



Oona-Lina Koskela

Ratojen elinkaariajattelu ja ratahankkeiden kannattavuuslaskennan ongelmat

Oona-Lina Koskela

Ratojen elinkaariajattelu ja ratahankkeiden kannattavuus- laskennan ongelmat

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 8/2011

Liikennevirasto
Helsinki 2011

Kannen kuvat: Antti Nurmikolu

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-623-3

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

Oona-Lina Koskela: Ratojen elinkaariajattelu ja ratahankkeiden kannattavuuslaskennan ongelmat. Liikennevirasto, väylätekniikkaosasto. Helsinki 2011. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 8/2011. 69 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-623-3.

Avainsanat: rata, akselipainon nosto, elinkaariajattelu, kannattavuuslaskenta, kunnan kehittyminen, kunnossapito, käyttöikä, nopeuden nosto

Tiivistelmä

Elinkaarikustannusten määrittämiseksi on useampia menetelmiä. Suomessa ratahankkeiden rahassa mitattavaa yhteiskuntataloudellista kannattavuutta selvitetään hyöty-kustannusanalyysillä, joka on yksi elinkaarikustannusten laskentamenetelmä. Tämän tutkimuksen tavoitteena on koota kannattavuuslaskennan ongelmia sekä perehtyä elinkaariajattelun sovellettavuuteen ratarakenteissa. Tutkimus perustuu lähdekirjallisuuteen ja henkilöhaastatteluihin.

Radan kokonaiselinkaaren hallintaa on mahdollista parantaa kunnan kehittymisen tuntemisella. On tärkeää kyetä määrittämään eri tekijöiden, kuten akselipainon ja akuperäisen teknisen kunnan, vaikutus radan rakenneosien kunnan kehittymiseen. Kunnan kehittymisen mallien laatiminen kannattaa toteuttaa jokaiselle komponentille erikseen yhdistäen käytännön kokemus kunnossapitäjältä sekä teoreettinen tutkimustieto. Kunnan kehittymisen tuntemisesta saattaa olla apua myös määrittäessä optimaalista investointi- ja kunnossapitokustannusten suhdetta.

Ratojen pitkän käyttöiän vuoksi kunnossapidon merkitys on korostunut, mutta nykyisellään sen painoarvo hankkeiden kannattavuustarkasteluissa on marginaalinen. Tämän johdosta vaikuttaakin siltä, että investointikustannusten säästö, eli investoinnin teknisen tason lievä tinkiminen, saattaisi usein lisätä elinkaaritaloudellisuutta huolimatta kunnossapitotarpeen huomattavastakin suhteellisesta lisääntymisestä.

Kannattavuuslaskennasta tehtyjen havaintojen perusteella menetelmässä on paljon kehitettävää. Suurimpina ongelmina voidaan pitää ennusteiden haasteellisuutta ja vaikutusta laskentatulokseen, kustannusten määrittämiseksi tarvittavien lähtötietojen ja menetelmien puutteita sekä aluepolitiikan merkitystä päätöksen teossa. Epäkohtana voidaan nähdä myös kunnossapitokustannusten jääminen marginaalisiksi. Lisäksi tulosten ja päätösten läpinäkyvyyttä voisi parantaa.

Oona-Lina Koskela: Livscykelräkningar vid järnvägsprojekt. Trafikverket, infrastrukturteknik. Helsingfors 2011. Trafikverkets undersökningar och utredningar 8/2011. 69 sidor . ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-623-3.

Nyckelord: järnväg, ökning av axeltryck, livscykelräkningar, lönsamhetskalkyl, hur skenors tillstånd utvecklas, underhåll, livslängd, hastighetsökning

Sammandrag

Det finns flera metoder med vilka man kan bestämma livscykelkostnader. I Finland utreder man den samhällsekonomiska lönsamheten hos järnvägsprojekt med hjälp av kostnads-nyttö-analys, som är en av metoderna för bestämmande av livscykelkostnader. Syftet med den här undersökningen är att göra en sammanställning av problem inom lönsamhetskalkyl samt en orientering av hur livscykelräkningen kan tillämpas när det gäller järnvägskonstruktioner. Undersökningen baseras på källlitteratur och personintervjuer.

Kontrollen av den totala livscykeln kan förbättras om man känner till hur skenornas tillstånd utvecklas. Det är viktigt att man försöker definiera hur olika faktorer, så som axeltryck och den ursprungliga tekniska konditionen, påverkar hur tillståndet i de olika delkonstruktionerna i järnvägen utvecklas. Det lönar sig att göra upp modeller för hur tillståndet utvecklas för alla delkomponenter skilt för sig och kombinera den praktiska erfarenheten hos dem som skött underhållet med teoretiska forskningsresultat. Kännedom om hur tillståndet utvecklas kan vara till hjälp också då man bestämmer det optimala förhållandet mellan investerings- och underhållskostnader.

På grund av järnvägarnas långa livslängd har underhållets betydelse betonats men nuförtiden är dess betydelse marginell när man granskar lönsamheten hos järnvägsprojekt. Därför verkar det som om en besparing i investeringskostnaderna, d.v.s. att man prutar litet på den tekniska nivån i investeringen, skulle öka livscykelökningen, trots en relativt sett betydande ökning av underhållsbehovet.

På basis av de iakttagelser som gjorts om lönsamhetskalkyl finns det mycket att utveckla inom metoden. De största problemen kan anses vara svårigheten att göra prognoser och prognosernas inverkan på kalkylresultatet, brister i de ursprungsdata och metoder som behövs för att bestämma kostnaderna samt regionalpolitikens betydelse i beslutsfattandet. Ett missförhållande är också underhållskostnadernas marginella betydelse. Dessutom kunde transparensen i både resultat och beslutsfattande förbättras.

Oona-Lina Koskela: Life cycle thinking on railway tracks and problems in profitability calculations of track projects. Finnish Transport Agency, Infrastructure Technology. Helsinki 2011. Research reports of the Finnish Transport Agency 8/2011. 69 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-623-3.

Keywords: railway track, axle load increase, life cycle thinking, profitability calculation, condition degradation, maintenance, service life, speed increase.

Abstract

There are many methods for determining life cycle costs. In Finland, economic advantageousness of railway track construction projects is analysed with a benefit-cost analysis which is one accounting method of life cycle costs. The objective of this study is to collect some problems of the profitability calculation and to study the life cycle costing in railway track construction. The study is based on literature and interviews.

It is possible to improve the control of the lifespan of the track with knowledge of the degradation of track components. It is important to be able to determine the effect of various factors, such as axle load and the original technical condition, on the degradation of the components of the track. The models of the degradation should be created separately to every component combining theoretical knowledge and a practical experience from the maintenance operator. It is crucial to know the progress of the track condition when determining the optimal relation of the investment costs and maintenance costs.

Due to the long service life of railway tracks the significance of the maintenance has been emphasised but at present its value in the profitability calculation is marginal. As a result it seems, that savings of investment cost, in other words degrade slightly the investment technical level, could often increase the life cycle economy despite the increase in need for maintenance.

On the basis of the observations that have been done from the profitability calculation the method contains much to be developed. The biggest challenges include the traffic prognoses and their effect on the calculation result, lacks of source information and methods needed to determine costs as well as the significance of the regional politics in the making of the decision. The marginal effect of the maintenance costs can also be seen as a slight disadvantage. Furthermore, the openness of the results and decisions could be improved.

Esipuhe

Tässä työssä käsitellään rautateiden elinkaariajattelua ja kannattavuuslaskennan ongelmia. Työ on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksen Maa- ja pohjarakenteiden yksikössä Ratahallintokeskuksen (nykyisin Liikennevirasto) tilaamana. Työ on kirjoittajan Oona-Lina Koskelan diplomityö ja osa Elinkaaritehokas rata -tutkimusohjelmaa.

Työn alkuselvitysten myötä tehtyjen havaintojen perusteella työn painotus muuttui alkuperäisestä kannattavuuslaskennan ongelmien selvittämisestä enemmän elinkaarivaikutusten selvittämiseen. Elinkaaren hallinnalle on oleellista kunnan kehittymisen ymmärtäminen, joka on syytä tuntea myös kannattavuuslaskennan taustaksi. Työssä jäi laajahkojen alkuselvitysten vuoksi suunniteltua vähemmän aikaa kannattavuuslaskennan ongelmiin, mutta tärkeimmät ongelmat saatiin selvitettyä.

Työtä ohjasi Ratahallintokeskuksessa kunnossapitoyksikön päällikkö Risto Heinonkoski. Kannattavuuslaskennan ongelmista haastateltiin Harri Lahelmaa, Mikko Heiskasta, Jussi Lindbergiä sekä Hannu Lehikoista Ratahallintokeskuksesta. Lisäksi haastateltiin Pekka Iikkasta Rambollista sekä Hannu Pesosta ja Heikki Metsärantaa Strafi-casta. Työn tarkastajana toimi professori Pauli Kolisoja ja työtä ohjasi tekniikan tohtori Antti Nurmikolu Tampereen teknillisen yliopiston Maa- ja pohjarakenteiden yksikössä.

Helsingissä helmikuussa 2011

Liikennevirasto
Väylätekniikkaosasto

Sisällys

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT	9
1 JOHDANTO	10
1.1 Työn tausta	10
1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset	10
2 ELINKAARIAJATTELU	12
2.1 Keskeiset määritelmät	12
2.3 Infra-alan elinkaariajattelu	13
2.3.1 Perusteet	13
2.3.2 Kohti ekotehokkuutta.....	14
2.4 Elinkaarikustannusten laskenta	15
2.4.1 Laskennan lähtökohdat	15
2.4.1.1 Laskentamenetelmiä.....	16
2.4 Elinkaariajattelu rautatieympäristössä	18
2.4.1 Kunnossapidon merkitys.....	18
2.4.1.2 Kustannusten muodostuminen.....	21
2.4.3 Tämän hetkinen tieto-taito	22
3 RAKENNEOSIEN KUNNONKEHITYKSEN ARVIOINTI	24
3.1 Perusteet	24
3.2 Akselipainon noston kokonaisvaikutus	26
3.3 Nopeuden noston kokonaisvaikutus	29
3.4 Päälysrakenne	31
3.4.1 Lähtökohdat.....	31
3.4.2 Kiskot 32	
3.4.2.1 Ratapölkkyt	33
3.4.2.2 Tukikerros	33
3.4.2.3 Vaihteet	34
3.5 Alusrakenne	35
3.6 Pohjamaa, stabiliteetti ja kuormat	36
3.7 Sillat	37
3.8 Rummut	38
4 RATAHANKKEIDEN KANNATTAVUUSLASKENTA	41
4.1 Taustaa	41
4.1.1 Menetelmä päätöksenteon taustalla.....	41
4.1.2 Havaittuja epäkohtia.....	42
4.2 Investointikustannukset	43
4.3 Radan kunnossapitokustannukset.....	43
4.3.1 Lähtökohdat.....	43
4.3.2 Kunnossapitokustannukset osana kannattavuuslaskentaa.....	44
4.3.3 Akselipainon noston vaikutus kunnossapitoon	46
4.3.3.1 Havainnot kunnossapidon rahoitustilastoista	47
4.4 Kuluttajan ja tuottajan ylijäämän muutos.....	51
4.4.1 Tavaraliikenteessä.....	51
4.4.2 Henkilöliikenteessä	52
4.4.3 Liikennemallit ja -ennusteet.....	54

4.5	Jäännösarvo ja liikenteen ulkoiset kustannukset.....	54
4.5.1	Onnettomuus-, päästö- ja melukustannukset	54
4.5.2	Jäännösarvo	56
5	POHDINNAT HAVAITUISTA ONGELMISTA.....	57
5.1	Käyttöiän ja kestoiän erottaminen.....	57
5.2	Radan kunnon kehittymisen tunteminen.....	57
5.3	Akselipainon ja nopeuden noston vaikutusten määrittämisestä	58
5.4	Kannattavuuslaskennan puutteet ja suositukset	59
5.4.1	Hyöty-kustannusanalyysin ongelmat laskentamenetelmänä.....	59
5.4.2	Lähtötiedot.....	59
5.4.3	Menetelmät ja laskentatavat.....	60
6	PÄÄTELMÄT JA JATKOTUTKIMUSSUOSITUKSET	62
6.1	Päätelmät.....	62
6.2	Jatkotutkimussuositukset.....	63
	LÄHTEET	65

Termit ja niiden määritelmät

Akselipaino	Vaunun tai veturin akselin rataan aiheuttama voima (4; 44).
Brt	Bruttotonni tarkoittaa junan kokonaispainoa eli junan, lastin ja matkustajien yhteenlaskettu paino erikseen tavara- ja henkilöjunille.
Brtkm	Bruttotonnikilometri on junan ja lastin yhteispainon sekä kilometri-suoritteen tulo.

Kannattavuuslaskelma

Laskelma rahamääräisiksi muutettujen hyötyjen ja kustannusten suuruudesta ja suhteesta investointikustannukseen (2).

Korvausinvestointi

Teknisen tai taloudellisen elinkaaren lopussa tapahtuvaa rakenteen, laitteen tai järjestelmän uusiminen, jolla palautetaan tai säilytetään väylän liikennekelpoisuus (2; 4).

Kunnossapito

Yksi tai useampia toimenpiteitä radan, rata-alueen rakenteiden ja laitteiden käyttökunnossa pitämiseksi (56).

Raidekilometri

Kilometrin pituinen raide. Esimerkiksi kaksiraiteisella 10 kilometrin pituisella rataosuudella on 20 raidekilometriä (4).

Ratakilometri

Kilometrin pituinen radan osuus, jolloin raiteita voi olla yksi tai useampia (4).

UIC

Union Internationale des Chemins de Fer, Kansainvälinen rautatieliitto.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Päätöksenteon pohjaksi on tarpeellista tuntee väylähankkeiden yhteiskuntataloudellinen edullisuus. Liikenne- ja viestintäministeriö on tehnyt väylähankkeiden arvioinnista yleisohjeen (1), jota tulee hankkeiden vertailukelpoisuuden varmistamiseksi noudattaa kaikissa Liikenne- ja viestintäministeriön toiminta- ja taloussuunnitelmaan ehdolla olevissa hankkeissa. Lisäksi Ratahallintokeskus on tehnyt ratahankkeita koskevan yksityiskohtaisemman ohjeen (2). Hankkeiden arvioinnin yksi osa on kannattavuuslaskenta, jossa hyöty-kustannusanalyysillä selvitetään hankkeen rahassa mitattavia vaikutuksia ja yhteiskuntataloudellista kannattavuutta (1; 2). Hyöty-kustannusanalyysi on yksi elinkaarikustannusten laskentatapa (3).

Suomessa on tehty joitain rautateitä koskevia elinkaaritutkimuksia, mutta väyliä koskien pääpaino on ollut teiden elinkaaritutkimuksissa (3). Rautateiden elinkaarikustannuksia ja radan rakenneosien odotettavissa olevaa elinkaarta on tarkasteltu vuonna 2004 ilmestyneessä RHK:n julkaisussa (4). Akselipainon- ja nopeudennoston vaikutukset olemassa olevaan rautatieinfrastruktuuriin ja elinkaarikustannuksiin eivät kuitenkaan ole selvillä. Radan elinkaaren kokonaisvaltaisen hallinnan lähtökohta on radan kunnan kehittymiseen ja elinkaarikustannuksiin vaikuttavien tekijöiden ymmärtäminen.

Akselipainon- ja nopeudennostohankkeisiin ei aina sovelleta kannattavuuslaskentaa, koska sekä tarvittavissa lähtötiedoissa että laskentamenetelmissä on puutteita. Vuoden 2009 alussa valmistuneessa selvityksessä (5) sovellettiin puutteellisiin osaluaisiin Banverketin laskentamenetelmää (6). Kuitenkin myös Banverketin mallissa havaittiin joitain hyöty-kustannussuhdetta vääristäviä ominaisuuksia (5). Akselipainon- ja nopeudennostohankkeet ovat olemassa olevan rataverkon kehittämisen perusta, joten olisi tärkeää pystyä realistisesti arvioimaan myös näiden hankkeiden yhteiskuntataloudellisuutta kannattavuuslaskennalla.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena on tuoda esille ongelmia, joita liittyy kannattavuuslaskentaan erityisesti akselipainon- ja nopeudennostohankkeissa. Ratahallintokeskuksen ohjeen mukaisen laskennan lisäksi esitetään Banverketin tapa arvioida tavaraliikenteen liikennöintikustannukset, joiden arvioimiseksi Suomessa ei ole olemassa menetelmää. Kannattavuuslaskennan tueksi tehdään hankearvioinneissa yleensä vaikuttavuuden ja toteutettavuuden arviointi, mutta näiden tarkempi tarkastelu on rajattu työn ulkopuolelle.

Työssä käydään läpi elinkaariajattelun perusteita painottaen infra-alan näkökulmaa ja alalle merkityksellisiä elinkaaritarkasteluja. Erityistä huomiota kiinnitetään radan rakenneosien elinkaareen vaikuttaviin tekijöihin ja kunnossapidon merkitykseen kokonaiselinkaaren kannalta. Rakenneosien kunnankehityksen tunteminen eri kuormilla (akselipaino ja liikennemäärä) ovat edellytys rakenneosien teknisen tason edullisuuden vertailuun. Kannattavuuslaskennan soveltaminen teknisesti erilaisten vaihtoehto-

jen vertailuun ja elinkaarikustannuksiltaan optimaalisen teknisen tason määrittämiseksi vaatii vielä kehitystä. Työssä pyritään hakemaan kunnan kehityksen ymmärtämisen avulla kannattavuuslaskennan yhteyttä teknisten ratkaisujen edullisuustarkasteluihin.

Tiedon kerääminen radan eri osien elinkaaren ja elinkaarikustannusten selvittämiseksi on aloitettu (7). Kun ratojen elinkaaren hallintaa halutaan parantaa, tarvitaan lisätietoa etenkin radan rakenneosien kulumiseen vaikuttavista tekijöistä. Tässä työssä on tarkoituksena esitellä nykyistä tietämystä rakenneosien kunnan kehittymisen arvioinnista.

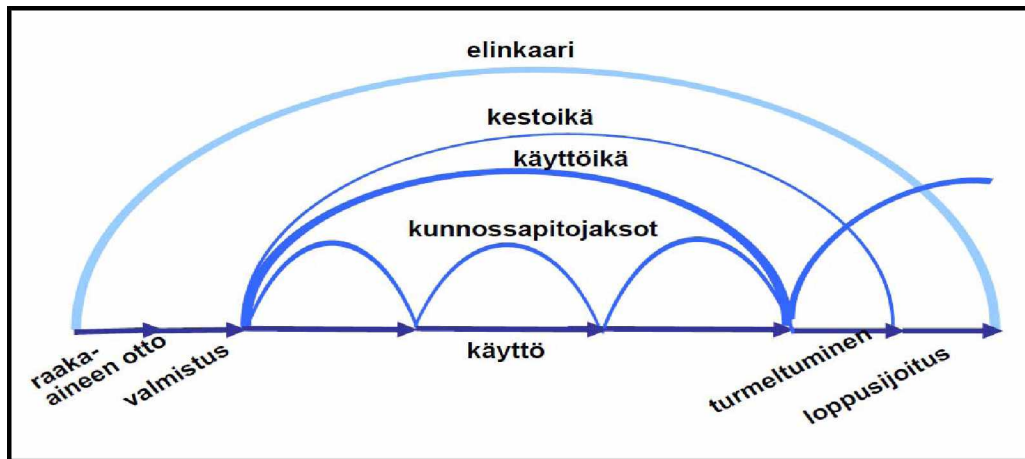
Tutkimukseen kuuluu kirjallisuustutkimus, jossa perehdytään sekä kotimaisiin että ulkomaisiin lähteisiin. Monipuolisen kuvan saamiseksi työssä haastatellaan kannattavuuslaskentaan osallistuvia henkilöitä Ratahallintokeskuksesta ja konsultointiyrityksistä. Haastattelujen myötä työssä pyritään tuomaan esille myös käytännön ongelmia.

Työ käynnistää Elinkaaritehokas rata tutkimusohjelman kokonaisedullisuustarkastelut. Tavoitteena on koota nykytietämys radan elinkaaren kokonaistaloudellisuuteen vaikuttavista tekijöistä ja etenkin tietämyksen keskeisimmät puutteet. Havaittujen ongelmien ja puutteiden selvittämisellä luodaan suuntaa tuleville tutkimuksille, joiden tavoitteena on mahdollistaa elinkaariajattelun nykyistä parempi huomiointi rata-teknisissä päätöksentekotilanteissa.

2 Elinkaariajattelu

2.1 Keskeiset määritelmät

Elinkaarella tarkoitetaan tarkasteluajanjaksoa, joka käsittää tuotteen kaikki vaiheet raaka-aineiden hankinnasta loppusijoitukseen (Kuva 2.1). (8; 9)



Kuva 2.1. Elinkaariajattelun määritteitä ja ikäkäsitteitä (10).

Käyttöikä on aika, jolloin tuote täyttää sille asetetut tekniset vaatimukset (9). Käyttöiän aikana tuotetta voidaan käyttää (9) ja sitä on taloudellisesti mielekästä kunnossapitää. Eritoten radoilla taloudellinen käyttöikä voisi olla kuvaavampi termi kuin käyttöikä, koska käyttöiän jälkeen rakenteen kunnossapittäminen vaatii suurempia työ- ja rahapanoksia. Tämä ajanjakso valitaan yleensä elinkaaritalouslaskennan tarkastelujaksoksi (8). Väylärakenteen käyttöikä voidaan käsittää ajanjaksona valmistamisesta peruskorjaukseen (9).

Kestoiä käsittää tuotteen vaiheet valmistumisen ja turmeltumisen välissä (9). Toisin sanoen se on aika, jolloin tuote on käytettävissä kunnossa (8). Kuitenkin kestoiän lopussa (aika käyttöiän ja kestoiän välillä) tuotteen tekninen kunto on heikentynyt ja sen käyttämisestä aiheutuu lisäkustannuksia (8; 9). Kestoiän päättyessä tuotetta ei voida enää käyttää (8; 9).

LCA (life cycle analysis) eli **elinkaariarviointi** tarkoittaa tuotteen tai toiminnon elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arviointia. Materiaali- ja päästövirrat määritellään kaikissa elinkaaren vaiheissa sekä tunnistetaan merkittävimmät haittavaikutukset ja niihin vaikuttavat tekijät. (3)

LCC (life cycle cost) eli **elinkaarikustannus** tarkoittaa kaikkia tuotteen elinkaaren aikana syntyviä kustannuksia sisältäen rakentamisen, käytön ja ylläpidon sekä loppusijoituksen kustannukset (11; 12; 13).

LCM (life cycle management) eli **elinkaaren hallinta** voidaan erään määritelmän mukaan nähdä elinkaaritarkastelumenetelmien yläkäsitteenä (14). Elinkaaren hallinta on kestävä kehityksen mukaista kokonaisvaltaista tuotteiden ja palveluiden johtamista,

jossa yhdistyvät optimoidusti taloudelliset, ympäristölliset ja sosiaaliset näkökulmat (14). Kunnossapidolla ja saneerauksella on suuri rooli elinkaaren hallinnassa (14).

Ekotehokkuus tarkoittaa mahdollisimman tehokasta materiaalien käyttöä verrattuna tuotteesta saatavaan hyötyyn, eli tavoitteena on tuottaa enemmän palvelua tai tuotteita vähemmällä luonnon tai varojen kulutuksella (15).

MIPS (material input per service unit) arvioi tuotteen tai palvelun aiheuttamaa ympäristöpainetta (3; 16). MIPS-luku kuvaa tuotteen valmistamiseen käytetyn materiaalin [esim. g, kg,] ja tuotteesta saatavan hyödyn [esim. kpl, hlö-km] suhdetta (16). Esimerkiksi radoilla voidaan vertailla vaihtoehtoisten materiaalien käyttöä ekotehokkuuden parantamiseksi vaunujen runkorakenteessa (16).

2.3 Infra-alan elinkaariajattelu

2.3.1 Perusteet

Elinkaariajattelussa pyritään tiedostamaan tuotteen koko elinkaari raaka-aineiden hankinnasta loppusijoitukseen tai kierrätykseen asti. Elinkaaritarkasteluissa huomioidaan ekologisuus, taloudellisuus ja toiminnallisuus (8) pyrkien selvittämään hankkeiden tai valintojen kokonaisedullisuus. Rakenteen tai tuotteen elinkaarta voidaan tarkastella ympäristövaikutusten (LCA) tai -kustannusten (LCC) perusteella (3). Maarakentaminen vaatii suuria massoja, joten elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia tarkastelemalla voidaan edistää kestävä kehityksen mukaista toimintaa (3; 14; 17). Elinkaarikustannuslaskentaa voidaan puolestaan hyödyntää esimerkiksi kunnossapidon optimoinnissa laskemalla korjaustoimenpiteiden kannattavuutta (18).

Infra-alalla elinkaari on oleellisesti pidempi kuin esimerkiksi teollisuuden tuotteilla (17). Tarkasteluajan kasvaessa myös epävarmuustekijät lisääntyvät. Lisäksi epävarmuutta tuovat rakenteen osien eripituiset elinkaaret, jotka esimerkiksi radoilla vaihtelevat paljon (4). Suurimpien epävarmuustekijöiden ja riskien vaikutuksia elinkaarilaskennan tuloksiin selvitetään herkkyysoanalyysillä (3; 17).

Infrarakenteiden pitkän elinkaaren vuoksi elinkaaritarkastelujen ajanjaksoksi valitaan usein käyttöikä (8; 9). Pitkästä käyttöiästä johtuen kunnossapidon rooli elinkaaritarkasteluissa on merkittävä (8; 17). Rakenteen käyttöiän tunteminen on tarpeen jo suunnitteluvaiheessa (18), jotta voidaan kohtuullisen tarkasti ennustaa tulevia kustannuksia ja toimenpiteitä. Rakenteiden käyttöiän määrittäminen ei kuitenkaan ole yksinkertaista ja nykyiset menetelmät vaativat vielä kehitystä, jotta käyttöikä voidaan ennakoida luotettavasti (18).

Käyttöiän jälkeen rakenteella voi olla jäljellä kestoikää ja teknisellä parantamisella rakenteen hyödyntämistä (käyttöä) voidaan jatkaa (14), mutta tällöin käyttökustannukset ovat yleensä korkeammat. Väylärakenteen kestoian voidaan olettaa päättyvän rakenteen turmeltumiseen ja tästä johtuvaan uudelleenrakentamiseen (9), mutta rakenteen todellinen elinkaari on yleensä kestoikäkin pidempi. Kestoian lopussa käytön jatkamiseksi rakenne olisi uusittava kokonaan (13). Taloudellisesti tarkasteltuna radan rakenteen tai rakenneosan uusiminen on järkevämpää toteuttaa jo käyttöiän lopussa, joten käyttöiän tarkastelu lienee radoilla kestoikää merkityksellisempi.

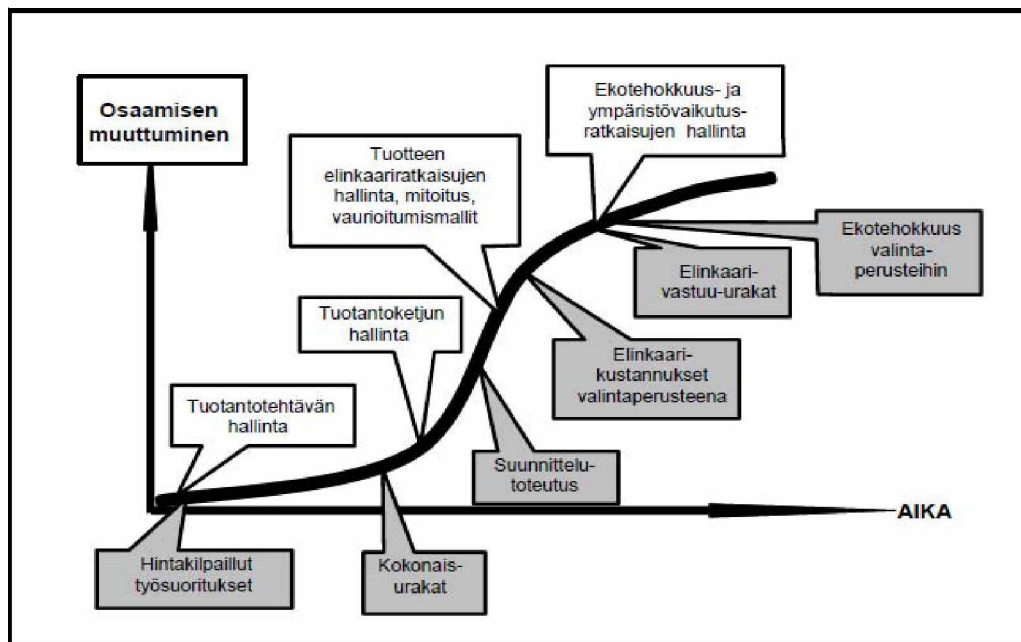
Elinkaaritarkasteluissa olisi huomioitava myös rakennusmateriaalien ja tuotteiden loppusijoitus tai kierrätyskustannukset (17). Infrarakenteiden elinkaaritarkasteluissa jäännösarvo voidaan olettaa olevan lähellä nollaa tai jopa negatiivinen (13). Kaiken kaikkiaan infrarakenteiden todelliseen elinkaareen vaikuttaa paljon ulkopuolisia tekijöitä, joiden ennakointi on vaikeaa.

