



Henri Maarala

RADAN PÄÄLLYSRAKENTEEN ELINKAARISELVITYS

RADAN PÄÄLLYSRAKENTEEN ELINKAARISELVITYS

Henri Maarala
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, yhdyskuntatekniikka

Tekijä: Henri Maarala

Opinnäytetyön nimi: Radan päällysrakenteen elinkaariselvitys

Työn ohjaajat: Teemu Poussu (Liikennevirasto), Kimmo Saarela (Ramboll Infrapalvelut Oy), Ilmari Sikander (Ramboll Infrapalvelut Oy) ja Jarmo Erho (Oamk)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014

Sivumäärä: 109 + 13 liitettä

Tämän selvityksen päällimmäisenä tavoitteena oli laatia käytännönläheinen toimintamalli radan päällysrakenteen elinkaaren mallintamista ja seurantaan varten. Työ laadittiin ensisijaisesti Liikenneviraston kunnossapitoyksikölle ja se kohdistettiin päällysrakenteeseen (pl. vaihteet). Tarkastelun kohteena oli Oulun ja Kontiomäen välinen rataosa, jonka perusparannushanke oli juuri käynnistymässä. Työssä selvitettiin päällysrakenteen elinkaareen vaikuttavat tekijät, joista oleellisimpina voidaan pitää koneellista tuentaa, kiskohiontaa ja liikennekuormitusta. Näiden tekijöiden käytännön vaikutuksien kartoittamiseksi perehdyttiin aikaisempiin tutkimuksiin, joiden lisäksi tehtiin niitä täydentäviä haastatteluja.

Tutkimustyön aikana kävi ilmi, että oleellimmat kiskoihin ja pölkkyyihin kohdistuvista rasituksista johtuvat puutteellisesta tukikerroksesta, mikäli asennus- ja valmistusvirheitä ei oteta huomioon. Tämän päätelmän pohjalta toteutettiin elinkaarimalli, joka keskittyy ensisijaisesti tukikerroksen laadun ja raiteen geometrian tarkkailuun. Näiden lisäksi otettiin huomioon myös liikennöivän kaluston aiheuttamat vaikutukset, jotka määritettiin junapainon, kalustotyypin, nopeuden ja akselikuorman yhteisvaikutuksesta. Edellä luetelluista tekijöistä aiheutuvien vaikutusten mittarointiin laadittiin toimintasuunnitelma, jonka lähtökohtana oli se, että se olisi toteutettavissa nykyisin käytössä olevan tekniikan avulla. Tämä mahdollistaa sen, että elinkaaren seuranta ja mittarointia pystytään toteuttamaan heti perusparannushankkeen valmistumisesta alkaen.

Päällysrakenteen seuranta päätettiin toteuttaa radantarkastusvaunulla ja maantutkauksella, joilla tarkkaillaan tukikerroksen laatua ja raiteen geometriaa. Kaluston seuranta toteutettiin pyöräilmaisimien, RFID-tekniikan ja GPS-paikannuksen avulla. Lopuksi arvioitiin tuotetun elinkaarimallin luotettavuutta ja todenmukaisuutta, johon vaikuttaa esimerkiksi Venäjän ja Suomen välisen rautatieliikenteen kehittyminen.

Asiasanat: rautatie, ratarakentaminen, päällysrakenne, elinkaari, kunnossapito

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Municipal Engineering

Author: Henri Maarala

Title of thesis: Railway superstructure lifecycle investigation

Supervisors: Teemu Poussu (The Finnish Transport Agency), Kimmo Saarela (Ramboll Infraserivices Ltd.), Ilmari Sikander (Ramboll Infraserivices Ltd.) and Jarmo Erho (OUAS)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2014

Pages: 109 + 13 appendices

The primary objective of this study was to create a practical approach for modelling and tracking of the track superstructure lifecycle. This study was mainly prepared for the Finnish Transport Agency's maintenance unit and it was focused on the railway superstructure (excluding switches). Under the examination was the railway part between Oulu – Kontiomäki, which track improvement was about to begin. The first thing was to find out which factors cause most effect to superstructure's lifecycle and the most essential ones were machine turning, rail grinding and traffic load. The next task was to identify the practical effects of these factors and it was made by studying earlier investigations and, in addition to that, there were also complementary interviews.

During the study it became clear that the most essential factors of rails and sleepers are caused of the bad condition of the superstructure, if installation mistakes and factory defects are not taken into consideration. Based on this conclusion, a lifecycle model was created, which focuses primarily of track superstructure and geometry observation. In addition to these, the effects are caused by the operating equipment which were determined from the interaction of train weight, equipment type, speed and axle load. To measure these factors a plan was drawn up based on the fact that it could be used with currently existing devices. This makes it possible to monitor and measure the lifecycle right after the track improvement is completed.

The tracking of track superstructure was decided to be carried out with a track inspection car and ground penetrating radar gauging, which monitor the quality of track ballast and geometry. The train management was carried out with wheel impact load detectors, RFID technology and GPS tracking. Finally, an estimation was made about the reliability and accuracy of the produced lifecycle model, which is affected by, for example, the development of rail transport between Russia and Finland.

Keywords: railway, railway construction, superstructure, lifecycle, maintenance

ALKULAUSE

Tämä työ laadittiin ensisijaisesti Liikenneviraston kunnossapitoyksikölle, mutta toivon sen hyödyttävän myös muita rataympäristössä toimivia tahoja. Työn toteuttaminen oli paikoin erittäin haasteellista, joten sen laadukas ohjaaminen oli merkittävässä roolissa, ja tähän liittyen haluan antaa erityiskiitokset Teemu Poussulle ja Kimmo Saarelalle, joita ilman tämä selvitys tuskin olisi valmistunut. Lisäksi haluan kiittää myös kaikkia muita tämän työn parissa auttaneita henkilöitä, joilla kaikilla oli oma osansa tämän työn loppuun saattamisessa. Lämpimät kiitokset myös kaikille läheisille, jotka ovat jaksaneet tukea ja kannustaa minua sekä tämän työn että koko opintojeni valmiiksi saattamisessa.

Oulussa 17.4.2014

Henri Maarala

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	10
2 KESTOIKÄ, KÄYTTÖIKÄ JA ELINKAARI	11
3 ELINKAAREEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	13
3.1 Investointi	14
3.2 Kunnossapito	14
3.3 Liikenne	15
4 SUOMEN RATAVERKON TILANNEKATSAUS	18
4.1 Lähtökohdat	18
4.2 Investoinnit ja ylläpitokustannukset	18
4.3 Liikennemäärät	21
4.4 Yhteenveto Suomen rataverkon kehityksestä	24
4.5 Rataverkon korjausvelka	25
5 RATOJEN KUNTOLUOKITUS	27
5.1 Päälysrakenneluokitus	27
5.2 Alusrakenneluokitus	30
5.3 Kunnossapitoluokitus	30
6 PÄÄLLYSRAKENTEEN ELINKAAREN LÄHTÖKOHDAT	33
6.1 Tukikerros	33
6.1.1 Suunnitelmalliset tekijät	33
6.1.2 Laadulliset tekijät	35
6.2 Pölkyt	36
6.2.1 Suunnitelmalliset tekijät	36
6.2.2 Laadulliset tekijät	37
6.3 Kiskot	39
6.3.1 Suunnitelmalliset tekijät	39
6.3.2 Laadulliset tekijät	41
6.4 Yhteiset tekijät	42

6.4.1 Ympäristö	42
6.4.2 Ilmasto	44
6.4.3 Geometria	47
6.4.4 Alusrakenne ja pohjamaa	49
6.4.5 Liikenteen koostumus ja akselipainot	50
7 PÄÄLLYSRAKENTEEN ELINKAAREN HALLINTA	58
7.1 Päällysrakenteen elinkaaren muodostuminen	58
7.2 Tukikerrokselle tehtävät toimenpiteet	59
7.3 Ratapölkyille tehtävät toimenpiteet	68
7.4 Ratakiskoille tehtävät toimenpiteet	68
7.5 Toimenpiteiden toteuttamisen haasteet	70
8 PÄÄLLYSRAKENTEEN YLIAJO	73
8.1 Lähtökohdat	73
8.2 Huomioitavat asiat	73
8.3 Tarvittavat toimenpiteet	74
8.4 Toimenpiteiden kannattavuuden arviointi	75
9 PÄÄLLYSRAKENTEEN ELINKAAREN MITTAROINTI JA TUNNUSLUVUT	76
9.1 Yleistä	76
9.2 Seurantalaitteista ja radantarkastusvaunuista saatavat tiedot	78
9.3 Seurantalaitteiden kehittäminen	84
10 PÄÄLLYSRAKENTEEN ELINKAAREN MALLINTAMINEN OULU – KONTIOMÄKI-RATAOSALLE	89
10.1 Lähtötiedot	89
10.2 Elinkaaren mallintaminen	89
10.3 Elinkaaren seurannan toteuttaminen	91
10.4 Elinkaaren seurannassa tarvittavat tiedot ja niiden hyödyntäminen	92
10.5 Elinkaarimallin haasteet ja luotettavuuden arviointi	96
11 YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET	98
LÄHTEET	101
LIITTEET	109

SANASTO

Akselipaino	Vaunun tai veturin akselin rataan aiheuttama voima. (6.)
Brt	Bruttotonni, joka tarkoittaa junan kokonaispainoa eli junan, lastin ja matkustajien yhteenlaskettu paino (erikseen tavara- ja henkilöjunille). (10.)
ELLI	Radantarkastusvaunu, joka keskittyy ajonlangan aseman ja kiskojen kuluneisuuden mittaamiseen. (2.)
Elinkaari	Tietyn rakenteen tai rakenneosan elinkaari kuvaa sen käytettävyyttä, jonka aikaisen kulutuksen se kestää menettämättä siltä vaadittuja ominaisuuksia.
EMMA	Radantarkastusvaunu, joka keskittyy raiteen geometrian mittamiiseen. (2.)
Kestoikä	Teoreettinen aika tai kuormitusmäärä, joka tuotteen oletetaan kestävän säilyttäen sille asetetut tekniset vaatimukset. (4.)
Korjausvelka	Korjausvelka kuvaa, kuinka paljon rakenteisiin on jäänyt investoimatta rahaa menneinä vuosina, jotta ne olisivat edelleen käytön kannalta hyvässä kunnossa. (52.)
Korvausinvestointi	Teknisen tai taloudellisen elinkaaren lopussa tapahtuva rakenteen, laitteen tai järjestelmän uusiminen, jolla palautetaan tai säilytetään väylän liikennekelpoisuus. (4.)
Kunnossapito	Yksi tai useampia toimenpiteitä radan, rata-alueen rakenteiden ja laitteiden käyttökunnossa pitämiseksi. (2.)

Käyttöikä	Todellinen aika tai kuormitusmäärä, jonka ajan tuotetta voidaan käyttää ja sitä on taloudellisesti mielekästä kunnossapitää. (4.)
PYL	Päälysrakennetöiden yleiset laatuvaatimukset. (56.)
RATO	Liikenneviraston Ratatekniset ohjeet, jotka sisältävät perustiedot radan ja ratalaitteiden suunnittelua, tarkastuksia ja kunnossapitoa varten. (1; 2.)
RFID	"Radio Frequency Identification" on yleisnimitys radio- taajuuksilla toimiville tekniikoille, joita käytetään ha- vainnoinnin ja tunnistamisen apuna. (57.)

