kerätä merkittävästi raja-

kustannukset ylittävä maksutuotto.

### **3.2.2 Kaksi- tai moniosaiset maksut**

Kaksi- ja moniosaiset maksut ovat jo kauan sovellettu maksukäytäntö. Yksinkertaisemmillaan maksut koostuvat kiinteistä- ja muuttuvista maksuista. Asiakas maksaa kiinteää maksua esimerkiksi joka kuukausi, kerran vuodessa tai puolen vuoden välein. Kiinteä maksu on aina sama käytti asiakas palvelua tai ei. Muuttuvan maksun suuruus riippuu asiakkaan kuluttamasta yksikkömäärästä. Tämä hinnoittelutapa on hyväksytty ja laajasti käytetty toimintapa telekommunikaation, sähkön- ja vedenjakelun maksuissa.

Merkittävä etu kaksiosaisessa maksussa on, että mikäli kiinteä maksu on riittävän suuri, sillä voidaan saavuttaa haluttu kustannusten kattamistavoite samaan aikaan, kun muuttuvat maksut vastaavat lyhyen aikavälin rajakustannuksia. Vaarana kaksiosaisessa hinnoittelussa on, että osa kuluttajista pitää kiinteää maksua liian suurena ja päättää olla lainkaan käyttämättä tuotetta tai palvelua. (Nera 1998,81)

Ratainfrastruktuurin hinnoitteluun sovellettuna kaksiosainen hinnoittelu tarjoaa mahdollisuuden päästä kustannusvastaavuustavoitteeseen samalla, kun muuttuva maksu voi pysyä rajakustannusten tasolla. Kaksiosaiseen hinnoitteluun liittyvät riskit voidaan jakaa tarkemmin lyhyen ja pitkän aikavälin vaikutuksiin. Lyhyellä aikavälillä erityisesti pienet liikennöitsijät voivat lopettaa toimintansa. Lisäksi jotkut potentiaaliset tulokkaat jättävät tulematta alalle, koska toiminnan aloittaminen ei ole riittävän kannattavaa. Pitkällä aikavälillä kiinteä maksu todennäköisesti johtaa kilpailun vääristymiseen. Esimerkiksi laajaa liikennöintiä harjoittavat yritykset voivat hintakilpailulla aggressiivisesti ja pakottaa pienet liikennöitsijät pois markkinoilta. (Nera 1998,82). Näistä ongelmista johtuen uusi ratamaksu direktiivi ei salli kaksi- tai moniosaisien maksujen käyttöä.



## **4. TUTKIMUKSIA RAUTA TIEINFRASTRUKTUURIN HINNOITTELUSTA**

Rautatieinfrastruktuurin erottaminen itse liikennöinnistä on uusi asia. Tämä ilmenee muuttuneen tilanteen huomioivan teoria-aineiston lisäksi myös empiirisen tutkimuksen vähäisyytenä. Liikenneinfrastruktuurin rajakustannushinnoittelusta ei ole Suomessa tehty tutkimusta. Ruotsin rautatieliikennöinnin rajakustannuksista on julkaistu tutkimus. Seuraavassa luvussa 4.1 käydään tarkemmin läpi tämän selvityksen sisältö. Kyseistä tutkimusta käytetään myös esimerkkinä luvun 5 empiirisessä osiossa, jossa johdetaan Suomen rataverkon käytölle rajakustannuskerroin.

Vaikka käytännön rajakustannusten rahamääräistä tasoa selvittäviä tutkimuksia ei ole juuriakaan tehty, on aihetta selvitetty periaatteellisella tasolla useassa EU:n komission tilaamassa tutkimusprojektissa. Näitä muutamia jo päättyneitä sekä vielä käynnissä olevia liikenneinfrastruktuuria hinnoittelua käsitteleviä tutkimusprojekteja esitellään luvussa 4.1. Lisäksi selvennetään muutamia tutkimusprojekteihin keskeisesti liittyviä käsitteitä.

### **4.1 Analyysi Ruotsin ratojen kunnossapitokustannuksista**

Tutkimuksessaan "An Economic Analysis of Track Maintenance Costs" Per Johansson ja Jan-Erik Nilsson on analysoivat, miten rataverkon kunnossapitokustannusten määrä vaihtelee ulkoisten tekijöiden mukaan. Tuloksista johdetaan myös radankäytön rajakustannukset. (Johansson & Nilsson 1998:1)

#### **4.1.1 Aineisto**

Tutkimuksessa käytetään tietoja vuosilta 1994-96. Aineisto on saatu kustannustietojen ja teknisten tietojen osalta Ruotsin radanpidosta huolehtivan viranomaisen Banverket (BV) tilastoista. Vastaavasti liikennemäärätiedot ovat muodostettu rautaverkolla liikennöivän Statens Järnvägar:in (SJ) tilastoista. Näiden tietojen perusteella data on jaettu homogeenisiin ratayksi-

köihin liikenteen määrän ja radan teknisen tason mukaan. Puuttuvien tietojen vuoksi osa ratayksiköistä on rajattu pois jatkoanalyysistä.

Hallinnollisesti BV:n noin 13 000 kilometrin rataverkko on jaettu 260 ratayksikköön. Lisäksi BV jakautuu 20 erilliseen kunnossapitoalueeseen, joista kukin vastaa tietystä määrästä ratayksiköitä. Teknisten tietojen osalta ratayksiköiden mukaista aineistoa oli saatavilla muun muassa vaihteiden, siltojen ja tunneleiden lukumäärästä, ratapituudesta, radan iästä ja laadusta.

Tutkimuksen tarkasteluvuosina 1994-1996 BV:n kunnossapitomenot vaihtelivat 2,1-2,3 miljardin Ruotsin kruunun välillä. Tutkimuksessa on tulkittu, että vain aluekohtaisilla kustannuksilla on merkitystä laskettaessa kunnossapidon rajakustannuksia. Siten tutkimuksessa on kustannuspuolelta jätetty yleishallinnon kustannukset pois. Samoin perustein on analyysistä jätetty pois alueellisia yleis- ja hallinnointikustannuksia. Esimerkiksi vuoden 1994 tapauksessa kokonaiskunnossapitokustannuksia oli 2345 miljoonaa kruunua. Näistä aluekohtaisia kustannuksista oli 1795 miljoonaa kruunua, joista ratakohtaisiksi kustannuksiksi tulkittiin kuuluvan 1223 miljoonaa kruunua (68 % edellisestä). Puuttuvien ja poikkeavien havaintojen vuoksi lopulliseksi tarkastelun kustannusmääräksi saatiin tutkimuksessa 970 miljoonaa kruunua, joka vastaa 80% alueellisista ratakohtaisista kustannuksista. Vastaava havaintojen lukumäärä oli 264 (1994), 258 (1995) ja 250 (1996). (Johansson & Nilsson 1998: 3-7)

#### 4.1.2 Malli ja estimointi

Tutkimuksen mallissa on haluttu tarkastella kuinka kunnossapitokustannukset vaihtelevat hyödyntämisasteen, ratapituuden ja muiden tekijöiden suhteen. Tätä on ilmaistu yhtälöllä:

$$C_{ijt} = g(P_{ijt}, Y_{ijt}, U_{ijt}, z_{ijt}, \varepsilon_{ijt}) = g(x_{ijt}, \varepsilon_{ijt}) \quad (2)$$

Alaindekseistä  $i$  merkitsee tiettyä ratayksikköä,  $j$  aluetta ja  $t$  vuotta. Yhtälön selitettävänä muuttujana on kunnossapitokustannukset  $C_{ijt}$  ja sitä selittävät tekijät  $P_{ijt}$  (hinta vektori),  $Y_{ijt}$  (ratapituus),  $U_{ijt}$  (hyödyntämisaste mitattuna bruttotonneina),  $z_{ijt}$  (laatuindikaattori ilmaise-

massa muun muassa vaihteiden ja tunneleiden määrää) ja  $\varepsilon_{ijt}$  (virhetermi).  $C_{ijt}$ :n ja sen selittäjien välinen riippuvuus on tuntematonta matemaattista muotoa g.

Yleensä tutkimuksissa edetään valitsemalla sopiva matemaattinen muoto (g) kuvastamaan riippuvuutta. Tässä tutkimuksessa käytetään monimutkaisempaa tapaa. Kutakin vuotta on alettu tarkastella erikseen, jolloin t-alaindeksi jää pois. Seuraavaksi selitettävä tekijä on muunnettu normaalisti jakautuneeksi. Tämä on saatu aikaan Box-Cox muunnoksella, logaritmimuunnoksella sekä jakamalla rataverkko pää- ja toissijaisiin ratoihin. Tämän jälkeen tutkimuksessa on testattu tulisiko  $Y_{ij}$  ja  $U_{ij}$  sisällyttää yhtälöön lineaarisesti vai log-lineaarisesti. Edellisten perusteella mallin funktiomuodoksi saadaan:

$$\ln C_{ij} = \alpha_0 + \alpha_j + \beta^y y_{ij} + \beta^u u_{ij} + \beta_I I_{ij} + \beta_I^y I_{ij} y_{ijt} + \beta_I^u I_{ij} u_{ijt} + \beta_z z_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

Yhtälössä uutena terminä on I-tasomuuttuja ( $I_{jt}$ ) ilmaisemassa, kuuluuko ratayksikkö pää- vai toissijaisiin ratoihin. Lisäksi yhtälössä on I:n ja tärkeimpien selittäjien ratapituuden ja hyödyntämistason yhteisvaikutustermit ( $I_{ij} y_{ijt}$  ja  $I_{ij} u_{ijt}$ ). Pienet kirjaimet U:ssa ja Y:ssä merkitsevät logaritmimuotoa, tällöin  $y_{ijt} = \ln Y_{ijt}$  ja  $u_{ijt} = \ln U_{ijt}$ . Vakiotermin  $\alpha_0$  puolestaan on  $\alpha = \alpha_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k p_k$ , jossa  $p_k = \ln P_k$ . Käytettäessä logaritmimuotoa saadut  $\beta$ -kertoimet ovat joustokertoimia. Mikäli kertoimen arvo on alle ykkösen, niin silloin toimialalla vallitsevat voimassa pienenevät skaalakustannukset. Vastaavasti kertoimet yli ykkösen merkitsevät kasvavia skaalakustannuksia. (Johansson & Nilsson 1998:7-12)

Tutkimuksessa osoitetaan, että jos rajahinnat kullekin ratayksikölle kunkin vuoden aikana ovat samat, niin on mahdollista saada johdonmukaisia estimaatteja ilman hintatietoja. Tämän perusteella hintavektori  $P_{ijt}$  on rajattu osaksi vakiotermiä. Tätä rajausta tukee se, että Ruotsi on suhteellisen pieni maa, jolloin tuotantopanosten hinnat ovat samanlaisia koko maan alueella. (Johansson & Nilsson 1998:10)

Mallin virhetermien oletetaan olevan heteroskedastisia. Breusch-Pagan testi tukee tätä oletusta. Estimaattien tehokkuuden ja harhattomuuden lisäämiseksi tutkimuksen regressiona on käytetty kaksivaiheista painotetun pienimmän neliösumman menetelmää (WLS). (Johansson & Nilsson 1998:12)

### 4.1.3 Tulokset

Mallin selityksasteiksi tarkasteluvuosille saatiin 72,8% (1994), 77,6% (1995) ja 74,7% (1996). Graafinen tarkastelu standardoitujen jäännösten jakaumasta osoittaa niiden noudattavan normaalijakaumaa.

Ratayksiköt on jaettuna 20 erilliseen alueeseen (j). Mallin mukaan eri alueiden välillä ei ollut systemaattisia eroja. Tulkintana esitetään, että tuotantoteknologiat ja tuottavuus ovat samat alueiden sisällä.

Mallin mukaan siltojen ( $z_2$ ) ja tunneleiden ( $z_3$ ) kertoimet eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Suurimman kiinnostuksen kohteena olleiden ratapituuden (y) ja hyödyntämistason (u) kertoimet olivat molemmat merkitseviä. Samoin olivat myös yhteisvaikutustermit toissijaisten linjojen kanssa ( $I^*y$  ja  $I^*u$ ).

Mallin tärkein lopputulos on, että rautatieliikenteessä on pienevät skaalakustannukset. Tämä merkitsee, että liikennemäärää kuvaavan hyödyntämistason joustokerroin on alle yksi. Mallin tulosten mukaan  $\beta$ -kertoimet vaihtelevat pääradoilla eri vuosina 0,13 ja 0,28 välillä. Vastaava vaihteluväli toissijaisilla radoilla on 0,23 ja 0,34. Toissijaisten ratojen kertoimet liikennemäärien suhteen ovat korkeampia, joten liikennemäärän kasvu aiheuttaa suurempia kustannuksia toissijaisille radoille kuin pääradoille. Selitykseksi esitetään, että pääradoilla on enemmän kaksiraiteisia osuuksia. Edellisten perusteella tutkimuksessa on vedetty johtopäätös, että kaksiraiteisten ratojen ylläpidossa on skaalaetuja verrattuna yksiraiteisiin rataosuuksiin. (Johansson & Nilsson 1998: 12-14)

### 4.1.4 Rajakustannusten johtaminen

Tutkimuksen lopullinen tarkoitus oli selvittää kunnossapitokustannusten rajakustannukset. Saadussa mallissa raidekilometrit ovat yksi kustannuksia selittävä tekijä. Käytännön kannalta hyödyllisempää on tietää kustannukset suhteessa bruttotonnikilometreihin. Tähän tavoittee-

seen päästään seuraavalla muunnoksella. Koska bruttotonnikilometrit ( $G_{tkm}$ ) ovat  $G_{tkm} = U_{ijt} Y_{ijt}$ , niin rajakustannukset ( $MC_{ijt}$ ) suhteessa bruttotonnikilometreihin ( $G_{tkm}_{ijt}$ ) ovat:

$$MC_{ijt} = (\beta^u + \beta_l^u) \frac{C_{ijt}}{G_{tkm}_{ijt}} \quad (4)$$

Tarvittavat estimaatit saadaan vaihtamalla edelliseen kaavaan WLS-estimaatit ja lisäämällä sovitettut kustannukset (fitted cost):

$$MC_{ijt} = (\beta^u + \beta_l^u) \frac{\hat{C}_{ijt}}{G_{tkm}_{ijt}} \quad (5)$$

Tällöin  $\hat{C}_{ijt} = \exp(\alpha_0 + \alpha_j + \beta^y y_{ij} + \beta^u u_{ij} + \beta_l I_{ij} + \beta_l I_{ij} y_{ijt} + \beta_l^u I_{ijt} y_{ijt} + z_{ij} \beta_z + 0.5\sigma^2)$  ja  $\sigma^2$  on varianssin WLS estimaatti.

Kaavalla lasketaan yksittäisten ratayksiköiden rajakustannukset. Yhdistämällä kaikki ratayksiköt samaan kuvaan, jonka x-akselina ovat bruttotonnimäärät ja y-akselilla rajakustannusten logaritmi, havaitaan, että rautatieliikenteellä on laskevat rajakustannukset. Suurimmat liikennemäärät aiheuttavat pienemmät rajakustannukset. Sama pätee myös logaritimuotoisten keskimääräiskustannusten tapauksessa.

Teknisesti ratayksikkökohtaisten rajakustannusten perusteella on mahdollista laskuttaa kunkin ratayksikön käytöstä juuri kyseisen yksikön rajakustannuksen verran. Tällöin laskutus olisi ratayksikkökohtainen ja riippuisi junan painosta. Kyseinen toimintatapa olisi periaatteiltaan oikea tapa tehokkuustavoitteen saavuttamiseksi.

Tutkimuksessa on laskettu myös painotetut keskimääräiset kunnossapidon rajakustannukset. Tämä on tehty koko rataverkolle sekä pää- ja toissijaisille radoille erikseen. Painoksi laskelmiin on valittu liikennemäärät eli  $paino_{ijt} = G_{tkm}_{ijt} / \sum_{ij} G_{tkm}_{ijt}$ . Tällä painotuksella kertyy sama määrä maksutuloja kuin, jos maksut olisivat peritty ratayksikkökohtaisesti. Keskimää-

räiset rajakustannukset ovat laskettu kaavalla:

$$\overline{MC}_t = (\beta + \beta_t^u) \frac{\sum_{ij} \hat{C}_{ijt}}{\sum_{ij} Gtkm_{ijt}} \quad (6)$$

Koko rataverkolle keskimääräiseksi rajakustannusarvoksi saatiin 0,003 (sek) vuosille 1994 ja 1995; vastaavasti vuoden 1996 luvuksi muodostui 0,002 (sek). Tämä merkitsee, että 0,003 ruotsin kruunun maksulla bruttotonnin kohden 1300 bruttotonnin painoiselta tavarajunalta perittäisiin 800 kilometrin matkasta noin 3000 ruotsin kruunua.

Toinen käytännön kannalta mielenkiintoinen sovellutus on, miten paljon tuloja kertyisi esitetyllä rajakustannushinnoittelulla. Ottamalla huomioon eri vuosien bruttotonnimäärät, ratapituudet ja lasketut rajakustannusten arvot tulokertymiksi saadaan ratayksikköä kohden 714 000 (1994), 599 000 (1995) ja 521 000 (1996). Nämä luvut vastaavat 12, 11 ja 10 prosenttia kokokunnossapitokustannusten määrästä. Täten rajakustannusperusteiset maksut kattaisivat vain noin kymmenesosan kokonaiskustannuksista.

Lisäksi tutkimuksessa oli tarkasteltu viiverakenteen mukaanottoa analyysiin, koska on oletettavaa, että kustannukset muodostuvat useamman vuoden kuluessa. Aineistossa vaihtelut eri vuosien liikennemäärissä ja erityisesti ratapituuksissa olivat niin pienet, että kunnollista kovarianssimatriisia ei voinut muodostaa. Täten paneelimalia ei pystytty estimoimaan. (Johansson & Nilsson 1998: 15-17)

## 4.2 EU:n käynnistämiä tutkimusprojekteja infrastruktuurin hinnoittelusta

Tällä hetkellä EU:n kiinnostus liikenneinfrastruktuurin hinnoittelua kohtaan on suurta ja aiheeseen liittyen on toteutettu ja toteutetaan parhaillaan useita projekteja. Tällaisia projekteja ovat muun muassa CAPRI, PILOT, AFFORD, MC-ICAM ja UNITE. Seuraavassa esitellään lyhyesti kutakin projektia. Sitä ennen selvennetään muutamia tutkimusprojekteihin liittyviä keskeisiä käsitteitä. Ajatuksena on, että esitettyjen tietojen perusteella on helpompi hakea lisätietoja tutkimusprojekteista.