2.3.2 Kohti ekotehokkuutta

Tiedostamalla ja tarkastelemalla syvällisemmin tuotteen elinkaaren aikaisia materiaalivirtoja voidaan tuotteesta kehittää tehokkaampi sekä taloudellisesti että ekologisesti (15; 16; 17). Tuottavuuden ja ympäristönäkökohtien yhdistäminen on mahdollista tarkastelemalla ekotehokkuutta, joka voidaan ymmärtää myös elinkaariajattelun jatkona (16). Ekotehokkaalla rakentamisella ymmärretään teknisten vaatimusten täyttämistä mahdollisimman vähällä ympäristön kuormituksella ja luonnonvarojen käytön minimoimisella rakenteen koko elinkaaren aikana (17). Toisaalta ekotehokkuus voidaan ymmärtää myös käytetyn materiaalin (panoksen) ja tuotteen (tuloksen) suhteena (14). Jotta elinkaariajattelua voidaan jatkaa ekotehokkuustasolle, on tunnettava radan kulumiseen vaikuttavat tekijät tarkemmin kuin mitä ne ovat nykyään tiedossa.

Suomessa infra-alan elinkaaritutkimukset ovat keskittyneet teitä koskeviin tarkasteluihin (3), mutta myös rautateitä koskevia tutkimuksia on tehty muutamia. Elinkaariajattelu menetelmänä on vanha (17), mutta sen soveltaminen Suomen rataverkkoon on melko uusi ja kehittyvä asia. Elinkaariajatteluun rautateillä perehdytään tarkemmin luvussa 2.4.

Tiehallinnolla on tulevaisuudessa pyrkimyksenä käyttää hankkeiden valintaperusteena ekotehokkuutta (8). Kuvassa 2.2 on esitetty Tiehallinnon elinkaariajattelun tavoitteet. Lehmuksen et al. (17) määritelmän mukaan käytettäessä ekotehokkuutta rakentamisen perusteena tilaaja määrittelee laatuvaatimukset, halutut ominaisuudet sekä mahdollisesti käyttöiän, mutta ei ota kantaa tekniseen toteutukseen ja käytettäviin menetelmiin. Ekotehokkuusindikaattoreita ja niiden taustalla olevia lähtötietoja on tutkittava ja kehitettävä ennen kuin ekotehokkuutta voidaan hyödyntää hankkeiden valintaperusteena. Lisäksi ennen ekotehokkuusmenetelmän laajempaa käyttöönottoa olisi kyettävä soveltamaan elinkaarikustannusten käyttöä valintaperusteena (8), joka myös vaatii vielä kehitystyötä.



Kuva 2.2. Tiehallinnon elinkaariajattelu tienpidon hankinnoissa (8).

Rakenteen elinkaaren, sisältäen suunnittelun ja rakentamisen, aikana tehtävillä päätöksillä määritetään rakenteen kestoikä sekä elinkaaren aikana syntyvät kokonaiskustannukset (19). Eritoten esisuunnitteluvaiheella on merkittävä asema hankkeiden elinkaarikustannusten muodostumisessa ja elinkaaritaloudellisesti edullisen vaihtoehdon valitsemisessa, sillä suurin osa elinkaaren aikana syntyvistä kustannuksista määritetään esisuunnitteluvaiheessa tehdyillä ratkaisuilla (17). Tarkastelemalla pelkkiä investointikustannuksia voivat käyttö- ja ylläpitokustannukset nousta korkeiksi, jolloin hankkeen elinkaarikustannukset kasvavat suuremmiksi. Suunnittelija voi valinnoillaan vaikuttaa tuotteen elinkaarikustannuksiin esimerkiksi valitsemalla kohteeseen parhaiten soveltuvan rakenteen ja materiaalit. Elinkaarikustannusten alentamista pidetään maailmanlaajuisesti tärkeänä kilpailuvalttina (20). Siihen pääsemiseksi olisi kuitenkin voitava määrittää kustannukset riittävällä tarkkuudella (8) sekä tunnettava kustannuksia synnyttävät tekijät.

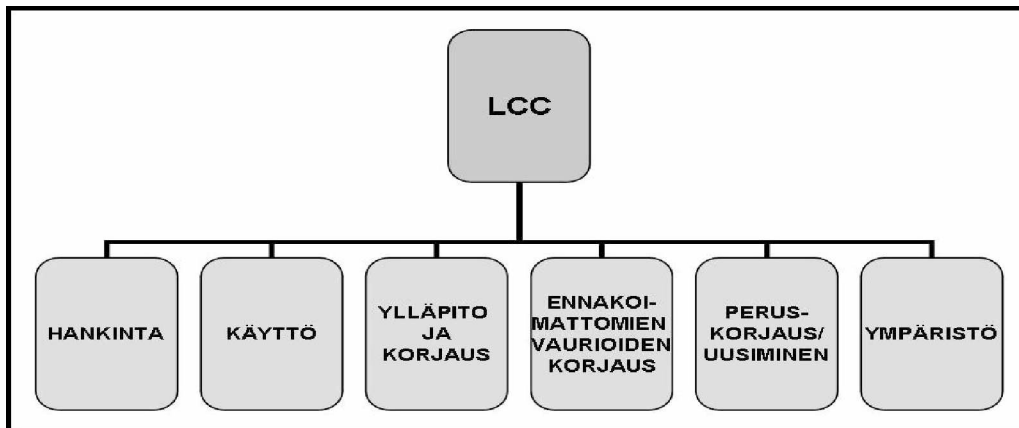
2.4 Elinkaarikustannusten laskenta

2.4.1 Laskennan lähtökohdat

Elinkaarikustannusten tarkasteluissa huomioidaan rakentamisesta, käytöstä, kunnossapidosta ja kierrätyksestä elinkaaren aikana syntyvät tarkastelulle oleelliset kustannukset (3; 11). Elinkaarikustannusten laskentaa on sovellettu melko vähän, vaikka laskentamenetelmiä on ollut jo kauan (17; 21). Tarkastelemalla elinkaarikustannuksia voidaan optimoida rakenteen laadun ja kustannuksien suhde (20). Elinkaarikustannusten arviointi voidaan käsittää myös vaihtoehtoisten menettelytapojen arviointikriteerinä (19).

Elinkaarikustannusten muodostumista voidaan lähestyä eri tavoin. Zoetemanin (19) mukaan kustannukset voidaan jaotella kolmeen ryhmään: aineettomiin ja aineellisiin kustannuksiin, pääomakustannuksiin sekä operoinnin ja omistuksen kustannuksiin. Lehmus et al. (17) puolestaan näkevät infra-alan elinkaarikustannusten muodostuvan

kuvassa 2.3 esitetyistä kuudesta luokasta, joissa esimerkiksi ylläpito- ja uusimiskustannukset erotellaan eri ryhmään.

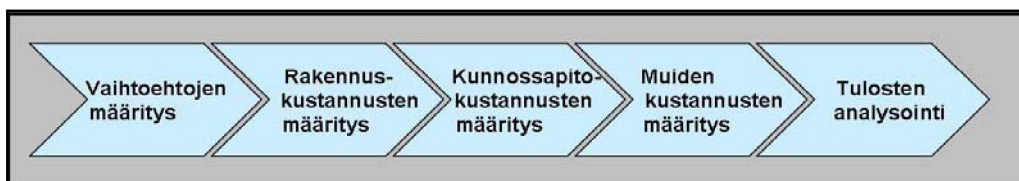


Kuva 2.3. Elinkaarikustannusten muodostuminen infra-alalla.

Yhtenä elinkaarikustannuslaskennan haasteena on eri aikaan ja eripituisina jaksoina muodostuvat kustannukset (8; 12). Laskelmia varten esimerkiksi kertaluonteinen investointikustannus ja jatkuvat kunnossapitokustannukset on muutettava vertailukelpoisiksi (18; 19) diskonttaamalla kustannukset (12). Toisinaan joidenkin elinkaarikustannuksiin vaikuttavien tekijöiden muuttaminen rahaksi voi olla haasteellista.

2.1.1. Laskentamenetelmiä

Elinkaarikustannusten laskentamenetelmät muistuttavat paljon normaaleja investointilaskelmaa (3). Laskentamenetelmät ovat usein yksinkertaistettuja ja kustannukset yleistettyjä, jotta kustannuksia voidaan vertailla (12). Morrellin et al. (22) näkemys laskennan etenemisestä vaiheittain alkaen vaihtoehtojen määräytyksestä ja päätyen tulosten analysointiin on esitetty kuvassa 2.4 täydennettynä muiden kustannusten määräyksellä.



Kuva 2.4. Elinkaarikustannuslaskennan eteneminen.

Zoetemanin (19) mukaan elinkaarikustannusten laskennassa voidaan erottaa kolme erilaista laskentamenetelmää:

1. Kokonaissumman esittäminen: Samaan ajankohtaan diskonttatut kustannukset ja tuotot esitetään kokonaisuudessaan.
2. Sisäisen tuoton esittäminen: Investoinnin kannattavuutta selvitetään rahoituksen korkokannan perusteella.
3. Vuotuisen ekvivalentin tai annuiteetin esittäminen: Investoinnin ja kunnossapidon rahoituskulujen summa esitetään vuosittaisina tasaerinä.

Seuraavaksi esitetään lyhyesti perustietoa elinkaarikustannusten laskentamenetelmistä.

Hyöty-kustannusanalyysi

Hyöty-kustannusanalyysissä tarkasteltavalle hankkeelle tai vaihtoehdoille lasketaan hyötykustannussuhde (3). Menetelmässä pyritään huomioimaan sekä ympäristönäkökohdat että aikaperspektiivi (3). Menetelmä on joustava ja se soveltuu hyvin vaihtoehtojen vertailuun (3). Hyöty-kustannusanalyysillä on kuitenkin myös monia huonoja puolia, kuten hyötyjen ja haittojen arvottaminen, joka ei ole yksinkertaista ja diskonttaus voi vääristää kustannusten painotuksia (3). Hyöty-kustannusanalyysiä käsitellään tarkemmin luvussa 4.

Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä (TPV) valitaan perusvuosi, jonka arvoon kaikki muina vuosina syntyvät kustannukset diskontataan (kaava 2.1) (3; 12; 23). Suoritusten oletetaan tapahtuvan tarkasteluvuoden lopussa (3; 12). Nykyarvo- ja nettonykyarvomenetelmä kuuluvat yleisimmin käytettyihin elinkaarikustannusten laskentamenetelmiin (3; 12). Elinkaarikustannusten nykyarvo saadaan selville summaamalla kaikki nykyarvoksi muutetut kustannukset investoinnista ylläpitokustannuksiin ja vähentämällä näistä jäännösarvon nykyarvo (3; 12; 24).

$$TPV = \sum_{i=0}^n \frac{c_i}{(1+r)^i} \quad (2.1)$$

missä

- c_i on kaikkien vuonna i tapahtuneiden kustannusten summa
- r on diskonttauskorko
- i on tarkasteluvuosi

Nettonykyarvoa (NPV) laskettaessa investoinnin aiheuttamat säästöt muutetaan nykyarvoon ja nykyarvoon muutetut investointikustannukset vähennetään säästöistä (kaava 2.2) (23; 25). Tällöin positiivisen tai suurimman nykyarvon saava investointi on kannattava (24; 26). Tarkasteluajanjaksolla laskentakoron oletetaan pysyvän vakiona, mutta kustannusten nousevan vuosittain (23). Nettonykyarvoa olisi kannattavaa tarkastella eri korkokannan ja kustannustason nousun yhdistelmillä (23).

$$NPV = \sum_i^{n-1} \frac{b_i - c_i}{(1+r)^i} \quad (2.2)$$

missä

- b_i on kaikkien vuonna i tapahtuneiden hyötyjen/säästöjen summa

Nettonykyarvomenetelmällä saadaan suoraan selville paljonko tuottoa (säästöä) investointi tuottaa vai tuottaako ollenkaan (24; 25) ja täten eri investointien aiheuttamaa säästöä voidaan vertailla. Tuntemalla radan eri rakennevaihtoehdoilla ja materiaaleilla saavutettavat säästöt voitaisiin niitä vertailla nykyarvomenetelmällä. Menetelmän huonona puolena nähdään, että suuria ja pieniä investointeja ei erotella tarpeeksi (24).

Nykyarvon laajenuksena nähtävässä annuiteettimenetelmässä korot ja investoinnin kustannukset muutetaan ensin nykyarvoon, jonka jälkeen kustannukset tasataan annuiteettitekijän avulla samansuuruisiksi eriksi koko tarkastelujaksolle (kaava 2.3) (3; 12; 18; 25; 27). Radoilla tarkastelujakso voisi olla käyttöikä.

$$ANN = \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1} * TPV \quad (2.3)$$

Sisäisen korkokannan menetelmä

Sisäisen korkokannan menetelmällä etsitään korkokanta, jolla investoinnin ja säästöjen nykyarvo on nolla (kaava 2.4) (23; 25; 26). Investointi on sitä kannattavampi mitä suurempi sisäinen korko on (25; 26; 27). Toisin sanoen investointi on taloudellisesti kannattava, jos rahoitusta saadaan tätä korkokantaa edullisemmin (23; 25; 27).

$$NPV = \sum_i^{n-1} \frac{b_i - c_i}{(1+r)^i} = 0 \quad (2.4)$$

Menetelmällä voidaan selvittää hankkeen kannattavuus (23; 27), mutta se ei sovellu toisensa poissulkevien projektien arvioimiseen (23). Laskentamenetelmä on lisäksi monimutkainen ja työläs (27). Täten radoilla menetelmän soveltamisalue lienee pieni.

Takaisinmaksuaikamenetelmä

Takaisinmaksuaikamenetelmässä lasketaan nimensä mukaisesti aikaa, jolloin investointi maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuaika saadaan jakamalla investointikustannukset vuotuisella nettotuotolla. Takaisinmaksuaikamenetelmä korostaa lähitulevaisuudessa saatavien kassavirtojen merkitystä. Menetelmä ei kuitenkaan huomioi takaisinmaksuajan jälkeistä aikaa mitenkään. Menetelmä on yksinkertainen ja helppo laskea. (24; 26)

Takaisinmaksuaikamenetelmä on käyttökelpoinen työkalu laskettaessa rahoituksen riittävyttä useiden pienten tai lyhytaikaisten investointien yhteydessä (23). Menetelmä on hyvä myös tuottojen kertymisnopeuden laskemiseen (27). Radoilla tuottojen kertymisnopeuden tarkastelu ei liene mielekästä, sillä kaikkien hyötyjen arvottaminen on vaikeaa ja usein hankkeiden hyödyt realisoituvat vasta pitkällä ajanjaksolla. Menetelmän sovellusalue rataympäristössä on siis kapeahko.

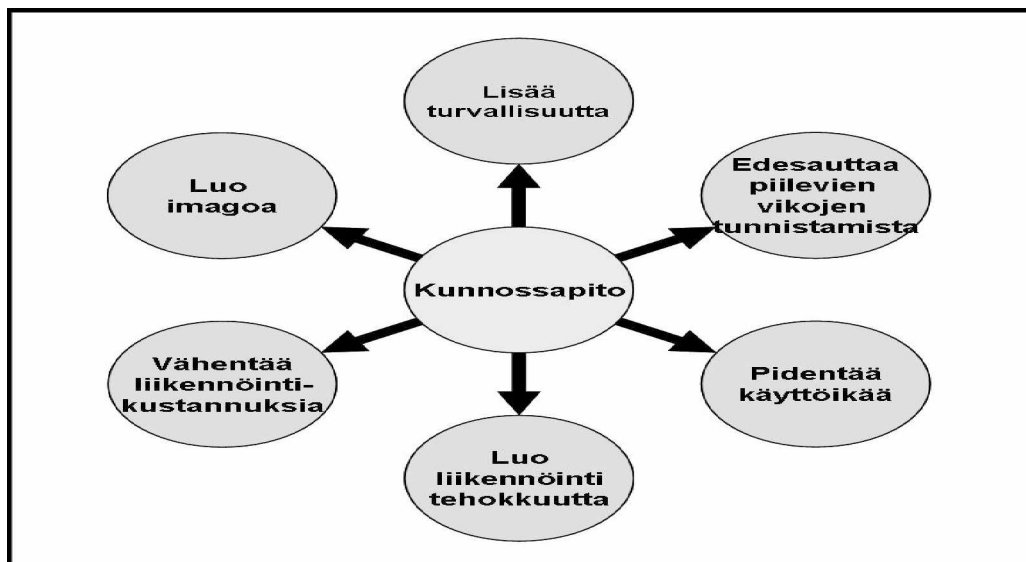
2.4 Elinkaariajattelu rautatieympäristössä

2.4.1 Kunnossapidon merkitys

Rautatiet muodostavat kompleksisen verkoston, jonka toimivuudelle ja käytettävyydelle kunnossapito on tärkeää (19; 25; 28; 29). Omistajan pääomaa on sitoutunut valtavasti radan infrastruktuuriin sekä radan pitämiseen liikennöitävässä kunnossa (28; 30). Kunnossapito- ja uusimiskustannukset muodostavat huomattavan osan omistajalle muodostuvista ratojen elinkaarikustannuksista (14; 20; 31), jolloin pienelläkin kunnossapidon tehostamisella voidaan saavuttaa suuria säästöjä (30).

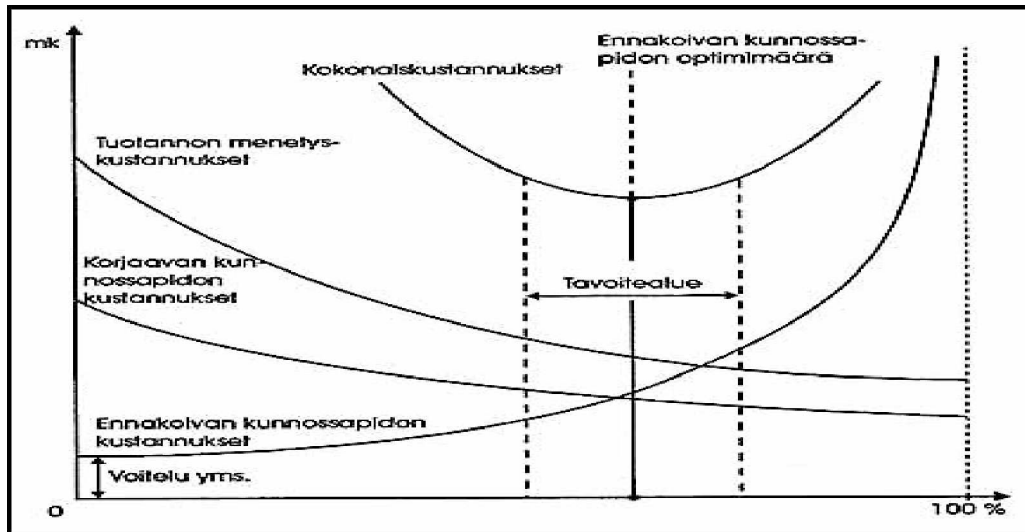
Kunnossapitokustannukset määräytyvät sekä vaurioitumisen aiheuttaman korjaustarpeen että valittavien toimenpiteiden perusteella (9). Elinkaarikustannusten hallitsemiseksi on tärkeää tuntea radan rakentamisen jälkeiset ylläpitokustannukset ja niiden kohdentumisajankohta (32). Kunnossapidon suunnittelun merkitys teknisesti ja taloudellisesti on erityisen tärkeää elinkaaren loppuvaiheessa (33), jolloin kunnossapitokustannukset ovat suuremmat kuin elinkaaren alussa (22).

Radan kunnossapito- ja uusimisstrategialla varmistetaan haluttu radan palvelu- ja turvallisuustaso mahdollisimman pienillä kuluilla (28; 33). Valittu kunnossapitostrategia vaikuttaa materiaalivalintojen ohella koko elinkaaren ajan ehkäisevän kunnossapidon ja uusimisen määrään (19; 34). Päätökset kunnossapitoa koskien tehdään tasapainottamalla taloudellinen ja turvallisuusnäkökulma (25). Kestävällä tavalla suunniteltu kunnossapito huomioi myös radan komponenttien ja osien kuormituksen keston (33) ja käyttöiän. Zoetemanin (29) mukaan kunnossapito on ollut aliarvostettua ja jopa väheksyttyä, vaikka kunnossapidolla on kuvaan 2.5 koottuja positiivisia vaikutuksia.



Kuva 2.5 Kunnossapidon positiivisia vaikutuksia.

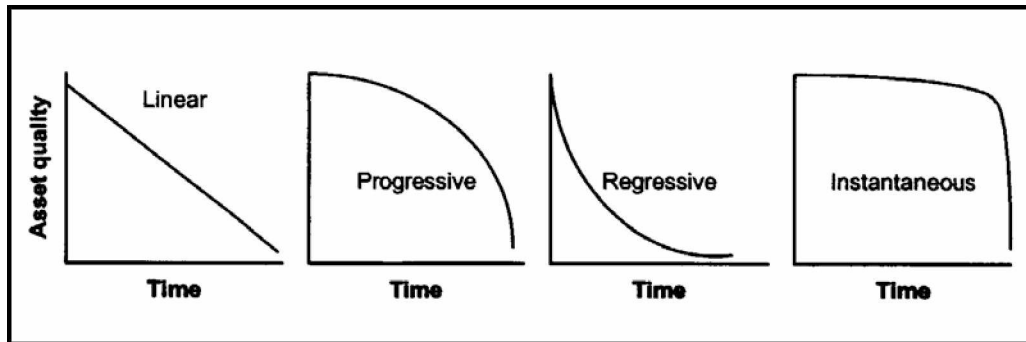
Optimaalisen kunnossapitotason löytämiseksi on huomioitava monia asioita eikä kansantaloudellisesti parasta kunnossapitotasoa ole yksinkertaista määrittää (7). Siirryttäessä reagoivasta kunnossapidosta ehkäisevään kunnossapitoon voidaan saada kustannussäästöjä ja vähentää liikennehäiriöitä, mutta on vaikeaa määrittellä, mikä on sopiva määrä ehkäisevää kunnossapitoa (19; 28; 31). Ehkäisevälle ja korjaavalle kunnossapidolle voidaan hahmottaa kuvan 2.6 mukainen taloudellinen optimi (35). Ehkäisevän kunnossapidon laiminlyönnin seurauksena kunnossapitokustannukset voivat nousta suhteettoman suuriksi (19). Peruskorjaukseen käytettävät kustannukset voivat myös maksaa itsensä takaisin alentuneina kunnossapitokustannuksina (31).



Kuva 2.6. Ennakoivan kunnossapidon periaatteellinen vaikutus kokonaiskustannuksiin (35).

Yllättävät kunnossapitotarpeet voivat nostaa elinkaarikustannukset moninkertaisiksi (31). Yllättävien kunnossapitotoimien ja radan virheiden määrä voidaan nähdä myös ratainfrastruktuurin laadun ja kunnossapidon mittareina (7; 31). Viat ja häiriöt vaikuttavat liikennöinnin luotettavuuteen (19). Täten täsmällisyystilastot ovat oire radan kunnosta (7). Suomessa henkilökauko- ja tavaraliikenteessä pyritään saamaan 90 prosenttia junista täsmällisyyden rajoissa asemalle (36). Vuonna 2008 henkilökaukojunista täsmällisyyden rajan saavutti 90,6 prosenttia ja tavaraliikenteessä 87,4 prosenttia junista (36). Tämän perusteella kyseisenä vuonna radan kunnossa ei ole tavoitteisiin nähden kovin suurta eroa. Kaikki myöhästymiset eivät kuitenkaan ole riippuvaisia radan kunnosta vaan myös ulkoisilla ja ennakoimattomilla tapahtumilla, esimerkiksi säällä, voi olla vaikutusta täsmällisyyteen.

Radan kunnan huononeminen aiheuttaa vikoja ja lisää kunnossapidon tarvetta (19). Radan kunnan huononeminen voidaan havaita myös asetetuista liikenteellisistä rajoituksista, kuten paino- ja nopeusrajoituksista (37). Tyypillisesti radan kunnan heikkeneminen voidaan kuitenkin tunnistaa vasta vuosien kuluttua (37). Kuvassa 2.7 on esitetty periaatteelliset kunnan kehittymisen käyrät (29). Radan rakenneosien kunnan kehittymisen tunteminen on tärkeää, jotta voidaan ennustaa tulevia kunnossapito- ja uusimistoimenpiteitä (19; 29). Kunnan kehittymisen funktioiden tunteminen perustuu yleensä kunnossapitäjän käytännön kokemukseen (19). Yleensä radan kunnan huononeminen on hitaampaa hyväkuntoisella radalla kuin huonokuntoisella radalla (22) vastaten progressiivista kunnan kehittymiskäyrää kuvassa 2.7. Kunnan kehittymisen arviointiin ja kunnossapidon ajoittamiseen voidaan hyödyntää aiemmin havaittuja kehityssuuntia (19; 22). Radan eri rakenneosien kunnan heikkenemismallien tuntemista voidaan pitää elinkaaritehokkaan radan edellytyksenä. Kunnan kehittymismallit voivat yksinkertaisimmillaan olla kuvan 2.7 mukaisia, mutta kehittyneempinä huomioivat myös kuormituksen, liikennemäärät ja rakenneosien teknisen laadun. Itävallassa on esimerkiksi valittu radan kunnan kehittymisen tarkastelun lähtökohdiksi: pohjamaa, kuivatus, päällysrakenteen tyyppi, radan geometria, akselipaino, nopeus sekä radan ja sen komponenttien ikä (22).

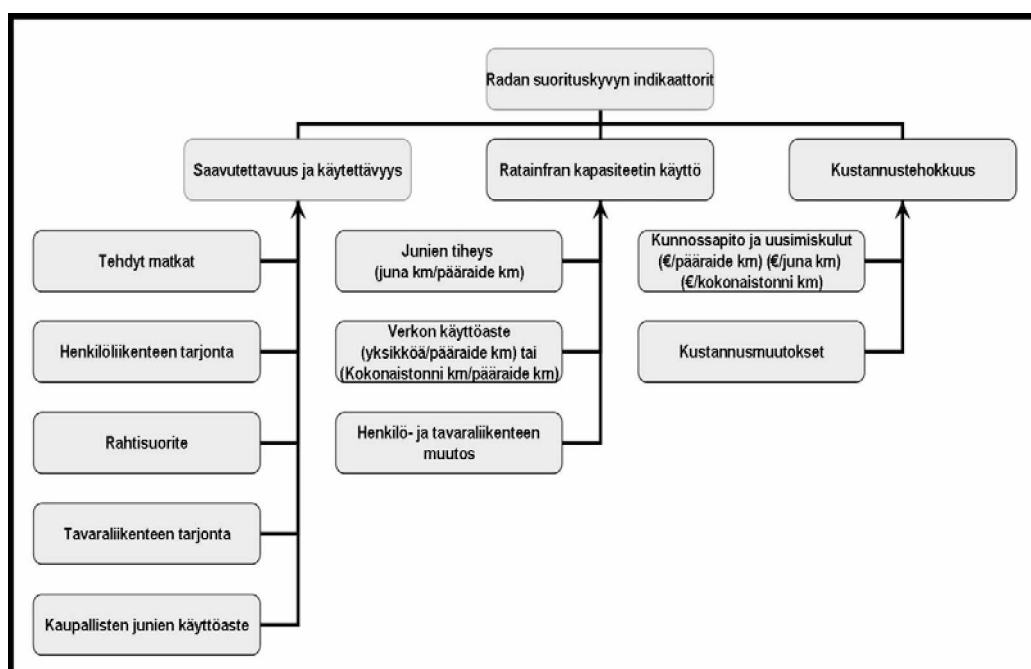


Kuva 2.7. Tyypilliset kunnan kehittymisen mallit (29).

2.1.2. Kustannusten muodostuminen

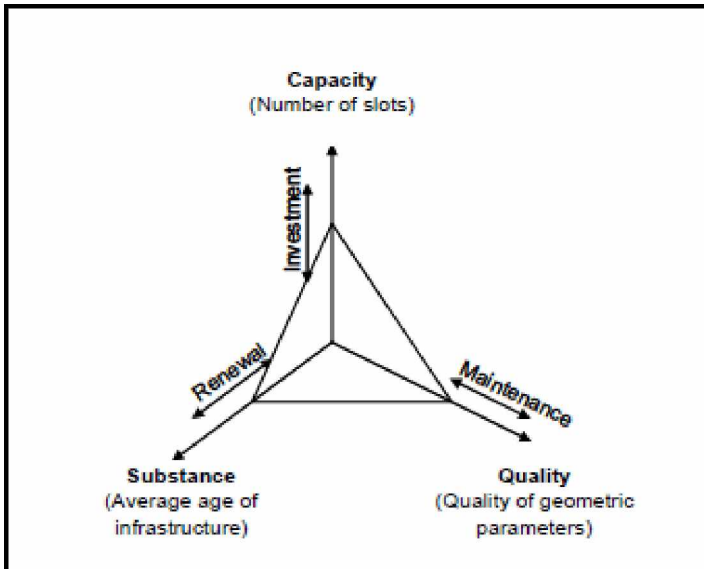
Yleisestä elinkaarikustannusten muodostumisesta, joka sisältää sekä omistajan että käyttäjän kustannukset, poiketen Tuhola et al. (38) katsovat radan elinkaarikustannuksien koostuvan vain radanpitäjän kustannuksista. Nämä muodostavatkin suurimman osan elinkaarikustannuksista, mutta myös muita tärkeitä kustannuseriä on. Tarkasteluissa tulisi lisäksi huomioida esimerkiksi liikennöitsijän kustannukset, matkustajien kustannukset ja ympäristökustannukset (22).