1 JOHDANTO

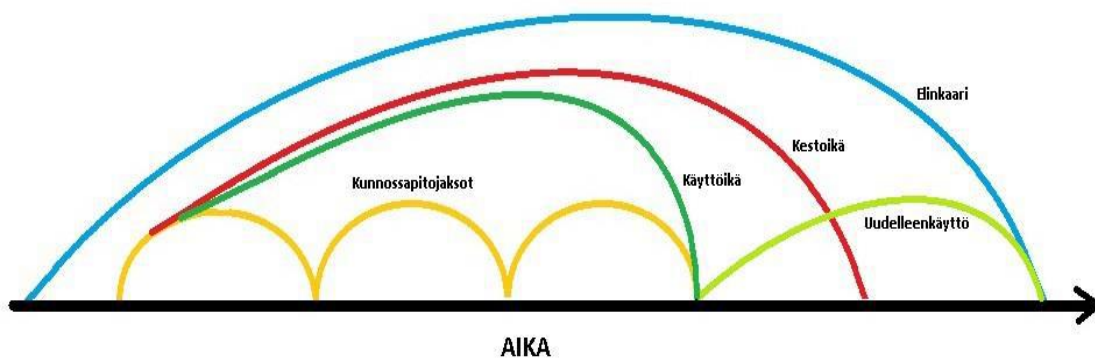
Suomen liikennöidyn rataverkon pituus on nykyisin noin 6 000 kilometriä, josta puolet on sähköistetty. Rataverkon kunnossapitoon käytetään lähes 200 miljoonaa euroa vuosittain, mikä tarkoittaa sitä, että keskimääräiset kunnossapitoon varatut kustannukset ovat noin 33 000 euroa/km. Summa vaikuttaa aluksi suurelta, mutta kun otetaan huomioon se, että rataverkko koostuu monista erikokonaisuuksista (päällysrakenne, turvalaitteet, vaihteet jne.), joiden kunnossapito vaatii sekä erityisosaamista että erikoiskalustoa ja -materiaaleja, ei tämä edellä mainittu summa ei enää vaikutakaan kovin suurelta. Lisäksi Suomen rataverkon korjausvelka kasvaa koko ajan, ja tarvittavien toimenpiteiden toteuttamiseen on käytettävissä yhä vähemmän resursseja. Käytettävissä olevat toimenpiteet ovat siis erittäin rajallisia, eikä joka paikkaan riitä resursseja. Tästä syystä onkin erityisen tärkeää osata kohdistaa toimenpiteet oikein ja pystyä maksimoimaan niistä saatavat hyödyt. (6; 10.)

Rataverkolla suoritetaan jatkuvaa kunnossapitoa sekä ajoittaisia korjausinvestointeja, mikäli tilanne niin vaatii. Nykyisin näitä toimenpiteitä ei ole mahdollista kohdistaa ja ohjata riittävästi, koska ei ole saatavilla tarpeeksi käytännönläheistä toimintamallia, jonka avulla tämä olisi mahdollista. Tämän opinnäytetyön päällimmäisenä tarkoituksena olikin vastata näihin tarpeisiin kehittämällä käytännön työympäristöön soveltuvia ohjeita ja menetelmiä kokonaistaloudellisuuden optimointiin ja resurssien ohjaamiseen.

Tämä selvitys kohdistettiin Oulun ja Kontiomäen väliselle rataosalle ja siinä keskityttiin päällysrakenteeseen (pl. vaihteet). Selvityksessä verrattiin Oulu – Kontiomäki -perusparannushankkeen tiimoilta tehtävän investoinnin laadun ja tason vaikutuksia radan käyttöikään sekä käytönaikaisiin kunnossapitotoimenpiteisiin. Selvityksen toteuttamiselle oli erinomainen ajankohta sillä Oulu – Kontiomäki -perusparannushanke oli käynnistymässä, ja näin ollen tarkat toimenpiteet sekä niiden laajuudet olivat helposti saatavilla ja seurattavissa.

2 KESTOIKÄ, KÄYTTÖIKÄ JA ELINKAARI

Elinkaareen liittyvien tutkimuksien ja selvityksien yhteydessä törmää jatkuvasti seuraaviin termeihin: kestoikä, käyttöikä ja elinkaari. Niiden merkitykset eivät ole kaikille ennestään tuttuja ja ne liittyvät kaikki samaan kokonaisuuteen. Tästä syystä ne sekoitetaan helposti keskenään, ja näin oli käynyt myös joissain aikaisemmissa elinkaarellisissa tutkimuksissa, kuten myös allekirjoittaneella tämän selvityksen teon alkuvaiheessa. Tästä johtuen koin heti alkuun tarpeelliseksi hieman avata tätä asiaa, koska kyseisten termien ymmärtäminen on kuitenkin olennainen osa koko tätä selvitystä. Edellä mainitut termit ovat havainnollistettuina seuraavassa kuvassa 1, jonka lisäksi niiden merkitys käydään tarkemmin läpi alempana.



KUVA 1. Kestoian, käyttöian ja elinkaaren yhteys

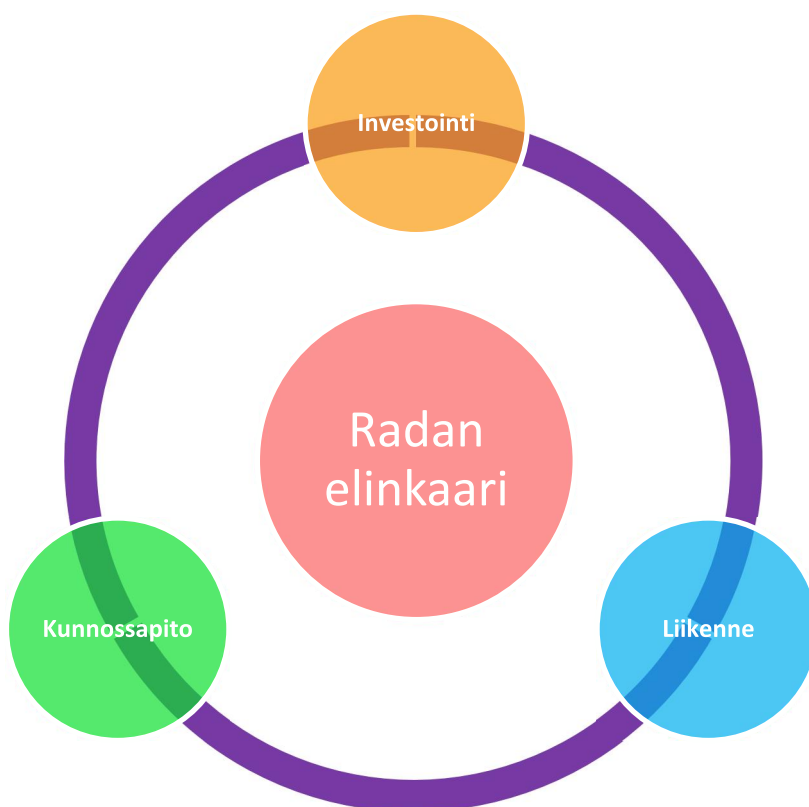
Kestoikä tarkoittaa teoreettisesti määritettyä aikaa tai kuormitusmäärää, jonka esimerkiksi ratapölkkyjen oletetaan kestävän säilyttäen käyttökelpoisuutensa ja liikennöitävyytensä. Kestoikä ilmoitetaan ratapölkkyjen osalta aikayksikössä (vuosina, v), mutta tukikerroksen ja kiskojen osalta sitä vastoin kuormituksena (miljoonaa bruttotonnia, Mbrt.). Koko päällysrakenteen kestoikä määräytyy siis kyseessä olevan rataosan liikennemäärien perusteella. Vilkasliikenteisillä rataosilla määräävimmäksi tekijäksi nousee tukikerros ja vähäliikenteisillä määräävimpänä toimivat ratapölkkyt. Tämä oletamus perustuu kuitenkin vain teoreettisiin lähtökohtiin, joten sen todenperäisyys on tapauskohtaista. (4.)

Käyttöikä sitä vastoin tarkoittaa kokonaistaloudellisessa mielessä määräytyvää aikaa tai kuormitusmäärää, jonka ajan ratapölkkyjä käytetään niille asetettujen vaatimusten mukaisesti. Tällöin pölkkyjen tulee vielä olla kohtuullisessa kunnossa, jotta niiden kunnossapito on järkevää ja mielekästä. Tarkka ja todellinen käyttöikä saadaan siis selville vasta pölkkyjen uusimisen myötä. Rakenteen tai rakenneosan käyttöikä on yleensä hieman teoreettisesti määritettyä kestoikää lyhyempi. (4.)

Elinkaaresta puhuttaessa tarkoitetaan rakenneosan käytettävyyttä kokonaisuudessaan, joka sisältää myös rakenneosan mahdollisen uudelleen käyttämisen vaihtoehtoisessa kohteessa. Esimerkiksi hyväkuntoiset puiset ratapölkkyt voidaan kierrättää ja siirtää vähempiliikenteiselle rataosalle käytettäväksi. Tällöin pölkkyjen elinkaari jatkuu, vaikka niiden varsinainen käyttöikä on jo tullut tiensä päähän. Monissa tapauksissa tuotteen elinkaari on kuitenkin samanpituisen kuin käyttöikä, koska tuotteelle ei löydy kannattavia uudelleenkäyttömahdollisuuksia. (5.)

3 ELINKAAREEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Radan elinkaareen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kolmeen osakokonaisuuteen: investointiin, kunnossapitoon ja liikenteeseen. Nämä kolme kokonaisuutta toimivat vuorovaikutuksessa toistensa kanssa ja ovat kaikki vaikuttamassa radan elinkaaren kehittymiseen ja sen päällysrakenteen käyttöikäen. Tätä yhteyttä voidaan kuvata alla olevan mukaisella kaaviolla 1.



KAAVIO 1. Radan elinkaareen vaikuttavien tekijöiden keskinäinen suhde

Investointi, kunnossapito ja liikenne ovat keskenään suorassa vuorovaikutuksessa. Esimerkiksi liikenteen väheneminen vaikuttaa suoraan tarvittavan kunnossapidon määrään, ja tehtävät kunnossapitotoimet vaikuttavat suoraan myöhemmin tarvittavaan investointiin. Näiden kokonaisuuksien keskinäisen riippuvuuden ymmärtäminen onkin yksi olennaisimmista asioista päällysrakenteen elinkaareissa ja käydään läpi ensimmäisenä.

3.1 Investointi

Keskeiset vaikuttavat tekijät ovat investoinnin määrä, paikka ja aika. Nämä tekijät on tunnettava riittäväällä tarkkuudella, jotta investoinnin kokonaistaloudellisuus saadaan optimoitua ja sillä saavutetaan suurin mahdollinen hyöty. Lyhykäisyydessään investointi tehdään, kun se todetaan kannattavaksi ja sille löytyy tarvittavat resurssit.

Investointia ei kuitenkaan ole aina mahdollista toteuttaa optimaalisimmassa tilanteessa, vaan rakenne on ajettava tiedostetusti elinkaarensa yli. Tällöin tarvitaan tehostettua kunnossapitoa sekä pienimuotoisia investointeja (=korvausinvestointeja) tarvittaessa. Korjausinvestoinnit ovat ongelmakohtiin tehtäviä yksittäisiä investointeja, joita ovat muun muassa pölkkyjen ja kiskojen hajavaihdot. Näiden toimenpiteiden tarkoituksena on pitää rata liikennöitävässä kunnossa ja estää palvelutason romahtaminen. Palvelutasoa ei siis pyritä nostamaan, eikä tämä olisi käytännössä mahdollistakaan ilman laajamittaisia investointeja. (35.)

3.2 Kunnossapito

Keskeiset vaikuttavat tekijät ovat samat kuin investoinnissa (määrä, paikka ja aika), mutta näiden lisäksi erittäin suuri merkitys on myös ennakoivalla kunnossapidolla. Tällä varmistutaan siitä, että radan eri osat pysyvät käyttökelpoisina koko suunnitellun käyttöajan ajan ja rata pysyy liikennöitävässä kunnossa. Korjaustoimenpiteiden tarve käy ilmi tarkastuksissa ja radan kunnon seurannassa, jota suoritetaan radantarkastusvaunuilla (Emma ja Elli). (2.)