#### 4.2.1 Tutkimusprojekteihin liittyviä käsitteitä

EU puiteohjelmiin liittyvien laajojen tutkimusprojektien tilaajatahona toimii komissio. Tutkimusprojektin toteutuksesta vastaa useita tutkimuslaitoksia, yliopistoja ja konsultointiyrityksiä eri EU maista. Tämän monitahoisen projektiorganisaation hallintoa varten jokaisella projektilla on määrätty koordinaattori. Yleensä koordinaattorin vastuualueeseen kuuluu myös projektista tiedottaminen. Käytännössä tämä merkitsee, että usein parhaiten tietoja käynnistä olevasta tai vasta valmistuneista projektista saa koordinaattorin nettisivujen kautta. Yleisesti projekteista löytyy tietoja komission nettisivuilta.<sup>2</sup> Tällä sivulla projektit ovat jaoteltu esimerkiksi sen mukaan, mihin puiteohjelmaan projekti kuuluu.

Tutkimusprojektien tuottama julkaisuaineisto voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Ensimmäisen julkaisuryhmän muodostavat niin sanotut ”interim report”- ja ”working paper”-raportit. Kyseiset raportit ovat harvoin julkisia. Näiden raporttien tarkoituksena on valmistella seuraavan tason ”deliverable”-yhteenvetoja. Laajat tutkimusprojektit jakaantuvat pienempiin osatehtäviin (workpackage), ”deliverable”-raportit toimivat näiden osatehtävien yhteenvetoraportteina. ”Deliverable”-yhteenvedot ovat virallisia, komission hyväksymiä asiakirjoja. Tässä muodossa ”deliverable”-yhteenvedot ovat julkisia asiakirjoja. Julkaisujen saatavuudelle ei ole kuitenkaan määrätty yhtä tiettyä julkaisutapaa, joten käytännössä ”deliverable” aineiston käyttöönsä saaminen voi tuottaa hankaluuksia. Sen sijaan kunkin projektin päätteeksi julkaistavan loppuraportin (final report) painatuksesta huolehtii Luxemburgissa sijaitseva ”Office for Official Publications of the European Communities”. Loppuraportteja voi tilata esimerkiksi paikallisten kirjakauppojen kautta.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> <http://www.cordis.lu/>

<sup>3</sup> Lisätietoja virallisista julkaisuista saa osoitteesta <http://europa.eu.int>.

#### 4.2.2 Lyhyt tutkimusprojektiesittely

Tässä yhteydessä ei esitellä kaikkia infrastruktuurin hinnoitteluun liittyviä tutkimuksia, ainoastaan muutama keskeisin tai tämän tutkimuksen kannalta mielenkiintoinen. Erityisesti liikenteeseen liittyvistä Euroopan komission rahoittamista tutkimusprojekteista saa tietoa komission sivulta <http://www.cordis.lu/transport/> . Tämän linkin kautta saa lisätietoa myös tässä yhteydessä esiteltävistä CAPRI- ja AFFORD-projektista. Komission sivujen projektiesittely on kuitenkin varsin suppea.

*CAPRI* (Concerned Action for Transport Pricing )

Liikenteenhinnoittelun strateginen tutkimusprojekti, jonka tavoitteena oli luoda poliittista yhteisymmärrystä tavoista, joilla liikenteen hinnoittelua koskevia tutkimuksia ja raportteja tulisi soveltaa käytäntöön. Lisäksi projektin tavoitteena oli tehostaa Euroopan laajuisen tutkimustoiminnan tulosten vaihtoa. Projektin loppuraportti julkaistiin marraskuussa 1999. Lisätietoja julkaistuista raporteista saa projektin koordinaattorina toimineen Leedsin yliopiston kotisivuilta osoitteesta <http://www.its.leeds.ac.uk/>.

*PILOT*- liikenne infrastruktuurin hinnoittelun pilottihankkeet

Pilot -projektin tarkoituksena oli verrata nykyisiä liikenteen infrastruktuurin maksukäytäntöjä Euroopan komission korkean tason työryhmän esitykseen infrastruktuurin hinnoittelusta<sup>4</sup>. Esimerkkinä tutkimuksessa olivat Suomi ja Ruotsi. Kummassakin maassa tehtiin vastaava kaikki liikennemuodot kattava selvitystyö. Suomessa hanketta koordinoi liikenne- ja viestintäministeriö. Suomen osalta projektin tulokset ovat koottu julkaisuun ”Estimating and Charging Marginal Transport Costs in Finland” (Tervonen, Metsäranta ja Goebel 2000). Raportin mukaan tällä hetkellä kaikkien liikennemuotojen osalta ainoastaan päästöjen hinnoittelussa sovelletaan työryhmän esityksen mukaisia hinnoittelumenettelyjä. Lisäksi rautatieliikennöinnin osalta myös muut ratamaksun osat vastaavat työryhmän suosituksia (Tervonen, Metsäranta ja Goebel 2000: 1).

---

<sup>4</sup> Tämä esitys käydään läpi tarkemmin luvussa 5.1.



*AFFORD* (Acceptability of Fiscal and Financial Measures and Organisational Requirements for Demand Management)

AFFORD on julkisen liikenteen hinnoittelua käsittelevä tutkimushanke. Projektin tavoitteena on osoittaa rajakustannushinnoittelun toimivuus ja se, kuinka rakenteelliset ja poliittiset esteet rajakustannushinnoittelun tieltä ovat purettavissa. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT) toimii hankkeen pääkoordinaattorina. Lisätietoja projektista löytyy osoitteesta <http://www.vatt.fi/afford/>. Suomea koskien projektiin liittyy esimerkkitutkimus, jossa liikenteen ja maankäytön vuorovaikutusmallilla tutkittiin, kuinka rajakustannushinnoittelun periaatteilla voitaisiin tehostaa Helsingin seudun liikennejärjestelmien käyttöä. Tämä tutkimus on julkaistu myös VATT:n keskustelualoitteita julkaisusarjassa nimikkeellä ”Assessing the Effectiveness of Marginal Cost Pricing in Transport- the Helsinki Case” (Moilanen 2000).

*UNITE* (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency)

Unite-projekti liittyy Euroopan komission viidennen puiteohjelman kilpailukykyinen ja kestävä kehitys -aihealueeseen. Projektilla on kolme tavoitetta. Ensinnäkin projektissa pyritään muodostamaan ehdotus liikennetileistä kaikille liikennemuodoille 15 EU valtiossa sekä muutamassa muussa valtiossa. Toiseksi tavoitteena on tarjota kokonaisvaltainen esitys rajakustannusten tasoista Euroopan alueella. Kolmanneksi projektissa pyritään muodostamaan tilijärjestelmät ja rajakustannuslaskelmat yhdistävä laskentamenettely. Myös tämän projektin koordinaattorina toimii Leedsin yliopisto. Projektista on valmistunut kaksi ensimmäistä ”deliverable”-yhteenvetoa. Useimmista muista projekteista poiketen UNITE-projektissa yhteenvetoa valmistelleet ”interrium repor”-raportit ovat myös julkisia. Nämä raportit ovat esitetty ”deliverable” -yhteenvedon liitetiedostoina.

Unite-projektiin liittyen on myös valmisteilla jatkotutkimus aiemmin kohdassa 4.1 esitellystä ruotsalaistutkimuksesta. Tutkimuksessa on edelleen tarkennettu kustannusten määrittystä. Lisäksi tutkimuksessa on jatkoanalysoitu myös tässä tutkimuksessa käytettyä Suomen kustannusaineistoa. Tutkimuksen laativat Per Johansson ja Jan-Eric Nilsson. Tutkimus julkaistaneen vuoden 2002 kuluessa.

## 5 SUOMEN RAUTATIEINFRASTRUKTUURIN KÄYTÖN RAJAKUSTANNUKSET

Tämä luku sisältää tutkimuksen empiirisen osion, jonka tavoitteena on selvittää, mikä osa lyhyellä aikavälillä radanpitäjälle aiheutuneista infrastruktuurikustannuksista johtuu liikennemääristä. Pyrkimyksenä on määrittää radankäytön lyhyen aikavälin rajakustannukset.

Työn lähtökohtia on ollut kaksi:

- 1) Calculating Transport Infrastructure Costs, Final report of the expert advisors to the high level group in infrastructure charging (working group 1).
- 2) Per Johansson ja Jan-Erik Nilsson, An Economic Analysis of Track Maintenance Costs

Ensinnä mainitussa raportissa EU:n infrastruktuurin hinnoittelua käsittelevää työryhmää avustanut asiantuntijaryhmä antaa suosituksia, miten liikenneinfrastruktuurin rajakustannukset tulisi laskea. Jatkossa tästä raportista käytetään lyhennystä HLG. Raportti käsittelee ainoastaan tie- ja rautatieinfrastruktuuria. Tässä työssä on selvitetty, mitä kyseisen raportin suositusten käytäntöön soveltaminen merkitsisi RHK:n infrastruktuurikustannusten tapauksessa. Tarkastelu aloitetaan käymällä läpi HLG-raportin suositusten sisältöä. Tämän jälkeen RHK:n infrastruktuurikustannuksista erotetaan tarkasteluun mukaan tulevat kustannukset HLG:n suositusten perusteella.

Mallintamisvaiheessa sekä rajakustannusten johtamisessa on seurattu kohdan 2) tutkimuksen esimerkkiä. Kyseinen tutkimus on esitelty edellä luvussa 4.1. Analysoitavina kustannuksina tutkimuksessa käytetään HLG-raportin suositusten mukaisia kustannuksia sekä pelkkiä kunnossapitokustannuksia. Siten vertailu esimerkkinä käytettyyn ruotsalaistutkimukseen on mahdollista. On huomattava, että kummatkin analysoitavat kustannuserät ovat radanpidon toteutuneita kustannuksia. Talousteorian mukaan rajakustannukset pitäisi johtaa minimikustannusfunktioista. Minimikustannukset saavutetaan, jos radanpito toimii mahdollisimman tehokkaalla

tavalla. Tällöin esimerkiksi ratakapasiteetin määrä on optimaalinen. Tietoa minimikustannuksista ei ole olemassa. Siksi tutkimuksessa on oletettu, että toteutuneet kustannukset vastaavat minimikustannuksia.

## **5.1 EU:n asiantuntijaryhmän suositus rajakustannusten laskentamenetelmistä (HLG)**

Jotta liikenneinfrastruktuurin käytön hinnoittelujärjestelmä voisi olla yhtenäinen koko EU:n alueella, myös hinnoittelujärjestelmän perusteet täytyvät olla samanlaiset. Valkoisessa kirjassa “Oikeudenmukainen maksu infrastruktuurin käytöstä” esitetään, että infrastruktuurimaksut tulisi perustaa rajakustannushinnoitteluun. Pelkkä rajakustannushinnoittelu ei kuitenkaan takaa vielä yhtenäistä hinnoittelujärjestelmää. Rajakustannuksien tulee olla myös samalla tavalla johdettuja. Tätä tarkoitusta varten HLG-raportissa on annettu suosituksia rajakustannusten selvittämisestä. Nämä suositukset koskevat peruskäsitteiden määritelmiä ja niiden rajauksia, käytettäviä rajakustannusten estimointimenetelmiä sekä kustannusten luokittelua (Euroopan komissio 1999: 18). Seuraavassa on käyty läpi kutakin kohtaa.

### **5.1.1 Käsitteiden määritelmiä ja rajauksia**

#### *Infrastruktuuri*

Suppeassa merkityksessään liikenneinfrastruktuurin käsittää ainoastaan ne aineelliset liikenneväylät (tiet, rautatiet) ja hallinnolliset järjestelmät (poliisi, järjestelmän hallinta), jotka tarvitaan paikasta toiseen liikkumiseen. Tämän määritelmän mukaan esimerkiksi rautatieasemia ja tavaraterminaaleja ei lasketa liikenneinfrastruktuurin kuuluviksi. HLG-raportissa on sovellettu tätä määritelmää.

Myös asemien ja terminaalien käytöstä voidaan periä maksuja. Kyseisten maksujen määrittämistä varten tulee kehittää omat menetelmänsä, sillä terminaalien ja asemien kustannukset muodostuvat erilaisista toiminnoista kuin pelkkien liikenneväylien. Sama koskee myös ilma- ja vesiliikennettä. (Euroopan komissio 1999: 3)

### *Rajakustannus*

Rajakustannuksia ovat kustannukset, jotka aiheutuvat siitä, kun yksi juna lisää tulee rataverkolle tai käyttää rataverkkoa. Toisin sanoen rajakustannukset ovat kokonaiskustannusten muutos, kun tuotetaan yksi yksikkö lisää. Matemaattisesti ilmaistuna rajakustannukset ovat kokonaiskustannusfunktion ensimmäinen derivaatta lisäyksikön suhteen.

Raportissa halutaan myös korostaa, että rajakustannus on eri asia kuin muuttuvat keskimääräiset kustannukset: Rajakustannuksilla saattaa olla jopa erilainen funktiomuoto kuin muuttuvilla kustannuksilla. Riippuen muuttuvien kustannusten funktiomuodosta on mahdollista, että joissain tapauksissa rajakustannuskäyrä voi olla joko ylä- tai alapuolella muuttuvien kustannusten käyrää. (Euroopan komissio 1999: 19)

### *Lyhyt aikaväli*

HLG-raportissa suositetaan, että rajakustannukset laskettaisiin lyhyen aikavälin kustannuksista. HLG määrittää lyhyen aikavälin ajaksi, jonka aikana infrastruktuurikapasiteetti on kiinteä. Tästä seuraa, että kaikki ne kustannukset, jotka mahdollistavat väylän käytön, mutta jotka eivät johdu liikenteen määrästä, ovat kiinteitä kustannuksia. (Euroopan komissio 1999: 19)

Lyhyellä aikavälillä vain liikenteen määrästä riippuvilla kustannuksilla on merkitystä infrastruktuurin tehokkaan hinnoittelun kannalta. Tässä yhteydessä on erittäin oleellista jakaa kustannukset kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin (Euroopan komissio 1999: 4). Aihetta käsitellään tarkemmin luvussa 5.1.3.

### *Laatu ja ilmastotekijöiden vaikutus kustannuksiin*

HLG:ssä otetaan kantaa myös infrastruktuurin laadun kustannusvaikutuksiin. Raportissa todetaan, että mikäli väylän laatutaso (aurattu, valot yms.) vaihtelee liikenteen määrän suhteen, on lisäkustannus muuttuva kustannus. HLG suosittaa kuitenkin, että minimilaatutason kustannukset ovat kiinteitä kustannuksia. (Euroopan komissio 1999: 19)

Raportissa todetaan myös, että ilmastolla ja topografialla voi olla vaikutuksia kustannuksiin. Väylää voidaan joutua vahvistamaan esim. vuoristoisilla alueilla. Raportti toteaa, että tällaisen ulkopuolisten ilmiöiden aiheuttamat kustannukset pitää erottaa normaaleista kunnossapitokustannuksista eli ne ovat kiinteitä kustannuksia. Suomen oloissa tämä voidaan tulkita merkitsevän esimerkiksi, että ratojen normaali auraus kuuluisi kiinteisiin kustannuksiin. (s.20)

#### *Käytännössä toteutuneet kustannukset*

Talousteorian mukaan yhteiskunnan kannalta paras mahdollinen tilanne saavutetaan silloin, kun maksu on yhtä suuri infrastruktuurin rajakustannuksen kanssa. Liikennemäärien ja kustannusten tasapainotasojen määrittäminen vaatisi teknisien simulaatioiden tekemistä. Useimmissa tapauksissa simulaatiot eivät ole mahdollisia, sillä niiden tekemiseen ei ole saatavilla riittävästi tietoja. Täten HLG-raportissa suositetaan, että rajakustannukset johdettaisiin toteutuneista kustannuksista. (Euroopan komissio 1999: 20)

Kaikki toteutuneet kustannukset eivät kuitenkaan vaikuta lyhyellä aikavälillä rajakustannusten arvoon. Tärkeää tässä yhteydessä on kustannusten jako kiinteisiin ja muuttuviin. Esimerkiksi osa korvausinvestoinneista voi johtua liikennemäärästä. Vastaavasti osa radan ylläpidosta, kuten talvikunnossapito, on luonteeltaan muusta kuin liikennemäärästä johtuvaa eli kiinteää.

Entä tulisiko myös ympäristön suojelusta aiheutuneet kustannukset, kuten meluaidan rakentaminen, ottaa mukaan laskelmiin? Nämä kustannukset ovat käytännössä toteutuneita infrastruktuuri kustannuksia, joten vastaus on kyllä. Rajakustannus hinnoittelun kannalta oleellisia kustannuksia ovat kuitenkin vain sellaiset kustannukset, jotka vaihtelevat liikennemäärän mukaan. Ympäristönsuojelukustannuksista tällaisia kustannuksia on vain vähän. (Euroopan komissio 1999: 21)

HLG-raportissa otetaan kantaa myös arvonlisäveroon. Talousteorian mukaan veroja ja tulonsiirtoja ei tulisi huomioida haettaessa resursseille tehokasta jakoa. Täten rajakustannuslaskelmat suositellaan tehtävän arvonlisättömillä hinnoilla. (Euroopan komissio 1999: 22)

### 5.1.2 Rajakustannusten estimointimenettelyt

HLG-raportti esittää kaksi mahdollista lähestymistapaa estimoida kustannustietoja:

1. Kustannusfunktion estimointi: Kansallisista kustannuksiin vaikuttavista tekijöistä (kuten liikennemäärä, akselipaino ja nopeus) johdetaan kustannusfunktio. Rajakustannukset saadaan derivoimalla kyseinen funktio liikennemäärän suhteen. Edellytyksenä analyysin onnistumiselle on hyvä ja perusteellinen estimointi sekä aineiston saanti.
2. Rajakustannussuoran estimointi: Tässä lähestymistavassa oletetaan, että kustannusfunktio on lineaarinen. Tämä johtaa vakiorajakustannuksiin, jolloin olemassa olevia tilijärjestelmiä voidaan suoraan käyttää perustana, kun kustannuksia luokitellaan kiinteisiin ja muuttuviin sekä edelleen rajakustannuksiin. (Euroopan komissio 1999: 22)

Lähestymistapaa 2 sovelletaan useassa maassa. Kuitenkin käytännön tutkimukset, kuten edellä esitelty ruotsalaistutkimus, eivät tue oletusta vakiomääräisistä rajakustannuksista (Euroopan komissio 1999: 26-27). Käytännön ja teorian kannalta lähestymistapaa 1 voidaan pitää parempana (Euroopan komissio 1999: 23).