Elinkaarikustannusten arvioimiseksi radan suorituskykyyn vaikuttavat tekijät tulisi kyetä määrittelemään vaikutussuhteineen (19). UIC:n määrittelemät radan suorituskyvyn mittarit; saavutettavuus ja käytettävyys, raitinfran kapasiteetin käyttö ja kustannustehokkuus sekä niiden muodostuminen on esitetty kuvassa 2.8 (31). UIC:n työryhmä seuraa näiden mittareiden kehittymistä vuosittain (31). Vertailemalla radan suorituskyvyn indikaattoreita kunnan kehittymiseen ja kunnossapitoon voidaan hakea radan kunnan yhteyttä sen toimivuuteen ja taloudelliseen tehokkuuteen. Esimerkiksi tuntemalla sekä radan kunnan kehitys että tehdyt matkat tavara- ja henkilöliikenteessä voidaan tehdä joitain päätelmiä radan kunnan vaikutuksista matkustus- ja kuljetushalukkuuteen.



Kuva 2.8 Radan suorituskyvyn mittarit. UIC:n (31) mukaan.

Rautateiden kustannuksiin vaikuttavat perusasiat: kunnossapito, peruskorjaus ja investoinnit ovat tiiviisti kytkeytyneet toisiinsa (Kuva 2.9) (25). Kuvassa 2.9 esiintyvän kolmion liikkuminen jonkin akselin suuntaisesti vaikuttaa myös kahteen muuhun akseliin. Kapasiteetin kasvattaminen heikentää radan kuntotason lisääntyneen kuluminen vuoksi lyhentäen samalla radan käyttöikä. Tekniseltä kunnoltaan vanha rakenne vaatii enemmän kunnossapitoa ja kunnossapidon lisääminen parantaa radan kuntoa, jolloin käyttöikä ja kapasiteetti lisääntyvät (25).



Kuva 2.9 Radan kustannuksiin vaikuttavat perusasiat (25).

Tiiviisti toisiinsa vaikuttavien investointi- ja kunnossapitokustannuksien myötä radan investoinneista halvin tai kallein ei välttämättä ole edullisin huomioitaessa koko elinkaari (22). Esittämällä elinkaaren aikaiset kokonaiskustannukset voi päättäjien vakuuttaminen kalliimmalla alkuinvestoinnin kannattavuudesta olla helpompaa (22). Onko siis parempi tehdä kallis ja laadukkaampi investointi vai edullisempi ja enemmän kunnossapitoa vaativa alkuinvestointi? Radan kuntotason ja elinkaarikustannusten välistä riippuvuutta ei täysin tunneta eikä alhaisten elinkaarikustannusten seurauksena välttämättä ole heikkokuntoinen rata (31). Elinkaarikustannuksia analysoimalla voidaan määrittää investoinneille optimaalinen tekninen taso vertailemalla eri tasojen edellyttämiä investointikustannuksia ja aiheutuvia kunnossapitokustannuksia (19; 22). Elinkaarikustannusten tarkka laskenta edellyttäisi kustannusten tuntemisen lisäksi turvallisuuteen, ympäristövaikutuksiin ja työhyvinvointiin liittyvien sääntöjen ja rajoituksen huomioimista (19).

2.4.3 Tämän hetkinen tieto-taito

Radoilla täysi ymmärrys kunnossapidon, investoinnin ja rakenteen laadun vuorovaikutussuhteesta on vielä saavuttamatta (21), vaikka tietämys ja menetelmät ovat kehittyneet viime vuosina (31). Radan kunnan kehittymiseen vaikuttavat tekijät vaativat kuitenkin vielä lisätutkimuksia (21). Yksityiskohtainen tiedon kerääminen radan rakenneosista ja komponenteista on tärkeää, koska kullakin on ominainen kunnan kehittymisprosessi (33).

Suomessa yksityiskohtainen tiedon kerääminen on aloitettu ratalinjojen ja ratapihojen erillisillä elinkaariselvityksillä (7; 39). Elinkaariselvityksissä on kerätty rataosakohtaisesti tietoa radan laitteista ja varusteista, kunnossapito- ja uusimishistoriasta sekä käytetyistä materiaaleista (40). Lisäksi selvityksissä on arvioitu rakenneosien

en kunnan kehittymistä tulevaisuudessa (7). Selvitysten tavoitteena on kunnossapito- toimien kohdentaminen oikein (39). Nämä selvitykset ovatkin oivallinen pohja elinkaaren ja kustannusten hallinnalle.

Vihermaa (16) on tehnyt Suomen rautateiden ekotehokkuudesta selvityksen, joka huomioi varsin kattavasti käytetyn materiaalin ja tuotetun palvelun suhdetta. Selvitys on osa suomalaisten liikennemuotojen ekotehokkuutta tutkivaa FIN-MIPS-liikenne hanketta, jossa lasketaan ja vertaillaan eri liikennemuotojen MIPS (material input per service level)-lukua. Tutkimuksen mukaan radoilla heikon MIPS-luvun aiheuttivat esimerkiksi pohjanvahvistus, sadeveden pois johtaminen, varikot ja betonia sisältävät rakenteet. Täten kiinnittämällä huomiota maarakennukseen ja energiantuotantomuotoon voitaisiin ratojen ekotehokkuutta parantaa. (16)

Suomessa on laadittu kansallinen elinkaarimalli, jonka tarkoituksena on nopeuttaa julkisten hankkeiden elinkaarisopimuksia (34). Malli on tarkoitettu käytettäväksi sekä väylä- että kiinteistöhankeissa (34). Elinkaarimallissa urakoitsija voi toteuttaa rakentamisen lisäksi rakennesuunnittelun sekä vastata kohteen hoidosta ja ylläpidosta sopimuksessa määritellyn ajan. Rakennusurakoitsijalla on oletettavasti suurempi kiinnostus optimoida rakenteen tekninen kunto elinkaarikustannuksien suhteen, kun myös kunnossapito sisältyy heidän vastuulleen. Suomen kansallisen elinkaarimallin taustalla olevaan kehityshankkeeseen osallistui monia tilaaja- ja asiantuntijaorganisaatioita, joiden joukossa oli myös Ratahallintokeskus (34). Selvityksessä etsittiin myös mahdollisia hankkeita, joissa elinkaarimallia voitaisiin hyödyntää (34). Ratahankeita on mainittu kolme; Kokkola - Ylivieska kaksoisraide, Kolarin radan perusrannus ja kaivosratahankeet (34). Näistä Kokkola-Ylivieska-rataosuudella jonkinasteinen elinkaarisopimus toteutunee ja hankkeen valmistelu on alkamassa (41).

Monet maat ovat kehittäneet elinkaarikustannusten määrittämiseksi omia laskentamalleja etenkin kunnossapito- ja peruskorjauskustannusten laskentaan. Euroopassa alan asiantuntijat ovat kehittäneet ECOTRACK ohjelmiston, jonka avulla voidaan optimoida mm. kunnossapitokustannukset (28; 33). Alankomaissa Delft:n Teknillisessä Yliopistossa on kehitetty DSS (decision support system), jolla voidaan arvioida esimerkiksi eri suunnittelu- ja kunnossapitostrategioiden elinkaarikustannuksia (19; 28). Ranskassa RFF (The French Railways Authority) on kehittänyt MOVE -työkalun, joka ilmoittaa ensin kokonaisliikennemäärän perusteella odotetun iän valiten tämän jälkeen sopivan kunnossapitostrategia ja lopuksi laskee elinkaarikustannukset (21). Amerikkalaisella TRACKS-mallilla voidaan arvioida kunnossapito- ja peruskorjauskustannuksia radan geometrian, radan komponenttien ja radan kunnan funktiona (21). Mallilla on tutkittu esimerkiksi raskaiden akselipainojen vaikutusta radan kustannuksiin (21). Tässä työssä oli mahdollista tutustua vain lyhyesti muutamaaan elinkaarikustannusten tarkastelumalliin. Niiden tarkempi soveltuvuusarviointi olisi suositeltavaa jatkossa.

3 Rakenneosien kunnonkehityksen arviointi

3.1 Perusteet

Ratojen sallittujen akselipainojen ja nopeuksien nostot ovat tärkeitä eritoten kilpailtaessa muiden liikennemuotojen kanssa (28). Rautatiet ovat kilpailukykyisiä säännöllisissä ja volyymiltaan suurissa kuljetuksissa, jolloin akselipainon noustessa lisääntynyt kuljetuskapasiteetti ja kohentunut kustannustehokkuus kasvattavat rautatiekuljetusten kilpailukykyä entisestään (42; 43). Radan ollessa sopiva raskaalle kalustolle tekniikan kehittyminen mahdollistaisi suuremmat akselipainot nostaten tehokkaasti radan kapasiteettia ja vähentäen samalla liikennöintikustannuksia, mutta pienemmille akselipainoille suunnitelluilla olemassa olevilla rataosilla raskaan kaluston käyttöönotto ei ole ongelmatonta (22; 42). Suomen rataverkollakin akselipainon nosto vaatii yleensä joitain toimenpiteitä (44), jolloin hankkeen kannattavuus ja laajuus tulisi selvittää. Hankkeiden kannattavuuden selvitystä käsitellään tarkemmin luvussa 4.

Liikennöitävyyttä parantavien korvausinvestointien, eli akselipainon- ja nopeuden nostohankkeiden vaikutuksia ja teknisiä vaatimuksia on tutkittu, mutta tutkimustulokset ovat osittain puutteellisia. Luvussa 2 todettiin, että radan käytöllä on oleellista merkitystä radan käyttöikään (7; 20; 22; 25; 31) ja ulkomailla tehtyjen tutkimusten mukaan akselipaino ja nopeus vaikuttavat elinkaarikustannuksiin (19; 20; 25; 31). Radan käytön yleisenä mittarina pidetään junatiheyttä ja kokonaisliikennemäärää vuodessa (20). Esimerkiksi kulumista ja kunnossapidon tarvetta määritellään usein liikennemäärätonnien mukaan (31). Toisaalta kuormapainon suhteellisen osuuden kasvaessa akselipainon nosto saattaa jopa hieman vähentää bruttoliiikennemäärää (41), mutta on pohdittava voiko sallitun akselipainon korottaminen kuitenkaan vähentää elinkaarikustannuksia tai radan kulumista. Akselipainon noston seurauksia olisikin syytä kyetä tarkastelemaan muutoinkin kuin bruttotonniperusteisesti, koska oletettavasti akselikuorman lisäyksellä on merkitystä ainakin joidenkin radan rakenneosien kunnan kehittymiseen.

Liikennöinnin erityispiirteet, jona akselipaino voidaan nähdä, vaikuttavat yhtenä tekijänä elinkaarikustannuksiin (19). Jotta voidaan selvittää akselipainon ja nopeuden korottamisen vaikutukset koko elinkaaren aikana syntyviin kustannuksiin, olisi ensin hyvä tiedostaa korottamisten vaikutukset elinkaarikustannusten osatekijöihin. Lehmus et al. (17) mukaanhan (Kuva 2.3) elinkaarikustannukset muodostuvat hankinta-, käyttö-, ylläpito-, korjaus-, uusimis- ja ympäristökustannuksista. Elinkaarikustannusten arvioinnin pohjaksi olisi tunnettava radan ja sen rakenneosien suorituskykyyn vaikuttavat tekijät (19). Tarvittaisiin siis kunnan kehittymisen funktiot radan eri komponenteille ja rakenneosille (19; 29), joissa huomioidaan myös akselipainon ja nopeuden noston vaikutukset. Tiedon keräys ja kuvaus on tehtävä yksityiskohtaisesti ja täsmällisesti radan eri rakenneosille, sillä niillä kullakin on ominainen kunnan kehittymisprosessi ja kunnossapitotarve (33). On kuitenkin huomioitava, että kuormitus on vain yksi kunnan kehittymiseen vaikuttava tekijä ja myös rakenneosien ja rakenteiden alkuarvoilla teknisellä tasolla on merkitystä (19).

Esveldin (28) mukaan ORE komitean D141 määrittelemä kunnan kehittyminen noudattaa kaavaa 3.1, jossa lasketaan huononemista edellisen kunnossapitotoimen jälkeen huomioiden kokonaisliikennemäärä, akselipaino ja nopeus. Vakioiden α ja β arvot on esitetty taulukossa 3.1. Esveld ei kuitenkaan ole määritellyt nopeuden vaikutusta.

tuksen huomioivan parametrin α eikä verrannollisuuskertoimen k suuruutta. Siten kaavalla ei nykyisellään pysty määrittämään nopeuden muutoksen vaikutusta kunnan kehittymiseen, mutta oletettaessa nopeuden ja verrannollisuuskertoimen pysyvän samana voidaan vertailla eri akselipainojen merkitystä esimerkiksi kiskon väsymiseen ja piirtää tästä kuvaajat. Nostettaessa akselipainoa samasta lähtötilanteesta suoraan tarkastelupainoon (esim. 22,5 t \rightarrow 25 t ja 30 t) kuvaajaksi saadaan kaksi suoraa, joilla on eri kulmakertoimet. Tällöinkään kunnan kehittymiselle ei saada varsinaista numeerista arvoa vaan arvio kiskon väsymisen kehittymisestä akselipainon noston myötä. Käyttämällä kaavaa 3.1 eri lähtöarvojen vaikutuksen vertailuun saadaan käyriä, jotka noudattavat kuvassa 2.7 esitettäviä radan kunnan kehittymisen malleja. α :n ja k :n määrittäminen olisi tarpeen kaavan laajempaa hyödyntämistä varten. Kaava tarjoaa eksaktin ratkaisun sijaan lähinnä suuntaa-antavan käsityksen kunnan kehittymisestä ja tarkempaa tarkastelua varten lienee, vakioiden määrittämisen lisäksi, tarpeen kaavan laajentaminen käsittämään myös muita kunnan kehittymiseen vaikuttavia tekijöitä sekä tarkasteltavan radan teknisen tason huomioiminen. Lisäksi vakioiden arvojen soveltuvuuden tarkastaminen Suomen olosuhteisiin on tarpeen.

$$E = kT^\alpha P^\beta V^\gamma \quad (3.1)$$

missä

E on kunnankehitys uusimisen tai edellisen kunnossapitotoimenpiteen jälkeen

T on kokonaisliikennemäärä

P on akselipaino (staattinen + dynaaminen)

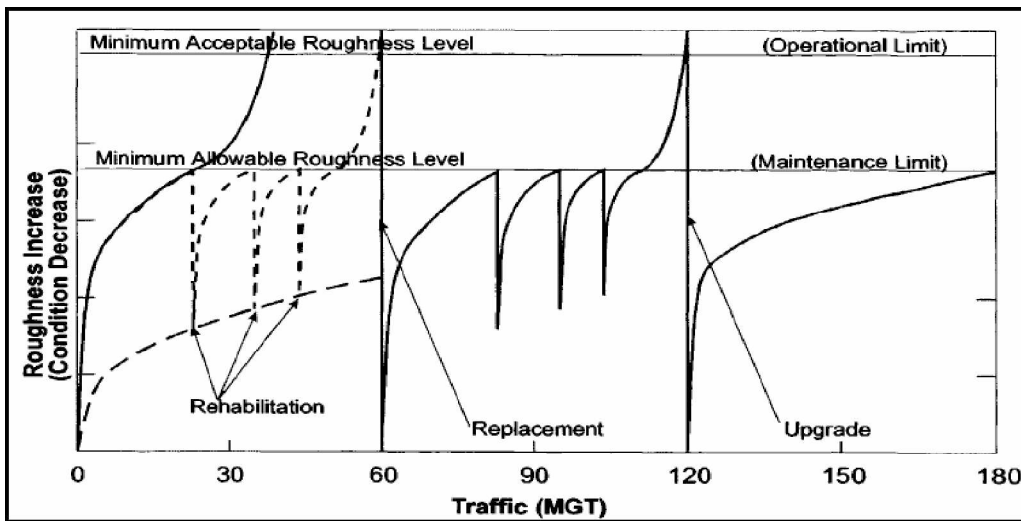
V on nopeus

k , α , β ja γ ovat taulukon 3.1 mukaisia vakioita. (28)

Taulukko 3.1. ORE D 141 ja ORE D 17 komiteoiden määrittelemät kunnan kehittymisen vakiot kaavaan 3.1 (28).

Ilmiö	α	β	β/α
Kiskon väsyminen (rail fatigue)	3	3	1
Kiskon pintaviat (rail surface defect)	1	3.5	3.5
Muiden radan komponenttien väsyminen (fatigue of other components)	3	3	1
Radan geometrian muutokset (track geometry deterioration)	1	3	3

Kuvassa 3.1 on radan geometrian kunnan kehitykselle tyypillinen periaatekäyrä (19; 28), jonka arviointi on tarpeen elinkaarikustannuksia määritettäessä (28). Oikein ajoitetulla kunnossapidolla on mahdollista siirtää peruskorjausta (kuvan 3.1 pisteiviiva), mutta ajan kuluessa kunnossapidon tehokkuus heikkenee ja peruskorjaus on tarpeen (19). Liikenteen turvallisuus- ja luotettavuustason säilyttämiseksi tämä peruskorjaus tulisi tehdä ennen liikennöintiraja-arvon ylittymistä (19). Kuvasta voidaan havaita myös kunnossapitojaksojen lyhentymisen ajan kuluessa, mikä ilmentää kokonaisliikennemäärän vaikutusta kunnossapidon tarpeeseen. Kuva ilmentää myös aiemmin painotettua kunnossapidon merkitystä radan elinkaareen.



Kuva 3.1. Radan geometrian laadun huononemiselle tyypillinen käyrä (19).

Tuomisen (4) työ rautatieinfrastruktuurin elinkaarikustannuksista osoittaa kustannusten arvioinnin moninaisuuden. Esimerkiksi kiskojen elinkaarikustannuksissa on huomioitava esimerkiksi hankinta-, kierrätys-, kunnostamis-, kiskoromu-, hionta-, kulumis-, yksittäisvaihto-, kunnossapito- ja tarkastuskustannukset (4). Myös työmaakohtaiset yleiskustannukset on huomioitava (4). Näiden lisäksi elinkaarikustannuksiin voidaan olettaa kuluvan myös Ratahallintokeskuksen yleiset ohjaus-, valvonta- ja johtamistyöt (7). Näiden kustannusten huomioiminen ja jyvittäminen elinkaarikustannuksiin on haasteellista (7). Tuominen (4) toteaa tutkimuksensa päällysrakennetöiden kustannusten olevan varsin suppeasta otoksesta, eikä lähtötietoina tarvittujen töiden kustannuksia ole kirjattu yhdenmukaisesti. Työvoiman ja materiaalien hinnat ovat muuttuneet työn jälkeen (45). Voisikin olla paikallaan tehdä päivitetty selvitys elinkaarikustannuksista.

Seuraavissa luvuissa pyritään kokoamaan nykyistä tietämystä radan eri rakenneosien kunnan kehittymisestä ja sen vaikutuksista elinkaarikustannuksiin. Erityisesti pyritään tarkastelemaan sallitun akselipainon ja nopeuden korottamisen vaikutuksia. Niiden osalta oleellista olisi kyetä arvioimaan lyhentävätkö nostot oleellisesti komponenttien käyttöikä ja miten nostot vaikuttavat kunnossapitokustannuksiin. Tämän työn puitteissa oli mahdollista käsitellä akselipainon noston vaikutusta radan eri rakenneosiin lähinnä pintapuolisesti kooten tällä hetkellä tunnetut oleellimmat vaikutukset eikä aivan kaikkia radan komponentteja ole huomioitu. Tarkastelun ulkopuolelle on myös jätetty kalustoon, liikennepaikkoihin ja päästöihin liittyvät vaikutukset.

3.2 Akselipainon noston kokonaisvaikutus

Radan eri rakenneosien käyttöiät vaihtelevat suuresti. Alusrakenteen käyttöikävaatimus on 100 vuotta, kun taas routalevyiltä vaadittu käyttöikä on 40 vuotta (46). Raideseppelin ja kiskojen vaihtokäikää puolestaan arvioidaan kokonaisliikennemäärään perustuen (47; 48). Perusotaksumana akselipainon korotuksen myötä radan komponenttien vikojen voidaan odottaa lisääntyvän ja ajassa mitatun käyttöiän vähentyvän. Samalla päivittäisen kunnossapidon tarpeen otaksutaan lisääntyvän ja peruskorjauksen ajankohdan lähentyvän (5). Akselipainon noston positiivisina vaikutuksina voidaan pitää liikenteellisiä etuja, kuten kuljetettua nettotonnia kohden saavutettuja polttoai-

nesäästöjä sekä tietyn tavaramäärän kuljettamiseen edellytettyjen vaunujen ja veturi-
en pienempää lukumäärää (5). Myös terminaalien työmääriin ja junien henkilökunnan
määrään akselipainon nosto vaikuttaa kustannuksia alentavasti (22).

Martlandin (22) ja Stalderin (20) mukaan radan rakenteen kokonaislinkaarikustan-
nusten voidaan olettaa kasvavan akselipainon noston myötä, koska rataa kohdistuu
enemmän kuormaa. Kuitenkin painavampien junien seurauksena saavutettavat kapa-
siteetin kasvu ja liikennöintisäästöt ovat merkittäviä (22). Oleellista onkin tarkastella
sitä, kuinka paljon operointihyötyä on saatava, jotta kulut katetaan (22). Akselipainon
nosto voidaan nähdä myös strategisena (22) tai poliittisena päätöksenä, jolloin kus-
tannusten muutoksella ei ole laajempaa merkitystä. Kaikesta päätellen akselipainon
noston vaikutusta elinkaarikustannuksiin ei ole yksinkertaista määrittää ja tutkimus-
tietoa aiheesta tarvitaan lisää.

Akselipainon noston ja aiheutuvien kustannusten suhdetta voidaan Esveldin (28) mu-
kaan laskea kahdelle akselipainolle kaavalla 3.2. On kuitenkin huomioitava, että usein
vain pieni osa liikenteestä liikennöi maksimiakselipainolla.

$$\frac{K_2}{K_1} = \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{\beta/\alpha} \quad (3.2)$$

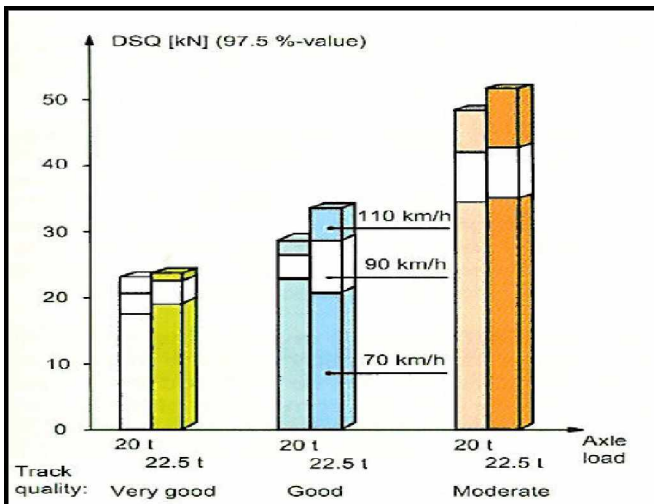
missä

P_i on akselipaino

K_i on akselipainoa vastaava kustannus

α ja β arvot on määritelty kokemusperäisesti ja niiden arvot on esitetty taulukossa 3.1.
(28)

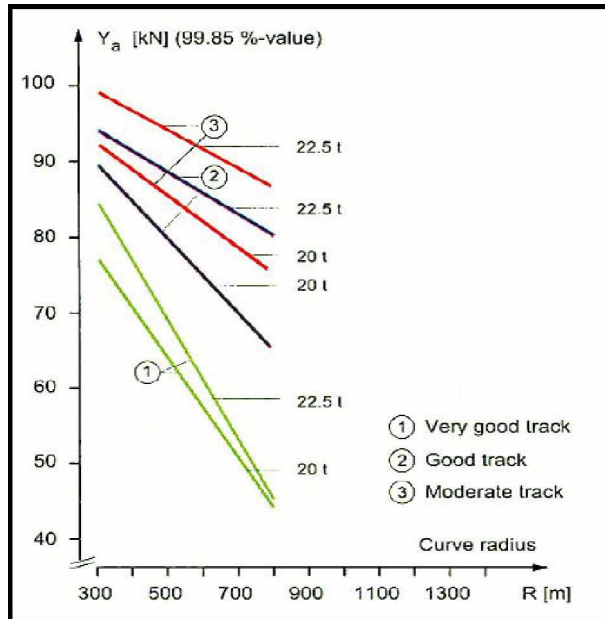
Amerikassa on tutkittu FAST-koeradalla akselipainon noston vaikutuksia ja havaittu
akselipainon korottamisen vaikuttavan negatiivisesti koko radan rakenteeseen lisäten
pyörä-kisko kontaktin voimia, jotka puolestaan lisäävät päällysrakenteen vaurioita
sekä sepeliin ja alusrakenteeseen välittyviä voimia (5). Sepeliin kohdistuva lisävoima
kasvattaa epätasaista painumista, joka edelleen lisää pyörä-kisko kontaktin dynami-
sia voimia (5). Näihin tuloksiin vaikuttanee myös radan sallittu tekninen kunto, joka
Amerikassa poikkeaa Suomen vaatimuksista. Kuvasta 3.2 voidaan nähdä Esveldin
(28) käsitys nopeuden ja akselipainon nostamisen vaikutuksesta kiskoon kohdistu-
vaan dynaamiseen voimaan (28).



Kuva 3.2 Akselipainon ja nopeuden noston merkitys kiskoon kohdistuviin dynaamiseen voimaan (28).

Harjavalta-Mäntyluoto-rataosuudella akselipainon nostosta eniten hyötyjä on syntynyt kuljetuksissa. Lisäksi kunnossapitäjä on hyötynyt akselipainon nostoa edeltäneen siltojen kunnostuksen myötä (44). Kiurun (44) mukaan myös Kirkniemi-Hanko-rataosuudella akselipainon nostolla on saavutettu monia positiivisia liikenteellisiä vaikutuksia: vaunujen ja vaihtotöiden väheneminen, vaunukapasiteetin tehokkaampi käyttö, joustavampi ja tehokkaampi tavarankuljetus sekä kuormaamisen ja purkamisen tehostuminen Kiskon kulumisen on havaittu lisääntyneen K17-telien myötä lukuun ottamatta suurikaarresäteisiä 60E1-kiskon vaihteita (44). Kiuru (44) kertoo, että jo aiemmin huonolaatuinen rakenne, alle 300 metrin kaarresäteet ja kevyemmät kuin 60E1-kiskot on havaittu ongelmallisiksi Kirkniemen tehdasradalla akselipainojen korottamisen jälkeen.

Pienet kaarresäteet koetaan kiskon nopean kulumisen vuoksi huonoiksi. Kaarresäteen vaikutus Y-voimaan, eli vaunusta kiskoon kohdistuvaan sivusuuntaiseen voimaan, onkin suuri (28). Kuten kuvasta 3.3 nähdään, akselipainolla ja kaarresäteellä on huomattava merkitys vaakasuuntaisen voiman suuruuteen. Kuvassa 3.3 on suhtauduttava hieman kriittisesti, sillä raiteen kallistuksesta kaarteissa ei ole varmaa tietoa. Kuvan 3.3 perusteella kaarresäteen lisäksi akselipainon korottamisella voidaan havaita olevan merkitystä kaarteissa syntyvään sivusuuntaiseen voimaan etenkin tekniseltä tasoltaan heikommilla radoilla, kun taas tekniseltä tasolta parhaimmalla radalla kaarresäteen vaikutus on akselipainoa dominoivampi (ilmeten kuvassa suurena kulmaker-toimena).



Kuva 3.3 Raiteen kaarresäteen ja radan teknisen tason vaikutus Y -voimaan (28).

3.3 Nopeuden noston kokonaisvaikutus

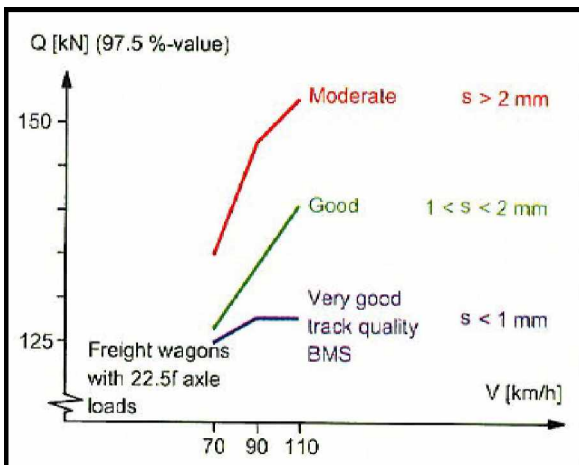
Nopeuden noston vaikutuksia rataan on tutkittu akselipainon nostoa vähemmän ja edellytykset nopeuden nostolle rinnastetaan usein akselipainon noston vaatimuksiin. Toteutettaessa nopeuden nosto henkilöjunille, joiden kokonaispaino on huomattavasti tavarajunia pienempi, on myös nopeuden kasvamisesta johtuva rataan kohdistuva kuormitus vähäisempää. Nostettaessa henkilöliikenteen junien nopeutta mahdollistetaan aikataulujen uudelleen järjestely, joka saattaa mahdollistaa suuremman junatarjonnan (42). Samalla kuitenkin suurennetaan entisestään tavara- ja henkilöliikenteen nopeuseroja. Nostettaessa tavarajunien nopeutta pienenevät henkilö- ja tavaraliikenteen nopeuserot, jolloin mahdollistetaan ratakapasiteetin tehokkaampi käyttö (42; 49). Tavarajunien nopeuden noston katsotaan kuitenkin lisäävän kunnossapitokustannuksia (28), sillä painavampien junien nopeuden nosto oletettavasti lisää rataan kohdistuvaa kuormitusta.