Kaikesta huolimatta kaikkeen ei voida varautua ja monesti ollaan tilanteessa, jossa korjaustarve havaitaan vasta silloin, kun vahinko on jo tapahtunut ja tämä vaurio ehtii kehittyä entisestään ennen sen korjaamista. Korjaamiseen vaadittavien toimenpiteiden järjestäminen (kalusto, liikennekatkot jne.) vaatii suunnittelua ja resursseja, joiden hankkiminen on usein haasteellista ja aikaa vievää. Kun huomataan esimerkiksi tukemisen tarve, on tukemiskone harvoin heti saatavilla paikalle, koska sille on jo tarvetta toisaalla. Tämä on kuitenkin täysin ymmärrettävää, sillä kalliit koneet on pidettävä koko ajan työllistettyinä. Ennen

tukemiskoneen paikalle saamista radalle on asetettava väliaikainen nopeusrajoitus, joka aiheuttaa lisäkustannuksia viivästyksistä johtuen. Myös vaurion edelleen kehittyminen aiheuttaa lisäkustannuksia käyttöiän laskemisen ja korjaustoimenpiteiden kasvamisen seurauksena. Tieto tulevista kunnossapitotoista on siis ensiarvoisen tärkeää, ja näiden tietojen ajoissa hyödyntäminen vielä tärkeämpää.

Kunnossapitoa suoritetaan pääsääntöisesti liikennekatkojen aikana, joten ilmenneihin vaurioihin ei monesti voida puuttua saman tien. Huomioitavaa on myös se, että liikennekatkojen pituudet ovat rajallisia, ja tästä syystä suurempia vaurioita ei pystytä korjaamaan kerralla. Tämä aiheuttaa ongelmia ja lisäkustannuksia kunnossapidolle, ja tästä syystä korjaustoimenpiteet tulisi aina pyrkiä tekemään kerralla kuntoon. Yleensä lähdetään siitä olettamuksesta, että liikenteelliset haitat ovat kunnossapidollisia haittoja suuremmat ja, tästä syystä pidempien työrakojen saaminen on usein vaikeaa tai jopa mahdotonta. Tilanteen korjaamiseksi asiasta tulisi käydä enemmän keskustelua ja verrata liikenteellisiä haittoja kunnossapidollisiin, jotta saataisiin selville, missä työrakojen pidentämisen kannattavuuden raja menee. Tätä asiaa käsitellään myöhemmin tässä selvityksessä.

Kunnossapidossa on pyrkimys mahdollisimman suunnitelmalliseen kunnossapitoon, mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että suurin osa tulevista kunnossapitotoimista on tiedossa jo etukäteen. Tämän lisäksi tarvitaan toki myös edellä mainittua korjaavaa kunnossapitoa (=häiriökorjauksia), jonka tarve johtuu yleensä havaitusta ongelmasta tai viasta. Yksittäisten vikojen ennustaminen on erittäin haasteellista, mutta häiriökorjausten osuus pyritään kuitenkin pitämään mahdollisimman pienenä. Tällaisen tilanteen aikaan saamiseksi tarvitaan riittävästi tietoja muun muassa kyseessä olevan rataosan kunnossapitohistoriasta sekä sen päällysrakenteen käyttäytymisestä. (7; 14; 35; 53.)

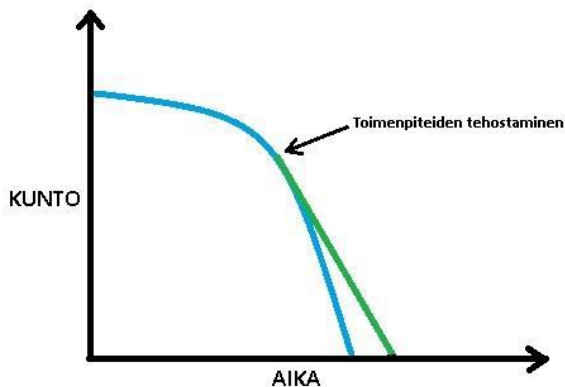
3.3 Liikenne

Keskeisiä vaikuttavia tekijöitä ovat määrä ja kaluston kunto. Kaluston kunto ja määrä vaikuttavat suoraan radan päällysrakenteen käyttöikänsä. Kaluston silmämääräisissä tarkastuksissa ja testeissä kaikkien vikojen huomaaminen on

haasteellista, koska esimerkiksi lovipyörät jäävät monesti huomaamatta ja tulevat ilmi yleensä vasta täydessä vauhdissa. Tästä syystä radalla olevat seurantalaitteet ovat erittäin tärkeässä roolissa.

Seurantalaitteista saadaan monenlaisia tietoja ja ne käsitellään taustaohjelmistojen avulla käyttökelpoiseksi dataksi, jonka jälkeen asiantuntijat pystyvät päättämään useita eri asioita muun muassa kaluston kuntoon liittyen. Nykyisiä seurantalaitteita ollaan myös kehittämässä edelleen, jotta radan käyttöä pystytään ohjaamaan entistä kokonaistaloudellisempaan suuntaan. Tällöin esimerkiksi kaluston oikeaoppisesta (= hyvästä) käytöstä pystyttäisiin palkitsemaan liikennöitsijöitä, mikä kannustaisi heitä pitämään kalustonsa kunnossa ja käyttämään sitä parhaalla mahdollisella tavalla. (26; 35.)

Mahdollisimman oikeaoppinen kaluston käyttö vaikuttaa suoraan tarvittavien investointien ja kunnossapidon määrään, ja sitä kautta voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä pidemmällä aikavälillä. Tämän lisäksi säästöjä syntyy myös päällysrakenteen elinkaaren pidentymisen seurauksena, jota on havainnollistettu seuraavassa kuvassa 2.



KUVA 2. Elinkaaren pidentyminen

Edellä esitetty elinkaaren pidentyminen saadaan aikaan oikein ajoitettujen ja kohdistettujen korvausinvestointien sekä tehostetun kunnossapidon yhteisvaiku-

tuksena. Tämä vaatii rakenteiden kunnon kehittymisen seuranta ja analysointia, jotta nämä toimenpiteet osataan ottaa käyttöön riittävän aikaisessa vaiheessa. Tarkasteltavalle rakenteelle tulee siis määrittää mitattavissa olevat parametrit, joiden selvittäminen on säännöllisten tarkastuksien avulla mahdollista. Tätä asiaa käsitellään tarkemmin selvityksen myöhemmissä osioissa, muun muassa luvussa yhdeksän.

4 SUOMEN RATAVERKON TILANNEKATSAUS

4.1 Lähtökohdat

Suomen rataverkolla on edessä mittavia, satojen miljoonien investointitarpeita, ja ne ovat edessä jo lähivuosina. Yleisesti tärkeimpänä asiana pidetään Helsingin ratapihan ahtauden purkamista, koska sen vaikutukset kohdistuisivat koko maan rataverkolle. Ahtauden purkaminen parantaisi junaliikenteen täsmällisyyttä ja mahdollistaisi kapasiteetin lisäämisen sekä lähi- että kaukoliikenteessä. Tämän toteuttamista varten on suunnitteilla niin kutsuttu ”Pisaratata”, joka on Helsingin keskustan alle kaavailtu lähijunien tunnelirata.

Uusien investointien lisäksi tarvitaan resursseja myös nykyisen rataverkon korjaustarpeisiin, koska muun muassa ratasiltoihin tarvitaan korjauksia, koska ne jäävät vanhanaikaisiksi uusien vaatimusten myötä. Suuremmat junanopeudet ja kasvavat akselipainovaatimukset aiheuttavat siltoihin rakenteellisia muutostarpeita ja niiden ikääntyessä myös perinteinen korjausrakentamisen osuus kasvaa. (36.)

4.2 Investoinnit ja ylläpitokustannukset

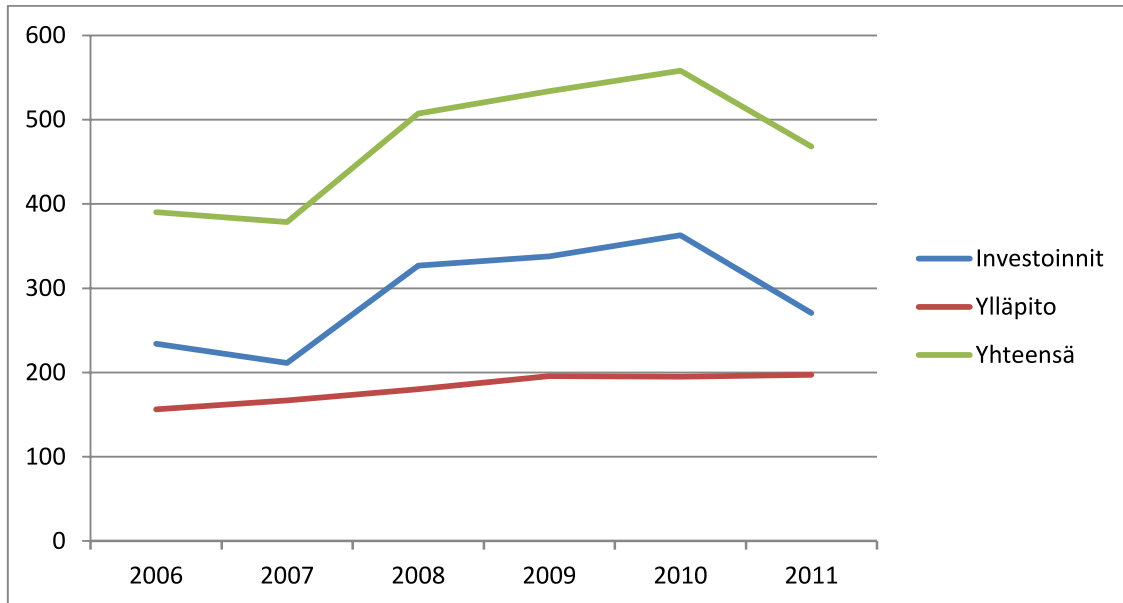
Selvää on, että investoinnit ja kunnossapitokustannukset tulevat molemmat tulevaisuudessa lisääntymään rataverkon kehittymisen ja liikennemäärien kasvamisen seurauksena. Tärkein kysymys lieneekin, kuinka paljon nämä kustannukset tulevat kasvamaan ja paljonko ne mahtavat olla esimerkiksi vuonna 2020. Suuntaa antava arvio saadaan suhteellisen helposti käyttämällä hyväksi viimeisimpien vuosien kustannuksia, jotka ovat lueteltuina seuraavassa taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Suomen rataverkon kustannukset vuosina 2006 – 2011 (10)

Nimike	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Investoinnit	234,1	211,4	326,9	337,9	362,9	270,7
Ylläpitokustannukset	156,2	167,0	180,2	195,8	195,1	197,3
Yhteensä	390,3	378,4	507,1	533,7	558,0	468,1

* kustannukset ilmoitettu yksikössä Milj. euroa

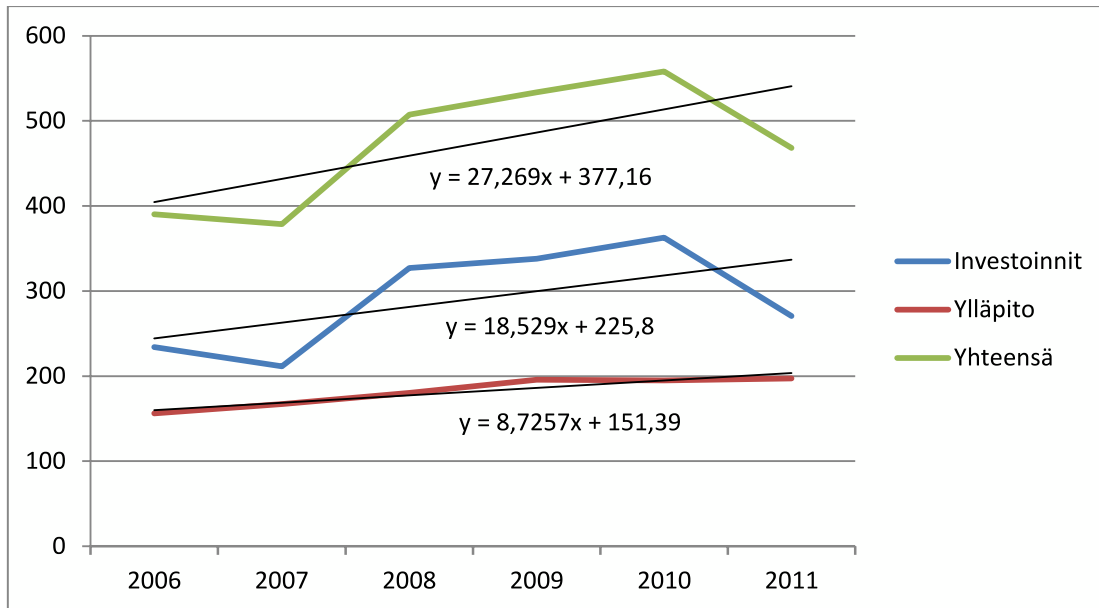
Keskimääräiset investoinnit ovat siis olleet 290,65 M€/v ja ylläpitokustannukset ovat olleet 181,93 M€/v vuosina 2006 – 2011. Nämä kustannukset ovat havainnollistettuina oheisessa kaaviossa 2.