Kustannusfunktion mallintamismenettelyjä voidaan jakaa edelleen eri lähestymistapoihin. Ensimmäinen jako voidaan tehdä lähestymistavan tarkastelusuunnan mukaan. Ylhäältä alas -tarkastelussa tutkimuksen lähtökohtana ovat toteutuneet infrastruktuurikustannukset. Näistä kustannuksista on mallintamisella muodostettu kokonaiskustannusfunktio, josta on matemaattisesti derivoimalla saatu rajakustannukset. Tätä lähestymistapaa noudattaa luvussa 4.1 kuvattu ruotsalaistutkimus. Sitä vastoin alhaalta ylös -tarkastelussa lähdetään liikkeelle minimikustannuksista, jotka tarvitaan, että liikennöinti ylipäättään on mahdollista. Seuraavaksi minimikustannuksiin lisätään astetta vaativamman liikennemäärän aiheuttamat lisäkustannukset. Tarkastelu voidaan aloittaa esimerkiksi kaikkein kevyimmistä akselipainoista ja seuraavaksi selvittää, mitä lisäkustannuksia akselipainon nosto aiheuttaa. Jos käytetty liikenneluokittelu on riittävän tarkka, alhaalta ylös -tarkastelulla saatavat luvut muodostavat epäjatkuvan kokonaiskustannusfunktion ensimmäisen derivaatan. Toisin sanoen menettely määrittelee rajakustannukset. Tätä menettelyä on esimerkiksi käytetty brittitutkimuksessa, jossa on selvitetty

kustannusvaikutuksia, kun väylältä poistetaan vaiheittain yksi liikenneluokka<sup>5</sup>. (Euroopan komissio 1999: 24-25)

Toinen tapa jakaa kustannusfunktion mallintamismenettelyjä on tarkastella käytettyä aineistotyyppiä. Edellä mainitut tutkimukset perustuivat joko laskentajärjestelmistä tai empiirisen testauksen kautta saatuihin kustannustietoihin. Toinen lähestymistapa on käyttää teknisiä tietoja. Tätä lähestymistapaa edustaa esimerkiksi AASHO-tutkimus<sup>6</sup>, jossa käytännön kokeilla on johdettu ns. neljännen potenssin sääntö tien vahingoittumisen ja akselipainon välille. Tien vahingoittumisfunktio voidaan edelleen muuntaa kustannusfunktioiksi (Euroopan komissio 1999: 25). Rautatieliikenteen puolelle vastaavaa vahingoittumisfunktioita ei ole pystytty johtamaan, joten tällä hetkellä rajakustannusten johtaminen joudutaan perustamaan kustannustietoihin.

Tässä tutkimuksessa on noudatettu luvun 4.1 ruotsalaistutkimuksen esimerkkiä. Täten tutkimusotteena on sovellettu ylhäältä alas -menettelyä. Aineistona on käytetty laskentajärjestelmistä saatuja kustannustietoja. HLG-raportti suosittaa, että tällainen tutkimus suoritettaisiin neljän työvaiheen avulla (Euroopan komissio 1999: 26):

1. Määritetään ne kustannukset, jotka ovat oleellisia lyhyen aikavälin rajakustannuksille. Kustannukset tulee siten, jakaa lyhyellä aika välillä kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin.
2. Kustannus- ym. suoritettietojen keräys.

---

<sup>5</sup> TRL/ Sir Alexander Gib and Partners Ltd: Preliminary assessment of track methodology for the determination of road track costs, Crowthorne 1996

<sup>6</sup> Katso esimerkiksi: Highway Research Board: AASHO Road Test- History and Description of Project, Special Report 61 A. Washington D.C. 1961

3. Kohdennetaan kustannukset infrastruktuurin laadun mukaan (esim. vilkkaasti liikennöidyt radat ja vähäliikenteiset radat).
4. Regressioanalyysi, jolla määritetään toiminnallinen yhteys kustannusten, infrastruktuurin laadun ja infrastruktuurin käytön välillä.

### **5.1.3 Kustannusten jako lyhyen- ja pitkän aikavälin kustannuksiin**

Taulukossa 4 on esitelty HLG- raportin suositukset radanpidon kustannusten jakamiseksi kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Taulukossa osa kustannuksista on merkitty osittain kiinteäksi, osittain muuttuvaksi ja osittain rajakustannukseksi. Kullekin tällaiselle kustannuslajille tulisi erikseen osoittaa, mikä prosenttiosuus on kiinteää ja mikä prosenttiosuus on rajakustannusta. Jakoperusteet tulisi olla ymmärrettäviä, asiallisia ja perusteltavissa olevia.

Kaikkiin niihin kohtiin, joissa kustannus on sisällytetty muuttuvaksi kustannukseksi kokonaan tai osittain, on kustannus merkitty myös rajakustannukseksi. Tämä on luonnollista, koska jo määritelmän mukaan lyhyen aikavälin rajakustannukset ovat lyhyen aikavälin muuttuvien kustannusten osajoukko. (Euroopan komissio 1999: 28)

### **5.1.4 Suositusten soveltaminen Suomen ratainfrastruktuurikustannuksiin**

Tässä tutkimuksessa on pyritty tekemään mahdollisimman vähän ennakko-oletuksia siitä, mitkä kustannukset ovat liikennemäärästä riippuvia ja mitkä eivät. Täten HLG-raportin suosituksia on tulkittu siten, että rajakustannusten laskennasta on pois jätetty vain sellaiset kustannukset, jotka ovat taulukon 4 suosituksissa merkitty pelkiksi kiinteiksi kustannuksiksi.

#### *Kiinteät kustannukset*

Taulukon 4 mukaan pelkästään kiinteitä kustannuksia ovat maanhankinta, uusien ratojen rakentaminen, olemassa olevien ratojen tason nosto ja laajentaminen sekä hallinnon yleiskulut. Vuoden 1999 vuosikertomuksen mukaan RHK käytti maa-alueisiin 1997-99 kaikkiaan 1-8



miljoonaa markkaa. Uusia ratoja ei juuri Suomessa rakenneta. Tarkasteluvuosina ainoa uusi rata on ollut Helsingin ja Leppävaaran välille rakennettut lisäraiteet, johon käytettiin 2 (1997), 83 (1998) ja 235 (1999) miljoonaa markkaa.

Lisäksi kiinteiksi kustannuksiksi määriteltiin rataverkon tasoa nostavat toimenpiteet eli kehittäminen. Tällaisia toimia ovat sähköistyksen rakentaminen tai kulunvalvonnan parantaminen. Rataverkon kehittämiseen on käytetty noin 207 Mmk (1997), 304 Mmk (1998) ja 273 Mmk (1999). Yleiskuluja RHK:ssa aiheutui hallinnosta (31-35 Mmk), suunnittelusta ja tutkimuksista (18-27 Mmk) sekä kiinteistöjen ylläpidosta ja perusparannuksesta (45-67 Mmk).

#### *Muuttuvat kustannukset*

Ainakin osittain muuttuviksi kustannuksiksi on taulukossa 4 luokiteltu korvausinvestoinnit, rakenteiden kunnossapito, jatkuva kunnossapito ja käyttö sekä hallinnon poliisi- ja aikataulukulut. RHK tilijärjestelmässä kyseisiä käsitteitä vastaavat parhaiten nimikkeet kunnossapito ja käyttö, korvausinvestoinnit ja liikenteenohjaus. Aivan kaikkia edellä mainittuja kustannuksia ei ole pystytty ottamaan mukaan tähän tutkimukseen.

Tarkastelun ulkopuolelle on jouduttu jätetty hallinnon poliisi- ja aikataulukulut, sillä ne eivät sisälly RHK:n tilijärjestelmään. Esimerkiksi juna-aikataulujen laadinnasta vastaa VR, joka on tällä hetkellä ainoa rataverkon liikennöitsijä. Vaikutukset tutkimuksen lopputuloksiin voidaan olettaa olevan suhteellisen pieniä, sillä kyseiset hallinnolliset kustannukset ovat radanpidon kokonaiskustannuksiin nähden vähäisiä. Lisäksi hallinnollisten kustannusten kohdentaminen tietyille rataosalle on hankalaa ja osin keinotekoisia.

**TAULUKKO 4 HLG:n suositukset radanpidon kustannusten jakamiseksi kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin**

	Kiinteä	Muutt.	Rajakust
<b>1. Maanhankinta</b>	Kyllä	Ei	Ei
<b>2. Uusien ratojen rakentaminen</b>	Kyllä	Ei	Ei
<b>3. Olemassa olevien ratojen tason nosto, laajentaminen</b>	Kyllä	Ei	Ei
<b>4. Korvausinvestoinnit</b>			
<i>4.1 Suuret korjaukset</i>			
- perusparantaminen ilman kehittämistä	Osittain	Osittain	osittain
- siltojen, tunneleiden, vaihteiden, ja laitureiden suuret korjaukset, jotka tehdään kerran esim. 30 vuodessa	Osittain	Osittain	osittain
<i>4.2. Uusiminen</i>			
- siltojen, tunneleiden, vaihteiden, ja laitureiden sekä raiteiden ja muiden toimintojen uusiminen, joka palauttaa käyttöarvon ennalleen	Osittain	Osittain	Osittain
<b>5. Rakenteiden kunnossapito</b>			
- siltojen, teknisten laitteiden pienet korjaukset	Ei	Osittain	Osittain
- sepelin puhdistus, tiivistys	Ei	Osittain	Osittain
<b>6. Jatkuva kunnossapito ja käyttö</b>			
- talvikunnossapito (vaihteiden	Kyllä	Osittain	Osittain
- puhdistus ja lumen auraus)			
- puhdistus ja harvennus	Kyllä	Ei	Ei
- tarkastukset	Kyllä	Osittain	Osittain
- siltojen tukilaattojen, turvalaitteiden huolto turvallisuussyistä	Kyllä	Ei	Ei
- liikenteen ohjaus	Pääasiassa ei	Kyllä	Kyllä
<b>7. Hallinto</b>			
- yleiskulut	Kyllä	Ei	Ei
- poliisi	Ei	Kyllä	Kyllä
- aikataulusuunnittelu	Ei	Kyllä	Kyllä

(Lähde: Euroopan komissio 1999)

Liikenteenohjauksenkulut eivät ole mukana tarkastelussa, koska tarvittavaa rataosittaista kustannustietoa ei ole olemassa. Pääosa liikenteenohjauksen kustannuksista syntyy liikenteenohjauskeskuksissa, jotka valvovat useaa rataosaa. Rajakustannuksiin ohjauskeskusten kustannuksilla on vähäinen merkitys, sillä liikennemäärät eivät juurikaan vaikuta liikenteenohjauskeskusten kustannuksiin. Sen sijaan sellaisilla rataosilla, joilla liikennemäärän lisäys edellyttää miehityksen lisäämistä, kustannukset kasvavat liikennemäärän mukana. Tällaisissa tapauksissa lisäkustannukset aiheutuvat enemmän käytetystä liikenteenohjausteknologiasta kuin itse liikennemäärän lisäyksestä. Vuosittain liikenteenohjaukseen on käytetty noin 200 Mmk (Vuosikertomus 1999: 26).

Kolmas poisjätetty kustannuserä on käyttökustannukset, jotka ovat osa vuosikertomuksen nimikettä "Kunnossapito ja käyttö". Käyttökustannukset eivät ole selkeästi kohdennettavissa tietylle rataosalle. Suurimman osan käyttökustannuksista muodostavat energiakulut, joita aiheutuu esimerkiksi vaihteiden lämmityksestä. Kustannuksia aiheutuu myös siirtoverkon yhteismaksuista ja telelaitteiden kunnossapidosta. Vuosittain käyttötoimintaan on RHK:ssa varattu noin 50 Mmk:a. Oletettavasti käyttökuluja aiheutuu enemmän vilkkaasti liikennöidyillä rataosilla, joten käyttökustannusten huomiointi voisi nostaa rajakustannusarvoa. Koska käyttökulut ovat vähäisiä kokonaiskustannuksiin nähden, muutos rajakustannusarvossa olisi todennäköisesti pieni.

Tutkimuksen tarkasteltaviksi kustannuksiksi jäävät kunnossapito- ja korvausinvestointikustannukset. Taulukossa 5 on esitetty tilinpäätöksen mukaiset RHK:n menot. Taulukon riville "Muut kustannukset" on laskettu yhteen edellä kiinteiksi luokitellut kustannukset. Taulukosta voidaan havaita, että kunnossapito- ja korvausinvestointikustannukset muodostavat valtaosan radanpidon menoista.

**TAULUKKO 5 Radanpidon menot vuosina 1997, 1998 ja 1999, Mmk**

Kustannus	1997 Mmk	1998 Mmk	1999 Mmk
Kunnossapito ja käyttö	671	652	652
Korvausinvestoinnit	1 116	1 138	1 054
Liikenteenohjaus	200	210	207
Muut kustannukset <sup>1</sup>	313	490	636
Yhteensä	2 300	2 490	2 549

*1 = laajennusinvestoinnit, uudet radat, maan hankinta, hallinto yms.*

*Tarkastelussa mukana olevat kustannukset*

Osa radan pidon kustannuksista jouduttiin rajamaan tutkimuksen ulkopuolelle. Syynä oli lähinnä se, ettei kyseisen kustannuslajin tietoja voinut jakaa rataosittain. Samoja ongelmia on myös kunnossapidossa ja korvausinvestointi kustannuksissa. Esimerkiksi kunnossapidon varallaoloon meni vuonna 1997 noin 15 Mmk. Toinen ongelma on, että muutamalle, pääasiassa hyvin vähäliikenteiselle rataosalle, ei ole olemassa bruttotonnitietoja. Tällaiset rataosat ja niiden kustannukset on jätetty pois tarkastelusta. Rataosille jakamattomuuden ja bruttotonnitietojen puutteen vuoksi tarkastelun ulkopuolelle on jäänyt 60 Mmk (1997), 66 Mmk (1998) ja 116 Mmk(1999).

Ratapihakustannukset ovat tarkoituksellisesti rajattu tutkimuksen ulkopuolelle. Syitä on kaksi. Ensinnäkin HLG-raportti suositti, että ainakin tässä vaiheessa ratapihat jätettäisiin pois rajakustannusten laskennasta. Toiseksi ratapihoilta ei ole saatavissa bruttotonnitietoja. Ratapihoille liikennemäärä tilastoidaan ainoastaan käsiteltyinä vaunuina, joten myös käytännössä ratapihat ja -linjat yhdistävän analyysin tekeminen olisi ongelmallista. Ratapihoilla korvausinvestointi- ja kunnossapitokustannuksia tarkasteluvuosina oli 220 Mmk (1997), 208 Mmk (1998) ja 180 Mmk (1999). Kyseiset luvut vastaavat noin 11 % korvaus- ja kunnossapitokustannus-

ten kokonaissummasta. Koska kyseessä on merkittävä kustannuserä, jatkossa tulee harkita myös ratapihakustannusten sisällyttämistä analyysiin.

Taulukossa 6 on esitetty tutkimuksessa mukana olevat kustannukset. Taulukossa kunnossapito on jaettu kolmeen osaan: perus-, sähkö- ja erikseen tilattuun kunnossapitoon. Vertaamalla taulukkoja 5 ja 6 voidaan havaita, että analyysiin sisältyvät kustannukset ovat noin 60 % vuosien 1997 ja 1998 kaikista radanpidon menoista. Vuonna 1999 suhde oli noin 50 %. Kunnossapito- ja korvausinvestointien vertailu osoittaa, että tarkasteluun sisältyvät kustannukset muodostavat yli 80 % kunnossapidon ja korvausinvestointien kustannuksista, kun ratapihojen kustannuksia ei oteta huomioon.

**TAULUKKO 6 Tarkasteluun sisältyvät kustannukset eri vuosina, Mmk**

Kustannus	1997 Mmk	1998 Mmk	1999 Mmk
Peruskunnossapito	212	186	193
Sähkökunnossapito	65	65	59
Erikseen tilattu kunnossapito	112	102	105
Korvausinvestoinnit	930	1 033	840
Yhteensä	1 319	1 386	1 197

Todellisuudessa tarkasteluun mukaan otettujen kustannusten edustavuus kaikista radanpidon menoista on vielä suurempi. Tämä johtuu kirjausteknisistä eroista. Tutkimusta varten tarvittiin rataosittaiset kustannustiedot. Tähän tarkoitukseen taulukon 6 tilinpäätösarvot ovat liian yleisellä tasolla. Korvausinvestointien ja kunnossapidon erikseen tilattujen töiden tapauksessa tarvittavat rataosittaiset luvut on laskettu RHK:n tilauskannan seurantatiedoista, tästä aiheutuu eroa materiaalikirjauksissa, sillä tilinpitoa varten materiaalikustannukset kirjautuvat kullekin tilimomentille heti, kun ne on maksettu. Sen sijaan tämän tutkimuksen aineistoon materiaalikustannukset kirjautuivat vasta kun materiaalit, esimerkiksi pölkyt tai kiskot, olivat käytetty tietyssä ratahankkeessa. Lisäksi tilauskannan seuranta-aineistossa vuoden vaihteen laskujen kirjautuminen juuri oikealle vuodelle on ollut epätarkempaa kuin tilinpäätösluvuissa.

RHK ostaa kunnossapidon perus- ja sähkökunnossapidon Oy VR-Rata Ab:ltä vuosittain neuvotellusta kokonaissummasta. VR:n tilipitojärjestelmässä kyseiset kunnossapitokustannukset ovat jaoteltu rataosittain. Tässä tutkimuksessa on käytetty näitä lukuja. Näiden lukujen kokonaissumma ei kuitenkaan vastaa täysin RHK:n kirjanpidon arvoja. Edellä mainitut kirjanpidolliset erot johtavat siihen, että lähtökohtana käytetyt kustannustiedot ovat alemmalla tasolla kuin tilinpäätöstiedot. Kirjauskäytännöistä johtuvaa eroa oli tarkasteluvuosina 157 Mmk (1997), 44 Mmk (1998) ja 113 Mmk (1999).

Investoinnin jako korjaus- ja kehittämisinvestointiin ei ole helppoa. Usein radan vaatimustaso on noussut ajan myötä, jolloin ratainvestointi tehdään samalla kertaa parempaan tasoon. Tällöin investoinnista osa on laadultaan korvaavaa, osa kehittävää. Tässä tutkimuksessa jakoperustana on käytetty tilinpitojärjestelmän jakoa kehittämis- ja korvausinvestointiin.