Sallittu nopeus vaikuttaa esimerkiksi tukikerroksen mittoihin (47) ja nopeuden noston yhteydessä ratapenkereen leveys tulisi tarkastaa (4). Jatkuvakiskoraide mahdollistaa liikennöinnin, kun sallittu nopeus on yli 120 km/h ja sitä suositellaan käytettäväksi nopeuden ollessa yli 50 km/h (47). RATO 11:ssä (47) on esitetty taulukot suurimmalle sallitulle nopeudelle eri päällysrakenteilla sekä betoni- ja mäntyratapölkyillä varustetuille radoille. Kuvassa 3.4 on esitettyinä 2-akseliselle tavaravaunulle sallitut nopeudet ja akselipainot (47).

Rata- kiskon tunnus	Suurin sallittu		Suurin sallittu		Suurin sallittu	
	akselipaino P [kN]	nopeus V [km/h]	akselipaino P [kN]	nopeus V [km/h]	akselipaino P [kN]	nopeus V [km/h]
K30*	225	20	200	40	160	50
K33*	225	20	200	40		
K43,	250*	10*	225*	50*	200*	60*
K43S	250	20	225	80	200	90
K60	250	30	225	50		
54 E1	250	80	225	120	200	160
60 E1	250	100	225	140	200	200

Kuva 3.4. 2-akselisille tavaravaunuille (250 kN akselipainolla neliakselinen vaunu) sallitut nopeudet ja staattiset akselipainot eri päällysrakenteilla (47).

Radan nopeusrajoitus perustuu geometriaan ja radan tasaisuuteen (22; 37). Nopeuden määrittämisen taustalla ovat lisäksi muun muassa radan rakenne, tasoristeykset, vaihteet ja liikkuva kalusto (37). Nopeus vaikuttaa yhtenä tekijänä kalustosta rataan siirtyvään ns. Q-voimaan, eli pystysuuntaiseen voimaan, mutta radan geometrialla voidaan vähentää nopeuden aiheuttaman voiman merkitystä (28). Kuvan 3.5 perusteella nähdään, että nopeuden vaikutus erittäin hyväkuntoisella radalla on melko pieni, mutta huono- ja hyväkuntoisella merkittävä (28). Kuvan perusteella voidaan päätellä, että mikäli radan teknisen tason parantaminen on edellytys nopeuden nostolle, ei nopeuden korottamisella olisi dramaattista vaikutusta syntyviin pystysuuntaisiin voimiin.



Kuva 3.5 Tavaravaunun (22,5 t) pystysuuntainen dynaaminen pyörävoima nopeuden suhteen. (28).

Värähtely, jossa ratapenger liikkuu pystysuuntaisesti junan kuormituksen vuoksi, voi muodostua ongelmaksi nopean liikenteen radoilla (4). Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan ns. kriittinen nopeus turvepohjaisella radalla on 160 km/h ja suurempiin nopeuksiin siirryttäessä värähtelyn amplitudin kasvu on voimakasta (4). Tekniseltä tasoltaan heikompi-kuntoisella radalla kriittinen nopeus voi olla lähes sama kuin sallittu nopeus, kun taas hyvätasoisella radalla sallittu nopeus voi olla huomattavasti kriittistä nopeutta matalampi (28).

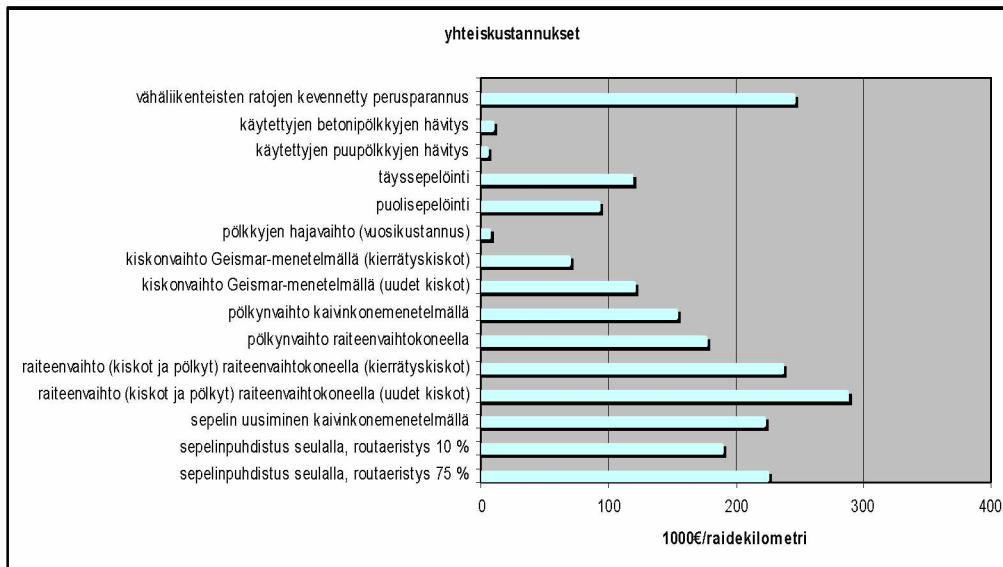
Suomessa on tehty värähtelytutkimuksia Lielähti-Seinäjoki-rataosuudella, joka on asiantuntijoiden mukaan värähtelyn kannalta kriittisin rataosuus (4). Tutkimus tehtiin Pendolinolla vuonna 2001 ja liikennöintinopeutena oli 220 km/h (4). Suuria värähtelyongelmia ei havaittu (4). Rataosakohtaisten nopeudennostosuunnitelmien yhteydessä värähtely on kuitenkin hyvä tarkistaa paikallisesti (4). On kuitenkin huomattava, että nopeus on vain yksi värähtelyyn vaikuttava tekijä ja myös pohjamaa sekä akselipaino vaikuttavat värähtelyn taajuuteen. Käytännössä tämä suurnopeusjunaefekti voi tapahtua vain pehmeimmillä savilla sekä turvealueilla, joissa leikkausaallon nopeus on suuruusluokkaa 50 m/s tai alle.

Henkilöliikenteen nopeuden nostolla on teknisten- ja liikennöintivaikutusten lisäksi merkitystä yhdyskuntarakenteen kehittymiseen. Vaikutukset aluerakenteeseen ja aluetalouteen ovat suoria tai välillisiä (50). Suorat vaikutukset ovat aikasäästöjä ja saavutettavuuden paranemisesta johtuvia vetovoiman kasvua (50). Välilliset vaikutukset liittyvät puolestaan muutoksiin aluetalouksien kilpailukyvyssä sekä aluerakenteen ja liikennemuotojen työnjaossa (50). Nopea junaliikenne vahvistaa asemapaikkakuntien asemaa seudullisena tai alueellisena keskuksena tukien yhdyskuntarakenteen tiivistymistä (50). Junaliikenne on merkittävässä osassa eritoten ns. keskipitkillä etäisyyksillä ja nopeasta junayhteydestä suurimman hyödyn saavat ratakäytävän läheisyydessä sijaitsevat suuret keskuksat ja asemapaikkakunnat (50).

3.4 Päällysrakenne

3.4.1 Lähtökohdat

Päällysrakenne koostuu tukikerroksesta ja raiteesta (46) sisältäen ratapölkkyt, kiskot ja kiskon kiinnitysosat (47) sekä vaihteet (51). Tukikerroksen materiaalina on raidesepeli tai vähäliikenteisillä radoilla raidesora (47). Elinkaaren aikana syntyviin kustannuksiin vaikuttavat esimerkiksi päällysrakenteen tyyppi, liikenteen kuorma ja linjaus (22). Tuomisen (4) mukaan teknisellä iällä on merkitystä päällysrakenteen kunnossapitokustannuksiin ja vasta uusitusta rakenteesta aiheutuu vähemmän kunnossapitokustannuksia. Kuormituksen lisäämisestä seuraa sepelin ja kiskojen ikääntymistä, jotka aikaistavat korvausinvestointeja (4). Kuvassa 3.6 on esitetty päällysrakenteen töiden yhteiskustannuksia raidekilometriä kohden vuonna 2004 (4). On huomioitava, että selvityksen tekemistä on aikaa ja kustannuksissa on voinut tapahtua muutoksia (45).



Kuva 3.6 Tuomisen laskemat päällysrakenteen töiden yhteiskustannukset vuonna 2004 (4).

3.4.2 Kiskot

Suomen pääradoilla on käytössä neljä kiskotyyppiä: K 30, K 43, 54 E1 ja 60 E1 (47). Uudet hankittavat kiskot ovat joko 54 E1 tai 60 E1-kiskoja (47). Ratakiskojen kierrätyksellä pääraiteelta vähäliikenteisemmille raiteille pyritään parantamaan rataverkon päällysrakenteen tasoa (47). Kiskon kierrätys on elinkaaritaloudellisesti järkevää, sillä liikennekuormituksen vähentyessä kiskon jäljellä oleva käyttöikä pitenee ja täten kiskoja käytetään maksimoidaan.

Kiskojen elinkaareen vaikuttavat kiskotyyppi sekä liikenteen kuormitus, joka aiheuttaa kiskossa hidasta väsymistä ja samalla myötörajan lähestymistä (4). Kiskon käyttöikä ylitys voi ilmetä murtumina ja katkeamina (4). Tuomisen (4) mukaan kiskon kulumisen elinkaaren aikana on melko tasaista ja radan päällysrakenteelle tehtävillä korjauksilla on vaikutusta kiskoja kierrätykseen. Kiskoille ei ole määritelty varsinaista käyttöikää (4), mutta laskennallinen vaihtoraja eli tekninen väsymisraja on määritelty (Taulukko 3.2) (4; 47). Vaihtorajaa lähestyvässä kiskossa kunnossapitotöitä vaaditaan enemmän (4).

Taulukko 3.2 Kiskoja laskennalliset vaihtorajat kiskotyypeittäin (47).

Kiskotyyppi	Laskennallinen vaihtoraja Mbrt
K 30	30
K 43	150
54 E1	300
60 E1	450

Levomäen ja Valtosen (52) mukaan akselipainon nosto 300 kN:iin vaatii: 60 E1-kiskon tai varauksin 54 E1-kiskon, jatkuvakiskoraiteen, linjalla betoniratapölkkyt, vaihteissa betoni- tai kovapuupölkkyt, S-tyyppin eristysjatkokset tai akselilaskentajärjestelmän ja suurisäteiset vaihteet. Kevyempiin (43 kg/m tai kevyempi) kiskolaatuuihin

akselipainon nosto vaikuttaa kulumisen nopeutumisenä ja lisääntyneenä kunnossapitotarpeena kaarreosuuksilla (52). Akselipainon nosto lisää kiskon kulumista ja kiskon merkitys kunnossapitokustannuksiin on suuri (jopa 25 %) (52). Täten kunnossapitokustannukset voivat kasvaa, mutta materiaalivalinnoilla kustannuksia voidaan hallita (52). Ruotsalaishavaintojen perusteella akselipainon noston myötä kiskonhionta ja kaarrevoitelu ovat tärkeitä toimenpiteitä kiskon kulumisen hallitsemiseksi (5). Korkeammille akselipainoille sopii parhaiten jatkuvakiskoraide (52). Akselipainon noston oletetaan vaikuttavan kiskohitsauksiin lähinnä kasvavalla vikatiheydellä (52).

3.1.1. Ratapölkkyt

Ratapölkkyjen tehtävänä on muun muassa jakaa kiskoista välittyvä kuorma laajemmalle alalle tukikerrokseen kohdistuessaan sekä antaa kestävä ja tasalaatuinen alusta kiskolle ja kiskon kiinnityksille (47). Suomen rataverkon pölkkyt ovat lähinnä betonitai mäntypuuratapölkkyjä (47). Betoniratapölkkyt antavat paremman sivuttaisvastuksen kuin puuratapölkkyt, pysyvät paremmin paikallaan ja soveltuvat siten paremmin jatkuvakiskoraiteille (47). Soraraitteilla ei käytetä betoniratapölkkyjä vaan aina puuratapölkkyjä (47). Elinkaarensa päässä kyllästetyt puuratapölkkyt ovat ongelmajätettä (47). Betoniratapölkkyt voidaan puolestaan murskata betonimurskeeksi ja hyödyntää terästen erottelun jälkeen esimerkiksi maarakennuksessa (53).

Tiheästi ja suurilla painoilla liikennöitävillä rataosilla kaarteissa sijaitsevien puuratapölkkyjen ikä voi olla vain 20 vuotta, kun vähäliikenteisellä rataosalla pölkkyjen käyttöikä voi olla 40 vuotta (4). Kaarteissa syntyvillä voimilla on ilmeisesti vaikutusta kiskon kulumisen lisäksi ratapölkkyjen kunnan kehittymiseen. Puuratapölkkyjen ongelmana on lahoaminen, jonka seurauksena kiskonkiinnitykset löystyvät (4). Ennen vuotta 1986 valmistettujen betoniratapölkkyjen käyttöikäavoitteena on 30 vuotta ja kyseisen vuoden jälkeen valmistetuilla pölkkyillä vastaavasti 40 vuotta (47). Vanhalla menetelmällä valmistetut betoniratapölkkyt eivät ole yhtä kestäviä kuin nykytekniikalla valmistetut pölkkyt, vaan ne saattavat rapautua ennenaikaisesti ja niiden päät saattavat murtua (4).

Asiantuntijoiden mukaan 1986 vuoden jälkeen tehtyjen pölkkyjen pitäisi kestää akselipainon nostamisen vähintään 250 kN:iin (52). Kiuru (44) kertoo Ruotsissa tehdystä tutkimuksesta, jonka mukaan betoniratapölkkyt eivät käytännössä kestäisi 300 kN:in akselipainoa 50 km/h nopeudella. Tuoreimman tiedon mukaan Ruotsissa akselipainon noston vaikutusta pölkkyihin tutkitaan vielä (5). Tampereen teknillisellä yliopistolla on alkanut tutkimus betonipölkkyjen vaurioitumismekanismeista, joka tuonee lisätietoa pölkkyjen kunnan kehittymiseen vaikuttavista tekijöistä.

USA:ssa FAST-koeradalla tehdyn tutkimuksen mukaan akselipainon nostolla ei ollut merkittävää vaikutusta betoniratapölkkyjen kustannuksiin silloin, kun pölkyn alapuolisten kerrosten ja pohjamaan kantavuus oli hyvä (5). Tukemisella voidaankin olettaa olevan suurta vaikutusta betonipölkkyjen rasitukseen ja hyvällä alustalla oleva pölkky voi kestää raskaamman kuormituksen kuin huonolla alustalla oleva (5). USA:ssa valtaosa ratapölkkyistä on puisia (5).

3.1.2. Tukikerros

Tukikerroksella on monia tehtäviä kuten vastaanottaa ratapölkkyiltä tuleva liikennekuorma jakaen jännitystä alemmille rakennekerroksille sopivaksi (48). Jotta tukikerros täyttäisi sille asetetut vaatimukset, raidesepelin kiviainekselta edellytetään monenlaisia ominaisuuksia, kuten lujuutta ja kulutuksen kestoa (48). Raidesepelin käyt-

töikä on riippuvainen kivimateriaalin lujuudesta (48). Taulukossa 3.3 on esitettynä raideseppelin käyttöikäarvio iskunkestävyyden suhteen. Pehmeän pohjamaan on havaittu vähentävän sepelin käyttöikää sepelirakeiden hangatessa toisiaan vasten alapuolisen rakenteen jouston seurauksena (54). Tukikerroksen kunnan kehittymisen kannalta oleellisen jauhautumisen seurauksena tukikerrosmateriaalin raekoko pienenee ja hienoaineksen määrä kasvaa vähentäen jäljellä olevaa käyttöikää. Hienoaines heikentää tukikerroksen toimintaa vähentäen vedenläpäisevyyttä ja tukemisen tehokkuutta (48).

Taulukko 3.3. Tukikerroksen kestoikä betonipölkkyraiteessa kumulatiivisena liikennemääränä (Mbrt) raideseppelin iskunkestävyyden (Los Angeles –luokan) suhteen (55).

Raideseppelin Los Angeles-luokka	Kestoikä Mbrt
LA _{RB} 12 (vastaa vanhaa R2)	350
LA _{RB} 16 (vastaa vanhaa R3)	250
LA _{RB} 20 (vastaa vanhaa R4)	150

Akselipainon korottamisella ei ole tutkimuksissa havaittu merkittävää vaikutusta lujan kiviaineksen jauhautumiseen, mikäli kokonaisliikennemäärä ei kasva (48). Betoniratapölkkyjen on puolestaan havaittu lisäävän jauhautumista (48). Tukemisen vaikutus sepelin jauhautumiseen on suuri, mutta ilman tukemista radan geometria huononee ja tällöin dynaamisen kuorman kasvaessa jauhautuminen lisääntyy (48). Nurmikolun (48) mukaan jauhautumiseen vaikuttaa oleellisesti myös raideseppelin raemuoto. Etenkin tiheästi liikennöidyllä rataosalla sepelin laadulla on merkitystä ja lujan sepelin kalliimmat hankintakustannukset ovat usein pidemmän käyttöiän johdosta kokonaistaloudellisesti edullisimmat (52). Tukikerroksen sisältämän hienorakeisenaineksen määrän saavuttaessa puhdistusrajan hienorakeisenaineksen poistaminen on elinkaaritaioudellisesti järkevää (56). Puhdistus toteutetaan raiteilla kulkevalla sepelinpuhdistuskoneella (56).

Esveldin (28) mukaan elinkaarikustannuksia tarkasteltaessa sepeliradalle kilpailukyisenä rakenteena voidaan pitää kiintoraidetta, jonka etuja ovat esimerkiksi vähäinen kunnossapito ja alhainen rakennepaksuus. Kunnossapitokustannukset ovat Esveldin (28) mukaan vain 20–30 prosenttia sepeliradan kunnossapitokustannuksista, mutta investointikustannukset ovat huomattavasti suuremmat (23). Täten kokonaiselinkaarikustannukset voivat kuitenkin olla kalliimmat kuin sepeliradalla. Suomessa kiintoraide voisi tuottaa ongelmia esimerkiksi lämmönvaihtelujen ja routimisen vuoksi. Betonirakenteen huonona puolena voidaan pitää esimerkiksi mahdollisesti tarvittaviin kunnostustöihin vaadittavaa pitkää aikaa ja suurempaa työmäärää (28).

3.1.3. Vaihteet

Vaihteissa liikenne voidaan ohjata raiteelta toiselle ja vaihteita voidaankin pitää tarkoituksenmukaisen liikenteen harjoittamisen edellytyksenä (51). Vaihteiden tehtävänä on yhdessä geometrian kanssa taata turvallinen liikenne ilman rajoituksia (51). Vaihteet vaikuttavatkin yhtenä tekijänä sallittuun nopeuteen (51). Kiskon huomattavan suuren kulumisen estämiseksi normaalia raskaammin liikennöityjen rataosuuksien vaihteissa voidaan käyttää lämpökäsiteltyjä ja erikoisteräksestä valmistettuja kiskoja (51). Vaihteiden kriittisiä osia ovat kielikisko, käyrä välikisko, risteys ja vastakisko, joiden kulumisesta aiheutuu mittapoikkeamia (52). Vaihteen vaatiessa laajaa kun-

nostusta se voidaan kierrättää vähemmän kuormitetulle rataosalle (57). Vaihteen vaihto voi olla taloudellisesti järkevää myös tukikerroksen vaihdon yhteydessä (57).

Raideristeyksiä ja vaihteita voidaan pitää kriittisinä komponentteina akselipainon nostoissa, koska niiden kunnossapitotarpeen katsotaan lisääntyvän huomattavasti (5). Akselipainon noston seurauksena vaihteiden tukikerroksen tuenta olisi tärkeää, vikatiheyden odotetaan kasvavan ja tarkastuskertoja olisi hyvä lisätä (52). Lisäksi vaihteiden kulutusosien nopeutuva vaihtotarve nostaa kunnossapitokustannuksia (52). Toisin sanoen kunnossapitokustannukset voivat nousta merkittävästi (52). Vaihteiden merkitys tukikerroksen ja kunnossapidon kustannuksiin on muutenkin suuri (20; 25), jopa 15 prosenttia kunnossapidon kokonaiskustannuksista (52). Ruotsissa vaihteiden osuus kunnossapitokustannuksista katsotaan olevan 13 prosenttia (5). Myös tiheä vaihdeväli voi nostaa kunnossapitokustannuksia (25). Kiurun (44) mukaan Harjavalta-Mäntyluoto-rataosuuden akselipainon nosto ei ole kuitenkaan paljoo vaikuttanut vaihteiden kunnossapitotarpeeseen.

3.5 Alusrakenne

Alusrakenteeseen kuuluvat välikerros, eristyskerros ja mahdollisesti suodatinkerros sekä routalevyt (46). Välikerroksen tehtävä on estää tukikerroksen sekoittumista alempiin kerroksiin muodostaen samalla hyvän alustan tukikerrokselle (46). Eristyskerroksen tehtävä on routasuojauksen lisäksi välittää kuormat pohjamaalle ja toimia välikerroksen alustana (46). Suodatinkerros puolestaan estää eristyskerroksen ja pohjamaan sekoittumisen (46). Alusrakenneluokka määräytyy henkilö- tai tavaraliikenteen vaatimusten mukaan (44).

Alusrakenteessa suurin vaikutus akselipainon nostosta kohdistuu välikerrokseen ja erityskerroksen yläosaan (52). Rakenteen kunnan kehittymisen kannalta materiaalin valintaan eritoten välikerroksen yläosassa olisi siten syytä kiinnittää huomiota välttämällä esimerkiksi kuormituskestävyydeltä heikkoja, rakeisuusjakaumaltaan tasarakeisia ja rapautumisaltista kiviainesta (52). Vuonna 2001 tehdyssä selvityksessä suositeltiin kasvattamaan välikerroksen paksuutta 150 mm:stä (52). Tämä on toteutettu ja nykyisin rakenteissa vaaditaan 300 mm välikerros. Alusrakennekerrosten paksuus katsotaan riittäväksi korkeammille akselipainoille, sillä routamitoitus vaatii paksua rakennetta (52). Kuitenkin vanhojen alusrakenteiden heikkoudeksi katsotaan juuri riittämättömät kerrospaksuudet, joiden seurauksena esiintyy routimista ja routanousun seurauksena joudutaan kevättalvella asettamaan nopeusrajoituksia (4). Liikennöinti epätasaisella radalla vaikuttaa negatiivisesti kunnan kehittymiseen ja liikennöinnin luotettavuuteen. Lisäkustannuksia aiheuttavat esimerkiksi routanousua loiventamaan tehtävät routakiilaukset, tarkkailut ja myöhästymiset (4). Myös ratapenkereen riittämättömän leveys katsotaan ongelmalliseksi (4). Riittävä pengerleveys vaikuttaa osaltaan raiteen pysymiseen oikeassa geometriassa (4).

Nurmikolun (58) mukaan ratojen alusrakenteessa on myös tuotanto-ongelmista kärsineitä routalevyjä, jotka kasvavat ja rikkoutuvat nykyisenkin akselikuorman alla. Nykyään radoilla käytetään vain kestävyydeltään parempia suulakepuristettuja polystyreenilevyjä (58). Akselipainon korottamisen myötä levyn pinta voi rikkoutua ja raidesepelin jauhautumisen seurauksena pintaan kerääntyy kosteutta (58). Käytännössä pinnan on havaittu rikkoutuvan jopa vuodessa (58). Nostettaessa akselipaino 250 kN:iin routalevyjen vaurioituminen voi kasvaa 22–35 prosenttia, mutta vaurioitumisen

lisääntyminen voidaan estää nostamalla levyjen puristuslujuusvaatimusta 500 kPa:iin (58).

AAR:n tutkimuksen mukaan hyvällä alusrakenteella radan geometria huononee kokonaisliikennemäärän eikä akselipainon funktiona (5). Myös huonolla kuivatuksella on vaikutusta vikojen lisääntymiseen (5).

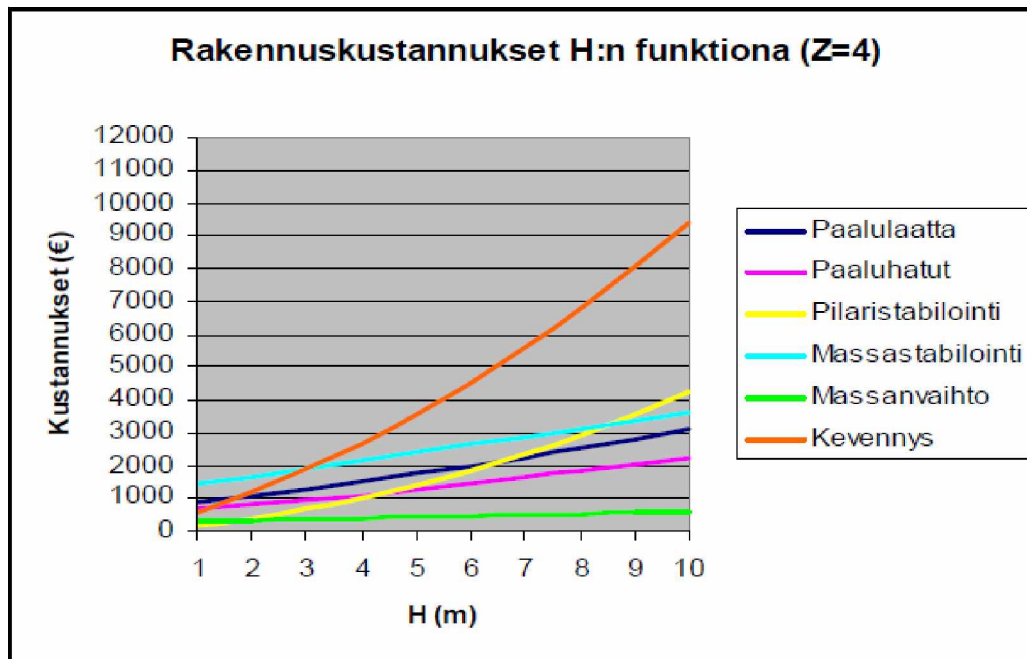
3.6 Pohjamaa, stabiliteetti ja kuormat

Pohjamaalla tarkoitetaan ratapenkereen alla olevaa maata (46). Pohjamaan laadun katsotaan vaikuttavan ulkoisena tekijänä elinkaarikustannuksiin (19). Alkuperäinen tekninen kunto sekä erityisesti pohjamaa ja kuivatus, ovatkin tärkeitä kustannustekijöitä (22). Pohjamaan ominaisuudet ohjaavat radan käyttäytymistä ja kunnon kehittymistä. Täten hyvälaatuisia perustuksia voidaan pitää kustannusten optimoinnin edellytyksenä (22).

Suomessa monet rataosuudet on rakennettu pehmeälle pohjamaalle. Muutenkin vanhat radat on suunniteltu nykyistä pienemmille kuormille ja pienemmillä varmuuskerroilla (4). Suurimmat ongelmat ovat maan pystysuuntainen kokoonpuristuminen, eli painuma ja radan heikko stabiliteetti, eli vakavuus massiivista liukupintasortumaa vastaan (4). Onkin varmistettava, että rakenteiden painumat ja siirtymät ovat riittävän pieniä radan turvallisen liikennöinnin takaamiseksi (44). Varmuuden sortumista, murtumista ja halkeilua vastaan on oltava riittävä (44).

Rakennettaessa uutta rataa tai parannettaessa vanhaa stabiliteettitarkastelut aloitetaan olemassa olevan tiedon keräämisellä (44). Stabiliteettilaskennalla tarkastetaan radan vakavuuden riittävyys ilman toimenpiteitä (44). Olemassa olevilta ratapenkeiltä vaaditaan kokonaisvarmuutta 1,5, joka sallii akselipainon nostamisen (52). Riittävän varmuuden tunteminen sortumista vastaan on tarpeen, sillä stabiliteetin voidaan olettaa noudattavan melko äkillistä kunnon kehittymiskäyrää, eli penkereen sortumisesta ei useinkaan ole aiemmin havaittavissa merkkejä. Tosin tuntemalla pohjaolosuhteet voidaan vahvistustarve selvittää eikä sortumista näin ollen pääse tapahtumaan.

Tuhola et al. (38) ovat kehittäneet ratojen ja teiden alusrakenteen kustannusten määrittämiseksi laskentamenetelmän tutkien erityisesti pohjanvahvistusmenetelmien kustannuksia. He ovat määrittäneet laskentakavat eri pohjanvahvistusmenetelmien elinkaarikustannuksista. Kustannusten syntymiseen ja menetelmien edullisuuteen vaikuttaa oleellisena tekijänä pehmeikköalueen laajuus ja syvyys sekä penkereen korkeus (Kuva 3.7). Pohjarakenteiden elinkaarikustannukset muodostuvat investointikustannuksista ja nykyhetkeen diskontatuista ylläpitokustannuksista. Radoilla on kuitenkin tiukat painumavaatimukset, jolloin korjauskustannuksia ei ole odotettavissa. Toisin sanoen tämän mukaan pohjarakenteiden valinta tapahtuu investointikustannuksien perusteella. Tuhola et al. (38) mukaan kyseinen elinkaarimalli soveltuu huonosti ratahankkeisiin. (38)



Kuva 3.7 Pohjarakennusmenetelmien rakennuskustannukset pengerkorkeuden (H) funktiona 4 metriä syvällä pehmeiköllä (38). Kustannukset ovat rata/tiemetriä kohden ja penkereen leveydeksi on oletettu 10 metriä (38).