KAAVIO 2. Suomen rataverkon kustannukset vuosina 2006 – 2011

Ylläpitokustannusten voidaan todeta kasvaneen suhteellisen maltillisesti ja tasaisesti. Myös Suomen rataverkon kehittyminen on ollut tämän kaltaista, joten yksittäisiin toimenpiteisiin on oletettavasti käytetty suunnilleen saman verran resursseja suhteessa edellisvuosiin. Investoinnit ovat sen sijaan vaihdelleet paljon eri vuosien välillä, minkä vaikutukset näkyvät suoraan myös yhteiskustannuksissa.

Tulevien kustannuksien arviointia varten edelliseen kaavioon 2 lisätään regressiosuora, joka kuvaa keskimääräistä nousua. Regressiosuoran perusteella saadaan myös kaava, jonka avulla tulevia kustannuksia voidaan haarukoida ja saada suuntaa antavia tuloksia kustannusten kehittymisestä.



KAAVIO 3. Suomen rataverkon kustannuksien keskimääräinen kehittyminen vuosina 2006 – 2011

Ylläpidosta aiheutuvat kustannukset noudattavat kaavaa $8,7257X + 151,39$. Täten esimerkiksi vuoden 2020 kustannukset ovat $8,7257 \cdot (2020 - 2006) + 151,39 \Rightarrow 8,7257 \cdot 14 + 151,39 = 273,55$ M€. Investoinnit puolestaan noudattavat kaavaa $18,529X + 225,80$, ja tällöin vuoden 2020 kustannukset ovat $485,21$ M€. Yhteiskustannukset tulevat kaavan $27,269X + 377,16$ mukaisesti, ja ne olisivat täten $758,93$ M€ vuonna 2020.

Mahdollisimman luotettavan arvioin aikaan saamiseksi tarvitaan peräkkäisiä tietoja useampien vuosien ajalta, ja lisäksi tulisi ottaa huomioon myös monia muita osatekijöitä, joiden selvittäminen ei ole järkevää tämän selvityksen tarkoituksena ajatellen. Ilman lisätarkasteluja voidaan kuitenkin todeta, että todelliset regressiokäyrät olisivat todennäköisesti hieman edellä esitettyjä loivempia, pidempää aikaväliä tarkasteltaessa. Seuraavalla sivulla on vielä taulukko 2, josta nähdään, kuinka kustannukset ovat kehittyneet edellisiin vuosiin verrattuina ja mikä niiden keskimääräinen kehitys on ollut vuosien 2006 ja 2011 välillä.

TAULUKKO 2. Suomen rataverkon kustannuksien keskimääräinen kehittyminen vuosina 2006 – 2011

Investoinnit	2006	2007	2008	2009	2010	2011
M€	234,1	211,4	326,9	337,9	362,9	270,7
%	-	-9,7	+54,6	+3,4	+7,4	-25,4
Keskim. nousu	+ 3,0 %/v					

Ylläpitokustannukset						
M€	156,2	167,0	180,2	195,8	195,1	197,3
%	-	+6,9	+7,9	+8,7	-0,3	+1,1
Keskim. nousu	+ 4,8 %/v					

Yhteensä						
M€	390,3	378,4	507,1	533,7	558,0	468,1
%	-	-3,0	+34,0	+5,2	+4,6	-16,1
Keskim. nousu	+ 3,7 %/v					

4.3 Liikennemäärät

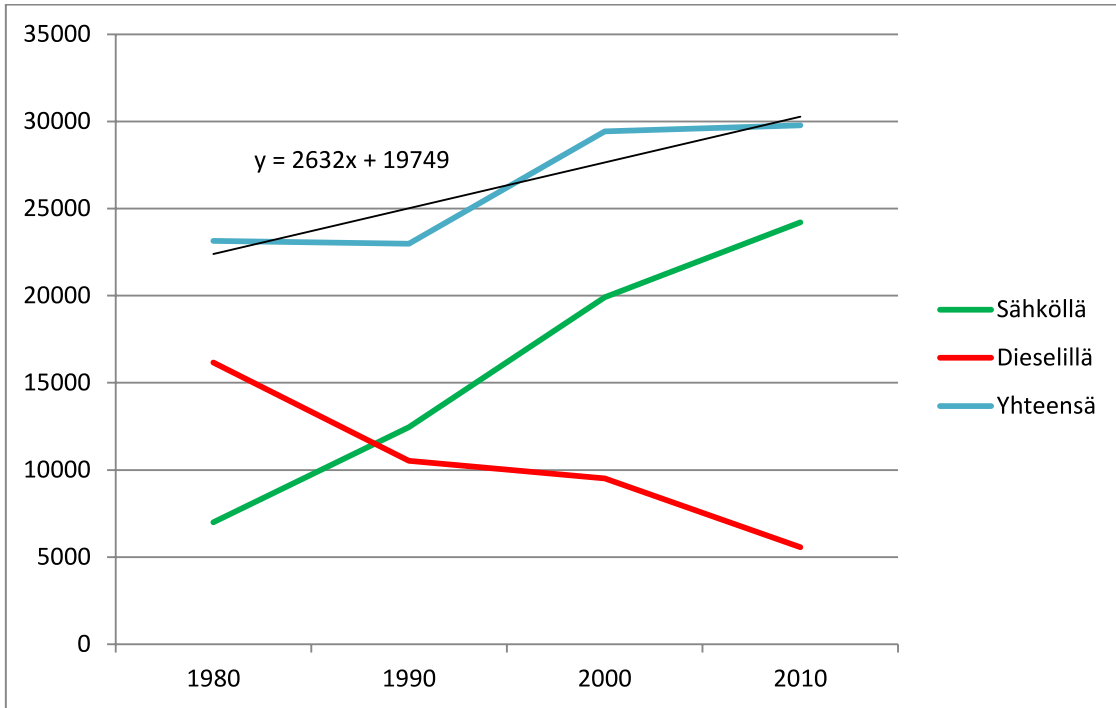
Rautateillä liikkuu paljon erityyppistä ja kokoista kalustoa, joten liikennemäärien kehittymistä voidaan kuvata parhaiten vedettyjen bruttotonnikilometrien avulla. Liikennemäärät kehittyvät suhteellisen maltillisesti eivätkä juuri vaihtele peräkäisten vuosien välillä. Tästä syystä vertailu tehdään vuosien 1980, 1990, 2000 ja 2010 kesken. Seuraavassa taulukossa 3 on esitetty koko Suomen rataverkon liikennemäärät edellä mainittuina vuosina.

TAULUKKO 3. Suomen rataverkon liikennemäärien kehittyminen vuosina 1980–2012 (10)

Nimike	1980	1990	2000	2010
Sähköllä	6 988	12 459	19 909	24 212
Dieselillä	16 155	10 522	9 514	5 557
Yhteensä	23 143	22 981	29 423	29 769

* liikennemäärät ilmoitettu bruttotonnikilometreinä

Edellä mainitut liikennemäärät ovat esitettyinä myös seuraavassa kaaviossa 4, josta ne ovat paremmin havainnollistettavissa.



KAAVIO 4. Suomen rataverkon liikennemäärien kehittyminen vuosina 1980–2012

Kaaviosta 4 nähdään hyvin, kuinka dieselkäyttöinen kalusto on vähentynyt ja sähköllä toimivan kaluston määrä on vastaavasti samassa suhteessa kasvanut. Sähkökäyttöisen kaluston voidaan todeta korvanneen dieselkäyttöisen kaluston ja tämä kertoo suoraan myös sähköistettyjen rataosien määrän kasvun. Seuraavasta taulukosta 4 nähdään liikennemäärien todellinen kehittyminen suhteessa edellisiin vuosiin sekä keskimääräisesti.

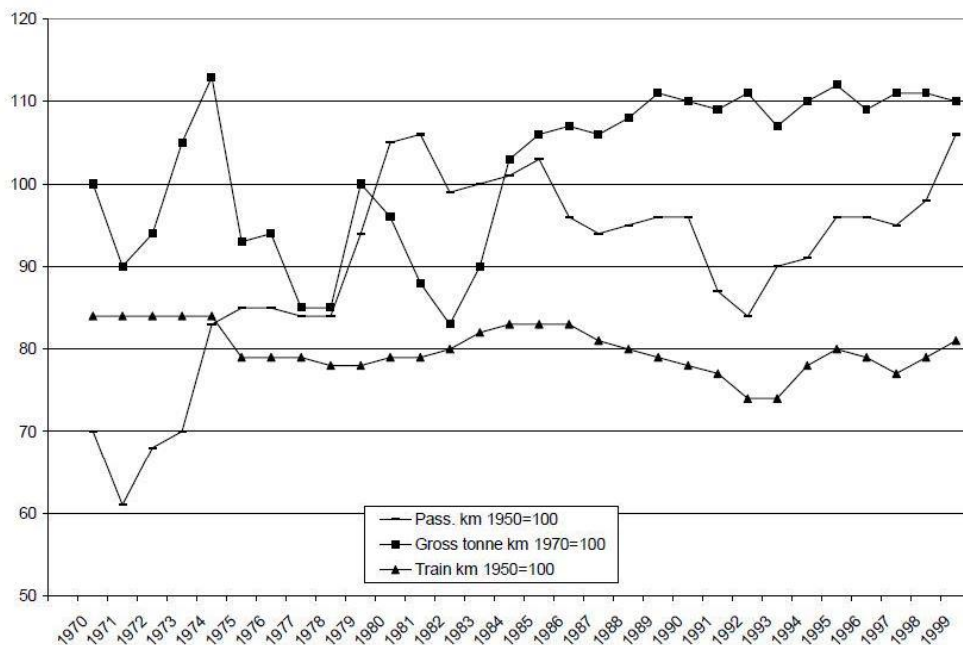
TAULUKKO 4. Suomen rataverkon liikennemäärien kehittyminen suhteessa edellisiin vuosikymmeniin

Sähköllä	1980	1990	2000	2010
Milj. bruttotonni-km	6 988	12 459	19 909	24 212
%	-	+78,3	+59,8	+21,6
Keskim. nousu	+51,3 %/10v			