## **5.2 Analyysi Suomen rautatieinfrastruktuurin rajakustannuksista**

Edellä eroteltiin radanpidon kokonaiskustannuksista lyhyellä aikavälillä liikenteen määrästä johtuvat kustannukset eli muuttuvat kustannukset. Tämän luvun tarkoituksena on selvittää regressioanalyysin avulla, mikä osuus mallinnettavista muuttuvista kustannuksista on radankäytön rajakustannuksia. Saaduista rajakustannuksista johdetaan edelleen rajakustannushinnoittelun perusteeksi bruttotonnikilometri kerroin (penniä/bruttotoni km), joka kertoo kuinka paljon infrastruktuurikustannuksia aiheutuu, kun rataverkolle lisätään yksi bruttotoni.

Ekonometrisessä osassa on edetty Johanssonin ja Nilssonin esimerkin mukaisesti. Kyseisestä työstä poiketen tässä tutkimuksessa on kunnossapitokustannusten lisäksi analysoitu HLG:n suositusten mukaisia kunnossapito- ja korvausinvestointikustannusten yhdistelmäkuksia.

### 5.2.1 Rataverkon jakaminen yhtenäisiin rataosiin

Tutkimuksessa käytettävä aineisto on poikittaisaineistoa, jossa yhden vuoden ajalta on monta havaintoa saman toimialan sisältä. Käytännössä tämä merkitsee, että aineiston perusteella rataverkko voidaan jakaa rataosiin, jotka toimivat havaintoina. Eri aineistolähteissä rataverkko on jaettu eri tavoilla rataosiin tai sitten jakoa ei ole tehty lainkaan. Analyysiä varten eri aineistolähteistä saadut tiedot tulee jaotella saman rataosajaon mukaisesti. Peruslähtökohta hyvälle jaolle on, että tarkastelun kohteena olevan rataosan sisällä ei ole laadullisia eikä liikennemäärä eroja, eli rataosien tulee olla mahdollisimman homogeenisiä.

Rataosajaottelun lähtökohdaksi on otettu bruttotonnien rataosajaottelu sekä rataosien kunnossapitotasajaottelu. Vuosien 1997-1999 bruttotonniaineistossa rataverkko jaetaan noin 100 rataosaan. Vastaavasti kunnossapitokustannusaineistossa rataverkko on jaettu noin 150 kustannuspaikkaan. Yhtenäisen rataosajaottelun muodostamiseksi kustannuspaikat, joissa ei ole ollut eroa liikennemäärässä eikä kunnossapitotasossa, on yhdistetty samaksi rataosahavainnoksi. Niissä muutamassa tapauksessa, jossa kustannuspaikan sisällä on ollut eroa liikennemäärän suhteen, on kyseisten kustannuspaikkojen kustannukset jaettu kahdeksi tai useammaksi rataosahavainnoksi. Tämä jako on tehty pääraidekilometrien suhteessa. Samoin mikäli yksi korvausinvestointi on ulottunut useamman rataosan alueelle, on investointikustannusten jako suoritettu pääraidekilometrien suhteessa. Pääraidekilometrien käyttäminen rataosajaon perusteena lisää keinotekoisesti kustannusten riippuvuutta raidekilometreistä. Tämä johtuu siitä, että raidekilometrit ja pääraidekilometrit ovat likipitään sama tekijä. Tätä kuvaa muuttujien keskinäisen korrelaation arvo 0,97. Muuttujien vaihtelut ovat keskenään hyvin samansuuntaisia. Keinotekoinen rajakustannusten riippuminen raidekilometreistä on hyväksyttävä, jotta saatavat rataosat olisivat yhtenäisempiä. Edellä kuvatuilla perusteilla rataverkko on jaettu 93 osaan.

Vaihtoehtoinen peruste rataosiin jaolle olisi ollut käyttää suoraan kunnossapidon kustannuspaikkajaotteluja. Tarkastellessa erikseen kunnossapitokustannuksia kustannuspaikkakohtainen jaottelu olisi perusteltu. Sen sijaan otettaessa tarkasteluun myös korvausinvestointikustannukset, kustannuspaikka jaottelun käyttö antaa harhaanjohtavia tuloksia. Tämä johtuu siitä, että kustannuspaikkajakojen mukaan rataverkko pitää pilkkoa useampaan osaan. Ja mitä useampaan rataosaan rataverkko jaetaan sitä useamassa tapauksessa yksi korvausinvestointi joudu-

taan jakamaan usean rataosahavainnon kesken. Koska jakaminen tehdään pääraidekilometrien suhteessa, jotka ovat likipitäen sama tekijä kuin selittävänä tekijänä analyysissä olevat raidekilometrit, lisää rataverkon useampaan osaan jakaminen keinotekoisesti kustannusten riippuvuutta raidekilometreistä. Tässä tutkimuksessa onkin pyritty jakamaan rataverkko mahdollisimman vähiin rataosahavaintoihin. Jako eri rataosaksi on vain tehty siinä tapauksessa, että rataverkon osalla muuttuu liikennemäärä tai rataverkon laatua kuvaava kunnossapitotasoluokka.

### 5.2.2 Aineiston kuvaus

Seuraavassa on tarkemmin käsitelty sitä, mistä lähteistä aineisto on saatu sekä kuinka aineisto on jaettu ratayksiköihin. Lisäksi aineistoa tarkastellaan taulukossa 7 esitettyjen tilastollisten tunnuslukujen kannalta.

**TAULUKKO 7 Tilastollisia tunnuslukuja aineistosta**

Muuttuja		Keskiarvo			Keskihajonta		
		1997	1998	1999	1997	1998	1999
HLG-kustann. (Mmk)	$C_1$	14,2	15,4	13,2	22,6	25,6	19,9
Kunnossapito (Mmk)	$C_2$	3,0	3,2	3,1	2,1	2,1	1,8
Bruttotonnit (ln)	$\ln(U)$	14,9	15,0	15,1	1,93	1,90	1,44
Raide km (km)	$Y$	80,6	80,6	80,6	45,1	45,1	45,1
Vaihteet (kpl)	$z_1$	45,0	45,0	45,0	31,9	31,9	31,9
Nopeus (km/h)	$z_2$	62,5	62,5	62,5	18,0	18,0	18,0
Kp-taso (1,...,6)	$z_3$	2,91	2,90	2,90	1,65	1,64	1,64
Korv.inv. dummy	$K$	0,81	0,86	0,86	0,39	0,35	0,35

#### *Kustannustiedot*

Tarkasteluun sisällytettyjä kustannuksia on eritelty aiemmin jo luvussa 5.1.4, jossa todettiin, että korvausinvestointikustannukset on saatu RHK:n omista tilitiedoista. Kustannuspaikka-



kohtaiset kunnossapitokustannukset ovat peräisin VR:n tilastointijärjestelmistä, koska RHK ostaa rataverkon kunnossapitopalvelut Oy VR-Rata Ab:ltä. Samoista tilijärjestelmistä on saatu myös kustannuspaikkakohtaiset tiedot raidepituuksista, kunnossapitoluokasta ja vaihteiden määristä.

Nykyinen kustannuspaikkaluokitus VR:n aineistossa oli ensimmäistä kertaa käytössä vuonna 1997. Siirtymävaiheen vuoksi kustannusten kirjautumisessa juuri oikealle kustannuspaikalle on ollut epätarkkuuksia. Suuri osa tutkimuksen rataosista on muodostettu yhdistämällä vierekkäisiä kustannuspaikkoja yhdeksi havainnoksi, minkä vuoksi osa virhekirjauksista on poistunut. Voidaan kuitenkin sanoa, että peruskunnossapitokustannusten ja sähkökunnossapitokustannusten osalta vuoden 1998 ja 1999 tiedot ovat parempaa aineistoa kuin 1997 tiedot.

#### *Liikennöinnin määrä: Bruttotonnit*

Bruttotonni on painomitta, joka sisältää kuljetettavan tavaran painon lisäksi myös veturin ja vaunujen painon. VR tilastoi vuosittaisen tavara- ja henkilöliikenteen junakilometreinä, bruttokilometreinä ja bruttotonneina. Tässä tutkimuksessa on käytetty bruttotonnilukuja, koska se on helposti mielletävissä radalla kuljetetun tonnipainon liittyvän radan kulumiseen. Tähän tarkoitukseen olisi sopinut myös bruttotonnikilometrien ottaminen selittäväksi tekijäksi, mutta mallissa on haluttu tarkastella erikseen bruttotonnien ja raidepituuden vaikutusta kustannuksiin.

Käytetyssä VR:n bruttotonniaineistossa rataverkko on jaettu hieman yli 100 rataosaan. Kumpikin suunta on ilmaistu aineistossa erikseen, joten varsinaisia rataosahavaintoja on kaksinkertainen määrä. Luku ei ole kuitenkaan aivan tarkka, sillä joitakin rataosuuksia on aineistossa kahteen otteeseen ja muutamalle rataosuudelle ei ole ilmaistu liikennettä kuin yhteen suuntaan. Nämä seikat eivät kuitenkaan ole merkityksellisiä analyysin kannalta, koska epätarkkuudet kohdistuvat pääasiassa vähäliikenteisille rataosille, jotka ovat jouduttu jättämään joka tapauksessa pois analyysistä kustannustietojen puutteen vuoksi.

Edellä mainittu bruttotonniaineisto ei sisällä sähkömoottorijunilla ajettua liikennettä, jota on pääkaupunkiseudun paikallisliikenteessä sekä linjoilla Riihimäki-Tampere, Riihimäki- Kou-

vola ja Mikkeli-Kotka ajettu sähkömoottoriliikenne. Bruttotonnitiedot sähkömoottoriliikenteelle on jouduttu laskemaan erikseen.

Pääkaupunkiseudun paikallisliikenteen bruttotonnitiedot on muokattu VR:n tilastoimista veturikilometreistä. Veturikilometritaulukossa kunkin kuukauden veturikilometrit eri viikonpäiville ja paikallisjunille on esitetty erikseen. Kunkin rataosuuden vuosittaiset veturikilometrit on saatu yhdistämällä kuukausittaiset veturikilometritaulut. Jakamalla saadut veturikilometrit kyseisen rataosanpituudella on puolestaan saatu vetureiden kappalemäärä. Seuraavaksi on oletettu, että kukin veturiyksikkö painaa keskimäärin 90 tonnia<sup>7</sup>. Kertomalla veturimäärät keskimääräisellä veturipainolla on saatu bruttotonnit kullekin rataosalle. Lopuksi veturikilometritaulukon mukainen rataosajaottelu on mukautettu tämän tutkimuksen rataosajaotteluun.

Pääkaupunkiseudun ulkopuolisesta sähkömoottoriliikenteestä ei ollut saatavissa veturikilometritietoja, joten bruttotonniin arvioinnissa täytyi tyytyä aikataulutietoihin. Aikatauluissa sähkömoottorikalusto on ilmaistu nelinumeroisilla junanumeroilla. Näitä junanumeroita on linjoilla Riihimäki-Tampere, Riihimäki-Kouvola ja Mikkeli-Kotka. Aikatauluissa esitetään kunkin viikonpäivän junatarjonta, josta yhteen laskemalla saadaan viikoittainen junien kappalemäärä. Kertomalla saatu luku vuoden viikkomäärällä, on saatu vuosittainen junien kappalemäärä. Lopuksi junakappalemäärät on kerrottu oletetulla keskimääräisellä 90 tonnin junayksikköpainolla, jolloin on saatu rataosittaiset bruttotonnitiedot.

#### *Raidekilometrit ja ratakilometrit*

Ruotsalaistutkimuksessa selittävänä tekijänä oli ratakilometrit. Tässä tutkimuksessa selittäväksi tekijäksi on otettu raidekilometrit, koska ratakilometreistä saatavilla ollut tilastoaineisto on epätarkempaa kuin raidekilometreistä. On huomattava, että esimerkiksi kaksiraiteisella rataosalla on kaksi kertaa enemmän raidekilometrejä kuin ratakilometrejä.

---

<sup>7</sup> Sm1-juna painaa 97 tonnia ja alumiinirunkoinen Sm2 painaa 77 tonnia. Molempia junatyyppejä on 50 kappaletta. Oletetaan junayksiköissä olevan 50 matkustajaa, joista kukin painaa 60 kg. Tällöin kokonaispaino on  $(97t \cdot 50kpl + 77t \cdot 50kpl) / (50kpl + 50kpl) + 50hlö \cdot 60kg/hlö = 90t$ .

Raidekilometrilluvut ovat saatu kunnossapitokustannusten kustannuspaikkajaottelusta. Kustannuspaikoissa on esitetty erikseen pää- ja sivuratojen raidepituus. Tämän tutkimuksen pituusmuuttuja on muodostettu laskemalla yhteen kunkin kustannuspaikan pää- ja sivuraidekilometrit. Tapauksissa, joissa yksi kustannuspaikka on jaettu useammaksi rataosaksi, rataosakohtainen kilometrimäärä on laskettu graafisten aikataulujen ratakilometrien suhteessa. Vastaavasti tapauksissa, joissa kaksi tai useampi kustannuspaikka on yhdistetty samaksi rataosaksi, on kaikki raidekilometrilluvut laskettu yhteen.

Tutkimuksessa on käytetty myös ratakilometrillukuja. Näitä arvoja on tarvittu bruttotonnikilometrien selvittämiseen, joiden perusteella on puolestaan laskettu rajakustannukset. Bruttotonnitilastoissa on esitetty arvo ratapituudelle. Pääasiallisena ratapituuden lähdetietona on käytetty kyseisiä lukuja. Bruttotonnitietojen rataosajaottelu ei kuitenkaan vastaa täysin tämän tutkimuksen jaottelua. Tällaisissa tapauksissa ratakilometrien määrä on laskettu graafisien aikataulujen kilometrimerkintöjä apuna käyttäen.

### *Nopeus*

Nopeus on hyvin ongelmallinen muuttuja, sillä nopeutta kuvaavaksi tekijäksi on tarjolla useita vaihtoehtoja. Nopeutta voitaisiin kuvata kunkin rataosan suurimmalla sallitulla nopeudella. Tällaiseen muuttujaan ei kuitenkaan saada juurikaan vaihtelua, koska suurimmalla osaa rataverkosta nopeusrajoitus on joko 140 km/h tai 120 km/h. Lisäksi tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus on 120 km/h, joten 140 km/h nopeusluokka ei kuvaa lainkaan tavaraliikenteen suurinta sallittua nopeutta.

Toinen tapa tarkastella nopeutta on junien todellisten liikennöintinopeuksien laskeminen. Ongelmana tässä lähestymistavassa on, että usein junien nopeudet eroavat toisistaan, jolloin kullekin ratayksikölle saadaan monta nopeusarvoa. Analysointia varten joudutaan kuitenkin muodostamaan ratayksikkökohtaisesti keskimääräinen nopeusmuuttuja.

Tässä tutkimuksessa keskimääräisen nopeusmuuttujan muodostaminen on aloitettu laskemalla junien nopeudet junalajeittain jokaiselle ratayksikölle. Junalajeihin jakamisesta on nopeuden

laskemisessa se hyöty, että muodostettaessa nopeuden ja bruttotonnien yhteisvaikutustermiä (bruttotonnit\*nopeus), voidaan kummastakin muuttujasta käyttää tarkempia junalajien mukaisia lukuja. Käytännössä eri junien nopeudet on laskettu graafisia aikatauluja (henkilö- ja tavaraliikenne) sekä taskuaikatauluja (sähkömoottoriliikenne) apuna käyttäen. Seuraavaksi kullekin junalajille on muodostettu keskimääräinen nopeus käyttäen painona junien kappalemäärää. Esimerkiksi jos ratayksikössä on liikkunut yksi 60 km/h, kaksi 50km/h ja kaksi 80 km/h kulkevaa tavarajunaa, niin keskimääräiseksi tavaraliikenteen nopeudeksi on kyseiselle rataosuudelle saatu 64 km/h  $((1*60+2*50+2*80)/(1+2+2)=64)$ . Tällä tavoin kullekin ratayksikölle on saatu kolme keskimääräistä nopeus muuttujaa: tavaraliikenteen-, henkilöliikenteen- ja sähkömoottorijunaliikenteen nopeus.

Mitä näistä kolmesta keskimääräisestä nopeusmuuttujasta tulisi käyttää mallintamiseen? Eri junalajien nopeudet korreloivat suuresti keskenään (ks. korrelaatiotaulu liite 1), joten yhden yksittäisen junalajin nopeuden vaikutusta ei pysty erottamaan muiden junalajien vaikutuksesta. Tästä seuraa edelleen, että kaikkien kolmen nopeusmuuttujan yhtäaikainen mukaanotto malliin johtaisi vääristyneisiin tuloksiin. Tämän vuoksi eri junalajien nopeuksista on laskettu keskiarvo ja tätä muuttujaa on käytetty mallin nopeusmuuttujana. Muodostettu muuttuja on keskiarvo painotetusta keskiarvosta, joten nopeustekijän arvot ovat väistämättä likimääräisiä.

### *Vaihteet*

Vaihteiden lukumäärät rataosittain on saatu samoista kunnossapitokustannusten kustannuspaikkataulukosta kuin raidepituudet. Raidepituuden tapaan, niissä tapauksissa joissa yksi kustannuspaikka on jaettu kahdeksi tai useammaksi ratayksiköksi, on vaihteiden määrä jaettu pääraide pituuden suhteessa eri ratayksiköille. Kun kustannuspaikkoja on yhdistetty samaksi ratayksiköksi, on kustannuspaikkojen vaihteiden määrät laskettu yhteen.

### *Kunnossapitotasotaso*

Kunnossapitotasotiedot ovat kunnossapitokustannusten kustannuspaikkaluokittelun mukaisia. Kunnossapitotasoja on ollut seitsemän: 1 A ja 1-6. Koska korkeimmassa kunnossapitotasossa 1 A ei ole ollut rataosia kuin Turku-Kirkkonummi rataosalta, on tämä rataluokka yhdistetty kunnossapitotasoon 1. Kunnossapitotasoluokituksen avulla rata pidetään liikenteen turvalli-

suusvaatimuksia vastaavassa kunnossa. Mitä suuremmat ovat nopeudet sitä korkeammat ovat myös raiteen kunnossapitovaatimukset. Taulukossa 8 on havainnollistettu tätä esittämällä päällysrakenteen kunnossapitotason valintaan liittyviä perusteita, kuten nopeuksia ja niitä vastaavia vähimmäiskiskopainoja.