3.7 Sillat

Sillaksi kutsutaan toisen liikenneväylän tai maastoesteen yli johtavaa rakennetta, jonka tukien välinen suurin etäisyys on yli 2 m (59). Sillan osia ovat alusrakenteet ja päällysrakenteet (59). Sillan alusrakenteet sisältävät paalutukset, maatuet, välituet, holvi- ja kaarisiltojen kantamuurit ja kehäsiltojen peruslaatat (59). Sillan päällysrakenteisiin sisältyy puolestaan kannatinrakenne, kansirakenne pintarakenteineen, varusteet ja laitteet, kuten laakerit, liikuntasaumalaitteet, kuivatusrakenteet, kaiteet sekä kolhaisusuojat (59).

Uusien betoni- ja terässiltojen käyttöikätaavoite on tämän hetkiselällä mitoituksella 100 vuotta (59). Siltojen rakenneosille on määritelty myös erillisiä käyttöikätaavoitteita, jotka on esitetty taulukossa 3.4 (59). Tuomisen (4) mukaan vuonna 2004 rautatiesiltojen keski-ikä oli 33,5 vuotta, jolloin peruskorjausikä pidettävä 35-40 vuotta on suuressa osassa siltoja jo saavutettu tai ainakin se on lähellä. Nykykunnan säilyttämiseksi onkin tehtävä jatkuvaa huoltotyötä (4), jolloin kunnossapitokustannuksien voidaan olettaa kasvavan. On arvioitu etteivät nykysillat saavuttaisi niille asetettua 100 vuoden käyttöikää johtuen esimerkiksi betonirakentamistekniikan tuntemisen puutteista ennen 1970-lukua (4). Lisäksi betonirakentamisen kehittymisen aikana 1960- ja 1970-luvuilla rakennetuissa silloissa voidaan havaita materiaalin voimakasta heikkenemistä sekä rapautumista (4).

Taulukko 3.4 Sillan rakenneosien käyttöikätaivoitteita (59).

Sillan rakenneosa	Käyttöikätaivoite
Reunapalkit	35
Betonirakenteen pinnoite	15
Teräsrakenteen pintakäsittely	30
Vedeneristys	35
Liikuntasaumalaitteet	35
Kumilevy- ja kumipesälaakerit	50

Nostettaessa akselipainoja ongelmia voi syntyä vanhimpien siltojen kantavuudessa ja siirtymälaattojen kohdalla (4). Akselipainon korottamisen vaikutuksen voidaan olettaa näkyvän viiveellä, jolloin korjaustarpeen realisoituminen voi tapahtua vasta vuosia korkeamman akselipainon käyttöönoton jälkeen (4). Akselipainon korottamiselle ei kuitenkaan pitäisi olla estettä seulottaessa huonokuntoiset sillat pois (52; 44). Kuitenkin joitain huomioita on tehtävä. Nostettaessa akselipaino 250 kN:iin jotkin rakenteet, kuten 1-aukkoinen jännemitaltaan alle 6 m ja I-48 tai vanhemmalla kuormakaaviolla mitoitettu teräsbetonisilta, saattavat vaatia vahvistustoimenpiteitä tai rakenteiden uusimista (52). Kantavuuden parantamisen lisäksi akselipainon korottaminen vaatii Kiurun (44) mukaan:

- Pengerlevityksen kasvattamista
- Rautatiesiltojen hallintaraportissa (2005) esitettyjen korvausinvestointien toteuttamista (lähinnä ikääntymisvaurioita)
- Huonokuntoisten siltojen erikoistarkasteluja ja niiden perusteella esitettäviä korjauksia (usein ikääntymisvaurioiden seurauksena vaikutusta mm. kantavuuteen)
- Reunapalkkien korotuksia sepelin pysymiseksi sillalla ja ratapölkkyjen päissä. (44)

Lisäksi vanhat sillat ovat kapeita ja vain noin 20 vuoden ajan on tehty riittävän levyisiä siltoja (44). Myös jatkuvaa tai tehostettua seurantaan vaativien siltojen määrä voi kasvaa akselipainon noston myötä (4).

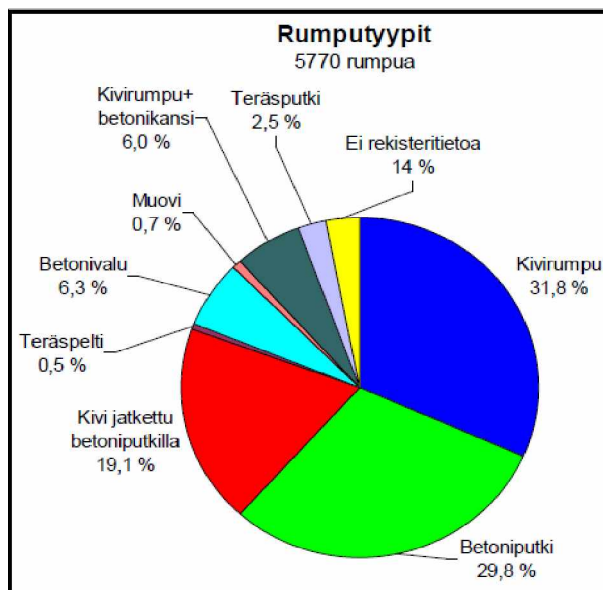
Tuomisen (4) vuonna tekemän selvityksen perusteella peruskunnossapitokustannusten voitaisiin olettaa kasvavan vuodessa 34 prosenttia siltaa kohden, jos jatkuvaa valvontaa tarvitsevia siltoja on 7 prosenttia kaikista silloista. Arvioin mukaan sillan rakennuskustannukset nousisivat kuitenkin vain 3 prosenttia, jos varauduttaisiin 30 prosenttia suurempiin akselikuormiin (52).

Myös nopeuden nosto on haaste silloille (4). Korkeamman nopeustason myötä asetetaan siirtymälaatoille tiukat painuman raja-arvot, jolloin nykyisten siltojen siirtymälaatat eivät välttämättä täytä painumattomuusvaatimuksia (4). Laajamittaisen nopeustason noston vaikutuksista kunnossapitokustannuksiin ei ole tietoa (4).

3.8 Rummut

Rummuksi kutsutaan siltamaista rakennetta, jolla tukien välinen vapaa etäisyys on enintään 2 metriä (59). Yksi rummun tärkeä tehtävä on toimivan kuivatuksen mahdollistaminen. Suurin osa rataverkon noin 6000 rummusta on 1800-luvulla tai 1900-

luvun alussa rakennettuja kivrumpuja (Kuva 3.8) (60). Toisin sanoen rumpujen keski-ikä on korkea (61). Rumpujen ikääntymisen merkitys nousee esiin radan perusparannuksen yhteydessä tai liikenteen asettamien vaatimusten muuttuessa (61). Vanhojen rumpujen nykyistä kuntoa ja tulevaa kunnon kehittymistä on vaikea arvioida, erityisesti betoniputkilla jatkettujen kivrumpujen sisäosien kunnon määrittäminen on vaikeaa (52). Rumpujen perustamisen arvioidaan tapahtuneen soralle (52). Rumpurekisterissä, jonka arvioidaan kattavan 96 prosenttia kaikista rummuista, ei ole rumpujen rakentamisvuotta, rakennetietoja tai-mittoja (61). Rakennetietojen vienti rekisteriin on satunnaista (61). Kirjaamalla säännöllisten tarkastuksien havaintoja rekisteriin ja analysoimalla tapahtuneita muutoksia voitaisiin rumpujen kunnon kehityksestä tehdä päätelmiä.



Kuva 3.8. Rumputyypit koko Suomen rautateillä (61).

Käyttöikätaavoitteen antaminen vanhoille rumpurakenteille on vaikeaa, sillä rakentamismenetelmät ja rakentamisen taso on vaihdellut laajasti (4). Uudempien betonirakenteisten rumpujen käyttöikä pidetään 100 vuotta, kun taas teräs- ja muovirakenteisilla rummuilla käyttöikä on 50 vuotta (4). Akselipainon ja nopeuden nostamisen seurauksena rumpujen toiminnallisen ikääntymisen odotetaan nopeutuvan (4). Toiminnallinen ikä on muutenkin lyhyempi kuin käyttöikäksi määritelty 100 vuotta (61).

Akselipainon nostaminen aiheuttaa rumpuihin lisää kuormitusta nopeuttaen vaurioitumista, jonka kasvuksi on arvioitu 1 prosentti vuodessa (4). Akselipainon noston vaikutuksen arvioimista rumpujen käyttäytymiseen pidetään kuitenkin todella hankalana (52), jolloin tarkastustarpeet kantavuuden heikkenemisen vuoksi kasvavat (61). Kivirummuissa suurimpana teknisenä ongelmana pidetään kivien avoimia saumoja ja rumpujen pituuden vajaamittaisuutta sekä kantavuusvaurioita ilmentävää kivien siirtymistä (4; 61). Betonirakenteissa kantavuusvauriot ilmenevät usein halkeiluna (61). Ruotsin malmiradalla korkeampien akselipainojen seurauksena kivrumpujen kivet ovatkin liikkuneet sallien kiviaineksen valumisen rumpuun (52). Malmbanalla akselipainon noston on havaittu myös kasvattavan rumpujen vaurioitumista huomattavasti, sillä liikennöitäessä kymmenen vuotta 22,5 tonnin akselipainolla kuormituksen katsotaan vastaavan yhtä vuotta 25 tonnin akselipainolla ja vain kuukautta 30 tonnin liikennöinnillä (5).

Akselipainon nosto voi vaatia vahvistus- ja uusimistoimenpiteiden lisäksi myös rumpujen pidennystä penkereen levityksen vuoksi (4; 61). Liian lyhyestä rummusta voi seurata sepelin ja pengermateriaalin valumista ojaan sekä betoniputkien ja reunapalkkien siirtymistä, josta seuraa penkereen reikiintymistä (61). Lyhyt rumpu ja kivien liikkuminen aiheuttavat liikenneturvallisuusriskin sekä toimimattomuusongelmia (4; 61). Wuorenjuuri (61) arvioi akselipainon ja nopeuden noston lisäävän tarvetta rumpujen parantamiselle ja kantavuuden olevan peruste rummun uusimiselle.

Kuten silloissa, myös rummuissa voidaan akselipainon noston vaikutuksen olettaa näkyvän viiveellä (4). Kokemusperäinen tieto akselipainon noston vaikutuksista rumpuihin puuttuu, mutta kunnossapitokustannusten oletetaan kasvavan lisääntyneiden tarkastuskäyntien ja mitoituskuormien ylittymisen vuoksi (4). Käytännössä rumpujen korjaustyöt tulisi toteuttaa ennen akselipainon tai nopeuden korottamista (4; 44). Toisaalta akselipainon noston voidaan olettaa pahentavan olemassa olevia vikoja eikä synnyttävän uusia vaurioita (44). Toimiva kuivatus, jonka oleellinen osa rummut ovat, on tärkeä edellytys koko radan rakenteen toimivuudelle. Tämän vuoksi akselipainon ja nopeuden noston vaikutukset rummun tekniseen toimivuuteen ja kunnan kehittymiseen olisi oleellista tunnistaa. Käytännön havainnot ja kokemukset lienevät tässä tunnistamisessa merkittävässä roolissa.

4 Ratahankkeiden kannattavuuslaskenta

4.1 Taustaa

4.1.1 Menetelmä päätöksenteon taustalla

Kannattavuuslaskennassa hankkeelle lasketaan hyöty-kustannussuhde (HK-suhde) jakamalla hankkeen hyödyistä ja jäännösarvosta vähennetyt hankkeen negatiiviset vaikutukset investointikustannuksilla (1; 2):

HK-suhde = (hyödyt - haitat) / investointikustannus

Hyöty-kustannusanalyysiä on esitelty lyhyesti luvussa 2.3.2 elinkaarikustannusten laskentamenetelmien yhteydessä. Hyöty-kustannussuhde on kannattavalla hankkeella vähintään yksi ja mitä suurempi HK-suhde on, sitä kannattavampi hanke on. Kannattavuuslaskentaan liittyvien epävarmuustekijöiden vuoksi HK-suhteen tulisi olla yli 1,5, jotta hanke voidaan sisällyttää hankeohjelmiin (1). Syntyviä kustannuksia ja hyötyjä tarkastellaan rakentamisajan lisäksi 30 vuoden laskenta-ajanjaksolla, jonka aikana syntyvät rahavirrat diskontataan kaavan 4.1 mukaisesti. Laskentakorkona käytetään 5 prosenttia. Diskonttauksen jälkeen jokainen rahavirta (säästöt, kustannuserät ja investointikustannukset) summataan koko tarkasteluajalta yhteen, jonka jälkeen voidaan laskea HK-suhde. (1; 2)

$$D = \frac{1}{(1+p)^{t-a}} * K \quad (4.1)$$

missä

- D on diskontattu kustannus
- K on kustannuserä, säästöt tai investointikustannus vuonna t
- a on perusvuosi eli laskenta-ajanjakson ensimmäinen vuosi
- p on korkoprosentti. (2)

Kokonaisuudessaan hankkeiden yhteiskuntataloudellisuuden tarkastelut perustuvat hankkeiden kuvaukseen sekä vaikutusten arviointiin kannattavuuslaskelmalla sekä vaikuttavuuden ja toteutettavuuden arvioinnilla (1; 2). Täten kannattavuuslaskennan hyöty-kustannussuhde ei ole ainoa hankkeen toteutuspäätökseen vaikuttava tekijä vaan myös muut, ei rahassa mitattavat ja siten HK-suhteen ulkopuolelle jäävät, negatiiviset ja positiiviset vaikutukset huomioidaan (1; 2; 62). Toisinaan hankepäätöksiin vaikuttavat aluepolitiikka (62; 63; 64; 65), teollisuuden tarpeet sekä yhdyskuntarakenteen kehittämisen näkökulma. Alueellisten vaikutusten arviointi on osa hankearviointia ja niille voidaan päätöksenteossa antaa painoarvoa (73).

Suurimpiin kustannuseriin liittyvien epävarmuustekijöiden vaikutuksista hyöty-kustannussuhteeseen tehdään herkkyystarkasteluja (1; 2). Monesti herkkyystarkastelut kohdistetaan kustannusarvioon, liikenne-ennusteisiin ja hankkeen käyttöönottovuoteen (1; 2). Herkkyystarkastelujen nykyistä tarkempi ohjeistaminen olisi tarpeen (66).

4.1.2 Havaittuja epäkohtia

HK-suhteen laskentamenetelmä ei ole täysin yksiselitteinen, jolloin lähtöarvojen ja tarvittavien oletusten muotoilu vaikuttaa lopputulokseen (64). Laskennan ja päätöksenteon läpinäkyvyydellä voitaisiin vähentää tätä ongelmaa (64; 66). Hyötykustannusanalyysin heikkoutena on kyvyttömyys vertailla keskenään nopeita pieniä parannuksia ja isoja hitaampia hankkeita (66).

Aikoinaan määritellyn laskenta-ajan ja diskonttokoron tarkastamista on ehdotettu (66). Nykyisin käytetty 30 vuoden laskenta-aika vastaa melko hyvin monien radan varusteiden käyttöikä, mutta monien radan rakenteiden suunnitteluun käytetään 100 vuoden käyttöikä. Lisäksi joidenkin radan rakenneosien käyttöikä määrittyy käytön (bruttotonniin) perusteella, jolloin todellinen käyttöikä voi vaihdella eri rata osuuksilla. Kasvatettaessa laskenta-aikaa nykyisestä oleellisesti myös peruskorjauskustannusten huomioiminen olisi tarpeen. Ratahankkeet ovat pitkävaikutteisia, jolloin 30 vuoden tarkastelujakso ei aina kuvaa realistisesti hankkeiden hyötyjä (67). Tästä hyvänä esimerkkinä on vuonna 2009 valmistunut selvitys Seinäjoki-Oulu kaksoisraiteen yhteiskuntataloudellisuudesta, jossa edullisuuden tunnusluvut olivat selvästi paremmat 50 vuoden kuin 30 vuoden tarkastelujaksolla (67). Toisaalta tarkasteluajan kasvattaminen lisää ennusteiden vaikuttavuutta, joilla on nykyisinkin suurta merkitystä.

Hankearviointiohjeen mukaan hankkeiden laajempia kerrannais- ja heijastusvaikutuksia ei saa huomioida laskuissa, jotta välttyään huomioimasta sama hyöty useampaan kertaan (1; 2). Kerrannais- ja heijastusvaikutuksia voivat olla esimerkiksi merkitys työpaikkojen ja yritysten toimintaedellytyksiin ja kannattavuuteen, jotka esittämällä voidaan päätöksentekoon tuoda lisätietoa merkittävistä hyötykustannusanalyysin ulkopuolelle jäävistä vaikutuksista (67). Myös muut maankäyttöön liittyvät vaikutukset jäävät tarkastelun ulkopuolelle (49; 68).

Leviäkankaan et al. (67) mukaan hyötykustannusanalyysin kuvitellaan, todellisuudesta poiketen, maksimoivan yhteiskunnan hyödyt. Seinäjoki-Oulu-ratahankkeen yhteiskuntataloudellisuuden (67) selvityksessä hankkeiden kannattavuutta selvitetiin hyötykustannusanalyysin lisäksi nettonykyarvomenetelmällä sekä sisäisen koron menetelmällä. Tarkastelemalla kaikkia kolmea kannattavuuden tunnuslukuja saadaan hankkeiden kannattavuudesta monipuolisempi kuva.

Akselipainon nostohankkeissa yhtenä haasteena on määrittää korottamisesta hyötävän liikenteen määrä sekä raskaammille akselipainoille mahdollisesti tarvittavien kaluston investointien suuruus (41; 64; 69). Suuria investointikustannuksia voi olla vaikeaa perustella, jos saavutettavia hyötyjä ei ole yksiselitteisesti määritettävissä (41; 49; 64; 68). Kannattavuuslaskentaa sovelletaankin harvoin akselipainon nostohankkeisiin (49; 64; 69) tai muihin normaaleihin korvausinvestointeihin (62). Myös nopeuden nostohankkeissa saavutettavat hyödyt voivat olla verrattain pieniä investointikustannuksiin nähden. Toisaalta akselipainon korottaminen 25 tonniin on ollut lähinnä strateginen päätös ja korottamisen tarvetta on tarkasteltu koko rataverkolla (49; 64; 68). Täten ei liene mielekäästä tarkastella yksittäisen rataosuuden kannattavuutta (49; 68), koska hyödyt ja tarve perustuvat laajempiin vaikutuksiin.

4.2 Investointikustannukset

Ratojen pitkän elinkaaren vuoksi kunnossapitokustannusten osuus elinkaarikustannuksista on suuri, mutta investointikustannukset muodostavat merkittävän erän heti elinkaaren alussa. Investointikustannuksiin vaikuttaa radan haluttu tekninen taso, jolloin samalla määritetään kunnossapitokustannukset.

Kannattavuuslaskennassa hankkeiden tarkasteluun valitaan vertailuvaihtoehto, johon muita vaihtoehtoja verrataan (1; 2). Lähtökohtaisesti vertailuvaihtoehtoon sisällytetään toimenpiteitä, jotka tulisi joka tapauksessa tehdä (1; 2). Tavanomaisesti vertailuvaihtoehtoksi valitaan joko nykytila (0 -vaihtoehto) tai parannettu nykytila (0+ -vaihtoehto) (1; 2). Hankkeiden vertailussa tarkastellaan vain vertailuvaihtoehdon ylittäviä investointikustannuksia, haittoja ja hyötyjä (1; 2). Hyöty-kustannusanalyysissä kustannusarvioon perustuvilla investointikustannuksilla lasketaan rakentamisajalta korkoa (1; 2).

Vertailuvaihtoehdon määrittäminen ei ole yleensä yksinkertaista (62; 63; 64), mutta sen valinnalla on vaikutusta laskentaan sekä lopputulokseen. Rautateillä monet kannattavuuslaskennan kohteet ovat parannettavia ratoja, jolloin voi olla vaikeaa erottaa radan nykykunnan parantaminen (0+ -vaihtoehto) peruskunnossapidosta. Ongelma realisoituu myös akselipainonnostohankkeissa, sillä hankkeet tehdään usein halutessa parantaa radan palvelutasoa. Käytännössä hankkeet toteutetaan usein ajankohdittain, jolloin radan perusparannus olisi muutenkin tarpeen (68). Kannattavuuslaskentaa varten voi olla myös haastavaa erotella akselipainon korottamisen osuus hankkeen kokonaiskustannuksista (68), koska hankkeet ovat usein osana laajempaa kokonaisuutta, eikä kustannuksia ole eroteltu (41).

4.3 Radan kunnossapitokustannukset

4.3.1 Lähtökohdat

Suomen rataverkon rataosuudet jaotellaan kahdeksaan kunnossapitotasoon, joista jokaiselle on määritelty omat tekniseen kuntotason liittyvät vaatimukset. Kunnossapitotason määräytymiseen vaikuttavat radan liikenteelliset tarpeet, päällysrakenne sekä suurin sallittu nopeus (37). Korkein kunnossapitotaso on 1AA ja matalin 6. Kunnossapitotaso määrittelee pitkälti rataosuuden kunnossapitokustannukset. Kunnossapitotason vaikutusta kustannuksiin käsitellään tarkemmin luvussa 4.3.4. Radan kunnossapitotoimet määräytyvät radan tavoitellun kuntotason perusteella (7).

Kansantaloudellisesti edullisimman radan kunnossapitotason määrittämiseksi tulisi tuntea radan kunnan kehittymiseen vaikuttavat tekijät sekä tiedostaa kriittinen radan kunnan raja, jolloin liikennöinnin luotettavuus ja turvallisuus kärsivät. Kunnossapitokustannusten ennustaminen on uudellakin radalla haasteellista ja kustannusten taantuminen ammekäyrän (70) muotoon näyttäisi vievän vuosia (65). Kerava-Lahti-oikoradalla, joka on kunnossapitotasolta Suomen rautateiden korkein 1AA, ammekäyrää ei ole havaittavissa kolmessa vuodessa (65).

USA:ssa kunnossapitokustannukset ovat kolmanneksen Euroopan yleistä kustannustasoa matalammat vaikka käyttöaste (kokonaisliikennemäärä) on nelinkertainen ja USA:n rataverkoston kunto on oleellisesti Eurooppalaista verkostoa heikompi (71).

Heidän kunnossapitostrategia on keskittynyt tavaraliikenteen kuljetuksiin, jolloin korkeat akselipainot matalilla nopeuksilla ovat tärkeitä (71). Lähteestä ei käy ilmi onko kyseessä kustannukset ratakilometriä kohden vai kokonaiskustannukset.

Ranskan valtion rautatieyhtiö (SNCF) on tutkinut raiteen lukumäärän vaikutusta kunnossapitokustannuksiin (20; 25). Tutkimuksen perusteella yksiraiteisen radan kunnossapitokustannusten raidekilometriä kohti voidaan olettaa olevan jopa 40 prosenttia suuremmat kuin kaksiraiteisen radan (20; 25). Suuremmat kulut johtuvat suuremmasta työpanoksesta raidekilometriä kohden esimerkiksi alustavissa töissä (20; 25). Vaikutusta lienee myös työhön käytettävällä ratakapasiteetilla syöväällä ajalla. Väite ei näyttäisi pätevän Suomen rataverkolla, kun tarkastellaan raidekilometriä [€/raide-km] kohden käytettyä kunnossapitokustannusta kunnossapitoalueilla 1-9 vuosina 2006–2008. Tähän vaikuttanee yksiraiteisten rataosuuksien kuuluminen usein alhaisemmille kunnossapitotasojille, joissa kustannukset raidekilometriä kohden tarkasteltuna ovat yleensä edullisemmat kuin korkeamman kunnossapidon radoilla. Mutta huomioitaessa tarkastelussa rataosuudella kulkeva liikennemäärä [€/raide-km/Mbrt], SNCF:n tutkimustulos näyttäisi pätevän myös Suomen rataverkolla. Esitetyt havainnot Suomen rataverkon kunnossapitokustannuksista perustuvat tämän työn puitteissa tehtyihin tutkimuksiin kunnossapidon kustannuksista, joita käsitellään tarkemmin luvussa 4.3.4.

4.3.2 Kunnossapitokustannukset osana kannattavuuslaskentaa

Hyöty-kustannusanalyyseissä huomioidaan kunnossapitokustannusten muutos suhteessa vertailuvaihtoehtoon sekä junaliikenteen ohjauksen kustannuksen muutos (2). Ohjauksen kustannusten muutosta ei kuitenkaan usein käytännön laskelmissa huomioida (64) eikä niiden muodostumista ole tarkemmin esitetty hankearviointiohjeessa. Ratahankkeiden kunnossapitokustannukset arvioidaan joko asiantuntija-arvioilla tai ratainvestointien hankearviointiohjeen taulukolla (2). Hyöty-kustannusanalyyseissä kokonaiskustannuksia ajatellen kunnossapitokustannusten muutos kuvautuu lähes marginaalisen pieneksi (49; 62; 64; 68). Voidaankin pohtia esitetäänkö hyöty-kustannusanalyyseissä kunnossapito- ja investointikustannuksien suhde realistisena.

Esimerkin 1 avulla voidaan tarkastella investointi- ja kunnossapitokustannusten eroa, joka on kannattavuuslaskennassa hyvin suuri.

Esimerkki 1:

Kahden erisuuruisen investoinnin kunnossapito- ja investointikustannukset diskontataan perusvuoteen. Laskentaesimerkeissä rakennusajaksi on määritelty 4 vuotta, jolle investointikustannuksien oletetaan jakautuvan tasaisesti. Laskentakorko on 5 %. Tarkasteltavan rataosuuden oletetaan olevan 150 km pitkä. Tarkasteluaika on 30 vuotta. Vaihtoehdon 1 kunnossapitokustannukset perustuvat ratainvestointien hankearviointiohjeen (2) kunnossapitokustannusten taulukkoon ja vaihtoehdon 2 kustannukset keskimääräiseen 13 000 €/raide-km kunnossapitokustannukseen (7), josta raidekilometrikohtaisia kustannuksia on vielä hieman suurennettu. Vaihtoehdon 2 investointikustannukset on määritelty 10 prosenttia vaihtoehdon 1 investointi-kustannuksia edullisemmiksi.

Vaihtoehtoiset tapaukset ovat:

- VE1, jossa investointikustannukset ovat 300 M€ ja kunnossapitokustannukset 10 000€/ raide-km/vuosi.
- VE2, jossa investointikustannukset ovat 270 M€ ja kunnossapitokustannukset 15 000€/ raide-km/vuosi.

Laskennan tulokset on koottu taulukkoon 4.1.

Taulukko 4.1. Laskentaesimerkin tulokset.

Käyttöönottovuoteen diskontattu	VE1	VE2
Investointikustannus	339,4	305,5
Kunnossapitokustannus	23,1	34,6
yht. [M€]	362,5	340,1

Tarkastelun perusteella VE2 olisi taloudellisesti kannattavampi 22 M€ edullisemmilla kokonaiskustannuksilla. Huomiota on syytä kiinnittää investointi- ja kunnossapitokustannusten väliseen suureen eroon. Vaihtoehdossa 1 kunnossapitokustannukset ovat vain noin 7 prosenttia investointikustannuksista ja vaihtoehdossa 2 kunnossapitokustannukset ovat 11 prosenttia investointikustannuksista. On huomattava, että todellisen kannattavuuden selvittämiseen vain kunnossapito- ja investointikustannusten tarkastelu on riittämätön. Vaihtoehtojen määrittämiseksi tehtävillä valinnoilla on vaikutusta myös muihin kustannuksiin, mutta investointi- ja kunnossapitokustannusten suuresta erosta johtuen muilla kustannuksilla ei todennäköisesti ole vaikutusta 2 vaihtoehdon kokonaisedullisuuteen. Esimerkin kaltaisen realistisemmän tarkastelun lähtötiedoiksi olisi tarpeen tuntea tarkemmin kunnan kehittyminen tekniseltä tasoltaan erilaisilla radoilla sekä kunnossapitokustannuksien muuttuminen ajan suhteen.

Ratahallintokeskuksen hankearviointiohjeessa kunnossapitokustannusten muutos määritetään kunnossapitotason perusteella. Kunnossapitokustannusten muutos on 0 €, jos kunnossapitotaso ei muutu. Kunnossapitotasojen kustannuserot seuraavaan kunnossapitotasoon nähden ovat 1000–2000 €/r-km. Esimerkiksi kunnossapitotason noustessa 1-tasosta (9000 €/r-km) 1A-tasoon (10000 €/r-km) kustannusmuutos olisi 1000 €/r-km. Tällöin esimerkki 1:n pituisella (150 km) rataosuudella tämä tekisi 30 vuoden aikana (perusvuoteen diskontattuna) vain 2,3 M€. Täten on huomattava, että esimerkissä 1 esitetty kunnossapitokustannusten ero (5000 €/r-km) on paljon kannattavuuslaskennan menetelmän perusteella laskettavaa eroa suurempi, ja silti kaltaimpi kunnossapitovaihtoehto on edullisempi.

Täten tarkasteltaessa esimerkin kunnossapito- ja investointikustannusten nykyarvoa voidaan päätellä, että olisi taloudellisempaa tehdä halvempi investointi, joka vaatii enemmän kunnossapitoa. Tämä voi kuitenkin vaikuttaa täsmällisyyteen ja etenkin henkilöliikenteen matkustusmukavuuteen ja aiheuttaa kunnossapidon vaatiman ajan myötä kapasiteettiongelmaa. Kunnossapitotoimenpiteillä on todennäköisesti vaikutusta etenkin henkilöliikenteen kysyntään, jos rautatieliikenteeltä odotettavaa täsmällisyyttä tai matkustusmukavuuteen liitettävää radan tasaisuutta muutetaan nykyisestä.