Dieselillä				
Milj. bruttotonni-km	16 155	10 522	9 514	5 557
%	-	-34,9	-9,6	-41,6
Keskim. nousu	-30,0 %/10v			

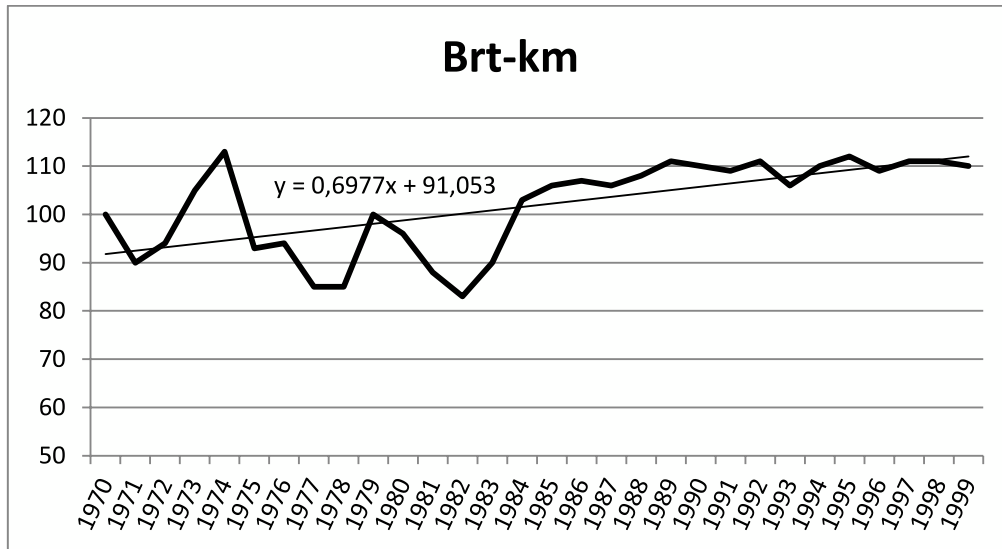
Yhteensä				
Milj. bruttotonni-km	23 143	22 981	29 423	29 769
%	-	-0,7	+28,0	+1,2
Keskim. nousu	+8,8 %/10v => 0,8 %/v			

Tärkein seikka lienee se, että liikennemäärät ovat kasvaneet keskimäärin 8,8 prosenttia kymmenen vuoden välein, ja täten kasvua on ollut 0,8 prosenttia vuodessa. Keskimääräisen liikenteen kasvun voidaankin todeta olleen Suomessa suhteellisen maltillista, ja tilanne on tältä osin samankaltainen kuin naapurimaassamme Ruotsissa, jossa liikennemäärät ovat kehittyneet seuraavan kuvan 3 mukaisesti.



KUVA 3. Ruotsin rataverkon liikennemäärien kehittyminen vuosien 1970 ja 1999 välillä (30)

Ruotsissa bruttotonnikilometrit ovat laskennallisesti nousseet keskimäärin 0,7 prosenttia vuodessa, kuten edellisellä sivulla olevan kuvan 3 pohjalta muodostetusta kaaviosta 5 nähdään.



KAAVIO 5. Ruotsin rataverkon liikennemäärien kehittyminen suhteessa vuoteen 1970 (30)

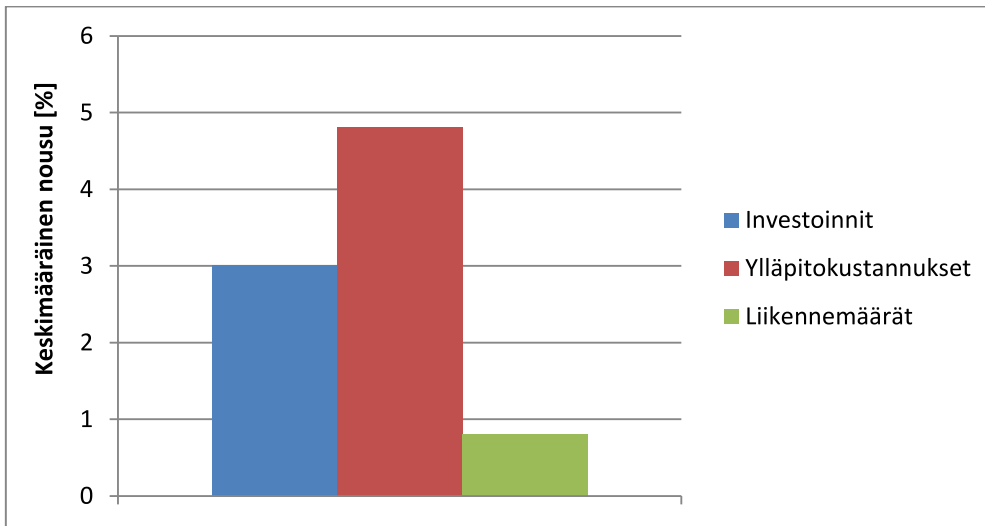
Tässä tapauksessa keskimääräisen nousun suuruus saadaan suoraan lisätyn regressiosuoran kaavasta, koska määrät oli ilmoitettu suhteessa vuoteen 1970 verraten. Kaaviosta nähdään myös liikennemäärien todellinen kehitys, joka on ollut 10 prosenttia oheisella 30 vuoden ajanjaksolla, joten nousua on ollut todellisuudessa vain 0,3 prosenttia vuosittain, laskennallisen 0,7 prosentin sijaan. Tämä osoittaa konkreettisesti sen, että laskennallisia ja tilastollisesti selvitettyjä arvoja voidaan pitää vain suuntaa antavina, mutta ne kertovat kuitenkin kehityksen suuruusluokan pitkällä aikavälillä tarkasteltuna.

4.4 Yhteenveto Suomen rataverkon kehityksestä

Edellä laskennallisesti selvitetty tulokset ovat toki vain suuntaa antavia, mutta niiden avulla pystytään kuitenkin arvioimaan ja hahmottamaan edessä olevia haasteita. Lisäksi näitä tuloksia voidaan hyödyntää tämän selvityksen myöhemmässä osiossa laadittavassa elinkaarimallissa. Tulokset ovat esitettyinä seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 5 ja kaaviossa 6.

TAULUKKO 5. Yhteenveto Suomen rataverkon kehittämisestä

Nimike	Keskimääräinen nousu
Investoinnit	3,0 %/v
Ylläpitokustannukset	4,8 %/v
Liikennemäärät	0,8 %/v



KAAVIO 6. Yhteenveto Suomen rataverkon kehittämisestä

4.5 Rataverkon korjausvelka

Kustannusten ja liikennemäärien kehittymisen lisäksi tulee huomioida myös olemassa olevan korjausvelan määrä, joka kasvaa ja muuttuu kaiken aikaa. Liikennevirasto tekee korjaustoimenpiteitä jatkuvasti, mutta sillä ei pystytä esittämään sitä tosiasiaa, että olemassa olevien rakenteiden kunto muuttuu aina vain huonommaksi. Myös lainsäädäntö ja yhteiskunnalliset tarpeet muuttuvat ajan saatossa ja saattavat edistää rakenteiden kunnan edelleen heikkenemistä. Korjausvelkaa määritettäessä pyritään kuitenkin ottamaan tällaiset asiat huomioon, ja sen tavoitteena on kuvata nykyisen väyläomaisuuden tilaa suhteessa asetettuihin tavoitteisiin. Korjausvelka ei siis ole täysin absoluuttinen vaan suhteellinen luku, joka on laadittu sen hetkisten odotuksien ja vaatimusten perusteella.

Nykyisen korjausvelan todellisuus selviää siis vasta lähivuosien aikana, koska sen arvioimiseksi on tehtävä paljon olettamuksia tämänhetkisten tietojen perusteella. Mutta kuten edellisellä sivulla olevasta taulukosta 5 nähdään, pelkkien liikennemäärien kehittymisen perusteella ei voida tehdä suoria johtopäätöksiä muiden kustannuksien kehittymisestä. Korjausvelan laskentaa on siis monien asiakokonaisuuksien summa, eikä sen määrittämiseksi ole nykyisin olemassa yksiselitteistä määritelmää tai laskentatapaa.

Yhteenvedona voidaan sanoa, että Suomen rataverkon tilanne on haastava ja keskimääräinen palvelutaso tulee väistämättä laskemaan lähitulevaisuudessa, mikäli käytettävissä oleviin resursseihin ei tule huomattavaa muutosta. Lisäksi tämä aiheuttaa sen, että jokainen komponentti joudutaan ajamaan loppuun, eikä niitä pystytä siirtämään hyötykäyttöön muulle rataverkolle. Tämä aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia kunnossapidolle, koska yksittäisiä komponentteja joudutaan vaihtamaan sieltä täältä, eikä koko rataosaa voida kunnostaa samalla kertaa.

Tilanne on siis ainakin osittain samankaltainen tieverkoston kanssa, jossa käytössä olevat resurssit ovat myös erittäin rajallisia ja väylien ylläpidosta joudutaan jatkuvasti tinkimään. Koska käytössä olevien resurssien määrään ei juurikaan voida vaikuttaa, niiden käytön huolellinen suunnittelu ja kokonaistaloudellisuuden huomiointi korostuvat entisestään. Selvityksen myöhemmässä osiossa käsitellään, mitä kokonaistaloudellisuuden optimointiin päällysrakenteen osalta tarvitaan ja miten se pystyttäisiin toteuttamaan. (5; 6; 8; 18.)

5 RATOJEN KUNTOLUOKITUS

Rautateiden korjausvelka oli Liikenneviraston selvityksen mukaan 1 115 M€ vuonna 2011. Tämä summa on arvioitu käytössä olevan kuntotiedon ja asetettujen kuntovaatimusten pohjalta. Kuntotietoja on saatavilla useita erityyppisiä, ja ne voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- Ikään ja käyttömääriin perustuvat kuntoarviot
- Silmämääräiset tarkastukset
- Tarkastajien suorittamat kuntotarkastukset
- Mitta- ja seurantalaitteiden avulla tuotetut mittaustulokset

Edellä mainituille toimenpiteille on asetettu tietyt raja-arvot ja kuntovaatimukset, jotka määräytyvät radalle asetetun luokan mukaan. Luokitus voidaan tehdä radan päällysrakenteen tai alusrakenteen teknisten ominaisuuksien pohjalta. Näiden luokkien lisäksi rataverkko on jaettu ylläpidon osalta kunnossapitoluokkiin, jotka vaikuttavat radan ylläpidon laajuuteen ja sen laatutasoon. (6; 8.)

Aikaisemmissa ratojen teknisiin luokitteluihin liittyvissä tutkimustöissä on havaittu, että jako alus- ja päällysrakenneluokkiin tarkoittaa käytännössä sitä, että joissain tapauksissa olemassa olevalla rataverkolla päällysrakenteen laatu ja sen mukainen päällysrakenneluokka mahdollistavat suuremmat nopeudet ja akselipainot, mitä alusrakenne sekä pohjamaa oikeasti kestävät. Tällainen tilanne tulee tutkimusten mukaan eteen varsinkin vanhoilla radoilla, joiden mitoitusperusteista ei ole tietoa. Asiaa pahentaa entisestään mitoituskuormien kasvu EN-standardien myötä, jolla laskettaessa huomioidaan koko rata: alusrakenne, sillat, pohjarakenteet ja -vahvistukset sekä pohjamaa. Nykyinen päällysrakenneluokitus huomioi sen sijaan vain päällysrakenteen. (8.)