### TAULUKKO 8 Kunnossapitotason, nopeuteen ja päällysrakenteeseen liittyvät

#### perusteet

Kunnossapitotaso	Raide	Nopeus (km/h)	Kiskopaino vähintään (kg/m)	Ratapölkkyt	Tukikerros
1A	Pääraide	> 140	54 E1	Betoni/ puu	Sepeli
1	Pääraide	120 < V < 140	54 E1	Puu/ betoni	Sepeli
2	Pääraide	< 120	54 E1	Puu/ betoni	Sepeli
3	Pääraide	< 110	K 43	Puu/ betoni	Sepeli
4	Pää- ja sivuraiteet sekä puolenvaihtopaikat	70 < V < 70	K 43	Puu/ betoni	Sepeli/sora
5	Pää- ja sivuraiteet	50 < V < 70	K 30	Puu/ betoni	Sepeli/sora
6	Pää- ja sivuraiteet sekä kuormaus- ja seisontaraiteet	< 50	K 30	Puu/ betoni	Sora/ sepeli

(Ratahallintokeskus 1999b)

#### Korvausinvestoinnit

Aineistossa on selvä tasoero riippuen siitä, onko rataosalla tehty korvausinvestointeja vai ei. Tämän voi havaita tilastollisia tunnuslukuja esitelleestä taulukosta 7, jonka mukaan HLG-kustannusten keskiarvo on noin viisi kertaa suurempi kuin kunnossapitokustannusten keskiarvo. HLG-kustannukset muodostettiin laskemalla yhteen korvausinvestointi- ja kunnossapitokustannukset. Pelkkiin kunnossapitokustannuksiin nähden moninkertainen HLG-kustannusten keskiarvo merkitsee, että korvausinvestointikustannusten määrä määrittää lähes yksinomaan HLG-kustannusten kokonaiskustannustason. Täten aineistoon muodostuu selvä tasoeron riippuen siitä, onko rataosalla tehty korvausinvestointeja vai ei. Tasoeroa on pyritty

mallintamaan lisäämällä tutkimuksen yhtälöön tasomuuttuja K. K saa arvon nolla, jos ratayksikössä tehtyjen korvausinvestointien summa on alle 100 000. Arvon yksi, jos tehtyjen investointien määrä on yli 100 000. Kustannusrajaan 100 000 mk on päädytty, jotta kaikkein pienimmät, lähinnä kunnossapitoon rinnastettavat korvausinvestoinnit jäisivät huomiotta.

### 5.2.3 Kustannusten funktiomuoto

Kustannusten mallintaminen alkaa funktiomuodon valinnalla. Tässä tutkimuksessa on oletettu ruotsalaisen esimerkin mukaisesti kustannusten noudattavan funktiomuotoa:

$$\ln C_i = \alpha_0 + \beta^y y_i + \beta^u u_i + \beta^z z_i + \beta_K^y K_i y_i + \beta_K^u K_i u_i + \varepsilon_i \quad (7)$$

Pienet kirjaimet U:ssa ja Y:ssä merkitsevät logaritimuotoa. Tällöin  $y_{it} = \ln Y_{it}$  ja  $u_{it} = \ln U_{it}$ . Käytetyssä logaritmifunktiomuodossa saadut  $\beta$ -kertoimet ovat joustokertoimia, jotka ilmaisevat prosentuaalisia muutoksia.

Ruotsalaistutkimuksesta poiketen tämän tutkimuksen funktiomuodossa ei ole mukana termiä I, joka jakoi ratayksiköt pääratioihin ja toissijaisiin ratioihin. Tämä johtuu siitä, että Suomessa ei ole yksiselitteistä perustetta rataosien jakamiselle pääratioihin ja muihin ratioihin. Sen sijaan tässä tutkimuksessa on käytetty tasomuuttujaa K ilmaisemaan sitä, onko rataosalla tehty merkittävässä määrin korvausinvestointeja vai ei. Kuten aiemmin todettiin, tätä muuttujaa on tarvittu mallintamaan kustannusten huomattavasti korkeampaa tasoa siinä tapauksessa, kun rataosalla on tehty korvausinvestointeja.

### 5.2.4 Pienimmän neliösumman –menetelmän oletukset

Seuraavassa vaiheessa kaavan 7  $\alpha$ -kertoimelle ja  $\beta$ -kertoimille määritetään aineiston perusteella arvot eli estimaatit. Menetelmänä tässä tutkimuksessa on käytetty pienimmän neliösumman -lähestymistapaa. Menetelmän avulla on tarkoitus löytää sellaiset estimaattien arvot, että havaintopisteiden etäisyys yhtälösuorasta olisi mahdollisimman pieni (Maddala 1992: 69).

Lähestymistavalla saaduilla estimaateilla on ominaisuus, että ne ovat parhaita lineaarisia ja harhattomia estimaatteja. Englanniksi tätä kuvaa termi BLUE (best linear unbiased estimators) <sup>8</sup>. BLUE-ominaisuus edellyttää kuitenkin, että aineiston perusteella muodostettu yhtälösuora täyttää niin sanotut klassisen lineaarisen regressiomallin perusoletukset. Näitä oletuksia ovat (Green 1997, 224):

1. Lineaarinen funktiomuoto
2. Mallin tekijöiden tunnistettavuus
3. Virhetermin odotusarvo nolla
4. Virhetermin keskihajonta ja kovarianssi: ei heteroskedastisuutta eikä autokorrelaatiota
5. Selittävät tekijät tunnettuja vakioita
6. Virhetermin normaalijakauma

Seuraavassa on tarkennettu kunkin oletuksen sisältöä:

#### *Lineaarinen funktiomuoto*

Lineaarisen funktiomuodon oletus liittyy tapaan, jolla virhetermi on määritelty mallin yhtälössä. Virhetermin tulee liittyä malliin tavalla, jossa virhetermin vaikutus lisätään selittävien tekijöiden vaikutukseen:

$$y = X\beta + \varepsilon$$

$y =$	selitettävä tekijä	$\beta =$	kerroin
$X =$	selittävien tekijöiden matriisi	$\varepsilon =$	virhetermi

---

<sup>8</sup> BLUE-ominaisuuden matemaattinen todistus on löydettävissä esimerkiksi lähdeviitteestä Maddala 1997, 114.

Tämä ei tarkoita, että muuttujien välinen yhteys tulisi aina olla lineaarinen suora. Haluttuun lisäysmuodossa olevaan virhetermiin voidaan päästä myös sopivalla matemaattisella muunnoksella. Täten esimerkiksi yhtälö:

$$y = Ax^{\beta} e^{\varepsilon}$$

on lineaarinen, kun kummaltakin puolin on otettu luonnollinen logaritmi<sup>9</sup>. Kyseistä funktiomuotoa on käytetty myös tämän tutkimuksen yhtälömuotona. Sen sijaan yhtälö:

$$y = Ax^{\beta} + \varepsilon$$

ei ole tässä yhteydessä tarkoitetulla tavalla lineaarinen (Green 1997, 226).

#### *Mallin tekijöiden tunnistettavuus*

Jotta mallintaminen olisi ylipäättänsä mahdollista, täytyy mallin muuttujien olla muodostettavissa. Yhtäältä tämä merkitsee, että selittävässä tekijässä ja sen selittäjissä tulee olla riittävästi vaihtelua. Tämä on käytettävissä olevaan aineistoon liittyvä ominaisuus. Jos käytetyssä aineistossa ei ole vaihtelua muodostuu selitettävän- ja selittävän tekijän välisestä yhteydestä pystysuora viiva (Green 1997, 231). Tämän tutkimuksen muuttuja-aineistosta voidaan todeta, että siinä on vaihtelua. Aineiston havainnot ovat kuitenkin lähes kaikkien muuttujien osalta painottuneet pieniin kyseisen muuttujan arvoihin. Tämän voi havaita liitteestä 2, jossa on esitetty kunkin muuttujan havaintojen jakauma suhteessa keskiarvoonsa.

Toisaalta yksittäisen selittävän tekijän vaikutus selitettävään tekijän vaihteluun tulee olla erotettavissa muista selittävästä muuttujista. Tämä ei toteudu, kun selittävät muuttujat ovat lineaarisesti riippuvaisia toisistaan. Tällöin selittävät tekijät vaihtelevat saman suuntaisesti suhteessa selitettävän tekijän muutoksiin. Tilannetta kutsutaan multikollineaarisuudeksi (Maddala 1992, 269-270). Multikollineaarisuus näkyy siinä, että samaan aikaan, kun saatujen kertoimien keskijajonta on laajaa ja t-arvot matalia, voi selitysaste olla korkea. Lisäksi pienet aineistomu-

---

<sup>9</sup>  $y = Ax^{\beta} e^{\varepsilon} \Leftrightarrow \ln y = \ln A + \beta \ln x + \varepsilon \Leftrightarrow \ln y = \alpha + \beta \ln x + \varepsilon$



tokset voivat johtaa laajoihin vaihteluihin saaduissa  $\alpha$ - ja  $\beta$ -kertoimissa. Kertoimilla voi myös olla talousteorian vastaisia etumerkkejä tai suurusluokkia (Greene 1997, 420).

Sitä, missä määrin muuttujien vaihtelut toisiinsa nähden on samansuuntaisia, voidaan mitata korrelaatiokertoimen avulla. Korrelaatiokertoimen arvo vaihtelee  $-1:n$  ja  $+1:n$  välillä. Positiivinen kerroin merkitsee, että muuttujien arvot vaihtelevat samansuuntaisesti. Negatiivinen arvo puolestaan tarkoittaa, että muuttujien arvot vaihtelevat päinvastaisiin suuntiin. Mitä lähempänä korrelaatiokertoimen arvo on  $-1:tä$  tai  $+1:stä$ , sitä voimakkaampi on muuttujien välinen yhteys. (Kmenta 1986, 302)

Aineiston muuttujien keskinäistä korrelaatiota voidaan havainnollistaa korrelaatiotaulun avulla. Tämä on esitetty liitteessä 1. Aineistona on käytetty vuoden 1997 tietoja, mutta myös muut tarkastelu vuodet antavat saman suuntaisia korrelaatioarvoja. Taulukosta havaitaan, että korkeimpia korrelaatiokertoimia on yhteisvaikutustermien ja niiden muuttujien välillä, joista yhteisvaikutus termit ovat muodostettu. Tästä ääriesimerkki on bruttotonniin ja korvausinvestointi tasomuuttujan yhteisvaikutustermien ja bruttotonniin välinen kerroin (0,99), joka merkitsee lähes täydellistä multikollineaarisuutta. Varsinaisten muuttujien välillä korkein keskinäinen korrelaatio vallitsee kunnossapitotason ja nopeuden (-0,83) välillä. Lisäksi nopeuden ja bruttotonniin (-0,58) välillä, raidepituuden ja vaihteiden (0,55) sekä bruttotonniin ja vaihteiden välillä (0,49) on suhteellisen korkea keskinäinen korrelaatio. Vähiten keskenään korreloivat bruttotonnit ja raidekilometrit (0,03).

#### *Virhetermin odotusarvo nolla*

Virhetermin odotusarvo on nolla. Jos tämä oletus ei toteudu, vaikutukset voidaan jakaa kahteen tapaukseen. Mikäli virhetermin odotusarvo on nollan sijaan positiivinen tai negatiivinen vakio, ovat seuraukset varsin vähäiset. Tällöin ainoastaan vakiotermejä kuvaava  $\alpha$ -termi on harhainen ja yleensä suuremman kiinnostuksen kohteena olevat  $\beta$ -kertoimet pysyvät harhattomina sekä tehokkaina. Mikäli virhetermin odotusarvo on satunnaismuuttuja, niin tällöin myös  $\beta$ -kertoimet antavat harhaisia tuloksia. Tämä tosin edellyttää, että virhetermi ja kyseinen selittävä tekijä korreloivat keskenään. Jos virhetermi vaihtelee satunnaismuuttujan tapaan mallista puuttuu jokin merkittävä selittävä tekijä. (Kmenta 1986, 266-296)

### *Virhetermin normaalijakauma*

Virhetermin normaalijakauma oletuksen täyttyminen ei ole aivan välttämätöntä. Saadut estimaatit säilyttävät edelleen BLUE-ominaisuutensa, mikäli vain muut oletukset pitävät paikkansa. Virhetermin normaalijakaumasta on kuitenkin se etu, että aineistosta voidaan testata yksittäisen selittävän tekijän tilastollista merkitsevyyttä eli tuleeko kyseinen muuttuja ottaa tarkasteluun mukaan vai ei. Lisäksi virhetermin normaalijakauma mahdollistaa sen, että saaduille estimaateille voidaan esittää luottamusvälit (Kmenta 1986, 262). Luottamusväli tarkoittaa, että pystytään osittamaan oikeiden kerroinarvojen olevan esimerkiksi 95 % todennäköisyydellä tietyllä vaihteluvälillä (Maddala 1992, 27-28).

### *Virhetermin keskihajonta ja kovarianssi: ei heteroskedastisuutta eikä autokorrelaatiota*

Heteroskedastisuus merkitsee, että virhetermien keskihajonta ei ole vakio (Kmenta 1986: 209). Tällöin esimerkiksi ratapituuden kasvaessa ratapituuden virhetermin keskihajonta pysyy samana eikä vähene tai lisäännä. Jos aineisto on heteroskedastinen, niin tällöin saadut kertoimien estimaatit ovat edelleen harhattomia. Sen sijaan varianssien estimaatit ovat harhaisia, jolloin kertoimien luottamusväliestimaatit ovat tyypillisesti laajoja (Maddala 1992, 209).

Autokorrelaatiolla tarkoitetaan virhetermien riippuvuutta toistaan (Kmenta 1986: 209). Autokorrelaation aiheuttaja on usein pois jätetty muuttuja. Esimerkiksi poikittaisaineiston tapauksessa saman maantieteellisen alueen havainnot voivat olla riippuvaisia toisistaan. Tällöin autokorrelaation poistaminen edellyttäisi eri maantieteelliset paikat erottelevan tasomuuttujan mukaan ottoa regressioon (Maddala 1992, 231). Autokorrelaation vaikutukset ovat samat kuin heteroskedastisuuden. Toisin sanoen saadut kerroinestimaatit ovat harhattomia mutta eivät tehokkaita, sillä kertoimien varianssiestimaatit ovat harhaisia (Maddala 1992, 231).

### *Selittävät tekijät tunnettuja vakioita*

Oletus, että selittävät tekijät ovat tunnettuja vakioita, on oleellinen, jotta selitettävä tekijä ja sen selittäjät ovat erotettavissa toisistaan. Tällöin mallin virhetermi ja selittävät tekijät ovat toisistaan riippumattomia (Maddala 1992, 65).

#### 5.2.4 Oletuksien toteutuminen aineistossa

Liite 2 sisältää testit siitä, miten hyvin aineistosta johdettu regressiokäyrä toteuttaa edellä asetetut vaatimukset. Riippuen siitä, mitkä muuttujat otetaan mukaan tarkasteluun, on mahdollista esittää useita erilaisia regressioyhtälöitä, jotka toteuttavat eri tavoin asetetut PNS-oletukset. Lisäksi hiven erilaisia tuloksia saadaan riippuen, onko aineistosta poistettu poikkeavat havainnot (ks. seuraava luku). Yksinkertaistamisen vuoksi testit onkin esitetty vain sille HLG-kustannusten ja kunnossapitokustannusten funktiomuodolle, jota on myöhemmässä luvussa 5.2.6 käytetty rajakustannusten laskemiseen. Testit ovat esitetty ainoastaan 1997 aineistolle, sillä myös muut tarkasteluvuodet antavat samansuuntaisia tuloksia.

Testien tuloksista voidaan todeta, että regressioyhtälöistä ei näyttäisi puuttuvan yhtään oleellista muuttujaa. Myöskään multikollineaarisuutta ja autokorrelaatiota ei aineistossa ole hälyttävässä määrin. Lisäksi virhetermit noudattavat suhteellisen hyvin normaalijakaumaa.

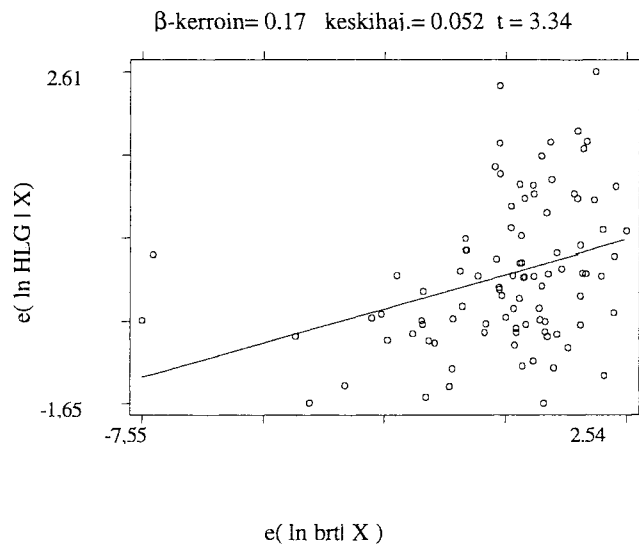
Sen sijaan heteroskedastisuutta HGL-kustannusten aineistossa on erittäin selvästi. Toisin sanoen virhetermin hajonta kasvaa muuttujien arvojen kasvaessa. Tämä ei ole yllättävää, sillä käytetty aineisto on niin sanottua poikittaisdataa eli tarkastelun kohteena on koko rataverkko, jossa on liikennemäärältään ja laatutasoltaan hyvin erilaisia rataosia. Heteroskedastisuuden vähentämiseksi tutkimuksessa on käytetty Whiten korjattua keskivirhematriisia (White 1980), jolla muuttujien luottamusväliestimaatit saadaan tarkemmiksi.

#### 5.2.5 Poikkeavien havaintojen poisto

Pienimmän neliösumman menetelmä on hyvin herkkä poikkeaville havainnolle (Maddala 1992: 89). Tilannetta on havainnollistettu kuvion 5 avulla. Monimuuttujamallia ei voi esittää kaksiulotteisesti paperilla, joten kuvassa on esitetty niin sanottu osittaisregression hajontakuviokuva, jolla voidaan verrata erikseen kutakin selittävää tekijää selitettävään muuttujaan. Kuviossa 5 on verrattu bruttotonneja HLG-kustannuksiin. Kuvan ympyrät kuvaavat yksittäisiä havaintoja. Puolestaan kuvan suora esittää yksinkertaistettua bruttotonnien osittaisregres-

siosuoraa. Tämä esitystapa on havainnollinen poikkeavien havaintojen graafisessa määrittämisessä. Esitystapa ei kuitenkaan sovellu funktiomuodon määrittämiseen, sillä kuvan muodostamisessa on oletettu selitettävän ja selittävän muuttujan välisen yhteyden olevan lineaarinen<sup>10</sup>.