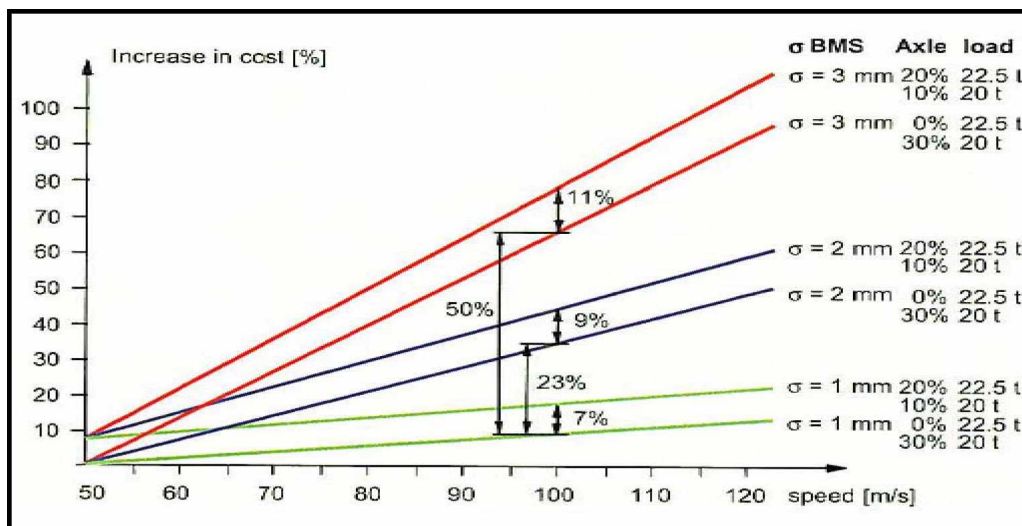
4.3.3 Akselipainon noston vaikutus kunnossapitoon

Noin puolet radan kunnossapitokustannuksista katsotaan olevan riippuvaisia liikenteestä ja toisen puolen syntyvän esimerkiksi ratapihojen, sähkö- ja turvalaitteiden kunnossapidosta sekä lumitöistä (52). Uusimiskustannusten voidaan Stalderin (20) mukaan olettaa nousevan akselipainon noston myötä. Tähän lukuun on kerätty havaintoja akselipainon korottamisen vaikutuksista kunnossapitokustannuksiin. Akselipainon vaikutuksia radan rakenneosien kunnan kehittymiseen on käsitelty luvussa 3.

Suomessa akselipainon nostaminen 225 kN:sta 250 kN:iin merkitsisi 11 prosentin kasvua ja nostaminen 300 kN:iin vastaavasti 33 prosentin kasvua. Amerikassa FAST-koeradalla tehdyssä testissä 20 prosentin akselipainon korotus (298 kN:sta 357 kN:iin) merkitsi samalla kokonaisliikennemäärällä jopa 72 prosentin lisäystä kunnossapidon työtunteihin (5). Kunnossapitokustannuksissa työvoimakustannukset ovat merkittävä kustannuserä (20), joten kustannuksiin syntyisi tämän perusteella oleellinen muutos.

Ruotsissa Malmbanalle Zeta-Tech yhtiön tekemän arvioin mukaan kunnossapitokustannukset muuttuisivat -4...+13 prosenttia, kun akselipainoa korotettaisiin 250 kN:sta 300 kN:iin, eli korotusta olisi 20 prosenttia (5). Kustannusten lopulliseen muuttumiseen vaikuttaisi telien malli ja kiskon hionta (5). Decotrack- mallinuksilla, jotka painottuvat päällysrakenteeseen, kunnossapidon kokonaiskustannusten arvioitiin lisääntyvän 14 prosenttia (5).

Kuvassa 4.1 on esitetty Esveldin (28) näkemys akselipainon korottamisen vaikutuksista kunnossapitokustannuksiin huomioitaessa myös radan tasaisuus ja liikennöintinopeus. Tämän mukaan pidettäessä radan tasaisuus samana akselipainon korottaminen esimerkiksi 200 kN:stä 225 kN:iin nostaa kunnossapitokustannuksia 7-11 prosenttia riippuen radan tasaisuusluokasta, kun korkeammilla (225 kN) akselipainoilla alkaa liikennöidä 20 prosenttia junista. Merkittävämpi kunnossapitokustannuksiin vaikuttava tekijä on kuitenkin haluttu radan tasaisuustaso, sillä sitä ilmentävän σ BMS:n muuttaminen 1 mm:stä 2 mm:iin lisää kustannuksia 23 prosenttia (28). Radan tasaisuuden mitta σ BMS jaotellaan radan geometrialle sallitun poikkeaman σ avulla kolmeen luokkaan: erittäin hyvään ($\sigma < 1\text{mm}$), hyvään ($1 < \sigma < 2\text{mm}$) ja keskinkertaiseen ($\sigma > 2\text{mm}$) (28). Myös nopeuden nostolla on oleellista merkitystä, koska lisäys 80 km/h:sta 100 km/h:iin nostaisi kustannuksia 15 prosenttia (28).



Kuva 4.1. Kunnossapitokustannusten kasvu akselipainon nostamisen seurauksena (28). Vaaka-akselilla nopeuden yksikkö lienee kuvassa esitetystä poiketen km/h.

Suomessa vuonna 2001 valmistuneen tutkimuksen mukaan suurimman sallitun akselipainon noustessa 250 kN:iin liikenteestä aiheutuvien kunnossapitokustannuksien katsotaan nousevan alle 10 prosenttia (52). Kaiken kaikkiaan radan kunnossapitokustannuksien arvioidaan nousevan teoriassa maksimissaan 5 prosenttia mutta todellisuudessa kustannukset vaihtelisivat rataosittain akselipainojakauman mukaan (52). Kunnossapitokustannusten nousun koskiessa koko rataverkkoa 5 prosentin kustannusnousu tarkoittaisi noin 3,8 M€ lisäkustannusta vuodessa, kun kunnossapitokustannukseksi oletetaan 13 000 €/raide-km. Mikäli 5 prosentin kunnossapitokustannusten nousu koskisi 30 prosenttia rataverkosta, niin lisäkustannukset olisivat vuodessa noin 1,15 M€. Diskontattaessa 1,15 M€:a 5 prosentin laskentakorolla akselipainon korottamisen ensimmäiseen vuoteen 30 vuoden aikana muodostuisi lisäkustannuksia noin 17,7 M€. Tästä muodostuva vuosittainen summa vastaa suurin piirtein Seinäjoki-Vaasa-rataosuuden kunnossapidon kustannuksia vuodessa (72). On kuitenkin syytä huomata, että ennen korotetun akselipainon käyttöön ottamista tarvitaan radan teknistä tasoa parantavia investointeja, kuten riskirumpujen ja siltojen korjausta. Akselipainon korottamisen hyötyjen kohdistuessa muualle kuin radanpitäjälle ja rahoituksen pysyessä samana kunnossapitokustannusten muutoksen vaativa summa olisi pois muusta radanpidosta.

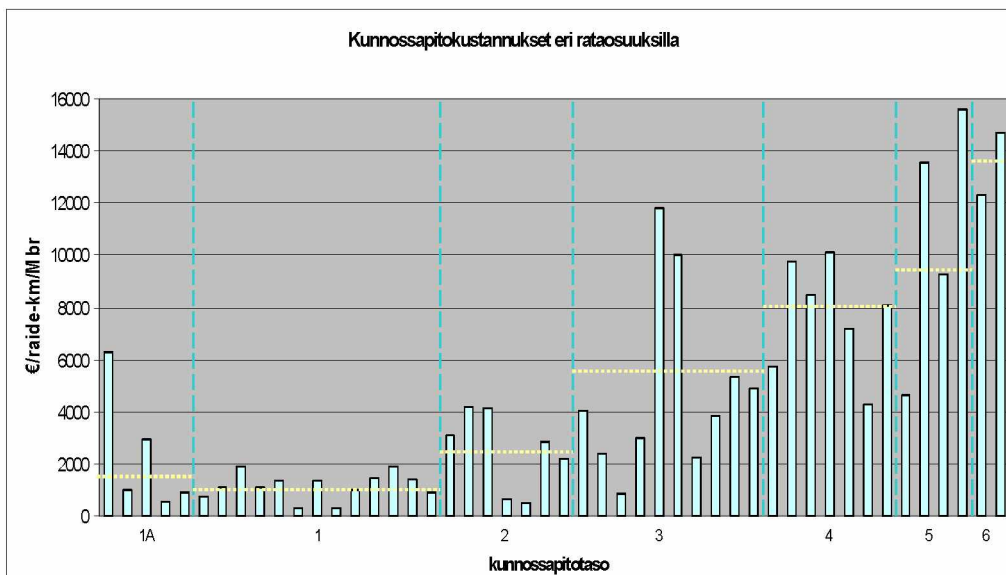
4.1.1. Havainnot kunnossapidon rahoitustilastoista

Työssä on tutkittu kunnossapitoalueiden 1-9 rataosuuksien kuukausittaista rahoitusta vuosina 2006–2009 (72). Havaintojen tekemisessä on käytetty kuitenkin vain vuosien 2006–2008 kustannustietoja, sillä vuoden 2009 kustannuksissa oli muutamia vertailun estäviä puutteita. Kunnossapitotaulukot perustuvat kunnossapitajan ilmoittamaan kunnossapitorahoituksen jakautumiseen eri kuukausille (65). Taulukosta ei ilmene kunnossapitajan katetta, mutta katteen suuruuden ei oleteta vaihtelevan oleellisesti vuositasolla (65). Täten taulukoiden arvot voidaan käsittää pätevinä kustannuksina. Tähän lukuun on kerätty tärkeimmät kunnossapidon rahoituksesta tehdyt havainnot.

Tarkasteluja varten on tehty seuraavat oletukset koskien useampia kunnossapitotasoja omaavia rataosuuksia: Helsinki-Pasila-rataosuuden kunnossapitotaso on 1A,

Lielähti–Pori-rataosuuden 1, Tampere–Jyväskylä-rataosuuden 1 ja Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden 1. Pääsääntöisesti kunnossapitotaso on määritelty sen mukaan, mikä kunnossapitotaso on rataosuudella kilometrimääräisesti pisin. Muutama rataosuus on jätetty tietoisesti tarkastelujen ulkopuolelle puutteellisten tai epäselvien lähtötietojen vuoksi.

Kuvassa 4.2 on esitettyä kunnossapitoalueiden 1–9 rataosuuksien keskimääräiset kustannukset vuosilta 2006–2008, jossa pistekatkoviivalla on merkitty jokaiselle kunnossapitotasolle rataosuuden pituuksia painottaen laskettu keskimääräinen kunnossapitokustannus. Kunnossapitotasojen keskimääräiset kustannukset raidekilometriä ja bruttotonnia kohden on koottu myös taulukkoon 4.2. Kustannusyksikkönä on €/raide-km/Mbrt/a, joka on saatu jakamalla rataosuuden rahoituksen vuosittainen summa raidekilometreillä ja edelleen rataosuuden kyseisen vuoden kokonaisliikennemäärällä (Mbrt). Kustannusten hajonta kunnossapitotasojen sisälläkin on melko suurta. Esimerkiksi kunnossapitotasolla 3 korkeat kustannukset muutamalla rataosalla nostavat koko kunnossapitotason keskimääräisiä kustannuksia.

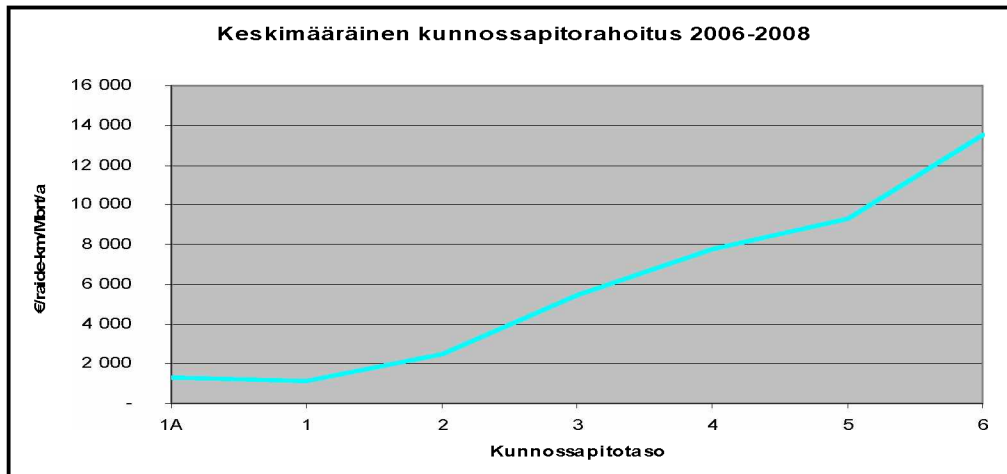


Kuva 4.2. Päälysrakenteen ja turvalaitteiden keskimääräiset kustannukset kunnossapitotasojen rataosuuksilla vuosina 2006–2008. Vaaka-akselin suuntainen pistekatkoviiva ilmaisee kunnossapitotasojen keskimääräiset kustannukset, jotka on esitetty myös taulukossa 4.2.

Taulukko 4.2. Kokonaisliikennemäärän huomioiva, raidekilometreillä painotettu keskimääräinen kunnossapitokustannus eri kunnossapitotasolla.

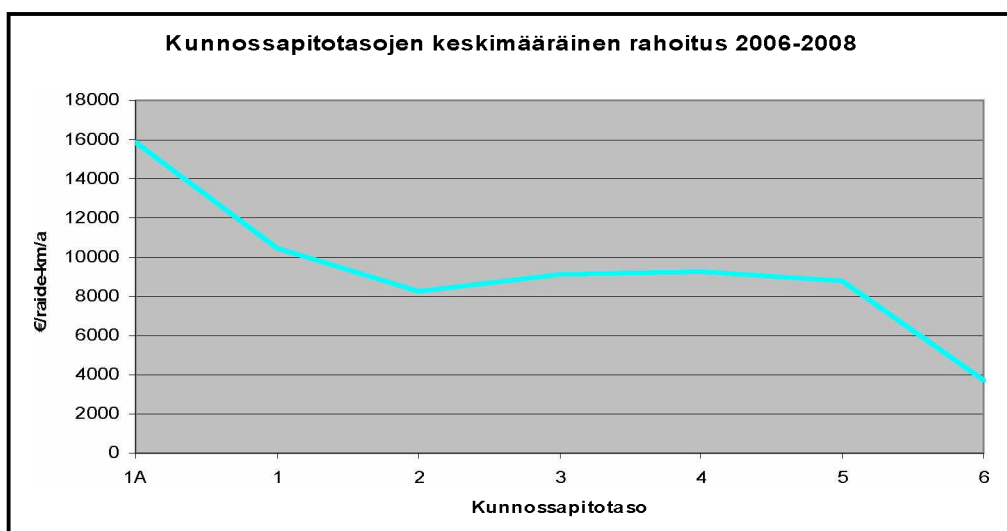
Kunnossapitotaso	1A	1	2	3	4	5	6
€/r-km/Mbrt/a	1 500	1 000	2 500	5 500	8 000	9 500	13 500

Muuttamalla taulukon 4.2 arvot käyräksi saadaan kuvan 4.3 mukainen nouseva käyrä, jonka mukaan bruttotonniin suhteutettuna kunnossapito korkeimmilla kunnossapitotasolla olisi edullisempää. Huonoimmalla kunnossapitotasolla 6 kustannukset ovat lähes kymmenkertaiset toiseksi korkeimpaan 1A tasoon verrattuna. Tämän perusteella alempien kunnossapitotasojen rataosuuksien kunnossapito on kallista suhteutettuna niiden alhaiseen kokonaisliikennemäärään.



Kuva 4.3. Vuosittainen kunnossapitorahoitus rataosuuksien pituudella painotettuna kunnossapitotasokohtaisena keskiarvona raide-kilometriä ja miljoonaa bruttotonnia kohden.

Kunnossapitokustannustietoja on tarkasteltu myös raidekilometreittäin. Kuvassa 4.4 on esitettyä kunnossapitorahoitus raidekilometriä kohden eri kunnossapitoalueilla, jotka on saatu rataosuuden raidekilometreillä painotettuna keskiarvona. Käyrän suunta on päinvastainen bruttotonnit huomioivaan kuvaan 4.3 verrattuna, eli raidekilometreittäin tarkasteltuna näyttäisi korkeimman kunnossapitotason olevan kallein kunnossapitää ja matalimman 6 tason radoilla kustannukset ovat puolestaan matalahkot. Silmiin pistävää on myös kunnossapitotasojen 2-5 lähes samat kustannukset, jolloin kunnossapitotason muutos ei vaikuttaisi syntyviin kunnossapitokustannuksiin juurikaan. Tosin on huomattava, että tilanne olisi todennäköisesti toinen tarkasteltaessa tiettyä rataosaa, jolla kunnossapitotasoa korotettaisiin.

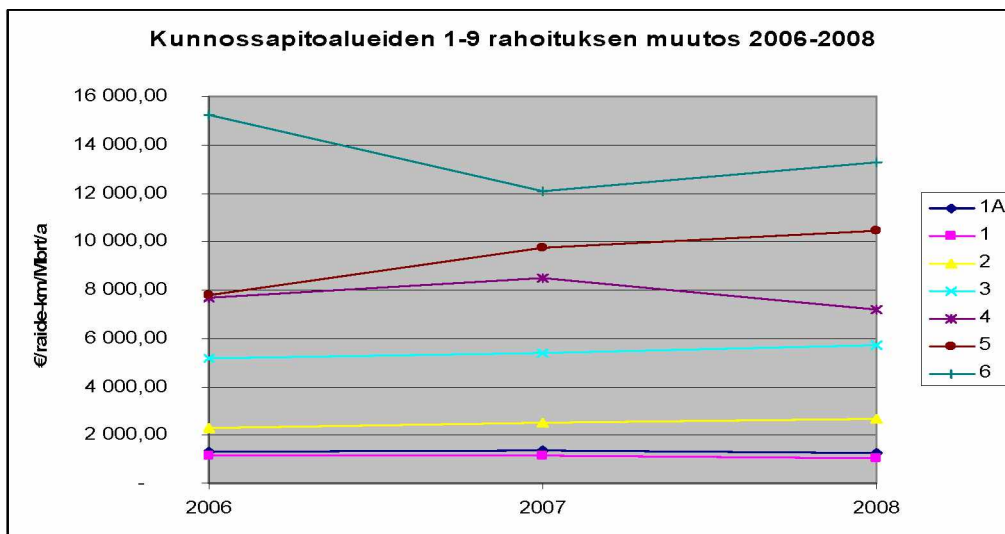


Kuva 4.4. Kuvassa on esitettyä vuosittainen kunnossapitoalueiden rahoitus rataosuuksien pituudella painotettuna keskiarvona raidekilometriä kohden.

Tarkastelemalla kunnossapitokustannusten kuukausittaisia summia, raidekilometrit ja bruttotonnit huomioiden (€/raide-km/Mbrt/kk), havaitaan kustannusten vaihtelevan melko paljon. Odotetusti suurinta vaihtelua on alemman kunnossapitotason rataosuuksilla, mutta myös muutamalla vilkasliikenteisellä 1A-kunnossapitotason rataosuudella on havaittavissa suurehkoa kustannusten kuukausittaista vaihtelua. Lisäksi

tarkastelujen perusteella yksi tai useampi kalliimpi kunnossapitoinvestointi vuoden aikana vaikuttaa oleellisesti vuosittaisen kustannusten suuruuteen ja näin ollen vuosittaisen kustannusten vaihteluun.

Vuositasolla tarkasteltuna kunnossapitokustannusten muutos näyttäisi olevan stabiilimpaa korkeammilla kunnossapitotasolla, kuten kuvassa 4.5 voidaan havaita. Kunnossapitotasolla 4-6 puolestaan kustannusten vaihtelu raidekilometriä ja kuljetettua bruttotonnin kohden on ollut melko suuri. Tämä voisi johtua heikompikuntoisilla radoilla syntyvistä ennakoimattomista vaurioista tai yksittäisistä isommista kunnossapitotoimista.



Kuva 4.5. Kustannusten muutos eri kunnossapitotasolla vuosina 2006–2008.

Kunnossapitokustannuksista tehtyjen havaintojen perusteella liikennemäärän vaikutus syntyyiin kunnossapitokustannuksiin on osittain ristiriitainen. Jollain rataosuudella bruttotonnien kasvu lisäsi kustannuksia, kun taas toisella rataosuudella kustannukset saatoivat jopa vähentyä. Ehkä onkin syytä tarkastella liikennemäärän vaikutusta vain rataosakohtaisesti eikä yleistä käsitystä liikennemäärän vaikutuksesta kustannuksiin ole tässä työssä tehtyjen tarkastelujen perusteella mielekäästä muodostaa. Liikennemäärän vaikutusta syntyyiin kunnossapitokustannuksiin ei voi täysin pois sulkea, mutta kenties muilla tekijöillä on dominoivampi vaikutus. Kuten rataosien nykyisellä kunnolla, joka määrää tarvittavat kunnossapitotoimet. On myös huomattava, että jonakin vuonna toteutettu isompi pölkynvaihto tai muu suurempi yksittäinen kunnossapitotoimenpide voi nostaa koko vuoden kustannustasoa.

Luvussa 3 esitettyä kirjallisuushavaintoa alkuperäisen kunnan vaikutuksesta radan kunnan kehittämiseen tukee myös havainnot Suomen kunnossapitokustannuksista vuosilta 2006–2009. Suomessa on mahdollista liikennöidä korkeammilla akselipainoilla muutamalla rataosuudella, jotka kuuluvat kunnossapitotasoihin 1A (Ri-Tpe), 1 (Llh-Pri) ja 2 (Kr-Hko). Havaintojen perusteella 25 tonnin akselipainon sallivilla rataosuuksilla matalamman kunnossapitotason (kunnossapitotasot 1 ja 2) radoilla kustannukset (€/raide-km/Mbrt/a ja €/raide-km/a) ovat kunnossapitotason keskimääräisiä kustannuksia korkeammat ja korkeammalla 1A-tasoisella rataosuudella kustannukset ovat jopa keskimääräisiä kustannuksia matalammat. Nämä voivat kuitenkin olla myös yksittäisiä tapauksia ja tarkempien havaintojen tekemiseksi tulisi kustannusten rinnalla tarkastella rataosuuksilla tehtyjä kunnossapitotoimenpiteitä.

4.4 Kuluttajan ja tuottajan ylijäämän muutos

4.4.1 Tavaraliikenteessä

Tavaraliikenteessä kuluttajan, eli kuljetuspalvelun ostajien, ylijäämän muutos muodostuu rahtikustannusten ja logististen kustannusten muutoksesta (2). Tuottajan, eli liikennöitsijän, ylijäämä muodostuu puolestaan liikennöinti- ja rahtikustannusten muutoksesta (2). Yleensä kannattavuuslaskennassa tuottajan ja kuluttajan ylijäämän muutosta käsitellään yhdessä huomioiden vain tuottajan kustannusten muutos (2; 64). Tarpeen mukaan myös muut kustannusmuutokset voidaan huomioida, jos lähtötietoja on saatavissa (64). Kuluttajan ja tuottajan ylijäämän muutoksen arviointiin tarvittavat lähtötiedot ovat liikesalaisuuksia eikä kustannusten arviointiin ole olemassa luotettavia menetelmiä (2). Joissain hankkeissa liikennöitsijä on arvioinut kehittämistoimenpiteiden vaikutusta kustannusrakenteeseensa, jolloin on saatu luotettava arvio kustannusmuutoksista (73).

Ratojen hankearvointiohjeen (2) mukaan tavarajunien liikennöintikustannuksia voidaan arvioida suuntaa antavasti keskimääräisillä rahtikustannuksilla, mutta lähinnä kuljetusmatkan pituuteen vaikuttavissa tai ratojen lakkautushankkeissa. Vuonna 2003 määritetty keskimääräinen rahtikustannus oli 3,5 senttiä/tkm (2). Mikäli ratainvestoinnilla ei ole vaikutusta kuljetustapojen väliseen kysyntään, ei kuluttajan ja tuottajan ylijäämän muutoksen määrittämisen katsota olevan laskennan lopputuloksen kannalta oleellista (2). Esimerkiksi akselipainonnostohankkeet, ovat kuitenkin hankkeita, joissa kustannusten tunteminen olisi tarpeen eikä liikennöintikustannusten määrittämiseen voida käyttää keskimääräistä rahtikustannusta.

Suomessa käytössä oleva yhteiskuntataloudellinen arviointimenetelmä perustuu periaatteiltaan Ruotsissa pitkään käytössä olleeseen menetelmään (62). Banverketin liikennöintikustannusten laskentamalli ei ole kuitenkaan yleisesti käytössä Suomessa (62). Jossain kannattavuuslaskelmissa laskentamallia on kuitenkin sovellettu (5; 62; 64), mutta myös Banverketin mallin on havaittu aiheuttavan epätarkkuuden vuoksi ongelmia (62). Lisäksi nykyisin myös Ruotsissa on, Suomen tapaan, vaikeuksia saada liikennöitsijältä kustannustietoja (64). Ruotsissa on tällä hetkellä meneillään kannattavuuslaskennan laaja kehitystyö (62), jossa todennäköisesti myös liikennöintikustannusten huomioimista uudistetaan (6). Banverketin liikennöintikustannusten laskentamalli perustuu matkan pituuteen (kaava 4.2) ja matka-aikaan (kaava 4.3) (6; 74). Alkuperäisiin kaavoihin on lisätty veturikustannuksiin kerroin veturien lukumäärälle (5).

Matkan pituuteen perustuvat kustannukset [€/junakm]:

$$(A_1 \cdot \text{veturien lkm}) \quad (4.2)$$

$$+ 2\text{-akselisten vaunujen lkm} \cdot (a_2 \cdot \text{lastattujen vaunujen lkm} + a_3 \cdot \text{tyhjiä vaunujen lkm})$$

$$+ 4\text{-akselisten vaunujen lkm} \cdot (a_4 \cdot \text{lastattujen vaunujen lkm} + a_5 \cdot \text{tyhjiä vaunujen lkm})$$

missä

A_1 on veturien yksikkökustannukset [€/km],
 a_2 ja a_4 on lastattujen vaunujen yksikkökustannus [€/km]
 a_3 ja a_5 on tyhjiä vaunujen yksikkökustannus [€/km] (6; 74).

Matka-aikaan perustuvat kustannukset [€/junamin]:(B₁*veturien lukumäärä) +(b₂* 2-akselisten vaunujen lukumäärä)

(4.3)

(b₃* 4-akselisten vaunujen lukumäärä)

missä

B₁ on veturien yksikkökustannukset [€/min],b₂ ja b₃ on vaunujen yksikkökustannus [€/min] (6;74).

Kaavoissa tarvittavat parametrit on koottu alla oleviin taulukoihin 4.3 ja 4.4, joissa Ruotsin kruunu on käännetty euroiksi kurssilla 1€=10,4384 SEK (75).

Taulukko 4.3. Matkan pituuteen perustuvan kaavan 4.1 parametrit euroina ja Ruotsin kruunuina €/junakm (kr/junakm) vuoden 2006 kustannustasossa (6; 74).

Parametri	sähköveturi	Dieselveturi
A ₁	2,003 (20,906)	2,490 (25,994)
a ₂	0,127 (1,324)	
a ₃	0,086 (0,9018)	
a ₄	0,156 (1,631)	
a ₅	0,110 (1,1513)	

Taulukko 4.4. Matka-aikaan perustuvan kaavan 4.2 parametrit euroina ja Ruotsin kruunuina €/junamin (kr/junamin) vuoden 2006 kustannustasossa (6; 74).

Parametri	Sähkö- ja dieselveturi
B ₁	3,237 (33,791)
b ₂	0,015 (0,1569)
b ₃	0,033 (0,3486)

Taulukkojen 4.3 ja 4.4 arvot on syytä päivittää, kun Ruotsin kannattavuuslaskennan kehitystyö on valmistunut ja arvot on päivitetty sopivaksi katsotulla indeksillä.

4.1.2. Henkilöliikenteessä

Henkilöliikenteessä kuluttajan ylijäämä voi olla positiivinen tai negatiivinen riippuen ratahankkeen vaikutuksesta kuluttajaan, eli joukkoliikenteen matkustajaan, yksityis-autoilijaan ja kevyen liikenteen käyttäjään (2). Ylijäämän muutokseen vaikuttavat sekä laadulliset että rahamääräiset tekijät, jotka määrittävät matkalippukustannusten, ajoneuvokustannusten, työajan aikakustannusten, vapaa-ajan matkojen aikakustannusten sekä työ- ja asiointimatkojen aikakustannusten avulla. (2; 73)

Kustannusten muutoksen arviointia varten matkustajat jaetaan nykyisiin ja uusiin, muista kulkuneuvoista siirtyviin matkustajiin. Nykyisten matkustajien kustannusten muutos saadaan kertomalla matkalippu- ja aikakustannusten muutoksen summa vertailuvaihtoehdon matkustajien määrällä. Muista kulkutavoista siirtyvien matkustajien hyötyjä voidaan arvioida puolikkaan säännön avulla tai hankkeen vaikutuksesta lii-

kennejärjestelmään tehtyjen analyysien avulla. Analyysien käyttö on suositeltavaa etenkin hankkeen vaikuttaessa kulkutapojen välisiin siirtymiin ja matkojen suuntautumiseen. Puolikkaan säännössä muista kulkutavoista siirtyvän matkustajan oletetaan hyötyvän puolet nykyisen matkustajan saavuttamasta kuluttajan ylijäämän muutoksesta. (2)

Henkilöliikenteessä tuottajalla käsitetään liikenteen harjoittajia, jolloin tuottajan ylijäämän muutos on yrityksen voittoa tai tappiota (2). Määritettäessä tuottajan ylijäämän muutosta huomioidaan liikennöintikustannusten muutos, matkalipputuotot sekä kysynnän muutos kaikissa ratahankkeen vaikutuspiirissä olevien liikennemuotojen osalta (2). Kysynnän huomioiminen ja ennusteiden luotettavuus ovat tärkeitä kysynnän muutoksen arvioinnin kannalta (64). Ennusteiden ja kysynnän muutosten vaikutusta laskentaan käsitellään tarkemmin luvussa 4.4.3.