5.1 Päällysrakenneluokitus

Suomen nykyinen rataverkkoluokitus perustuu käytännössä pelkästään päällysrakenteeseen ja sen arviointiin. Päällysrakenneluokkia on yhteensä kuusi, ja ne ovat A, B1, B2, C1, C2 ja D. Päällysrakenneluokka määrää sen, minkälainen

liikenne radalla on sallittua radan sekä sen rakenteiden osalta. Korkein luokka on D ja alin luokka A. Kaikki luokat ovat esitettyinä alla olevassa taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Suomessa käytettävät päällysrakenneluokat (8)

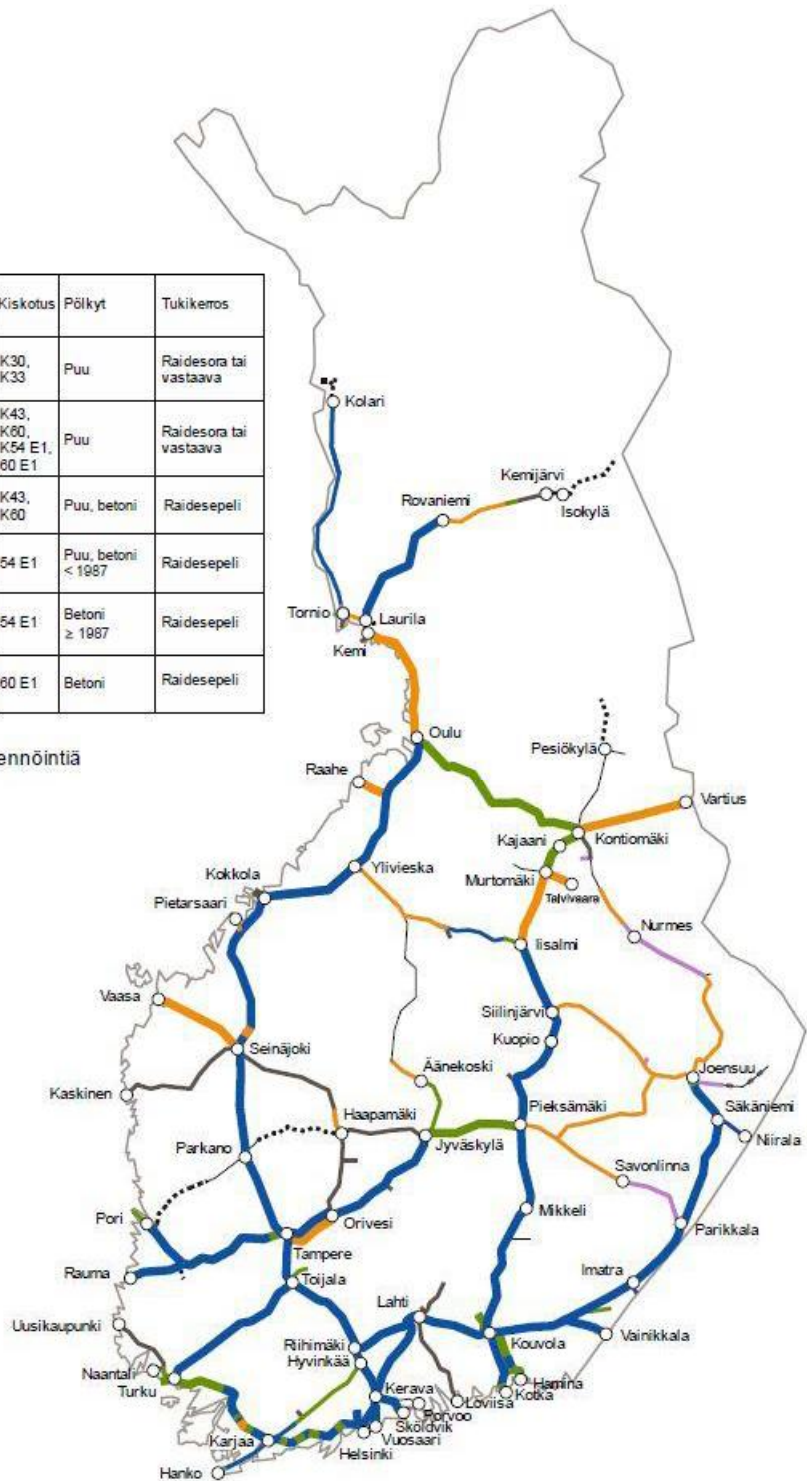
Päällysrakenneluokka	Tukikerros	Pölkkyt	Kiskot
D	Raidesepeli	Betoni	60E1
C2	Raidesepeli	Betoni (\geq 1987 valmistetut)	54E1
C1	Raidesepeli	Puu, betoni (< 1987 valmistetut)	54E1
B2	Raidesepeli	Puu, betoni	K43, K60
B1	Raidesora tai vastaava	Puu	K43, 54E1, K60, 60E1
A	Raidesora tai vastaava	Puu	K30, K33

Radan päällysrakenneluokan määräytymiseen vaikuttavat kiskojen, ratapölkkyjen ja tukikerroksen materiaalit. Täten voidaan todeta, että mitä laadukkaammat päällysrakennemateriaalit ovat, sitä korkeampi on luokka.

Päällysrakenneluokkien määrittäminen tullaan tulevaisuudessa suorittamaan uusien EU-säännösten (SFS-EN 15528) mukaisesti, ja tämän vuoksi nykyiset radat voivat olla vaikeuksissa kantavuutensa puolesta. Kantavuuden kannalta radat on nimittäin nykyisellään mitoitettu heikommiksi, mitä uudet ohjeet edellyttävät. Tämä johtuu pitkälti laskennassa käytettävän nauhakuorman arvoista, joihin uusi rataluokitus on tuonut muutoksia. Esimerkiksi akselipainolla 250 kN ero on noin 15 prosenttia suurempi toimittaessa SFS-EN 15528 mukaisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa siis sitä, että uusien säännösten avulla radoilla saa tulevaisuudessa laillisesti liikennöidä jopa 15 prosenttia raskaammalla kalustolla, kuin mille ne on aikanaan mitoitettu. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 4 on esitetty, miten eri päällysrakenneluokat sijoittuvat Suomen rataverkolla. (8.)

Päällysrakenneluokka	Ei sähköistetty	Sähköistetty	Kiskotus	Pölkkyt	Tukikerros
A			K30, K33	Puu	Raidesora tai vastaava
B ₁			K43, K80, K54 E1, 60 E1	Puu	Raidesora tai vastaava
B ₂			K43, K80	Puu, betoni	Raidesepeli
C ₁			54 E1	Puu, betoni < 1987	Raidesepeli
C ₂			54 E1	Betoni ≥ 1987	Raidesepeli
D			60 E1	Betoni	Raidesepeli

..... Ei liikennöintiä



KUVA 4. Eri päällysrakenneluokkien sijoittuminen Suomen rataverkolla (37)

Oheisten luokkien väliseen sijoittumiseen on tulossa muutoksia lähivuosien aikana, koska esimerkiksi Oulu – Kontiomäki-rataosan luokitus tulee nousemaan luokkaan D toteutettavan perusparannushankkeen seurauksena.

5.2 Alusrakenneluokitus

Alusrakenteen mukaiselle luokitukselle on Suomessa käytössä viisi eri luokkaa, joihin radat voidaan jakaa, ja ne merkitään numeroilla nolasta neljään (ylin = 4, alin = 0). Alusrakenneluokka määräytyy radan henkilö- tai tavaraliikenteen suurimman sallitun nopeuden mukaan ja määräävänä nopeutena pidetään sitä, kumman liikennöintimuodon vaatimustaso on radalla korkeampi. Kaikki alusrakenneluokat on esitetty alla olevassa taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Alusrakenneluokan määräytymisperusteet

Alusrakenneluokka	Henkilöliikenteen suurin sallittu nopeus [km/h]	Tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus [km/h] 225 kN akselipainolla	Tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus [km/h] 250 kN akselipainolla
4	≥ 250	≥ 120	≥ 100
3	≤ 250	≤ 120	≤ 100
2	≤ 200	≤ 100	≤ 80
1	≤ 120	≤ 100	≤ 60
0	≤ 50	≤ 40	≤ 40

Alusrakenneluokkaan vaikuttavia tekijöitä ovat routamitoitus ja pengerleveys. Pengerleveydellä tarkoitetaan alusrakenteen ylimmän kerroksen leveyttä. Pengerleveys määräytyy suurimman radalla sallitun nopeuden ja akselipainon perusteella. Alusrakenteen paksuus valitaan routimattomuuden mukaan. (14.)

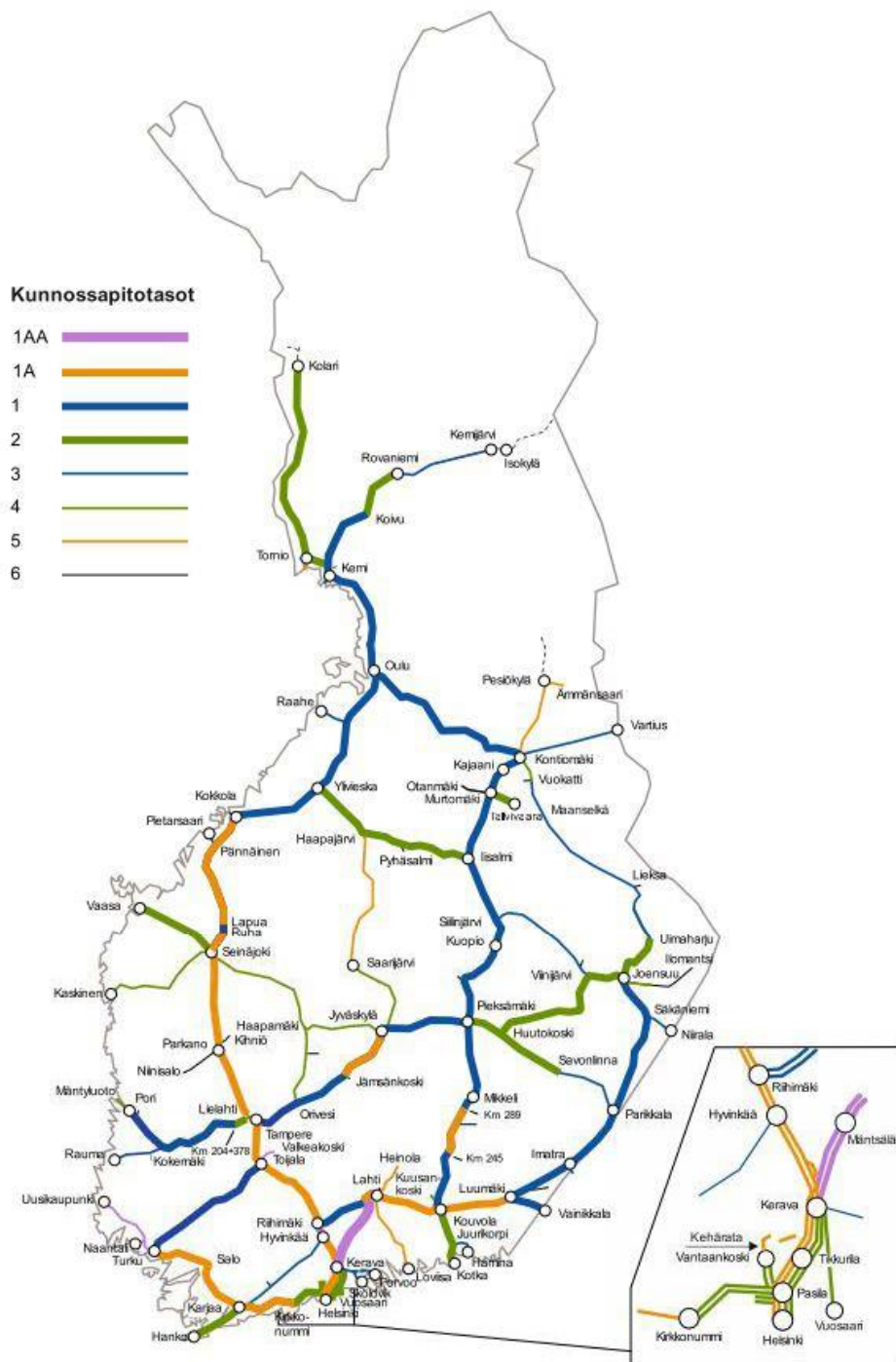
5.3 Kunnossapitoluokitus

Kunnossapitoluokitus toteutetaan jakamalla rataosat kunnossapitotasoihin, joita on Suomessa käytössä kahdeksan. Niitä merkitään tunnuksilla 1AA–6. Kunnossapitotasot määrittelevät muun muassa raiteen asentovirheiden raja-arvot, rataosan tarkastustarpeen laajuuden ja tarkastuksen tiheyden. Kunnossapitotaso määrittää siis käytännössä myös kunnossapitokustannuksien suuruusluokan. Kaikki kunnossapitotasot on lueteltu seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Suomen rataverkon kunnossapitotasot (14)