**KUVIO 5 HLG-kustannukset 1997: bruttotonnien suhteen poikkeuksellisia havaintoja**



Kuvion 5 vasemmasta kulmasta on helppo havaita kaksi poikkeavaa havaintoa, joiden poistaminen jyrkentäisi bruttotonnien osittaisregressiosuoran kulmakerrointa, ja samalla todennäköisesti osittaisregressiosuora edustaisi paremmin havaintoaineistoa. Toisin sanoen poikkeavien havaintojen poistaminen nostaisi selitystasetta.

Vahvistuksen graafiselle tarkastelulle antaa taulukko 9, jossa on esitetty vuoden 1997 HLG-kustannuksilla poikkeavien havaintojen poiston vaikutukset  $\beta$ -kertoimiin. Graafisen tarkastelun perusteella kaikkein poikkeuksellisimman havainnon tarkastelun ulkopuolelle jättämisen vaikutukset  $\beta$ -kertoimiin ovat nähtävissä taulukon kolmannesta sarakkeesta. Vastaavasti neljännen sarakkeen arvot ovat saatu poistamalla tarkastelusta molemmat graafisen tarkastelun mukaan poikkeavat havainnot. Taulukosta havaitaan, että kaikkein poikkeuksellisemmaksi todetun havainnon poistaminen nostaa bruttotonnien  $\beta$ -kerrointa

<sup>10</sup> Ks. esim. Mallows C.L. (1986) Augmented partial residual. *Technometrics* 28: 313-319.

todetun havainnon poistaminen nostaa bruttotonnien  $\beta$ -kerrointa 0,17:sta 0,23:en. Samalla mallin selitysaste nousee hivenen. Jos vielä poistetaan toinen poikkeukselliseksi todettu havainto, nousee bruttotonnien  $\beta$ -kerroin edelleen. Sitä vastoin sekä ratapituuden että korvausinvestointi tasomuuttujan suhteen  $\beta$ -kerroin muutokset eivät ole yhtä suuria. Tämä antaa viitteitä siitä, että kyseiset havainnot ovat ainakin bruttotonnien suhteen poikkeuksellisia havaintoja.

**TAULUKKO 9 HLG-kustannukset 1997: havaintojen poiston vaikutus  $\beta$ -kertoimiin**

		$\beta$ -kerroin	$\beta$ -kerroin	$\beta$ -kerroin
		Koko aineisto	Yksi havainto poistettu	Kaksi havaintoa poistettu
Bruttotonnit (t)	U	0,17	0,23	0,29
Raidepituus (km)	Y	0,91	0,94	0,95
Korv. Inv. (1/0)	K	1,14	1,16	1,19
Vakio		8,29	7,34	6,32
Selitysaste	%	54,1	55,3	55,7

Entä mitkä havainnot tulisi poistaa tarkastelusta? Tämän selvittämiseksi on kehitetty useita hivenen toisistaan poikkeavia testejä. Tässä tutkimuksessa poistettavat havainnot on määritetty käyttäen Welshin etäisyystestiä (Welsch 1982), jossa tarkastellaan kunkin havainnon jäännöksen neliön suhdetta hajontaan. Welschin -testin suositusten noudattamiseen on päädytty, koska kyseisen testin nimeämät poistettavat havainnot, ovat myös muiden tietojen perusteella kaikkein poikkeuksellisimpia havaintoja.

### 5.2.6 Tutkimuksen tulokset: $\beta$ -estimaatit

PNS-estimoinnin tarkoituksena oli antaa kaavassa 7 esitetyille  $\alpha$ -vakiolle sekä muuttujien  $\beta$ -kertoimille arvot, joilla havaintopisteiden etäisyys yhtälösuorasta on mahdollisimman pieni. Riippuen kuinka monta eri tekijää otetaan mukaan selittämään kustannuksia, PNS-

estimoinnin tulokset ovat erilaisia (ks. liite 3). Eri selittävien tekijöiden, kuten vaihteiden ja raidepituuden, oleellisuutta kustannusten vaihtelujen selittämisen kannalta voidaan kuvata t-testillä ilmaistavan tilastollisen merkitsevyyden avulla. Jos jokin muuttuja ei ole tilastollisesti merkitsevä, on perusteltua harkita kyseisen muuttujan jättämistä pois tarkastelusta .

Tutkimuksen tulokset ovat esitetty taulukoissa 10 ja 11. Yksinkertaisuuden vuoksi taulukkoihin on otettu mukaan vain tilastollisesti merkitseviksi osoittautuneet selittävät tekijät. Kunnossapitokustannusten tapauksessa tämä merkitsee, että taulukosta on jätetty pois sekä kunnossapitotaso- että nopeusmuuttuja. HLG -kustannusten tapauksessa myöskään vaihteet eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, joten vaihteiden arvoja ei ole esitetty taulukossa 11. Lisäksi yhteisvaikutustermit  $K^*u$  ja  $K^*y$  on jouduttu jättämään pois tilastollisen merkitsemättömyyden sekä korkean multikollineaarisuuden vuoksi. Kaikki muuttujat kattavat taulukot on esitetty liitteessä 3.

Taulukoista 10 ja 11 havaitaan, että käytetyillä malleilla pystytään kuvaamaan suhteellisen hyvin kustannusten vaihtelua. Kunnossapitokustannusten tapauksessa mallin selitysaste on yli 80% ja HLG -kustannusten tapauksessa 47-56 %. Kustannusluokkien välillä on selvä tasoero selitysasteissa. Esitetyillä malleilla pystytään paremmin kuvaamaan kunnossapitokustannuksia kuin HLG -kustannuksia. On kuitenkin huomattava, että tutkimuksessa on käytetty poikittaisaineistoa. Tällöin yli 50 % selitysastetta voidaan pitää suhteellisen hyvänä selitysasteena<sup>11</sup> (Greene 1997, 256). Lisäksi voidaan todeta, että eri vuosien estimaattien arvot ovat hyvin samansuuntaisia. Myös esitettyjen muuttujien etumerkit vastaavat odotuksia. Toisin sanoen kustannukset lisääntyvät bruttotonnien ja raidepituuden kasvaessa.

---

<sup>11</sup> Vastaavasti edes yli 98% selitysaste, joka on saatu voimakkaan kausivaihtelun aikasarja-aineistosta, ei takaa, että esitetty malli kuvaisi hyvin aineistoa (Maddala 1997, 550-551)

**TAULUKKO 10 Estimoinnin tulokset: Kunnossapitokustannukset**

		1997		1998		1999	
		$\beta$ -kerroin	(t)	$\beta$ -kerroin	(t)	$\beta$ -kerroin	(t)
Bruttotonni (t)	U	0,08	(4,27)	0,13	(6,37)	0,13	(5,36)
Raidepituus (km)	Y	0,62	(7,71)	0,61	(9,83)	0,65	(10,49)
Vaihteet (kpl)	$z_1$	0,37	(5,38)	0,42	(7,60)	0,34	(6,88)
Vakio		9,58	(28,24)	8,61	(25,54)	8,67	(21,96)
Havaintojen lkm		90		90		90	
Selitysaste %		81,2		86,0		86,2	

**TAULUKKO 11 Estimoinnin tulokset: HLG-kustannukset**

		1997		1998		1999	
		$\beta$ -kerroin	(t)	$\beta$ -kerroin	(t)	$\beta$ -kerroin	(t)
Bruttotonni (t)	U	0,29	(4,86)	0,32	(5,41)	0,27	(4,43)
Raidepituus (km)	Y	0,95	(7,13)	0,77	(5,72)	0,90	(7,43)
Korv. inv. (0/1)	K	1,19	(7,15)	1,12	(5,61)	1,16	(7,25)
Vakio		6,32	(5,68)	6,59	(6,00)	6,71	(6,86)
Havaintojen lkm		91		91		91	
Selitysaste %		55,7		47,3		49,3	

Taulukoiden 10 ja 11 sekä liitteen 3 perusteella voidaan muodostaa yhteenveto rautatieliikennönnin kustannusrakenteesta. Ennako-odotuksien mukaisesti bruttotonnit ja raidepituus ovat merkitseviä kustannuksia selittäviä tekijöitä. Kunnossapitokustannusten tapauksessa myös vaihteet on tilastollisesti merkitsevä muuttuja. Kunnossapitokustannuksista vaihteisiin kohdistuvia kustannuksia oli tarkasteluvuosina noin 12% kaikista kunnossapitokustannuksista, joten

on varsin johdonmukaista, että vaihteiden määrällä on vaikutusta kunnossapitokustannuksiin. Sitä vastoin HLG-kustannuksien tapauksessa vaihekustannusten merkitys vähenee, sillä korvausinvestointien keskiarvo oli tarkasteluvuosina noin 40 kertaa suurempi kuin vaihteista aiheutuneet kunnossapitokustannukset. Vastaavasti HLG-kustannuksia selittäessä korvausinvestointia ilmaiseva tasomuuttuja on tilastollisesti erittäin merkitsevä. Tämä merkitsee, että aineistossa rataosilla, joilla on tehty korvausinvestointi, kustannukset ovat selvästi korkeammalla tasolla.

Ennako-odotusten vastaisesti mallin tulosten mukaan kunnossapitotasolla ja nopeudella ei ole vaikutusta kustannuksiin. Erityisesti kunnossapitotason tilastollinen merkitsemättömyys on yllätyksellistä, sillä esimerkkinä käytetyssä ruotsalaistutkimuksessa pystyttiin osoittamaan, että kunnossapitotason ja kunnossapito kustannusten välillä vallitsee yhteys. Suomalaisaineistossa kuitenkin suurin osa rataosista kuuluu joko kunnossapitotasoon 1 tai 2, joten on oletettavaa, että aineistossa ei ole riittävää vaihtelua kunnossapitotason vaikutuksen mallintamiseen. Nopeuden osalta voidaan todeta, että käytetty nopeusmuuttuja on muodostettu keskimääräisistä nopeuksista, jossa muodossaan nopeusmuuttuja on epätarkka. Lisäksi nopeusmuuttujassa on sama ongelma kuin kunnossapitotasoissakin eli eri rataosilla liikutaan suhteellisen samalla nopeudella, ja mallintamiseen tarvittavia nopeuseroja muodostuu vain vähän.

Merkittävin tulos kustannusfunktion estimoinnista on, että saadut  $\beta$ -kertoimien arvot bruttotonneille ovat selvästi alle ykkösen (kunnossapitokustannuksien kertoimet 0,08-0,13 ja HLG-kustannuksien kertoimet 0,27-32). Tämä merkitsee, että prosentin lisäys bruttotonneissa aiheuttaa alle prosentin lisäyksen kustannuksissa. Täten ratainfrastruktuurin ylläpidossa vallitsee kasvavat skaalaedut, kuten hinnoittelun teoriaa käsitelleessä luvussa 3.1.2 oletettiin. Käytännössä tämä tarkoittaa, että mitä enemmän bruttotonneja kuljetetaan rautateilla, sitä pienemmät keskimääräiset kustannukset yhden lisäbruttotonnin kuljettamisesta aiheutuu. Tulos on saman suuntainen ruotsalaistutkimuksessa, jossa kunnossapitokustannuksien bruttotonnien  $\beta$ -kertoimet olivat 0,13-0,29 pääradoilla ja toissijaisilla radoilla 0,23-0,34.



On huomattava, että analysoitavina kustannuksina tutkimuksessa käytettiin toteutuneita kunnossapito- ja korvausinvestointikustannuksia. Mikäli radanpidossa on esimerkiksi ylikapasiteettia, se johtaa ylisuuriin rajakustannusestimaatteihin (Keeler 1974: 201).

### 5.2.6 Tutkimuksen tulokset: Rajakustannukset

#### *Rajakustannusten johtaminen*

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kunnossapito- ja HLG -kustannuksista ratainfrastruktuurin käytön aiheuttamat rajakustannukset. Myös tässä yhteydessä on edetty ruotsalaistutkimuksen antaman esimerkin mukaisesti. Ensin bruttotonnit on kerrottu ratapituudella bruttotonnikilometriä saamiseksi ( $G_{tkm} = U_{it} Y_{it}$ ). Tästä on edelleen johdettu ratayksikön rajakustannukset suhteessa bruttotonnikilometriin ( $G_{tkm_{it}}$ ):

$$MC_{it} = \hat{\beta}^u \frac{C_{it}}{G_{tkm_{it}}} \quad (8)$$

Haluttuun rajakustannusten estimaattiin on päästy vaihtamalla edelliseen kaavaan selittävien tekijöiden estimaatit ja lisäämällä sovitetut kustannukset (fitted cost):

$$MC_{it} = \beta^u \frac{\hat{C}_{it}}{G_{tkm_{it}}} \quad (9)$$

Tällöin  $\hat{C}_{it} = \exp(\alpha_0 + \beta^y y_i + \beta^u u_i + z_i \beta_z + \sigma)$  ja  $\sigma^2$  on *varianssin* estimaatti. Tässä yhteydessä on huomioitavaa, että kaava hivenen poikkeaa ruotsalaistutkimuksesta, koska yksikään bruttotonnien yhteisvaikutustermi muiden muuttujien kanssa ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Ruotsalaistutkimuksen esimerkkiä noudattaen yllä esitetyllä kaavalla on laskettu yksittäisten ratayksiköiden rajakustannukset, joista on edelleen johdettu painotetut keskimääräiset rajakustannukset. Painona on käytetty liikennemääriä eli  $paino_{it} = G_{tkm_{it}} / \sum_i G_{tkm_{it}}$ . Tällä

painotuksella kertyy sama määrä maksutuloja kuin, jos maksut olisivat määrätty ratayksikkökohtaisesti. Täten keskimääräisten rajakustannusten kaavaksi on saatu:

$$\overline{MC}_{it} = \beta^u \frac{\sum_i C_{it}}{\sum_i Gtkm_{it}} \quad (10)$$

Rataosittaisen rajakustannuksen vaihteluväli on laaja. Tätä on havainnollistettu taulukossa 12. Minimi ja maksimi arvoista voidaan havaita, että niiden välinen ero on noin kahden desimaalin kertaluokkaa. Toisin sanoen rajakustannuksiltaan suurimmalla radalla yhden bruttotonnikilometrin kuljetus aiheuttaa noin 100-300 kertaa enemmän kustannuksia kuin rajakustannuksiltaan pienimmällä.

Taulukossa 12 on myös havainnollistettu painotetun keskiarvon ja tavanomaisen keskiarvon välistä eroa. Taulukon suluissa olevat luvut ovat keskiarvojen keskihajontoja. Taulukosta voidaan huomata, että tavanomaisen keskiarvo on kunnossapitokustannusten tapauksessa noin 4 kertaa suurempi kuin bruttotonnikilometreillä painotettu keskiarvo. Puolestaan HLG-kustannuksille vastaava suhdeluku on noin 2,5. Tästä voidaan päätellä, että käytetty malli antaa selvästi pienemmät rajakustannuskertoimet niille rataosille, joilla on paljon bruttotonnikilometrejä.

**TAULUKKO 12 Rajakustannuskertoimien keskiarvot, keskihajonnat sekä minimi- ja maksimi-arvot; suluissa muuttujien t-arvot**

Muuttuja	Keskiarvo		Painotettu keskiarvo		Minimi	Maksimi
Kunnossapito 97	0,00273	(0,00592)	0,00064	(0,00105)	0,00019	0,04134
Kunnossapito 98	0,00421	(0,01231)	0,00096	(0,00120)	0,00038	0,02742
Kunnossapito 99	0,00311	(0,00529)	0,00094	(0,00138)	0,00030	0,09788
HLG-kustannukset 97	0,01858	(0,03082)	0,00751	(0,00709)	0,00177	0,20600
HLG-kustannukset 98	0,01802	(0,03463)	0,00747	(0,00620)	0,00134	0,31784
HLG-kustannukset 99	0,01472	(0,02029)	0,00623	(0,00569)	0,00110	0,11793

*Ratamaksun tuotto rajakustannushinnoittelulla*

Taulukkoon 13 on koottu, miten suureksi tarkasteluajanjakson ratamaksun tuotto olisi muodostunut, jos maksuperusteena olisi käytetty bruttotonnikilometreillä painotettua rajakustannuskerrointa. Taulukossa on oletettu, että rataverkolla liikennöitiin 32 886 (1997), 32 955 (1998) ja 32 722 (1999) miljoonaa bruttotonnikilometriä (Ratahallintokeskus 2001, 26). Bruttotonniluvut olisi voitu laskea myös mallin muuttujista, mutta koska erityisesti ratapituus luvuissa on epätarkkuuksia, on oheisen taulukukon laskelmissa käytetty tilastoituja bruttotonnikilometriarvoja<sup>12</sup>.

**TAULUKKO 13 Rajakustannuskertoimet, 95 prosentin luottamusvälit ja niitä vastaavat ratamaksutuotot, Mmk**

Vuosi	$\beta$ -kerroin	95 % luottamusväli	Rajakust. kerroin (p/btkm)	95 % luottamusväli rajakust. kerroin (p/btkm)	Tuotto $\beta$ -kerroin (Mmk)	Tuotto 95 % luottamusväli (Mmk)
Kunnossapito 1997	0,08	(0,03-014)	0,065	(0,021-0,110)	21,5	(6,7-36,1)
Kunnossapito 1998	0,13	(0,09-0,17)	0,094	(0,065-0,123)	30,9	(21,3-40,6)
Kunnossapito 1999	0,13	(0,08-0,18)	0,096	(0,060-0,131)	31,3	(19,8-43,1)
HLG-kustannukset 1997	0,29	(0,17-0,41)	0,751	(0,444-1,058)	247,0	(145,1-346,3)
HLG-kustannukset 1998	0,32	(0,19-0,47)	0,764	(0,438-1,089)	251,6	(144,2-359,0)
HLG-kustannukset 1999	0,27	(0,15-0,39)	0,622	(0,343-0,903)	203,9	(112,8-296,9)

Taulukon 13 mukaan pelkkiin kunnossapitokustannuksiin perustuva hinnoittelumenettely toisi noin kymmenen kertaa pienemmän ratamaksu tuoton kuin HLG-kustannuksiin perustuva menettely. Jos kuitenkin otetaan huomioon, mistä kustannuksista luvut on johdettu, niin eri kustannusluokkien välinen ero ei ole yhtä huomattava. Toisin sanoen kunnossapitokustannuksiin perustuva menettely kattaisi 7-12 % analysoitavista kustannuksista ja HLG-kustannuksiin perustuva menettely noin 17 %. Tämä voidaan todeta vertaamalla

<sup>12</sup> Mallin ennustamat arvot olisivat olleet 32 976 (1997), 32 097 (1998) ja 32 799 (1999).

taulukon 13 lukuja taulukkoon 6, jossa on esitetty analysoitavat kustannukset. Vastaava ruotsalaistutkimuksessa laskettu arvo kunnossapitokustannuksille oli 10-12%, joten molemmat tutkimukset antavat samansuuntaisia tuloksia.