Kannattavuuslaskelmassa matkalippujen hinnat määritetään tapauskohtaisesti liikennöitsijöiden yleisiin tariffeeihin perustuen (2). Lipputulolla on kuitenkin merkitystä vain siirtyvän liikenteen osalta ja tulojen määrittämiseen voidaan käyttää myös keskimääräistä lippukustannusta henkilökilometriä kohti, joka on vuonna 2004 ollut kaukoliikenteessä 7,1 senttiä/hlö-km (2).

Liikennöintikustannusten muutos arvioidaan mahdollisimman tarkasti olemassa olevien lähtötietojen ja menetelmien avulla tarvittaessa hyödyntäen VR Osakeyhtiön asiantuntija-arviota (2). Ratojen hankearviointiohjeessa on myös taulukko keskimääräisistä liikennöintikustannuksista junakilometriä kohden [€/junakm] (2), mutta taulukon lukujen voidaan katsoa vanhentuneen (49; 62; 68). Iikkasen (64) mukaan taulukon puutteeksi voidaan nähdä sen kykenemättömyys huomioida junan pituus, joka vaikuttaa kustannuksiin. Uusi ja yksityiskohtaisempi taulukko olisi siis tarpeen (49; 68).

Henkilöliikenteen kuluttajan ja tuottajan ylijäämän muutoksen määrittämisen katsotaan olevan tavaraliikenteen tavoin haasteellista (62), vaikka käytössä olevissa menetelmissä ei nähdä kovin suuria puutteita. Esimerkiksi muutokset junatarjonnassa voivat muokata kysyntää ja matkustustapajakaumaa, jolloin kustannusten määrittäminen ei ole enää yksinkertaista (62). Suurimmat haasteet kohdistuvatkin kysynnän ennustamiseen ja liikennöitsijän kustannusten muutoksen arviointiin.

Aika- ja ajoneuvokustannusten määrittämiseen on käytettävissä Liikenne- ja viestintäministeriön vahvistamat yksikköarvot (2), jotka päivitetään viiden vuoden välein ja seuraava päivitys tapahtuu vuonna 2010 (73). Aikakustannukset ovat yksinkertaistettuja kuvaamaan samalla arvolla koko maata ja kaikkia liikennemuotoja (66). Voidaan pohtia onko tarpeen ajan arvon mukauttaminen esimerkiksi liikennemuodon, alueen tai liikkujaryhmän mukaan (66).

Suurimman sallitun nopeuden korottaminen, joka on yksi kannattavuuslaskennan yleisimmistä kohteista (62), vaikuttaa erityisesti kuluttajan ja tuottajan kustannuksiin. Imago-kysymyksenäkin nähtävissä nopeudennostohankkeissa vain muutaman minuutin matka-ajan säästö edellyttää yleensä suuria investointikustannuksia (41). Yhteiskuntataloudellisesti hankkeet voivat olla kannattavaa, koska jo muutaman minuutin aika säästön katsotaan lisäävän kuluttajan matkustusmukavuutta kasvattaen kysyntää, jolloin lipputuotot lisääntyvät (41; 42).

4.1.3. Liikennemallit ja -ennusteet

Hankkeiden vaikutusten arvioimiseksi investoinnin toteuttamisen mukaiselle tilanteelle sekä toteuttamatta jättämisen vertailuvaihtoehdolle laaditaan liikenne-ennuste, joka ulottuu 30 vuoden päähän hankkeen valmistumisesta (2). Rautateille on laadittu myös yleinen pitkän aikavälin kehittämissuunnitelma, joka pohjautuu henkilöliikenteen sekä tavaraliikenteen ennusteisiin ja sen on tarkoitus toimia radanpidon lähtökohtana (73; 76). Valtakunnallinen ennuste perustuu 1990-luvulla tehtyyn liikenne-ennustemalliin (62; 76). Kyseinen malli soveltuu tarkasteltaessa matka-ajan ja matkan hinnan muutoksen vaikutusta kysyntään (76). Pääkaupunkiseudulla on olemassa yksityiskohtaisempi ennustemalli (62). Tavoitteena olisi saada koko Suomen kattava nykyistä tarkempi ja kaikki liikennemuodot huomioiva liikennemalli, mutta sen tekeminen on haastavaa eikä nykyinen 4-5 vuoden välein tehtävä henkilöliikennetutkimus riitä mallin pohjaksi (62).

Henkilöliikenteeseen vaikuttavat raitinvestointihankkeet voidaan kysyntämuutosten laatimisen kannalta jakaa pieniin laajennusinvestointeihin sekä merkittäviin laajennus- ja uusinvestointeihin. Pienten laajennusinvestointien katsotaan vaikuttavan vähän liikenteen kysyntään ja palvelutasoon (matka-aikoihin ja junatarjontaan), jolloin vaikutukset kulkutapojen väliseen siirtymään ovat pieniä ja kysynnän arviointimenetelmät voivat olla yksinkertaisia. Laajasti kulkutapajakaumaan vaikuttavissa hankkeissa suositellaan käytettävän liikennemalleja. (2)

Kysynnän muutosta voidaan arvioida myös kysyntäjoustolla, joka kuvaa kysynnän muutosta jonkin rautatieliikenteen ominaisuuden muuttuessa (2). Kysyntäjouston käyttäminen ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton (2). Lisäksi Suomessa ei ole tehty kattavia kysyntäjoustotutkimuksia, vaan raitinvestointien hankearviointiohjeen matka-ajan ja junatarjonnan kysyntäjoustotaulukko perustuu Banverketin tekemään tutkimukseen (2). Kysyntäjoustoa ei paljoakaan käytetä kannattavuuslaskennassa (64; 62). Yhtenä syynä on kysyntäjoustoa paremmin kilpailevien kulkutapojen ominaisuudet ja hankekohtaiset eroavaisuudet huomioiva liikennemalli (2).

Tavaraliikenteen malleja tarvitaan hankearvioinnissa vaikutusten kuvaukseen ja liikennöintikustannusten sekä ulkoisten vaikutusten arviointiin (2). Kysynnän muutoksia tarkastellaan usein vain herkkyystarkasteluissa, koska ratahankkeilla ei usein ole merkittävää vaikutusta vaikeasti arvioitavissa olevaan kuljetustapojen väliseen siirtymään (2).

Liikenteen ennustaminen 30 vuoden päähän on haasteellista (62). Etenkin tavaraliikenteen liikenne-ennusteiden laatiminen on vaikeaa, sillä taloudellisilla suhdanteilla on suuri merkitys tavaraliikenteen kuljetuksiin (62). Esimerkiksi vuonna 2008 alkanut talouden taantuminen ei ollut nähtävissä muutamaa vuotta aiemmin, jolloin nykyinen tavaraliikenteen malli laadittiin (62).

4.5 Jäännösarvo ja liikenteen ulkoiset kustannukset

4.5.1 Onnettomuus-, päästö- ja melukustannukset

Kannattavuuslaskennassa hankkeen vaikutukset liikenteen ulkoisiin kustannuksiin, eli melu-, päästö- ja onnettomuuskustannuksiin, määritetään kaikissa ratahankkeen

vaikutuspiirissä olevissa liikennemuodoissa (2). Näiden kustannusten määrittämiseen on Liikenne- ja viestintäministeriön vahvistamat yksikköarvot (2). Mikäli matkustajia tai kuljetuksia siirtyy tieliikenteestä rautatieliikenteeseen, niin ratahankkeen vaikutus liikenteen ulkoisiin kustannuksiin on yleensä positiivinen. Toisin sanoen, jos rautatiekuljetukset lisääntyvät esimerkiksi akselipainon korottamisen myötä ja liikennettä siirtyy teiltä rautateille, onnettomuus- ja päästökustannukset vähenevät. Liikenteen ulkoisiin kustannuksiin ei ole työn painotuksesta johtuen perehdytty syvällisesti eikä näin ollen ole pystytty muodostamaan jatkotutkimustavoitteita. Nykyisten laskentamenetelmien perusteet ja havaitut epäkohdat kuitenkin esitetään.

Onnettomuuskustannukset

Rautateiden onnettomuudet jaotellaan tasoristeysonnettomuuksiin sekä ratalinjalla tapahtuviin junien kohtaamis-, suistumis- ja jalankulkijan yliajo-onnettomuuksiin. Suistumis- ja kohtaamis-onnettomuuksien määrän katsotaan olevan niin pieni, ettei niitä tarvitse laskelmissa huomioida. Ratahankkeiden ei oleteta myöskään vaikuttavan jalankulkijan yliajo-onnettomuuksien määrään, joiden taustalla on usein inhimilliset tekijät. Täten hankearvioinneissa huomioidaan vain tasoristeysonnettomuudet. (2)

Tilastoihin perustuen laskettuna tasoristeysonnettomuuksien kustannusmuutos saadaan tuntemalla poistettavien tasoristeyksien määrä sekä tilastojen mukainen kesimääräinen onnettomuusriski tasoristeystä kohden (2). Tasoristeysonnettomuuksien seuraukset ovat usein traagisia johtuen junien suuresta nopeudesta ja massasta. Usein nopeuden noston edellytyksen poistetaan tasoristeyksiä ja parannetaan turvalaitteita, jolloin nopeudennostohankkeiden vaikutus onnettomuusmääriin ja -kustannuksiin on positiivinen (41; 62; 69).

Onnettomuuskustannukset huomioidaan myös siirtyvän liikenteen osalta (2). Arviointi tehdään tie- ja katuverkon henkilövahinkojen onnettomuusriskien avulla (2). Rautatieliikenne tapahtuu tieliikennettä vähemmän onnettomuuksia, jolloin rautatieliikenteen matkustajien tai kuljetusten lisääntyessä siirtyvän liikenteen kustannusmuutos on positiivinen.

Päästökustannukset

Päästökustannusten suuruus arvioidaan siirtyvän liikenteen sekä rautatieliikenteen päästöjen ja energiankulutuksen muutokseen perustuen. Tavaraliikenteen energian kulutus määräytyy lähinnä bruttotonnien mukaan, mutta myös ratapihoilla tehtävällä vaihtotyöllä on vaikutusta kokonaiskulutukseen. Henkilöliikenteen energian kulutusta voidaan arvioida junatyypin tai bruttotonneihin perustuvien ominaiskulutusten avulla. (2)

Rautatieliikenteen päästöjen määrittämiseen on vahvistetut yksikköarvot. Vaihtoehtoisesti päästöt voidaan suurpiirteisesti määrittää henkilö- ja kuljetussuoritteisiin perustuen LIPASTO:n (liikenteen päästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmän) yksikköpäästöillä [g/hlö-km, g/tkm]. Dieseljunaliikenteen yksikköarvoon vaikuttaa päästöjen syntypaikka sekä dieseljunille määritetty likaantumisen yksikköarvo. Sähköjunien päästökustannukset riippuvat energian kulutuksesta, jolloin kustannukset voidaan määrittää sähkötuotannon keskimääräisen päästökustannuksen avulla. (2)

Liikennemelu ja -tärinä

Liikennemelun kustannukset arvioidaan käyttämällä tieliikenteen vahvistettua meluhaitan yksikköarvoa, joka määritetään melun häiriönä kokevaa asukasta kohden (2). Monissa tutkimuksissa hetkellinen ja matalataajuinen rautatieliikenteen melu koetaan vähemmän häiritsevänä kuin tieliikenteen melu (2; 77). Meluvaikutusten arvioinniksi selvitetään melutason muutokset radan ympäristössä sekä häiritseväksi koettavalle melulle alttiiden asukkaiden määrä (2). Melun leviäminen radan ympäristöön voidaan selvittää melumallilla (62; 64). Suomen nykyinen melukustannusten tarkastelu poikkeaa muiden maiden tavasta huomioida melun kustannusvaikutuksia (77).

Nopeuden nosto saattaa lisätä melua lisääntyneen ilmanvastuksen vaikutuksen vuoksi, mutta akselipainon nostolla ei katsota olevan meluvaikutuksia (41; 69). Akselipainon- ja nopeudennostohankkeissa meluallistus on jo olemassa eikä melulle altistuvien asukkaiden määrä yleensä muutu, jos radan linjaa ei muuteta (41; 64; 69). Melun häiritsevyyteen liittyy myös psykologinen melun kokeminen ja radalla tehtävien korvausinvestointien jälkeen melu voidaan kokea häiritsevämpänä vaikka todellisuudessa melutaso pysyisi samana (41).

Usein meluun rinnastettavan tärinän kustannusvaikutuksista ei ole tietoa ja ulkomailakin tutkimuksia vaikeasti arvioitavista tärinän kustannuksista on tehty vähän (77). Suomessa tärinä voidaan katsoa melun tavoin merkittäväksi ongelmaksi, joten olisi tarpeellista kyetä arvioimaan tärinän kustannusvaikutuksia (41; 69; 77). Tärinän syntymiselle on kuitenkin ominaista tapauskohtaisuus, jolloin yleistä kustannusvaikutusta on erittäin haasteellista määrittää (77).

4.5.2 Jäännösarvo

Oheellisesti määritetty jäännösarvo on 25 prosenttia investointikustannuksista (1; 2). Oletus jäännösarvosta perustuu keskimääräiseksi määriteltyyn 40 vuoden pitoaikaan sekä oletukseen lineaarisesta arvonalenemisesta (1; 2). Suurempaa jäännösarvoa ei voida käyttää, mutta pitoajan ollessa lyhyempi pienemmän jäännösarvon käyttäminen on sallittua (1; 2). Hyöty-kustannussuhdetta laskettaessa jäännösarvo diskontataan perusvuoteen ja käsitellään hyötyeränä (1; 2). Negatiiviseksi radan jäännösarvon voi tehdä käytöstä poistamiseksi tehtävät toimenpiteet, kuten maisemointi (64).

Rakenteiden suunnitteluikä ja jäännösarvo on osittain ristiriidassa, koska jäännösarvo määritetään 30 vuoden ikäiselle radalle ja valtaosa rakenteista suunnitellaan kestämään 100 vuotta. Leviäkankaan et al. (67) mukaan jäännösarvo olisi todellisuudessa lähes investointikustannusten suuruinen tai ainakin 70 prosenttia investointikustannuksista. Toisaalta on pohdittu myös jäännösarvon tarpeellisuutta ja muualla onkin Suomesta poikkeava käytäntö, jossa jäännösarvoa ei huomioida lainkaan (66). Olisi syytä selvittää millä perusteilla jäännösarvoa ei joidenkin maiden kannattavuuslaskennassa huomioida (66).

Tuntemalla koko radan rakenteen kunnon kehittyminen voidaan jäännösarvon suuruus ehkä määrittää tarkemmin. Toisaalta myös kokonaisliikennemäärällä on oleellista vaikutusta radan elinkaareen, jolloin eri rataosuuksien elinkaaret vaihtelevat. Olettavasti 30 vuoden ikäiselle radalle joudutaan tekemään jotain parannustoimenpiteitä tavoitteellisen käytön jatkamiseksi, joten radan arvoksi ei voitane olettaa ainkaan kovin lähellä investointikustannuksia olevaa summaa.

5 Pohdinnat havaituista ongelmista

5.1 Käyttöiän ja kestoiän erottaminen

Kestoiä määritellään vaiheiksi valmistumisen ja turmeltumisen välissä (9). Käyttöikä määritellään tuotteen valmistumisesta peruskorjaukseen (8; 9). Korkiala-Tantun et al. (8) mukaan kestoiän lopussa (aika käyttöiän ja kestoiän välissä) tuotteen käyttö aiheuttaa lisäkustannuksia, koska se ei täytä teknisiä vaatimuksia. Radoilla tämä voisi tarkoittaa alhaisia liikennöintinopeuksia ja rajoitettua liikennöintiä sekä korkeita kunnossapitokustannuksia.

Käyttöiän ja kestoiän erottaminen ei ole yksinkertaista. Tehtyjen havaintojen perusteella radoilla käyttöikä lienee usein kestoiää oikeampi termi, vaikka yleinen käsitys vaikuttaa olevan päinvastoin. Työssä syntyneen käsityksen mukaan käyttöiän jälkeen turvallisuus on alentunut ja käytön jatkamiseksi monet radan osat uusitaan. Aiemmin esitetty ajatus ”taloudellinen käyttöikä” -termin soveltamisesta käyttöiän sijaan voisi selvittää kesto- ja käyttöikä termien eron merkitystä. Yhtenäisen raportoinnin vuoksi termien määrittäminen rataympäristöön olisi tarpeen, mutta muuten termien tarkka tunteminen ei liene oleellista.

Tehtyjen havaintojen perusteella rautateillä käyttöiän voidaan katsoa loppuneen ja kestoiän vielä jatkuvan, kun radan tekninen taso on oleellisesti huonontunut. Käytännössä tämä voidaan havaita, kun

- käytön (liikennöinnin) jatkaminen edellyttää rajoituksia
- käytön jatkuessa normaalisti (ilman toimenpiteitä) turvallisuustaso alenee
- rata/radan rakenneosat ei enää täysin täytä sille asetettuja vaatimuksia.

Käyttöiän loppumisen voi havaita käytöstä aiheutuvina kohonneina kunnossapitokustannuksina.

5.2 Radan kunnan kehittymisen tunteminen

Kunnossapitäjä on rataosuutensa kunnan kehittymisen asiantuntija ja tärkeässä osassa kunnan kehittymisen havainnoissa. Suomen rataverkosta tehdyt elinkaariselvitykset (40) ovat myös oivana apuna ja hyvänä lähtökohtana kunnan kehittymismallien tekemisessä. Rataosuuksien elinkaariselvityksissä radan eri komponenteille käytetyt kunnan kehittymisen käyrät noudattavat kuvan 2.7 huononemiskäyriä. Vaikka käyrät olisivat vain suuntaa-antavia, niiden avulla saadaan huononemisen ennustamiseen tarvittavat suuntaviivat. Yhdistämällä käytännön havainnot ja teoreettinen tieto voidaan kunnan kehityksen ymmärtämistä parantaa. Radan kunnan havaintojen ja muutoksien yhtenäinen kirjaamistapa parantaa kunnan kehittymiskäyrien muodostamista. Siirrettäessä kunnossapitäjän käytännön havainnot ja tieto kirjalliseksi edesautetaan myös ns. hiljaisen tiedon saattamista yleiseen tietoon.

Radan eri komponenttien kunnan kehittymisen arvioimiseksi voitaisiin tutustua maailmalla oleviin elinkaarikustannusten laskentamenetelmien ratasovelluksiin. Kunnan

kehittymisen arvioinnin kokonaisvaltaisoin lopputulos voidaan saavuttaa yhdistämällä sovellusten tieto sekä kotimainen asiantuntemus. Kuntokäyrän rinnalle voitaisiin kehittää kaava, jolla voidaan määrittää esimerkiksi liikennemäärän tai radan teknisen tason vaikutus komponenttien käyttöikään. Päälysrakenteen kunnan kehittymiseen on tarkoitus perehtyä myöhemmissä Elinkaaritehokas rata-tutkimusohjelman tutkimuksissa.

Tuntemalla radan ja radan rakenneosien kunnan kehittyminen voidaan määrittää taloudellisesti järkevä käyttöikä ja peruskorjausten ajankohta. Budjettiluonteisen rahoituksen vuoksi peruskorjausta ei aina voida toteuttaa teknisen kunnan kehittymisen kannalta edullisimpaan ajankohtaan

Kaikki radan osat muodostavat yhdessä toimivan kokonaisuuden ja yhden osan heikkous voi johtaa koko rakenteen toimimattomuuteen. Alkuperäinen tekninen taso vaikuttaa tehtyjen havaintojen ja tutkimusten perusteella oleellisesti radan kunnan kehittymiseen, mutta myös materiaalien ominaisuudet sekä ulkoiset tekijät ovat tärkeitä. Ennakoimattomien ja yllättävien tekijöiden, esimerkiksi luonnonilmiöiden, vaikutusta radan elinkaareen ja kustannuksiin voi olla lähes mahdotonta määrittää. Tutkimalla tekniseltä tasoltaan samanlaisia, mutta eri olosuhteissa olevia ratarakenteita, saataisiin tärkeitä havaintoja kunnan kehittymiseen vaikuttavista tekijöistä. Vaihtoehtoisesti tutkimuskohteena voisi olla tekniseltä tasoltaan erilaiset radat samoissa olosuhteissa. Kunnan kehityksen luotettava vertailu edellyttäisi kaikkien eroavuuksien ylöskirjaamista. Tästä voisi olla apua myös määritettäessä optimaalisinta investointien ja teknisen tason suhdetta.

5.3 Akselipainon ja nopeuden noston vaikutusten määrittämisestä

Akselipainon- ja nopeudennostohankkeet voidaan nähdä imagokysymyksinä (41), jolloin saavutettavat hyödyt eivät välttämättä ole rahassa mitattavilta osin kannattavia (43; 49; 64). Saavutettava todellinen hyöty on riipuvainen myös esimerkiksi kuljettavasta tavarasta, kuten teräskelojen tai paperirullien kokojen suhtautumisesta korotettuun akselipainoon (78). Verrattaessa saavutettavaa säästöä tarvittaviin investointeihin ei korottaminen ole kannattavaa, mutta liikennöitsijän saavuttama hyöty voi olla merkittävä (43). Yhtenä hankkeiden ongelmana onkin kustannusten ja hyötyjen syntyminen eri tahoille. Ratahankkeiden kannattavuutta tarkasteltaessa tärkeintä ei kuitenkaan ole kustannusten jakautumisen epäkohdat vaan yhteiskuntataloudellinen edullisuus. Akselipainon noston merkitystä olisikin syytä tarkastella koko logistisen ketjun kannalta (41) ja nopeuden nostoa myös yhdyskuntarakenteen kehittymisen kannalta. Toisinaan halu kehittää määrättyä aluetta nostamalla sallittua nopeutta tai akselipainoa voi kuitenkin olla määräävämmässä asemassa kuin koko yhteiskunnan hyöty.

Akselipainon korottamisen johdosta hyötyjä saavutetaan muun muassa liikennöintikuluissa, ahtauksessa ja jatkokuljetuksissa, jolloin suurimmat edunsaajat voivat olla myös rautatiekuljetusten ulkopuolella. Kuljetusyhtiöt saavuttavat todennäköisesti sekä hyötyjä liikennöinnin ja henkilöstön kustannuksissa että kuluja kaluston hankinnan vuoksi. Radanpitäjälle aiheutuu kuluja ennen akselipainon korottamista mahdollisesti tarvittavista radan parannuksista sekä lisääntyneiden kunnossapitokustannusten myötä, mutta kustannusten muutoksen tarkemmaksi selvittämiseksi olisi tunnet-

tava nykyistä paremmin akselipainon ja nopeuden noston vaikutukset radan kunnan kehittymiseen. Akselipainon noston myötä rataverkolla voidaan paikoitellen tarvita jopa ”tuplakehitystä”, kun rataverkkoa parannetaan korkeammille akselipainoille ja samanaikaisesti olemassa olevan kaluston tarpeisiin pidennetään liikennepaikkoja (41).

Akselipainon korottaminen voidaan poikkeuksellisesti sallia myös heikompi-tasoisella rataosuudella, mutta tällöin suurin sallittu nopeus on huomattavasti muuta liikennettä matalampi (42; 65). Akselipainon korottamiseen liittyy myös epävarmuus toiminnan muuttumisesta (62). Oleellisinta akselipainon ja nopeuden korottamisen vaikutuksessa kunnan kehittymiseen lienee saada selvyys lyhentävätkö korottamiset oleellisesti radan käyttöikäa aikaistaen korvausinvestoinnin ajankohtaa.

5.4 Kannattavuuslaskennan puutteet ja suositukset

5.4.1 Hyöty-kustannusanalyysin ongelmat laskentamenetelmänä

Kannattavuuslaskennan ongelmia on lähestytty periaatteella, että kannattavuuslaskennassa ei ole olemassakaan täysin ongelmatonta kohtaa (62). Aluksi tämä hiukan hämmensi, mutta ongelmien kartoittamisen jälkeen toteamuksen voidaan todeta pitävän varsin hyvin paikkansa. Monet ongelmat on esitettyinä luvussa 4 hyöty-kustannusanalyysin menetelmien esittelyn yhteydessä ja tähän lukuun on kerätty suurimpia ongelmia pohtien niiden merkittävyyttä. Ongelmat on koottu haastattelujen ja kirjallisuuden perusteella. Menetelmissä havaitut ongelmat voidaan jaotella koko hyöty-kustannusanalyysimenetelmään kohdistuviin epäkohtiin sekä erilaisten kustannusten ja vaikutusten arviointimenetelmien puutteisiin.

Hankkeiden kannattavuuslaskennassa käytettävän hyöty-kustannusanalyysin puutteet menetelmänä ovat sen kykenemättömyys vertailla keskenään laajuudeltaan erilaisia hankkeita sekä kerrannais- ja heijastusvaikutusten huomioimatta jättäminen (66; 67). Jättämällä tarkastelujen ulkopuolelle kerrannais- ja heijastusvaikutukset sekä vaikutukset alueiden kehittymiseen ja maankäyttöön jätetään huomioimatta monia merkittäviäkin hyötyjä. Tulisikin pohtia kuinka edellä mainitut vaikutukset voitaisiin sisällyttää laskentaan samalla välttämättä hyötyjen huomioimista useassa kohtaa.

Monet havaitut ongelmat pätevät myös muiden liikenneväylien yhteiskuntataloudellisuuden selvityksiin. Metsärannan (66) kokoamassa muistiossa ehdotettava tilannekatsaus kansainväliseen ohjeistukseen, erityisesti HeatCO:n liikennehankkeiden vaikutusarviointikehikkoon, on tarpeen. Tämän jälkeen voisi pohtia erityisesti ratojen kannattavuuslaskennan kehittämistä. Suomen kannattavuuslaskenta perustuu pitkälti Banverketin malliin (62). Heillä on meneillään kantavuuslaskennan kehitystyö (62), jonka valmistumista kannattanee odottaa ja selvittää sen soveltuvuus Suomeen.

Kaikesta huolimatta hyöty-kustannusanalyysi on tällä hetkellä ainut menetelmä, jolla voidaan ohjeistetusti vertailla eri hankkeita keskenään (66).

5.4.2 Lähtötiedot

Suurin ongelma lähtötietojen puutteessa on tavaraliikenteen liikennöintikustannusten arvioinnissa, jotka ovat liikennöitsijän liikesalaisuuksia eikä kustannusten arvioi-

miseksi ole Suomessa riittävän yksityiskohtaista menetelmää. Ongelma kulminoituu myös henkilöliikenteen liikennöintikustannuksiin. Tavaraliikenteen ongelmaa korostaa se, ettei useissa hankkeissa lähtötietojen puutteiden vuoksi kuluttajan ja tuottajan ylijäämää yksinkertaisesti kyetä määrittämään. Luvussa 4.4.1 esitettävä Banverketin matka-aikaan ja pituuteen perustuva tavaraliikenteen liikennöintikustannusten tarkastelu on parempi kuin nykyinen, jossa kustannuksia ei huomioida ollenkaan. Tätä Banverketin menetelmää voitaneen tapauskohtaisesti soveltaa, kunnes soveliaampi menetelmä on kehitetty. Ennen menetelmän laajempaa käyttöönottoa on suotavaa pohtia parametrien soveltuvuutta Suomen radoille.

Hankearviointiohjeessa on henkilöliikenteen liikennöintikustannusten määrittämiseksi taulukko eri junatyypin kilometrikustannuksista, mutta taulukko vaatii asiantuntijoiden mukaan päivytystä (49; 62; 68). Banverketin laskentamenetelmään perehtyminen voi olla näidenkin kustannusten arvioimisen suhteen tarpeen. Banverket määrittää liikennöintikustannukset istumapaikkaa tai junaa kohden, jolloin kustannusyksikkönä on kr/junakm tai kr/junamin (74).

Vertailuvaihtoehdon määrittäminen on merkittävä tekijä laskennan lopputuloksen kannalta, mutta sen määrittäminen ei ole yksinkertaista. Lähtötilanteen parantamiseksi ei kuitenkaan oletettavasti ole keinoja, sillä vertailuvaihtoehdon määrittäminen on hankekohtaista eikä yleispätevää ohjetta todennäköisesti kyetä laatimaan.