Kunnossapitotaso	Suurin sallittu nopeus V [km/h]	Tukikerros	Pölkyt	Kiskot
1AA	$V \leq 220$	Sepeli	Betoni	60E1
1A	$V \leq 220/180/160$	Sepeli	Betoni/Puu	54E1
1	$V \leq 220/180$	Sepeli	Betoni/Puu	54E1
2	$V \leq 120$	Sepeli	Betoni/Puu	54E1
3	$V \leq 110$	Sepeli	Puu/Betoni	K43
4	$70 < V \leq 100$	Sora	Puu/Betoni	K43
5	$50 < V \leq 70$	Sora	Puu	K43
6	$V \leq 50$	Sora	Puu	K30

Kuten oheisesta taulukosta 8 nähdään, niin rataosan kunnossapitotason määrittämiseen vaikuttavat rataosan suurin sallittu liikennöinti nopeus, päällysrakenteen laatu ja rataosan liikenteelliset tarpeet. Kokonaistaloudellisesti edullisimman kunnossapitotason määrittämiseksi tulisi tuntea radan kunnan kehittymiseen vaikuttavat tekijät sekä tiedostaa kriittinen radan kunnan raja, jolloin liikennöinnin luotettavuus ja turvallisuus kärsivät. Näiden tekijöiden määrittämisestä on laadittu toimintamalli ehdotus, joka käsitellään selvityksen myöhemmissä osioissa. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 5 on esitetty eri kunnossapitotasojen jakautuminen Suomen rataverkolla. (14.)



KUVA 5. Eri kunnossapitotasojen sijoittuminen Suomen rataverkolla (37)

6 PÄÄLLYSRAKENTEEN ELINKAAREN LÄHTÖKOHDAT

6.1 Tukikerros

6.1.1 Suunnitelmalliset tekijät

Tukikerroksen voidaan sanoa olevan tärkein päällysrakenteeseen kuuluvista osakokonaisuuksista. Aikaisemmat kokemukset ovat osoittaneet, että rata pysyy kunnossa hyvällä tukikerroksella, vaikka kiskot ja pölkyt olisivatkin huonossa kunnossa. Huonokuntoiseen tukikerrokseen asennetut uudet kiskot ja pölkyt auttavat sen sijaan vain hetkellisesti. Tukikerroksen kestoikä määräytyy siinä käytetyn kiviaineksen laadun perusteella, ja sen luokittelu tehdään nykyisin Los Angeles -testillä. Testin tarkoituksena on mitata kiviaineksen iskunkestävyyttä, ja se suoritetaan standardin SFS-EN 1097-2 -mukaisesti. Raidesepelissä käytettävät iskunkestävyysluokat ja niitä vastaavat kestoiät ovat listattuina alla olevassa taulukossa.

TAULUKKO 9. Raidesepelin Los Angeles -luvun mukaiset iskunkestävyysluokat (5.)

Luokka	Los Angeles -luku	Kestoiä [Mbrt]
LA _{RB} 12	≤ 12	350
LA _{RB} 16	≤ 16	250
LA _{RB} 20	≤ 20	150

Tukikerroksen mitat määräytyvät sallitun nopeuden, kiskonpituuden sekä tukikerrosateriaalin ja ratapölkkytyypin perusteella. Käytännössä kaikki betoni-pölkkyraiteet ja vaihdealueet vaativat 550 mm paksuisen tukikerroksen ja puuratapölkkyraiteelle riittää 450 mm. Tukikerroksen mitoitusperusteet ovat esitettyinä seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Tukikerroksen mitoitusperusteet (19)

Raiteen ja tukikerroksen tyyppi		Tukikerroksen paksuus	Tukikerroksen leveys pölkyn päiden ulkopuolella
Jk-raide ja raidesepeli	V ≤ 160 km/h	linja	450 mm (puuratapölkkyt)
			550 mm (betoniratapölkkyt)
		vaihde	550 mm
	V > 160 km/h	linja	550 mm (betoniratapölkkyt)
		vaihde	550 mm
Pk-raide ja raidesepeli	linja	350 mm (puuratapölkkyt)	
		450 mm (puuratapölkkyt)	
		550 mm (betoniratapölkkyt)	
	vaihde	550 mm	
Lk-raide ja raidesepeli	linja	350 mm (puuratapölkkyt)	
		450 mm (puuratapölkkyt)	
		550 mm (betoniratapölkkyt)	
	vaihde	550 mm	
Lk-raide ja raidesora	linja	450 mm	
	vaihde	550 mm	

Tukikerroksen paksuuden ja leveyden lisäksi määritetään myös sen muoto ja luiskien kaltevuudet. Näiden määrittämistä varten on laadittu useita normaali-poikkileikkauksia, jotka on tarkoitettu käytettäväksi sellaisinaan suurimmassa

osassa tapauksista. Lisäksi on laadittu ohjeet ja mitoitusperusteet myös poikkeaviin tilanteisiin, jos käytettävissä olevaa tilaa on rajoitetusti. (1; 19.)

6.1.2 Laadulliset tekijät

Tukikerroksen osalta käyttöiän pituuteen vaikuttavat tekijät määräytyvät käytettävän materiaalin ja työn oikeaoppisen toteutuksen perusteella. Materiaalin osalta eniten määräävänä tekijänä toimivat valitun kiviaineksen ominaisuudet: kulutuskestävyys (hiovaa ja iskevää kulutusta vastaan), alhainen hienoainespiitoisuus ja vedensitomiskyky. Kiviaineksen kulutuskestävyys vaikuttaa suoraan myös hienoaineksen määrään käytön aikana – Mitä paremmin sepeli kestää kulutusta, sitä vähemmän se jauhautuu ja sitä vähemmän vettä sitovaa hienoainesta sepeliin syntyy. Tukikerrokseen jäävä vesi lisää kiviaineksen kulutusta merkittävästi ja aiheuttaa routavaurioita, jotka edelleen vaikuttavat koko ratarakenteeseen ja raidegeometriaan.

Toteutusvaiheessa merkittävimmät tekijät ovat sepelin oikeaoppinen käsittely ja varastointi sekä riittävä ammattitaito ja huolellisuus. Sepelin oikeaoppiseen varastointiin on laadittu hyvät ja kattavat ohjeet, joita noudattamalla kiviaineksen lajittumista ei juuri pääse tapahtumaan. Valitettavasti tähän ei yleensä kiinnitetä lainkaan huomiota, ja varastointi kasat rakennetaan lähes poikkeuksetta yhtenäiseksi keoiksi ilman porrastuksia. Myös oikein tehty sepelin käsittely aiheuttaa jonkin verran jauhautumista ja tästä johtuen turhaa siirtelyä paikasta toiseen tulee välttää. Tämä vaatii riittävää panostusta työn suunnitteluun, mutta se maksaa itsensä takaisin töiden tehostumisen muodossa. Riittävä ammattitaito ja huolellisuus töiden toteutuksessa ovat välttämättömiä, jotta tukikerroksesta saadaan tehtyä tasalaatuinen ja yhtenäinen kokonaisuus. Esimerkiksi tukikerroksen paikallisella epätasaisuudella ja vajaavaisuudella saattaa olla kauas kantoisia vaikutuksia geometriavirheiden muodossa, koska kiskot ja pölkyt eivät saa riittävää tuentaa.

Tukikerros ja siinä käytettävä kiviaines näyttelevät siis suurta roolia koko päällysrakenteen elinkaareissa. Monessa paikassa ollaan kuitenkin hankalassa tilanteissa, koska ylemmän luokan kiviainekseen tarvittavat hyvälaatuiset kalliot ovat Suomessa keskittyneet tietyille alueille. Täten parempaa kiviainesta ei ole

joka paikkaan käytännössä mahdollista saada, koska kuljetuskustannukset nousevat liian suuriksi, ja tämän havaittiin muodostuvan ongelmaksi myös Oulu - Kontiomäki -perusparannushankkeella. Käytännössä tämä tarkoittaa siis sitä, että ylempiluokkaisen kiviaineksen hinta kasvavaa niin suureksi suhteessa alempiluokkaiseen, että kannattaa valita käytettäväksi alemman luokan sepeliä. Tällöin lyhyempi käyttöikä hyväksytään tietoisesti, ja alempiluokkainen sepeli sitoudutaan vaihtamaan aikaisemmin. (4; 13; 17.)

6.2 Pölkyt

6.2.1 Suunnitelmalliset tekijät

Ratapölkkyjen kestoikä määritellään vuosina tukikerroksesta ja kiskoista poiketen ja niiden materiaalina käytetään puuta tai betonia. Puusta valmistettujen ratapölkkyjen suunnitelmallinen kestoikä on 20–40 vuotta niiden käyttöpaikasta riippuen. Kaarteessa olevilla pölkyillä käytetään kestoikänä 20 vuotta, ja vähäliikenteisillä radoilla olevilla kestoikä voi olla jopa 40 vuotta. Suomessa puisten ratapölkkyjen materiaali on pääasiassa mäntyä, mutta tämän lisäksi on käytetty myös niin sanottuja kovapuuratapölkkyjä, jotka vastaavat ominaisuuksiltaan lähes betonisia. Puisten pölkkyjen etuna ovat niiden kierrätettävyys, ja hyväkuntoiset pölkyt onkin mahdollista siirtää liikennemäärältään hiljaisemmille radoille käytettäväksi.

Ennen vuotta 1986 valmistettujen betoniratapölkkyjen kestoiksi on määritetty 30 vuotta, ja tämän jälkeen valmistetuilla pölkyillä vastaavasti 40 vuotta. Nykyisin pyritään käyttämään pelkästään betonipölkkyjä, koska niillä on parempi kantavuus ja suurempi sivuttaisvastus (noin 50–80 prosenttia) puisiin pölkkyihin verrattuna. Tästä syystä ne soveltuvat paremmin nopeille rataosuuksille, joiden määrä on lisääntymässä kaiken aikaa. Lisäksi puisten ratapölkkyjen kyllästykseen käytettävän kreosoottijyn käyttökielto astuu voimaan EU-alueella vuoden 2018 alussa, ja sillä on varmasti myös oma vaikutuksensa. Betonisten pölkkyjen etuna on ympäristöystävällisyys (puisiin verrattuna) ja parempi kantavuus. Ne eivät kuitenkaan sovellu joka paikkaan ja niitä ei suositella käytettäväksi, mikäli tukikerroksen materiaali on soraa tai rataosalla on vakavuusongelmia esimerkiksi huonolaatuisesta pohjamaasta johtuen. Kuhunkin tilanteeseen sopi-

va pölkkytyyppi määräytyy suurimman sallitun nopeuden ja akselipainon mukaan oheisen taulukon 11 perusteella. (2; 18; 20.)