Poistettavia havaintoja käsitelleessä luvussa tuli esille, että suhteellisen pienillä aineistomuutoksilla oli suuri vaikutus kertoimiin. Liitteessä 2 esitettyjen testien mukaan regressioiden jäännökset ovat normaalisti jakautuneet. Tämä merkitsee, että kertoimille voidaan esittää 95% luottamusväli. ”Oikeat” rajakustannuskertoimet ja niitä vastaavat tuottotasot ovat 95% todennäköisyydellä esitetyllä luottamusvälillä. Myös nämä arvot ovat esitetty taulukossa 13.

Aiemmin käytössä ollut rajakustannusten laskentapa perustui rata-asiantuntijoiden arvioon, missä määrin eri kunnossapitotoimien menot riippuvat liikennemäärästä (vrt. taulukko 3). Kyseiset eri kunnossapitotoimien kustannukset ovat mahdollista ottaa regressiomallin selittäväksi tekijäksi ja testata, missä määrin aineisto tukee asiantuntija-arvioissa esitettyjä prosenttilukuja. Tulokset tällaisesta testauksesta on esitetty liitteessä 4. Lisäksi mukana on regressioita, jossa selitettävänä tekijänä on käytetty korvausinvestointikustannuksien eri osatekijöitä sekä HLG-kustannuksien ja laajennusinvestointien summaa.

Liitteen 4 tuloksista voidaan todeta, että toisin kuin asiantuntija arviossa oli esitetty, sähkökunnossapitokustannukset näyttäisivät aiheutuvan liikennemäärästä jopa enemmän kuin peruskunnossapitokustannukset. Tämä johtunee siitä, että mitä vilkkaampi liikenne sitä enemmän rataosalle tarvitaan sähköllä toimivia turva- ym. laitteita. Kun sähkölaitteet ovat asennettu, yksittäinen juna ei aiheuta juurikaan lisäkustannusta. Toisin sanoen sähkökunnossapitokustannukset kohdistuvat kaikkein eniten liikennöidyille rataosille. Laajennusinvestointikustannusten mukaan ottamisesta tarkasteluihin voidaan havaita, ettei se muuta bruttotonnien kerrointa. Tämä aiheutunee siitä, että korvaus- ja laajennusinvestoinnit kohdistuvat pääasiassa samoille rataosille. Korvausinvestointikustannusten eri osatekijöiden regressioita voidaan todeta, että kyseisiä kustannuksia kohdistuu vain osalle tarkastelun rataosista. Tämä vähentää havaintojen määrää ja heikentää selitystasetta. Erityisesti päällysrakennekorvausinvestointien selittämiseen mallia ei voida pitää soveltuvana (selitystaste 8-15%). Sen sijaan malli toimii paremmin turvalaite- ja alusrakenne

korvausinvestointien selittäjänä (selitysasteet 31-43%). Erityisesti turvalaitekorvausinvestointien tapauksessa saadut bruttotonnikerroimet (0,43-0,97) ovat huomattavasti korkeampia kuin taulukoiden 10 ja 11 tulokset. Tämä antaa viitteitä siitä, että myös turvalaitteiden korvausinvestoinnit aiheutuvat pitkälti liikennemäärästä.

### **5.2.7 Rajakustannuskertoimen soveltaminen käytännön hinnoitteluun**

Ensimmäinen huomion arvoinen seikka on, että laskettu rajakustannuskerroin edustaa vain radan kulumista koskevia kustannuksia. Toisin sanoen käytäntöön sovellettava ratamaksu sisältää Suomessa myös onnettomuuksista- ja päästöistä aiheutuneet yhteiskuntataloudelliset kustannukset. Vuoden 2001 ratamaksua varten myös onnettomuus- ja päästökustannusten laskentamenetelmiä on tarkennettu. Näistä on tehty omat erilliset selvitystyöt. Päästökustannusten osalta tulokset on julkaistu ”Rautatieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamat ympäristökustannukset” –julkaisussa (Gynther, Hämekoski & Otterström 1999). Onnettomuuskustannuksien laskentatapoja on selvennetty julkaisussa ”Rautatieonnettomuuksien sisäiset ja ulkoiset kustannukset” (Tervonen 2000).

Vuonna 1997 perittäväksi esitetyn ratamaksun kokonaismäärä ja jakaantuminen eri osatekijöihinsä esitettiin taulukossa 1. Kunnossapidosta aiheutuneita kustannuksia oli 252 mmk. Luku vastaa melko hyvin tässä tutkimuksessa saatuja HLG-kustannuksilla laskettuja kustannuksia, joiden mukaan infrastruktuurikustannusten osalta ratamaksua tulisi periä 204-252 mmk. Toisin sanoen uusien laskentamenetelmien käyttöönotto, ei muuttaisi ratamaksun kokonaistuottoa infrastruktuurikustannusten osalta.

Aiemmin käytetyssä laskentatavassa tavaraliikenteen bruttotonnikerroin oli korkeampi kuin henkilöliikenteen. Tämän tutkimuksen laskentatapa ei mahdollista tätä erittelyä, vaan laskentatapa antaa yhden yhteisen kertoimen kummallekin liikennöintitalle. Tästä seuraa, että henkilöliikenteen bruttotonnikerroin suhteessa tavaraliikenteeseen nousee. Tutkimuksessa ratapihoihin kohdistuneet kustannukset ovat rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Tavaraliikenne käyttää huomattavasti enemmän ratapihoja toiminnassaan. Tätä kautta tavaraliikenteen korkeampi bruttotonnikerroin voisi olla perusteltu. Aiheen selvittäminen vaatii oman erillisen tutkimuksensa.

## 6. YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli tarkentaa ratamaksun infrastruktuurikustannuksien laskentaperusteita. Yhtäältä laskentaperusteiden tarkentamisen tarve muodostui kotimaisesta tarpeesta täsmentää laskentamenetelmiä ja toisaalta EU:n lainsäädäntömuutoksista, joissa veloitetaan radan käyttömaksujen pääsääntöisesti pohjautuvan lyhyen aikavälin rajakustannuksiin.

Tutkimus aloitettiin käymällä läpi ratamaksun lainsäädännöllistä taustaa EU:n direktiiveissä ja Suomen laissa. Lainsäädännön käytäntöön soveltamista tarkasteltiin vertailemalla muutamissa eri EU maissa sovellettuja ratamaksukäytäntöjä. Lainsäädännöllisen taustan selvittämisen jälkeen perehdyttiin infrastruktuurin hinnoittelun talousteoriaan. Esille tuotiin muutama hinnoittelumenetelmä. Rajakustannushinnoittelun todettiin olevan tehokkain tapa hinnoitella infrastruktuuri. Kirjallisuuskatsauksen lopuksi esiteltiin referenssitutkimuksena käytetty Ruotsin rautateiden kunnossapitokustannuksia käsittelevä tutkimus.

Tutkimuksen empiirisessä osiossa selvitettiin, missä määrin infrastruktuurikustannukset aiheutuvat liikennemäärästä. Menetelmänä käytettiin referenssitutkimuksen tapaan ekonometristä mallintamista. Analysoitavina kustannuksina käytettiin EU:n työryhmän suositusten mukaisia kustannuksia (HLG-kustannuksia), jotka muodostuivat kunnossapito- ja korvausinvestointikustannusten summasta. Lisäksi, jotta vertailu ruotsalaistutkimukseen olisi mahdollinen, mallintaminen suoritettiin myös pelkillä kunnossapitokustannuksilla.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että tärkeimmät radan infrastruktuurikustannuksia selittävät tekijät ovat raidepituus ja liikennemäärä (mitattuna bruttotonneina). Saadut liikennemäärän joustokertoimet olivat selvästi alle yhden niin kunnossapito- kuin HLG-kustannuksilla lasketuilla yhtälöillä. Tämä merkitsee, että mikäli radankäytön maksut asetetaan vastaamaan saatuja rajakustannuksia, kattavat maksutuotot vain osan kokonaiskustannuksista. Saadut tulokset kunnossapitokustannuksille olivat samansuuntaisia ruotsalaisen referenssitutkimuksen kanssa.

Toinen tutkimuksen johtopäätös oli, että käytetyllä mallilla voitiin paremmin selittää kunnossapitokustannuksia kuin kunnossapitokustannusten ja korvausinvestointikustannusten summasta muodostuneita HLG-kustannuksia. Tulos oli odotettu, sillä aineistona tutkimuksessa oli vain kolmen vuoden rataosittaiset kustannukset. Suurempia korvausinvestointeja tehdään keskimäärin noin joka 30. vuosi, joten ihanteellisessa tapauksessa korvausinvestointikustannuksien mallintamiseen tulisi olla käytössä vähintään vastaavan mittaiset aikasarja-aineistot.

Saatujen bruttotonnien rajakustannuskertoimien käytäntöön soveltaminen ei juuri muuta ratamaksun kokonaismaksutasoa infrastruktuurikustannusten osalta. Sen sijaan tässä tutkimuksessa esitetty laskutapa heikentäisi hieman henkilöliikenteen suhteellista markkina-asemaa tavaraliikenteeseen nähden, sillä aiemmin käytössä olleessa laskutavassa henkilöliikenteellä on ollut suhteessa pienempi maksukerroin bruttotonnien suhteen. Tämän tutkimuksen tutkimusmenetelmillä henkilöliikennettä ja tavaraliikennettä ei pystytä erottamaan toisistaan, joten tulokseksi on saatu yksi yhteinen bruttotonnien kerroin.

Saadut bruttotonnikertoimet johdettiin tarkasteluvuosien hintatasosta. Jatkossa bruttotonnikertoimia tulee päivittää vastaamaan inflaatiomuutoksia. Inflaatiopäivitykset eivät kuitenkaan huomio radanpitokustannusten rakenteellisia muutoksia, kuten toiminnan tehostumista. Näiden muutoksien selvittämiseksi olisi hyvä, että rajakustannuskertoimet johdettaiisiin uudelleen viimeisimmästä radanpidon kustannusaineistosta esimerkiksi joka viides vuosi. Pidempi aikasarja mahdollistaisi myös paremman korvausinvestointikustannusten mallintamisen. Tässä tutkimuksessa esitettyjen laskelmien päivittämisen lisäksi olisi hyvä, että jatkossa selvitetäisiin, tulisiko myös ratapihakustannukset sisällyttää ratamaksun laskentaperusteisiin.

## LÄHTEET

- Boadway W.R. & Wildasin D.E. 1984. Public Sector Economics, 2nd Edition. Boston : Little, Brown and Company.
- Button K.J. 1993. Transport Economics, 2nd Edition. Cambridge: University Press.
- Chatterjee S. & Prince B 1991. Regression Analysis by Example. 2d ed. New York: John Wiley & Sons
- Euroopan komissio 1988. Fair Payment for Infrastructure Use: A Phased Approach to a Common transport Infrastructure Charging Framework in the EU. White Paper. Directorate- General VII Transport. Directorate B- Inland transport. Bryssel.
- Euroopan komissio 1999. Calculating Transport Infrastructure Costs: Final report of the expert advisors to the high level group in infrastructure charging (working group 1). Bryssel.
- Euroopan komissio 2000a. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi rautateideninfrastruktuurikapasiteetin käyttöoikeuden myöntämisestä ja rautateiden infrastruktuurin käyttömaksujen perimisestä sekä turvallisuustodistusten antamisesta, sovittelukomitean hyväksymä yhteinen teksti. Bryssel .
- Directive 91/440/ECC on development of the Community's railway
- Direktiivi 95/18/ EY rautatieyritysten toimiluvista
- Direktiivi 95/19/EY rataverkon käyttöoikeuksista
- Greene W.H 1997: Econometric Analysis, 3th Edition. New Jersey: Prentice-Hall.
- Gynther L., Hämekoski K. & Otterström T. 1999. Rautatieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamat ympäristökustannukset. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 2/1999, Helsinki
- Johansson P. & Nilsson J-E. 1998. An Economic Analysis of Track Maintenance Costs. Economics Department. School of Transport and Society. Dalarna University. Paper no 881 for the 8th WCTR
- Keeler T. 1974. Railroad costs, returns to scale and excess capacity. The Review of Economics and Statistics 2: 201- 208.
- Kmenta J. 1986. Elements of Econometrics, 2nd Edition. New York: Macmillan Publishing Company.



- Suomen laki 1995. Laki valtion rataverkosta, radanpidosta ja rataverkon käytöstä. Laki 21/1995
- Liikenneministeriö 1995. Liikenteen ulkoiset haitat ja väyläkustannukset huomioon ottava hinnoittelu. Liikenneministeriön julkaisuja 4/95. Helsinki
- Maddala G.S. 1992. Introduction to Econometrics, 2nd Edition. New Jersey: Prentice-Hall.
- Moilanen P. 2000. "Assessing the Effectiveness of Marginal Cost Pricing in Transport - the Helsinki Case". Vatt-discussion papers 223/2000. Helsinki 2000
- Nera 1998: An Examination of Rail Infrastructure Charges. Draft Final Report for the European Commission. DG VII, London 1998
- PricewaterhouseCoopers 1999. A Comparison of Rail and Road Prices on Two International Corridors- Including an In-depth Study on Rail Infra Charges. UIC. Utrecht 1999
- Ramsey J.B. 1969. Tests for specification errors in classical linear least squares regression analysis. Journal of the Royal Statistical Society, Series B 31:350-370
- Ratahallintokeskus 1996. Ratamaksun määrittäminen Suomeen. Ratahallintokeskuksen muistio 4.6.1996
- Ratahallintokeskus 1999a. Tulisiko ratamaksun periaatteita muuttaa, Ratahallintokeskuksen muistio 7.9.1999
- Ratahallintokeskus 1999b. Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO)
- Ratahallintokeskus 2001. Rautatietilasto 2000. Helsinki
- Ratahallintokeskus 2001. Vuosikertomus 2000. Helsinki
- Royston P. (1992). Approximating the Shapiro-Wilk W-test for non-normality. Statistics and Computing 2: 117-199.
- Shapiro S.S. & Wilk M.B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika 52: 591-611.
- Tervonen J., Metsäranta H. & Goegel A. 2000. Estimating and Charging Marginal Transport Costs in Finland, draft final report 15.9.2000. Helsinki 2000
- Tervonen J. 2000. Rautatieonnettomuuksien sisäiset ja ulkoiset kustannukset. Ratahallintokeskus, Kehittämisyksikkö. Helsinki 2000. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 11/2000.
- UIC/CER 1998. Infrastructure Cost Recovery under Allocatively Efficient Pricing. UIC/CER Economic Expert Study, draft study report by Dr. Rana Roy. London 1998

Welsch S. 1982. Influence functions and regression diagnostics. In *Modern Data Analysis*, ed. R.. Launer and A. Siegel, 194-196. New York: Academic Press

White H. 1980. A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct tests for heteroskedasticity. *Econometrica* 48: 817-830.

[www.cordis.lu](http://www.cordis.lu)

[www.its.leeds.ac.uk](http://www.its.leeds.ac.uk)

[www.rhk.fi](http://www.rhk.fi)

[www.vatt.fi](http://www.vatt.fi)

[www.vr.fi](http://www.vr.fi)

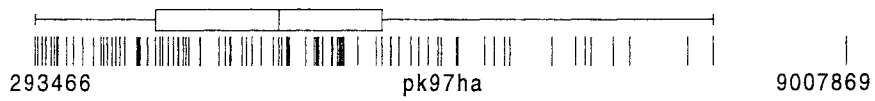
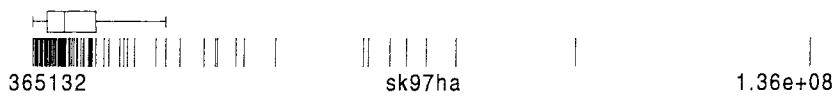
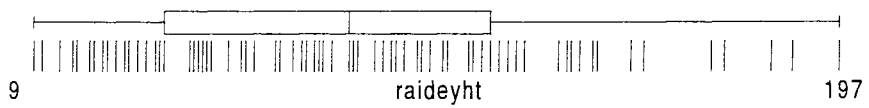
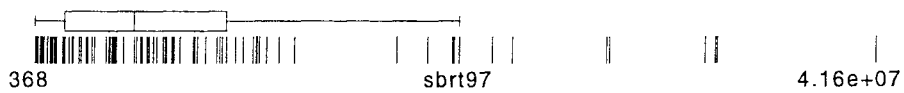
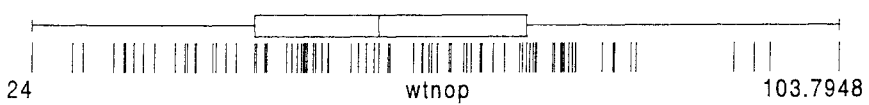
[europa.eu.int](http://europa.eu.int)