5.4.3 Menetelmät ja laskentatavat

Jäännösarvon, laskenta-ajan ja diskonttokoron tarkastaminen on otettu esille Metsärannan (66) yhteiskuntataloudellisten arvioinnin kehittämistarpeista kokoamassa muistiossa. Laskenta-ajan kasvattaminen nykyisestä 30 vuodesta esimerkiksi 50 vuoteen kuvaisi paremmin ratahankkeen hyötyjä ja saattaa parantaa nykyistä investointi- ja kunnossapitokustannusten suurta eroa, jos oletettavasti tarkasteluajan puitteissa toteutuva peruskorjaus huomioidaan kunnossapitokustannusten eränä. Jäännösarvon suuruutta tulee pohtia. Tarkasteluajan kasvattamisen myötä jäännösarvo kuvaa paremmin rakenteen todellista arvoa. Jäännösarvon määrittämiseksi on myös tarpeen perehtyä syihin, joiden vuoksi jossain maissa jäännösarvoa ei huomioida ollenkaan (66). Tarvetta arvioida diskonttokoron suuruus uudelleen ei tämän työn puitteissa kyetä arvioimaan.

Liikenteen ennustaminen ei ole helppoa ja virheet ovat mahdollisia. Talouden nopeat muutokset aiheuttavat epävarmuutta etenkin tavaraliikenteen ennusteisiin (62; 64). Ennusteisiin kohdistetaan usein herkkyystarkastelu, jotta nähdään kysynnän muutoksen vaikutus (2). Tarkastelujen vaatiminen nykyistä useammin on tarpeen (66). Liikenne-ennusteilla ja malleilla on todellista merkitystä lopulliseen HK-suhteeseen. Jo 1 prosentin vuosittainen kysynnän kasvu voi vaikuttaa oleellisesti hankkeen laskennalliseen kannattavuuteen. Laskelmien tekeminen ja tulosten selkeä esittely useilla kysynnän muutosprosentteilla selventäisi kysynnän vaikutuksen lopulliseen HK-suhteeseen sekä parantaisi laskelmien läpinäkyvyyttä.

Herkkyystarkastelujen toteuttaminen ja niiden merkitys jää epäselväksi henkilölle, joka ei ole tehnyt kannattavuuslaskentaa. Huomioimalla herkkyystarkasteluissa eri kysynnän muutos vähennetään kysynnän aiheuttama epävarmuutta lopputulokseen.

Kunnossapitokustannusten huomioiminen kustannusmuutoksena vertailuvaihtoehtoon nähden tekee kunnossapitokustannuksista marginaalisen pienen summan. Rea-

listisemmän kuvan saamiseksi olisi pohdittava mahdollisuutta huomioida kunnossapitokustannukset toisella tapaa. Epäkohtana kunnossapitokustannusten määrittämisessä on myös oletus koko tarkastelujakson ajan samansuuruisina pysyvistä kunnossapitokustannuksista (62). Ajan vaikutuksen kuvaamisen taustalla voisi olla kunnan kehittymisen tuntemisen kautta havaitut radan rakenteen kunnan kehityssuunnat. Nykyinen oletus nousevista kunnossapitokustannuksista alusrakenneluokan noustessa johtaa osittain harhaan, sillä parannettaessa radan tasoa esimerkiksi akselipainon nostoa varten kunnossapitokustannukset ovat pienemmät heti korjaustoimenpiteiden jälkeen ja ne nousevat vasta myöhemmin.

Taulukossa 5.1 on esitettyä ratojen hankearviointiohjeen kunnossapitokustannusten arviointitaulukko ja taulukossa 5.2 esitetään vastaavasti tämän työn puitteissa tehtyjen laskelmien tulokset eri kunnossapitotasojen kustannuksista, joiden taustana olevia laskelmia ja tuloksia on esitettyä enemmän luvussa 4.3.4. Taulukon 5.2 kunnossapitotasojen keskimääräiset kustannukset on laskettu jokaiselle kunnossapitotasolle rataosuuden raidekilometreillä painotettuna keskiarvona. Verrattaessa taulukon 5.1 arvoja kannattavuuslaskennan ohjeen taulukkoon voidaan kustannuksissa havaita eroavaisuuksia. Huomattavimmat eroavaisuudet nykyiseen taulukkoon ovat kunnossapitotasojen 1A, 3, 4 ja 5 kustannuksissa. On kuitenkin huomattava epäkohtana taulukossa 5.2 kunnossapitotasojen 2-5 kustannusten vähäinen muutos, joka ei vaikuta täysin totuudenmukaiselta.

Taulukko 5.1. Ratahallintokeskuksen hankearviointiohjeen kunnossapitokustannusten taulukko (2).

Kunnossapitotaso	Radan nopeus (km/h)	Kustannus (1000 €/raide-km)
Sähköistetty pääraide		
– taso 1A	nopeus > 140	10.0
– taso 1	120 < nopeus ≤ 140	9.0
– taso 2	nopeus ≤ 120	8.0
– taso 3	nopeus ≤ 110	6.0
Sähköistämätön pääraide (3)	nopeus ≤ 110	4.5
Pää- ja sivuraiteet ja puolenvaihtopaikat (4)	70 < nopeus ≤ 100	5.5
Pää- ja sivuraiteet (5)	50 < nopeus ≤ 70	6.0
Pää- ja sivuraiteet sekä kuorma- ja seisontaraiteet (6)	nopeus ≤ 50	4.0

Taulukko 5.2. Keskimääräiset kunnossapitotasojen kustannukset vuosina 2006–2008. Kustannuksien laskennassa on huomioitu rataosuuden pituus. Kustannukset ovat kunkin kunnossapitotason keskimääräiset kustannukset painotettuna rataosuuden pituudella

Kunnossapitotaso	1A	1	2	3	4	5	6
Kustannus €/r-km/a	16 000	10 500	8 500	9 000	9 500	9 000	3 500

Kunnossapitotasoihin perustuvaa taulukon 5.1 mukaista kunnossapitokustannusten arviointitaulukkoa tulisi kehittää (62; 68). Etenkin kunnossapitotasojen 1 A ja 1 kustannusten korottamista taulukon 5.2 mukaisesti voisi pohtia.

6 Päätelmät ja jatkotutkimussuosituks

6.1 Päätelmät

Haluttaessa tulevaisuudessa, Tiehallinnon tavoin, soveltaa ratahankkeiden valintaperusteena ekotehokkuutta on osaamista ja tietämystä kehitettävä. Ennen ekotehokkuuden käyttöönottoa olisi elinkaarikustannusten muodostuminen tunnettava. Elinkaarikustannusten määrittämiselle on puolestaan edellytyksenä tunnistaa radan kunnan kehittämiseen vaikuttavat tekijät.

Kunnan kehittymismallien taustaksi tulisi kyetä hyödyntämään olemassa olevaa käytännön tietoa sekä teoreettista tietoa. Työn puitteissa oli mahdollisuus selvittää muutamien ulkomaalaisten elinkaarikustannusten laskentamenetelmien olemassa olo, eikä näin ollen menetelmien sisällöstä tai hyödyllisyydestä ole kyetty muodostamaan kattavaa kuvaa. Ohjelmien menettelytapoihin perehtyminen voi auttaa myös kunnan kehittymismallien tekemistä, mutta eritoten malleista on mahdollista saada apua elinkaarikustannusten määrittämiseen.

Rataverkon kehittämiseksi oleellisten akselipainon ja nopeuden noston vaikutukset kunnan kehittämiseen olisi tärkeää tunnistaa. Tämä voi kuitenkin olla haastavaa johdun osaltaan siitä oletuksesta, että vaikutukset näkyvät vasta vuosien päästä. Tämän työn kirjallisuushavaintojen perusteella radan alkuperäisellä kunnolla näyttäisi olevan merkitystä korkeamman akselipainon aiheuttamiin vaikutuksiin siten, että heikompi tasoisella radalla vaikutukset ovat suurempia. Radan geometrialla (suosimalla suurisäteisiä kaaria) voidaan kuitenkin vähentää korottamisen seurauksena rataa kohdistuvaa rasitusta. Teknisen tason vaikutus kunnan kehittämiseen olisi siis oleellista määrittää. Lisäksi paikalliset olosuhteet ja ulkoiset tekijät olisi kyettävä huomiomaan kunnan kehittämisen mallissa.

Vaikka akselipainon ja nopeuden korottamisen merkitys käyttöikään lienee kiistaton, on vaikutus moneen radan rakenneosien kunnan kehittämiseen vielä epäselvä ja tutkimustietoa tarvitaan lisää. Vaikutusten tutkiminen voisi olla kiintoisaa yhdistää kunnan kehittämisen tutkimuksen yhteyteen, sillä vaikutusten tunnistaminen on oleellista realistisen kunnan kehittymismallin kehittämiseksi.

Rataverkon liikennöitävyyttä parantavien korvausinvestointien (akselipainon ja nopeuden korottamisen) hyödyt ja kustannukset syntyvät eri tahoille eikä kalliita investointikustannuksia vastaavia säästöjä ole usein selkeästi osoitettavissa, mutta silti hanke voi olla alueen ja teollisuuden kehittämisen kannalta tärkeä. Yleisesti ratahankkeissa ei ole oleellista kenelle hyödyt syntyvät ja kenelle haitat tai kustannukset syntyvät vaan yhteiskuntataloudellinen edullisuus, jota tarkastellaan hyötykustannussuhteella. Toisaalta akselipainon- ja nopeudennostohankkeiden toteuttamiseen vaikuttaa usein halu parantaa radan palvelutasoa, jolloin hankkeen mahdollisesti laajalle ulottuvat vaikutukset ja hyödyt koetaan haittoja merkitsevämmiksi. Tällöin voidaan puhua myös strategisesta päätöksestä.

Kunnossapidon merkitys radan elinkaareen ja sen aikana syntyviin kustannuksiin on merkittävä. Investointikustannukset puolestaan vaikuttavat elinkaaren aikana syntyviin kunnossapitokustannuksiin. Onkin yllättävää, että kunnossapitokustannukset jäävät yleensä marginaalisiksi hyöty-kustannussuhdetta laskettaessa. Tehtyjen tar-

kastelujen, laskelmien ja havaintojen pohjalta herännee kysymys, että teemmekö investoinneista tekniseltä tasoltaan ”liian hyviä”? Toisaalta havainnot esimerkiksi akselipainon vaikutuksesta radan kulumiseen puoltavat tekniseltä tasoltaan hyvää ja suurikaarresäteistä rataa. Täten radan kunnan kehittymisen tunteminen on tärkeä lähtötieto myös optimaalisen kunnossapidon ja investointikustannusten suhteen määrittämiseksi. Ennen optimaalisen suhteen määrittämistä tulisi pohtia paljonko virheitä täsmällinen ja turvallinen liikenne sallii. Tulee myös pohtia onko kuitenkaan mahdollista madaltaa investointien teknistä tasoa nykyisestään. Kansantaloudellisesti järkevän kunnossapitotason määrittäminen ei ole yksinkertaista (7).

Kunnossapito- ja investointikustannusten epärealistinen suhde eivät suinkaan ole hyöty-kustannusanalyysin ainoa puute vaan tehtyjen havaintojen perusteella epäkohdita on monia, joista suurimpina voidaan pitää:

- Tulevaisuuden ja kysynnän ennustamisen vaikeus ja haasteellisuus. Ennusteilla sekä kysynnän muutoksella on kuitenkin suuri merkitys lopulliseen HK-suhteeseen.
- Käytössä olevissa menetelmissä on puutteita etenkin tavaraliikenteen liikennöintikustannusten määrittämisessä.
- Osa ratainvestointien hankearviointiohjeen taulukoista vaatisi päivitystä.

Näiden laskentamenetelmän ongelmien lisäksi epäkohdaksi voidaan katsoa aluepolitiikka, joka vaikuttaa hankepäätöksiin toisinaan jopa laskentatuloksista huolimatta.

6.2 Jatkotutkimussuositukset

Suositteluvia jatkotutkimuskohteita ovat kannattavuuslaskennassa käytettävien menetelmien kehittäminen sekä kunnan kehittymismallien laatiminen. Molemmat jatkotutkimuskohteet sisältävät paljon pieniä osa-alueita.

Kunnan kehittymisen tarkastelut on syytä aloittaa jokaisesta radan komponentista erikseen ja tulevaisuudessa laajentaa koskemaan mahdollisesti koko rataa. Kunnan kehittymisen tutkimisen ensimmäinen vaihe, jossa hahmotellaan kunnan kehittymisen karkea malli kuvan 2.7 mukaisesti, on monen rataosan komponentin kohdalla toteutunut tai lähes toteutunut elinkaariselvityksien myötä. Seuraavassa vaiheessa olisi tärkeää perehtyä syvällisemmin eri radan komponenttien kunnan kehittymiseen pystyen huomioimaan myös ympäristössä tapahtuvat muutokset. Täydellisimmillään radan kunnan kehittymismalli sisältäisi siis sekä radan rakenneosien että koko radan kunnan kehittymisen ennustamisen. Tärkeää olisi kyetä yhdistämään kunnossapitäjän käytännön havainnot ja radan rakenneosista tehdyt elinkaariselvitykset kirjallisuuslähteiden teoreettisiin malleihin. Rautateiden turvallisuuden takaamiseksi olisi tärkeää tunnistaa ainakin ne radan rakenneosat joiden kunnan heikkeneminen on äkillistä tai edistyvää (progressiivista).

Ennen kannattavuuslaskennan yksittäisen lähtötiedon tai menetelmän suurempaa kehittämistä lienee syytä tarkastella höyty-kustannusanalyysiä menetelmänä pohtien erityisesti sen epäkohtien vaikuttavuutta laskennan lopputulokseen. Metsärannan (66) kokoamassa muistiossa ehdotettavat kehityskohteet, kuten laskelmasisällön uudelleen arviointi etenkin laadullisten tekijöiden suhteen sekä jäännösarvon tarpeellisuus, olisi syytä panna täytäntöön. Tämän lisäksi tärkeimmiksi kehityskohteiksi ja lisätutkimisen kohteiksi voidaan määrittää:

- Olisi syytä pohtia voidaanko Banverketin liikennöintikustannusten laskentamenetelmää entisestään kehittää ja kuinka menetelmä parametreineen soveltuu Suomeen.
- Voitaisiin selvittää tuoko muiden kannattavuuden tunnuslukujen, kuten sisäisen koron ja nykyarvon, tarkastelu HK-suhteen rinnalla laskentaan ja tulosten realistisuuteen lisäarvoa.
- Laskennan ja tulosten raportoinnin kehittämisellä parannettaisiin tulosten ymmärrettävyyttä. Lisäksi laskennan ja päätöksenteon läpinäkyvyyden lisääminen voi olla tarpeen.
- Herkkyytarkastelumenetelmien esittäminen ja ohjeistaminen tulisi liittää hankearviointiohjeeseen.
- Tulisi pohtia kuvautuvatko kunnossapitokustannukset realistisena hyöty-kustannusanalyysissä ja miten ajan vaikutus kunnossapitokustannusten muodostumiseen kyetään huomioimaan.
- Ratainvestointien hankearviointiohjeen päivittäminen voisi olla tarpeen, sillä monet ohjeessa annetut ohjeelliset kustannukset ja taulukot ovat vanhahkoja.

Lähteet

- (1) Liikenne- ja viestintäministeriö 2003. Liikenneväylähankkeiden arvioinnin yleisohje. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 34/2003. Helsinki 53s. 5 liitettä.
- (2) Ratahallintokeskus 2004. Ratainvestointien hankearviointiohje. Ratahallintokeskuksen julkaisuja 12 B. Helsinki. 44 s. 1 liite.
- (3) Eskola, P., Mroueh, U-M., Lehmus, E. 2002. Infra-alan elinkaaritarkastelut, kirjallisuuskatsaus. VTT Prosessit. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Espoo. 35 s. + liitt. 1 s
- (4) Tuominen, M. 2004. Rautatieinfrastruktuurin elinkaarikustannukset. Ratahallintokeskus, kunnossapitoyksikkö. Helsinki. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A/3/2004. 130 sivua ja 5 liitettä.
- (5) Nurmikolu, A., Kolisoja, P., Korkeamäki, S. 2009. Esiselvitys akseli- ja metrikuormien korotuksen yleisestä teknis-taloudellisuudesta ja case-tarkastelu Kemi-Kolari-rataosalla. Helsinki. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A7/2009. 32 s. + 8 liitettä.
- (6) SIKA 2008. Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 4. SIKA PM 2008:3. Östersund. 222s.
- (7) Heinonkoski, R. Kunnossapitoyksikön päällikkö. Ratahallintokeskus. Helsinki. Palaveri 23.4.2009.
- (8) Korkiala-Tanttu, L., Törnqvist, J., Eskola, P., Pieninmäki, M., Spoof, H. Mroueh, U-M. 2005. Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintoihin; kokemuksia kahdesta pilot-kohteesta. Tiehallinnon selvityksiä 13/2005. Helsinki, Tiehallinto. 43s. + 2 liitettä 17 s.
- (9) Maijala, A. 2005. Maaliikenneväylien päällysrakenteiden elinkaaritiloudellisuuden arviointi. Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion selvityksiä 55. Ramboll Finland Oy. TKK Rrakentamistalous. Espoo, Otamedia Oy. 65s + 2 liitettä
- (10) Ehrola, E. 2004. Infraohjelman elinkaaritekniikka. Teknillinen korkeakoulu. Seminaariaineisto 30.11.2004
- (11) Innotrack. 2007. D6.1.2 Models and Tools. [Luettu 27.5.2009] Saatavilla: http://www.innotrack.net/docs/deliverables/d612-o-models_and_tools.pdf
- (12) Juntunen, P. 2004. Elinkaarikustannukset ja painumariskit tien perustamistavan valinnassa. Helsinki. Tiehallinnon julkaisuja 20/2004. 76 s. + liitteet 11s.
- (13) Petäjä, S., Spoof H. 2001. Päällysrakenteen elinkaarikustannusanalyysi. Tien pohja- ja päällysrakenteet tutkimusohjelma TPPT. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Tiehallinto. Espoo. 42s + 2 liitettä
- (14) Haveri, O. 2006. Elinkaaritarkastelut tiepäällysteiden ylläpidon ohjelmoinnissa. TTY Liikenne -ja kuljetustekniikan laitos. Tiehallinto. Helsinki. s. 92 + liitteet 9 s.

- (15) Häkkinen, T., Huovila, P., Tattari, K., Vares, S., Seppälä, J., Koskela, S., Leivonen, J., Pylkkö, T. 2002. SY580 Rakennus- ja kiinteistöalan ekotehokkuus. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 580, Rakentaminen, 165 s.
- (16) Vihermaa, L. 2005. Suomen raideliikenteen ekotehokkuus MIPS-laskentaa hyödyntäen. Helsingin Yliopisto. Bio – ja ympäristötieteiden laitos. Ympäristötieteen pro gradu –työ. Helsinki. 83 s. +liitteet 62 s.
- (17) Lehmus E., Eskola P., Häkkinen t., Korkiala-Tanttu L., Mroueh U.-M., ja Tuhola M. 2003. Infra-alan elinkaaritarkastelut, esiselvitys. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka sisäinen raportti. Helsinki, 49 s. + liitt. 8 s.
- (18) Törnqvist, J. & Vesikari, E. 2005. Käyttöikäsuunnittelu ja elinkaarikustannusten laskenta infrastruktuurirakenteilla. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Espoo. 121 s.
- (19) Zoeteman, A. Life cycle cost analysis for managing rail infrastructure. Life cycle analysis for managing rail infrastructure. EJTIR. 2001. no. 4. p.391-413.
- (20) Stalder, O. The life cycle costs (LCC) of entire rail networks: an international comparison. Rail International, 2001. Vol. 32, nro. 4, s. 26-31.
- (21) Zoeteman, A., Esveld, C. State of the art in railway maintenance management: planning systems and their application in Europe. 2004 IEEE International conference on Systems, Man and Cybernetics. P.4165-4170
- (22) International Heavy Haul Association IHHA. 2009. Guidelines to Best Practices For Heavy Haul Railway Operations, Infrastructure Construction and Maintenance Issues. Chapter 2:Economics. Virginia, USA.
- (23) Ratahallintokeskus 2008. Kehäradan kiintoraideselvitys. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 17/2008. Helsinki. s.69-70
- (24) Ikäheimo, S., Lounasmeri, S., Walden R. Yrityksen laskentatoimi. Helsinki. 2005. WSOY. s.213-221
- (25) Patra, A. 2007. RAMS and LCC in Rail Track Maintenance. Licentiate Thesis. Luleå University of Technology. Luleå, Sweden.
- (26) Haverila, M., Uusi-Rauva. E., Kouri, I., Miettinen, A. Teollisuustalous. 5. painos. Tampere 2005. Infacs Oy. s.199-207
- (27) Andersson, J-O., Ekström, C., Gabrielsson, A. Kannattavuussuunnittelu ja – laskenta. 3. uudistettu painos. Helsinki. 2001. Tietosanoma Oy. s. 132-144.
- (28) Esveld, D. 2001. Modern railway track. Delft: MRT-Productions, 2001, 2nd edition, Germany. 630 s.
- (29) Zoeteman, A. 2004. Railway Design and Maintenance from a Life-Cycle Cost Perspective. PhD Thesis, Delft University of Technology. The Netherlands. ISBN 90-9018691-3

- (30) Jovanovic, S., Zaalberg, H. ECOTRACK: Two years of experience. Rail International, 2000. p.2-8.
- (31) UIC. Lasting Infrastructure Cost Benchmarking (LICB), 10-years of Benchmarking 1996-2005. 2007. Paris.
- (32) Ruohonen, K. 2006. Elinkaariajattelu ratahankkeissa. RautatieTEKNIikka N:ro 1/2006. 19 vsk. Rautatiealan Teknisten Liitto RTL r. Kajaani 2005. s.22-23 [luettu 23.7.2009] Saatavilla
<http://www.rautatietekniikka.fi/rautatietekniikka/Rautatietekniikka%201-2006.pdf>
- (33) Rivier, R. E. ECOTRACK: a tool for track maintenance and renewal managers. [luettu 20.7.2009] Saatavilla
http://litep.epfl.ch/webdav/site/litep/shared/ECOTRACK_comprail_1998.pdf
- (34) Kansallinen elinkaarimalli, Yksityisrahoitteisten hankkeiden kilpailukyvyyn kehittäminen ja tarjousvertailu ns. budjettirahoitteisten toteutusvaihtoehtojen kanssa, Loppuraportti. Elron. 2009. [luettu 28.7.2009] Saatavilla
http://www.asuntotieto.com/elinkaarimallit/Aineisto/semin_22-4-09/Loppuraportti%2021.04.09.pdf
- (35) Kunnossapitoyhdistyksen ja edu.fi:n oppimateriaali kunnossapidosta [luettu 23.10.2009]. Saatavilla:
http://www.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_2-1_kunnossapidon_kasitteet_ja_maaritelmat.html
- (36) Ratahallintokeskus. Rautatieliikenteen täsmällisyys 2008. Ratahallintokeskuksen selvityksiä F3/2009. Helsinki. 45s
- (37) Paavilainen, J., Mäkelä, T., Salkonen, R. Rataverkon kunnan ja sen liikenteellisten vaikutusten visualisoinnin lähtökohdat. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A1/2009. Helsinki. 57 s + 1 liite.
- (38) Tuhola, M., Vepsäläinen, P., Kiiras, J.: Väylän alusrakenteen elinkaarikustannusmalli. Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion selvityksiä 54. 2005. Espoo. 78s. + 6 liitettä
- (39) Heinonkoski, R. 2009. RHK Kunnossapidon kilpailuttamisstrategia TTS kaudella 2009-2013. Esittelykalvot. 17s.
- (40) Ratahallintokeskus. Elinkaariselvitykset Imatran ratapihalta 2008 ja rataosilta 2007: 1802 (Savonlinna-Huutkoski) sekä 1201 (Kirkkonummi-Turku).
- (41) Lindberg, J. ylitarkastaja. Ratahallintokeskus. Helsinki. Haastattelu 12.6.2009.
- (42) Ratahallintokeskus. 2003. Rataverkon korvausinvestointien vaikutukset, vaikutusmekanismien kuvaus ja laskelma liian alhaisen rahoitustason lisäkustannuksista. 20s. + 1 liite
- (43) Tanhuanmäki, M. 2003. Akselipainojen nostamisen vaikutukset rautatiekuljetuksiin. Diplomityö. Tampere. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Tuotantotalouden osasto. 104 s + 3 liitettä.

(44) Kiuru, T. 2007. Akselipainon noston tekniset edellytykset ja niiden soveltaminen Luumäki-Imatra-rataosuudella. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 1/2007. Helsinki. 100 s. + 20 liitettä

(45) Tuominen, M. Ylitarkastaja, RHK, Sähköposti 08/2009.

(46) Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 3. Radan rakenne. Ratahallintokeskus. Helsinki 2008. 48 s. + 3 liitettä.

(47) Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 11. Radan päällysrakenne. Ratahallintokeskus. Helsinki 2002. 87 s. + 5 liitettä.

(48) Nurmikolu, A. 2000. Raideseppelin lujuuden vaikutus tukikerroksen kestoikään. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 4/2000. Helsinki. 93 s. + 4 liitettä

(49) Pesonen, H. Toimitusjohtaja. Strafica. Helsinki. Haastattelu 18.8.2009

(50) Meriläinen, A. Nopean junaliikenteen kehittämisen vaikutukset, kirjallisuustutkimus. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 5/2009. Helsinki. 63 s. + 2 liitettä

(51) Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 4. Vaihteet. Ratahallintokeskus. Helsinki 2000. 65 s. +4 liitettä.

(52) Levomäki, M., Valtonen, J., Loppuraportti 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainojen ratateknisistä tutkimuksista. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 5/2001. Helsinki 2001. 48 s. + 1 liite.

(53) Eskola, P., Juvankoski, M., Mroueh, U-M., Ruotoistenmäki, A. 1999. Maarakentamisen elinkaariarviointi. VTT Tiedotteita 1962. Espoo 1999. 111s + 6 liitettä

(54) Nurmikolu, A. Degradation and Frost Susceptibility of Crushed Rock Aggregates Used in Structural Layers of Railway Track. Tampere 2005. Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisu 567. 236s + 6 liitettä.

(55) Raideseppelin hankinta- ja toimitusohje. Ratahallintokeskuksen sisäinen julkaisu. 2005.

(56) Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 15. Radan kunnossapito. Ratahallintokeskus. Helsinki 2000. 63 s.

(57) Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 14. Vaihteiden tarkastus ja kunnossapito. Ratahallintokeskus. Helsinki 2002. 27 s. + 6 liitettä

(58) Nurmikolu, A., Kolisoja, P. XPS-routaeristelevyt ratarakenteessa, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 2/2001. Helsinki. 97 s +3 liitettä.

(59) Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 8. Sillat. Ratahallintokeskus. Helsinki 2000. 43 s. + 9 liitettä.

- (60) Ratahallintokeskus. Rumpujen korjausohje RUMKO. Ratahallintokeskuksen julkaisuja O 1/2006. Helsinki.
- (61) VR-Rata 2007. Ratahallintokeskus. Rautatierumpujen hallintaraportti 2007.
- (62) Lahelma, H. Ylitarkastaja. Ratahallintokeskus. Helsinki. Haastattelu 11.6.2009
- (63) Heiskanen, M. Rakentamisen aluepäällikkö. Ratahallintokeskus. Helsinki. Haastattelu 11.6.2009.
- (64) Iikkanen, P. Projektipäällikkö. Ramboll. Espoo. Haastattelu 18.8.2009
- (65) Heinonkoski, R. Kunnossapitoyksikön päällikkö. Ratahallintokeskus. Helsinki. Palaveri 22.10.2009.
- (66) Metsäranta, H. 2008. Liikenteen yhteiskuntataloudellisen arvioinnin tutkimus- ja kehittämistarpeet. Muistio 4.3.2008. Srtafica Oy.
- (67) Leviäkangas, P., Kallberg, V-P., Seise, A., Rönty, J., Eckhardt, J., Permala, A., Lahti, P., Järvi, T., Mäkelä, T., Rosenberg, M. 2009. Seinäjoki-Oulu yhteiskuntataloudellinen vaikutusarvio. VTT. Oulu 2009. 61s + 1 liite.
- (68) Metsäranta, H. Strafica. Helsinki. Haastattelu 18.8.2009
- (69) Lehikoinen, H. Pääsuunnittelija. Ratahallintokeskus. Helsinki. Haastattelu 12.6.2009.
- (70) Heinonkoski, R. 2004. Koneautomaation kunnossapito. Opetushallitus. Uusikaupunki. 207 s.
- (71) Lichtberger, B. 2005. Track Compendium: Formation, Permanent way, Maintenance, Economics. Eurailpress. Hamburg, Saksa. p.585-596
- (72) Suomen kunnossapitoalueiden 1-9 rahoitustilastot vuosilta 2006-2009.
- (73) Lahelma, H. Ylitarkastaja. Ratahallintokeskus. Sähköposti 27.11.2009.
- (74) Banverket. 2005. Beräkningshandledning-Hjälpmedel för samhällsekonomiska bedömningar inom järnvägsektorn. Handbok BVH 706. 332 s. + 2 liitettä
- (75) Ruotsin kruunun valuuttakurssi. [luettu 4.11.2008] Saatavilla:
http://www.bof.fi/Stats/default.aspx?r=/tilastot/valuuttakurssit/valuuttakurssit_today_fi
- (76) Ratahallintokeskus. 2007. Rautatieliikenne 2030 -suunnitelman liikenneennusteet. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 10/2007. Helsinki . 49 s + 2 liitettä.
- (77) Mäkinen, H. 2009. Liikenteen ulkoisvaikutukset Suomessa ja EU:ssa. Katsaus ulkoisvaikutusten arvottamiseen ja ulkoisvaikutusten soveltamiseen hankearvioinnissa. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 13/2009. Helsinki. 92 s + 3 liitettä.
- (78) Seppänen, I. Johtaja. VR Cargo. Sähköposti 26.11.2009

Liik
enne
vira
sto

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-623-3

www.liikennevirasto.fi