# LIITE

## LIITE 1 Korrelaatiotaulu, vuoden 1997 aineisto, 93 kappaletta rataosia

Muuttuja	HLG-kust.	KP-kust.	Bruttotonnit	Raide km	Vaihteet	Nopeus	KP-taso	K (0/1)	Bruttot.* raide km	Bruttot.* vaihteet	Bruttot.* nopeus	Bruttot.* kp-taso	Bruttot.* K
HLG-kust.	1,00												
KP-kust.	0,26	1,00											
Bruttotonnit	0,35	0,30	1,00										
Raide km	0,26	<b>0,65</b>	0,03	1,00									
Vaihteet	0,43	<b>0,69</b>	0,49	<b>0,55</b>	1,00								
Nopeus	0,39	0,43	0,37	0,35	0,28	1,00							
KP-taso	-0,30	-0,45	<b>-0,58</b>	-0,18	-0,32	<b>-0,84</b>	1,00						
K (0/1)	0,25	0,22	0,26	0,14	0,28	0,25	-0,26	1,00					
Bruttot.* raide km	0,44	0,49	<b>0,84</b>	0,38	<b>0,68</b>	0,43	-0,49	0,23	1,00				
Bruttot.* vaihteet	0,33	0,42	<b>0,81</b>	0,19	<b>0,74</b>	0,16	-0,31	0,18	<b>0,85</b>	1,00			
Bruttot.* nopeus	0,49	0,33	<b>0,94</b>	0,10	0,47	<b>0,54</b>	-0,64	0,26	<b>0,82</b>	<b>0,70</b>	1,00		
Bruttot.* kp-taso	0,21	0,19	<b>0,79</b>	-0,03	<b>0,51</b>	0,06	-0,25	0,23	<b>0,70</b>	<b>0,87</b>	<b>0,61</b>	1,00	
Bruttot.* K	0,37	0,29	<b>0,99</b>	0,04	<b>0,50</b>	0,35	<b>-0,55</b>	0,37	<b>0,83</b>	<b>0,80</b>	<b>0,93</b>	<b>0,79</b>	1,00
Raide km * vaihteet	0,39	<b>0,74</b>	0,35	<b>0,77</b>	<b>0,90</b>	0,32	-0,28	0,24	<b>0,67</b>	<b>0,61</b>	0,36	0,35	0,37
Raide km * nopeus	0,37	<b>0,66</b>	0,17	<b>0,90</b>	<b>0,53</b>	<b>0,67</b>	-0,46	0,19	<b>0,50</b>	0,21	0,30	-0,02	0,17
Raide km * KP-taso	-0,08	0,13	-0,38	<b>0,63</b>	0,14	-0,35	<b>0,54</b>	-0,04	-0,17	-0,11	-0,40	-0,18	-0,34
Raide km * K	0,34	<b>0,59</b>	0,15	<b>0,80</b>	<b>0,57</b>	0,37	-0,24	<b>0,62</b>	<b>0,43</b>	0,25	0,21	0,09	0,22
Vaihteet * nopeus	<b>0,57</b>	<b>0,71</b>	0,50	<b>0,58</b>	<b>0,89</b>	<b>0,60</b>	<b>-0,55</b>	0,30	<b>0,70</b>	<b>0,58</b>	<b>0,60</b>	0,32	<b>0,50</b>
Vaihteet * KP-taso	0,06	0,27	0,00	0,37	<b>0,63</b>	-0,39	0,41	0,14	0,17	0,41	-0,13	0,34	0,03
Vaihteet * K	0,45	<b>0,64</b>	0,51	0,48	<b>0,95</b>	0,29	-0,33	<b>0,54</b>	<b>0,67</b>	0,71	0,49	<b>0,52</b>	<b>0,55</b>
Kp-taso *K	-0,06	-0,15	-0,28	0,00	-0,02	-0,39	0,52	0,60	-0,23	-0,12	-0,33	-0,02	-0,20

Muuttuja	Raide km * nopeus	Raide km * KP-taso	Raide km * K	Vaihteet * nopeus	Vaihteet * KP-taso	Vaihteet * K	Kp-taso *K
Raide km * nopeus	1,00						
Raide km * KP-taso	0,28	1,00					
Raide km * K	<b>0,78</b>	0,40	1,00				
Vaihteet * nopeus	<b>0,72</b>	-0,05	<b>0,61</b>	1,00			
Vaihteet * KP-taso	0,09	<b>0,63</b>	0,34	0,28	1,00		
Vaihteet * K	<b>0,49</b>	0,09	<b>0,69</b>	<b>0,86</b>	<b>0,58</b>	1,00	
Kp-taso *K	-0,18	0,41	0,30	-0,20	0,45	0,15	1,00

**LIITE 2 PNS-oletusten toteutuminen aineistossa*****Mallin tekijöiden tunnistettavuus*****A. Muuttujien jakaumat****Kunnossapitokustannukset****HLG-kustannukset****Raidepituus****Bruttotonnit****Vaihteet****Nopeus**

## B. Multikollinearisuus

Multikollinearisuuden selvittämiseen voidaan käyttää VIF-arvoja, jotka lasketaan kaavalla:

$$VIF(x_j) = \frac{1}{1 - R_j^2},$$

Yhtälössä  $R_j^2$  on monimuuttuja korrelaation kerroin, kun  $x_j$  on regressoitu kaikkia muita selittäviä tekijöitä vastaan. Selviä merkkejä multikollinearisuuden olemassa olost on, jos yksittäisen muuttujan VIF-arvo on yli kymmenen tai kaikkien VIF-arvojen keskiarvo on huomattavasti yli yhden (Chatterjee 1991, 191-193). Testit osoittavat, että aineistossa ei ole merkittävässä määrin multikollinearisuutta.

### 1. Kunnossapitokustannukset

Variable	VIF	1/VIF
-----+-----		
raidekm	2.28	0.438227
brottonnit	1.06	0.944304
lnvaih	2.33	0.429200
-----+-----		
Mean VIF	1.89	

### 2. HGL-kustannukset

Variable	VIF	1/VIF
-----+-----		
brottonnit	1.06	0.946449
raidekm	1.02	0.981634
K(0/1)	1.07	0.937586
-----+-----		
Mean VIF	1.05	

### *Virhetermin odotusarvo nolla*

Mallista puuttuu selittäviä tekijöitä, jos virhetermin odotusarvio on satunnaismuuttujaa. Mallista puuttuvia tekijöitä selvitetty testillä (Ramsey 1969), joka estimoii regression  $y_i = x_i b + z_i t + u_i$  ja suorittaa F testin olettaen, että  $t=0$ . Perustestissä käytetään muotoa  $z_i = (\hat{y}_i^2, \hat{y}_i^3, \hat{y}_i^4)$ . Ennen potenssiin

korotuksia muuttujat ovat normalisoitu (minimi arvon 0 ja maksimiarvon 1). Alla on esitetty testi kunnossapitokustannuksille ja HLG-kustannuksille. Testien mukaan malleista ei pitäisi puuttua selittäviä tekijöitä.

#### 1. Kunnossapitokustannukset 1997

Ramsey RESET test using powers of the fitted values of kunnossapitokustannukset 97

Ho: model has no omitted variables

$$F(3, 83) = 1.03$$

$$\text{Prob} > F = 0.3842$$

#### 2. HLG-kustannukset 1997

Ramsey RESET test using powers of the fitted values of HLG-kustannukset 97

Ho: model has no omitted variables

$$F(3, 84) = 0.10$$

$$\text{Prob} > F = 0.9571$$

### ***Virhetermin normaalijakauma***

Virhetermin normaalijakauman testaamiseen on käytetty Shapiron ja Wilkin kehittämään testiä (Shapiro 1965). Testi laskee kaksi testisuuretta  $W:n$  ja  $V:n$ . Normaalijakauma tarkastelun kannalta testisuureista merkittävämpi on  $V$ , joka saa arvon 1, mikäli testattu muuttuja noudattaa normaalijakaumaa. Raja-arvo  $V$ :lle, jolla testattava muuttuja ei enää 95% todennäköisyydellä ole normaalisti jakautunut riippuu havaintojen lukumäärästä ollen 1,2-2,4 (Royston 1992). Alla olevista testeistä havaitaan, että kunnossapitokustannusten jäännöksen  $V$  arvo on 1,076 ja HLG-kustannusten 0,718. Kummatkin arvot ovat selvästi alle 1,2, joten jäännöksen normaalijakauma oletusta ei voida hylätä.

#### 1. Kunnossapitokustannukset 1997

Shapiro-Wilk W test for normal data					
Muuttuja	Hav.	W	V	z	Pr > z
jäännös 97	90	0.98578	1.076	0.161	0.43606

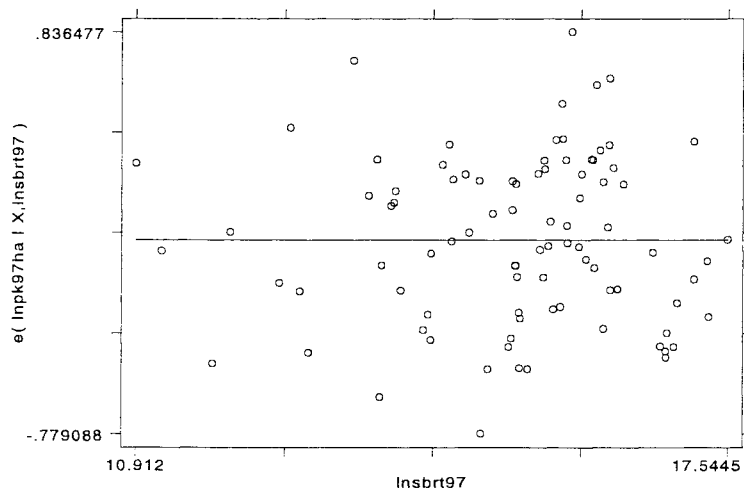
## 2. HLG-kustannukset 1997

Shapiro-Wilk W test for normal data					
Muuttuja	Hav.	W	V	z	Pr > z
jäännös 97	91	0.99059	0.718	-0.730	0.76735

*Heteroskedastisuus*

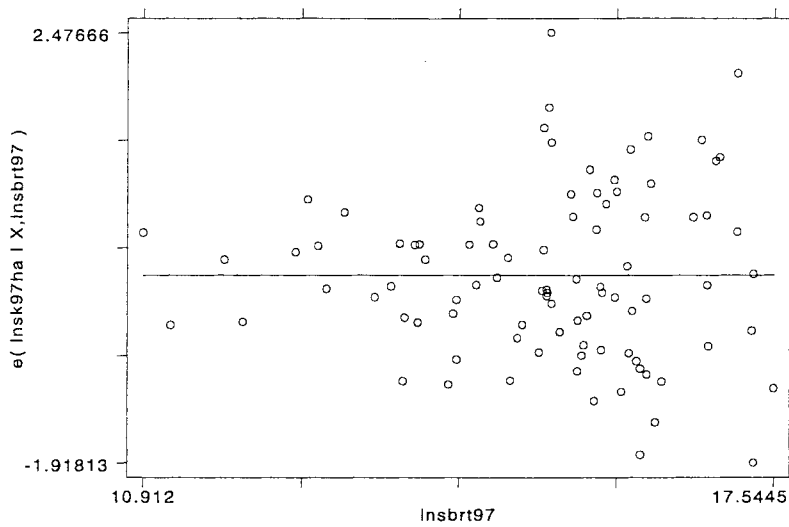
Jos mallissa on heteroskedastisuutta virhetermin keskihajonta ei ole vakio. Aihetta on tarkasteltu graafisen esityksen kautta, jossa on verrattu muuttujan jäännöksiä ennustettuihin arvoihin. Alla olevissa esimerkkikuviossa on käytetty tarkasteltavana muuttujana bruttotonneja. Kuten kuvioista voidaan huomata, HGL-kustannuksilla laskettaessa bruttotonniin jäännösten keskihajonta kasvaa, kun bruttotonnit lisääntyvät. Toisin sanoen keskihajonta ei ole vakio ja täten aineistossa esiintyy heteroskedastisuutta. Sen sijaan kunnossapitokustannuksilla laskettaessa jäännösten hajonta pysyy lähellä vakiota.

## 1. Kunnossapitokustannukset 1997





## 2. HLG-kustannukset 1997



### *Autokorrelaatio*

Autokorrelaation testaaminen edellyttäisi, että havainnot voitaisiin laittaa järjestykseen esimerkiksi paikan tai ajan mukaan. Tutkimuksessa käytetty aineisto koostuu yhden vuoden rataverkkohavainnoista, joita ei voi laittaa peräkkäiseen järjestykseen, sillä rataverkko menee paikoitellen ristikkäin. Useimmiten autokorrelaation syynä on poisjätetty muuttuja. Tässä aineistossa autokorrelaatiota on jouduttu testaamaan epäsuorasti tarkastelemalla poisjätettyjen muuttujien testin tuloksia. Aihetta tarkasteltiin aiemmin kohdassa "Virhetermin odotusarvo nolla", jossa todettiin, että malleista ei puutu merkittäviä selittäviä tekijöitä.

### LIIITE 3 Poikkeavat havainnot ja yhtälömuoto

HLG-Kustannukset 1997

Hav. lkm	Selitysaste	Bruttotonnit β-kerroin (t)	Raide km β-kerroin (t)	K (0/1) β-kerroin (t)	Vaihteet β-kerroin (t)	Nopeus β-kerroin (t)	KP-taso β-kerroin (t)	Vakio β-kerroin (t)	Rajakust.-kerroin (0.01 mik/btkm)
91	0,58	0,30 (2,77)	0,60 (2,61)	1,08 (6,12)	0,37 (1,61)	0,75 (1,28)	0,17 (1,45)	2,85 (0,98)	0,007995
91	0,57	0,22 (2,47)	0,63 (2,81)	1,11 (6,49)	0,33 (1,45)	0,23 (0,56)	-	6,59 (5,97)	0,005851
91	0,57	0,25 (4,20)	0,70 (3,84)	1,12 (6,50)	0,31 (1,37)	-	-	6,87 (6,42)	0,006734
91	0,56	0,29 (4,86)	0,95 (7,13)	1,19 (7,15)	-	-	-	6,32 (5,68)	0,007509
89	0,58	0,31 (5,61)	0,99 (7,54)	1,19 (7,07)	-	-	-	5,80 (5,57)	0,008820
89	0,55	0,29 (4,91)	0,89 (6,73)	1,22 (7,26)	-	-	-	6,53 (5,91)	0,007567
93	0,56	0,09 (1,14)	0,51 (2,21)	1,04 (5,99)	0,35 (1,52)	0,73 (1,32)	0,04 (0,41)	6,86 (2,78)	0,002402
93	0,56	0,08 (1,10)	0,53 (2,40)	1,06 (6,15)	0,34 (1,52)	0,58 (1,48)	-	7,74 (7,59)	0,002122
93	0,55	0,15 (2,54)	0,68 (3,85)	1,08 (6,18)	0,26 (1,22)	-	-	8,76 (8,36)	0,003689
93	0,54	0,17 (3,05)	0,91 (6,80)	1,14 (6,62)	-	-	-	8,29 (7,71)	0,004325

Kunnossapitokustannukset 1997

Hav. lkm	Selitysaste	Bruttotonnit β-kerroin (t)	Raide km β-kerroin (t)	K (0/1)	Vaihteet β-kerroin (t)	Nopeus β-kerroin (t)	KP-taso β-kerroin (t)	Vakio β-kerroin (t)	Rajakust.-kerroin (0.01 mik/btkm)
90	0,83	-0,02 (-0,50)	0,55 (5,79)	-	0,39 (-2,34)	-0,09 (-0,32)	-0,12 (-2,34)	11,97 (8,56)	-0,000153
90	0,81	0,04 (1,12)	0,53 (4,98)	-	0,42 (5,44)	0,29 (1,58)	-	9,20 (16,83)	0,000315
90	0,81	0,08 (2,90)	0,60 (7,35)	-	0,39 (5,41)	-	-	9,54 (20,07)	0,000654
90	0,74	0,12 (4,21)	0,93 (13,98)	-	-	-	-	8,86 (17,16)	0,000998
89	0,80	0,07 (2,54)	0,59 (7,16)	-	0,39 (5,42)	-	-	9,77 (20,91)	0,0005621
89	0,82	0,08 (2,98)	0,64 (8,30)	-	0,36 (5,28)	-	-	9,49 (20,05)	0,000674
89	0,79	0,09 (3,02)	0,61 (7,46)	-	0,36 (4,84)	-	-	9,52 (19,97)	0,000698
93	0,79	-0,03 (-0,69)	0,58 (5,81)	-	0,32 (3,86)	0,08 (0,29)	-0,11 (-2,00)	11,58 (8,18)	-0,000265
93	0,78	-0,01 (-0,14)	0,54 (4,89)	-	0,35 (4,15)	0,45 (2,15)	-	9,40 (17,53)	-0,000049
93	0,76	0,05 (1,46)	0,66 (7,44)	-	0,30 (3,43)	-	-	10,19 (18,03)	0,000368
93	0,72	0,08 (3,09)	0,92 (13,73)	-	-	-	-	9,63 (19,75)	0,000651

## LIITE 4 Sektorikohtaiset rajakustannuskertoimet 1997

Kustannus	Hav. lkm	Seli- tysas- te	Bruttotonnit		Raide km		K (0/1)		Vaihteet		Nopeus		KP- taso		Vakio	
			β- ker- roin	(t)	β- kerroin	(t)	β- ker- roin	(t)	β- ker- roin	(t)	β- kerroin	(t)	β- kerroin	(t)	β- kerroin	(t)
HLG+laajennusinv.	91	0,55	0,33	5,43	0,95	6,45	1,25	7,20	-	-	-	-	-	-	5,81	5,12
HLG+laajennusinv.	93	0,53	0,33	5,43	0,95	6,45	1,25	7,20	-	-	-	-	-	-	5,81	5,12

Kustannus	Hav. lkm	Seli- tysas- te	Brut- toton- nit		Raide km		K (0/1)		Vaih- teet		Nope- us		KP- taso		Vakio	
			β- ker- roin	(t)	β- kerroin	(t)	β- ker- roin	(t)	β- ker- roin	(t)	β- kerroin	(t)	β- kerroin	(t)	β- kerroin	(t)
Turvalaite (korv.inv.)	31	0,38	0,96	20,12	0,81	0,58	-	-	1,24	1,31	0,71	0,19	0,66	0,96	-21,40	-1,38
Turvalaite (korv.inv.)	31	0,36	0,57	2,40	0,97	0,87	-	-	1,22	1,35	-	-	-	-	-11,54	-2,26
Turvalaite (korv.inv.)	31	0,32	0,78	3,87	2,13	3,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-15,01	-3,39
Turvalaite (korv.inv.)	31	0,34	0,43	2,41	-	-	-	-	1,87	3,67	-	-	-	-	-7,67	-2,64
Päälysrakenne (korv.inv.)	47	0,15	0,86	1,71	0,54	0,81	-	-	0,37	0,70	1,84	0,67	0,80	1,68	-18,68	-1,16
Päälysrakenne (korv.inv.)	47	0,08	0,29	0,89	0,78	1,70	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12	0,02
Alusrakenne (korv.inv.)	20	0,43	0,22	0,53	0,50	0,59	-	-	1,10	0,96	0,15	0,07	-0,20	-0,24	-3,95	-0,31
Alusrakenne (korv.inv.)	20	0,31	0,56	3,41	1,39	2,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-8,61	-1,92
Sähkökunnossapito	91	0,82	0,19	2,43	0,21	1,54	-	-	0,62	4,71	0,30	0,92	-0,32	-4,32	6,67	3,52
Sähkökunnossapito	91	0,82	0,19	2,55	0,26	1,91	-	-	0,60	4,31	-	-	-0,36	-6,12	7,83	5,58
Peruskunnossapito	91	0,75	-0,08	-1,71	0,64	5,92	-	-	0,30	3,18	0,09	0,26	-0,03	-0,45	11,50	6,68
Peruskunnossapito	91	0,74	-	-	0,72	7,66	-	-	0,26	3,01	-	-	-	-	10,46	37,58