TAULUKKO 11. Ratapölkkyjen valintaperusteet (19)

Nopeus [km/h]	Suurin akselipaino [t]								
	Betonipölkkyt					Puupölkky			
	≤ B75	B86	B88, BP89, B97, BP99						
	54E1	54E1	K43	54E1	60E1	K30	K43	54E1	60E1
250	-	-	-	-	200	-	-	-	-
240	-	-	-	-	205	-	-	-	-
230	-	-	-	-	205	-	-	-	-
220	-	-	-	-	210	-	-	-	-
210	-	-	-	-	210	-	-	-	-
200	190	200	-	200	245	-	-	-	-
190	195	205	-	205	220	-	-	-	-
180	195	205	-	205	220	-	-	-	-
170	200	210	-	210	225	-	-	-	-
160	205	215	-	215	230	-	-	205	215
150	205	215	-	215	230	-	-	205	215
140	210	220	-	220	235	-	-	210	220
130	215	225	-	225	240	-	-	215	225
120	215	225	215	225	240	-	205	215	225
110	220	230	215	230	245	-	210	220	230
100	225	235	220	235	250	-	215	225	235
90	225	240	225	240	255	100	220	225	240
80	230	250	230	250	260	120	225	230	250
70	235	250	230	250	265	160	230	240	260
60	250	255	235	255	265	180	235	250	265
50	-	-	-	-	-	200	235	250	265
40	-	-	-	-	-	200	240	255	265
30	-	-	-	-	-	210	245	260	265
20	-	-	-	-	-	225	250	265	265

6.2.2 Laadulliset tekijät

Ratapölkkyjen käyttöikä lyhentävistä tekijöistä suurin osa syntyy niiden huolimattoman käsittelyn seurauksena. Varsinkin betoniset pölkkyt ovat erittäin herkkiä murtumiselle, mutta myös puisista ratapölkkyistä on löydetty käsittelystä syn-

tyneitä halkeamia. Pölkkyjen osalta laadulliset tekijät on jaettu niiden materiaalin mukaan, koska puisissa ja betonisissa pölkkyissä ilmenevät vauriot eroavat hie- man toisistaan. Nämä tekijät ovat lueteltuina alla olevissa taulukoissa 12 ja 13. (14.)

TAULUKKO 12. Puisten ratapölkkyjen kestoikää lyhentävät tekijät

Tekijä	Aiheuttaja
Nopeutunut la- hoaminen	- Puutteellinen lahosuojaus - Pinnalla oleva kasvillisuus ja epäpuhtaudet (seura- usta esim. pitkästä ja puutteellisesta varastoinnista)
Halkeaminen	- Ratapölkkyjen käsittely terävillä työkaluilla - Huolimaton konetyöskentely - Vääräpölkkyjako (tukemiskone)
Painumat ja muo- donmuutokset	- Pitkä ja puutteellinen varastointi

TAULUKKO 13. Betonisten ratapölkkyjen kestoikää lyhentävät tekijät

Tekijä	Aiheuttaja
Korroosio	- Halkeamat (teräkset näkyvillä) - Valmistusvirhe (teräkset pinnassa, puutteellinen suojaetäisyys)
Halkeaminen	- Varomaton käsittely vaihdon ja siirron yhteydessä - Huolimaton konetyöskentely - Väärä pölkkyjako (tukemiskone)
Painumat	- Pitkä ja puutteellinen varastointi

Ratapölkkyihin saattaa tuki syntyä halkeamia myös niiden käytön aikana, liikenekuormituksen tai esimerkiksi koneellisen tuennan seurauksena. Laboratorio-kuormituskokeissa on kuitenkin havaittu, että asennettuihin ratapölkkyihin syn- tyneiden halkeamien vaikutus pölkkyjen toimivuuteen ja niiden kuormituskäyt- täytymiseen oli käytännössä hyvin vähäinen. Erityisesti sepelinpuhdistuksen yhteydessä on syytä olla tarkkana, jotta pölkkyt jäävät kantamaan oikein eikä suuria taipumia mahdollistavaa tuentaa pääse muodostumaan.

Rapautuminen on olennainen tekijä halkeamien ohella, kun ajatellaan pölkyn pitkäaikaiskestävyyttä. Nykyään valmistettavissa ratapölkkyissä rapautumisen

aiheuttamia vaurioita ei ole juurikaan havaittu, mutta rapautumiskestävyyden jatkuva tarkkailu on ratapölkyn käyttöiän varmistamisessa ensiarvoisen tärkeää. Ongelmia on havaittu lähinnä 1960- ja 1970-luvuilla valmistetuissa ratapölkkyissä, joissa rapautuminen on aiheuttanut pölkyn käyttöiän merkittävää lyhenemistä. Syynä rapautumisongelmiin oli betonin lämpökäsittely, joka johti haitalliseen ettringiittireaktioon. Ettringiittireaktio on kemiallinen reaktio, johon liittyy reaktiotuotteiden voimakas tilavuuden kasvu, jolloin suojahuokosten tilavuus pienee, ja tämä johtaa edelleen betonin pakkasenkestävyyden heikkenemiseen. Tämän ongelman takia varsinainen lämpökäsittely on nykyisin kielletty ja myös betonin rapautumista koskevia kriteerejä on tiukennettu.

Mikäli edellä mainitut laatuongelmat saadaan hallintaan ja huolehditaan riittävästä tarkkailusta, niin betoniratapölkkyjen käyttöikää voitaisiin jatkaa selvästi nykyisiä käyttöikäsuosituksia pidemmäksi. Radassa mitatut ratapölkkyjen rasitukset ovat pieniä verrattuina väsytyksokokeissa ratapölkkyihin syntyneisiin rasituksiin. Näiden kokeiden tuloksista luodun väsymismallin perusteella arvioitiin, että uusi ratapölkky kestää murtumatta 50 vuoden toistokuormituksen. Lisäksi tutkimuksessa todettiin, että ainakin useimmat tällä hetkellä käytössä olevat ratapölkkytyypit kestäisivät nykyistä suurempia akselipainoja, kun huolehditaan raiteen riittävästä tuennasta. (4; 20; 21.)

6.3 Kiskot

6.3.1 Suunnitelmalliset tekijät

Kiskojen teoreettinen kestoikä vaihtelee suuresti kiskotyypistä riippuen, ja myös eri lähteistä saatavat tiedot eroavat hieman toisistaan. Syynä tähän on se, että kiskon valmistukseen käytetyn teräksen laadulla ja valmistusprosesseilla on keskeiset vaikutukset sen kestoikään. Kiskojen valmistusprosessi on nykyisin standardisoitu (EN13674-1) ja velvoittaa niitä valmistavat käyttämään tiettyjä menetelmiä, mutta pieniä eroavaisuuksia saattaa syntyä tästäkin huolimatta. Suurin vaikutus on kuitenkin käytettävän teräksen laadulla, joten valmistajien väliset erot jäävät suhteellisen pieniksi eikä niillä ole havaittu olevan käytännön merkitystä. Seuraavalla sivulla olevaan taulukkoon 14 listatut arvot ovat yleisesti

käytössä olevia laskennallisia vaihtorajoja, joita käytetään uusimmissa ohjeistuksissa. (11.)

TAULUKKO 14. Ratakiskojen kestoiät kiskotyypeittäin (5)

Kiskotyyppi	Kestoiä [Mbrt]
K30	30
K43	150
54E1	300
60E1	450

Myös kiskotyyppi määräytyy pölkkyjen tapaan suurimman sallitun nopeuden ja akselipainon perusteella. Sopiva kiskotyyppi valitaan alla olevan taulukon 15 perusteella.

TAULUKKO 15. Ratakiskojen valintaperusteet (19)

Kisko	2-akselinen tavaravaunu						4-akselinen henkilövaunu			
	Suurin sallittu						Suurin sallittu			
	Akselipaino [kN]			Nopeus [km/h]			Akselipaino [kN]		Nopeus [km/h]	
	A	B	C	A	B	C	D	E	D	E
K30	225	200	160	20	40	50	180	160	50	70
K33	225	200	-	20	40	-	180	-	50	-
K43	250	225	200	10	50	60	200	180	80	100
K43S	250	225	200	20	80	90	200	180	100	110
K60	250	225	-	30	50	-	200	-	50	-
54E1	250	225	200	80	120	160	200	180	160	200
60E1	250	225	200	100	140	200	200	180	200	250

* Tiettyä akselipainoa vastaava nopeus katsotaan saman merkisestä sarakkeesta (A - E)

Kiskotyypin valitsemisen jälkeen valitaan siihen soveltuva kiinnitystapa. Kiinnitystavan valinnassa on kiskojen lisäksi huomioitava myös käytettävien pölkkyjen tyyppi. Esimerkiksi jatkuvakiskoraiteilla käytettävät betoniratapölkkyt vaativat

joustavat kiskonkiinnitykset, koska ne ovat herkkiä iskukuormien aiheuttamille murtumille. (4; 11.)

TAULUKKO 16. Ratakiskonkiinnitystavan valintaperusteet (11)

Kiinnitystapa	Kiskontyyppi	Kiskot	Pölkyt
Pandrol e	Jk	60E1, K43	BP89
Vossloh Skl 14	Jk	60E1, 54E1, K43	B97, BP99
Hey Back	Jk, Pk, Lk	54E1, K43	Puu
JT	Pk, Lk	K43	Puu

* Taulukossa on lueteltu vain nykyisin käytettävien kiinnityksien valintaperusteet, jotka koskevat uusia rakenteita. Vanhemmista rakenteista saattaa löytyä myös muita yhdistelmiä.

6.3.2 Laadulliset tekijät

Kiskot sisältävät kolme elementtiä, joita ovat kiskot, jatkokset ja kiinnitykset tai ankkuroinnit. Tästä syystä myös kestoikään vaikuttavat tekijät on järkevää jaotella edellä mainitun mukaisesti, ja ne ovat listattuina seuraavissa taulukoissa 17,18 ja 19.

TAULUKKO 17. Ratakiskon kestoikään vaikuttavat tekijät

Tekijä	Aiheuttaja
Väsyminen	<ul style="list-style-type: none"> - Radan epätasainen painuminen (paksuudeltaan tai materiaaliltaan vaihteleva tukikerros) - Ylikuorma - Virheellisesti suoritettu päällysrakennehitsaus
Kuluminen	<ul style="list-style-type: none"> - Kiskon vääränlainen muoto - Kiskon materiaalivirheet
Ruostuminen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kiskoon kohdistunut isku, jonka on aiheuttanut: <ul style="list-style-type: none"> - Vääränlainen käsittely tai kiinnittäminen - Viallinen kaluston (lovipyörät) 2. Pintaviat: <ul style="list-style-type: none"> - Pyörien ryömintä, ympärilyönti tai liukuminen 3. Materiaalin laatu

TAULUKKO 18. Jatkoksen kestoikään vaikuttavat tekijät

Tekijä	Aiheuttaja
Pystysuuntaiset virheet: - Kiskonpäiden taipuminen ja kuluminen - Kiskonpään lohkeaminen - Virheelliset jatkosraot - Purseen muodostuminen	- Virheelliset jatkosraot - Kiskon korkeuden vaihtelut - Löysällä olevat sideruuvit
Sivusuuntaiset virheet: - Kiskonpäiden sivupiikit	- Väärin taivutetut kiskot (kaarresäde) - Jatkosten kohtien siirtymät
Pituussuuntaiset virheet: - Kiskon vaellus - Hellekäyrät	- Puutteelliset jatkosraot (lämpölaajeneminen)

TAULUKKO 19. Kiinnityksien ja ankkurointien kestoikään vaikuttavat tekijät

Tekijä	Aiheuttaja
Teräksen väsyminen	- Teräksen laatu
Teräksen ruostuminen	- Puutteellinen suojaus korroosiota vastaan - Asennuksen tai kuljetuksen aikana syntyneet pintaviat
Osien nopea kuluminen	- Materiaali virheet - Vääränlainen asennus

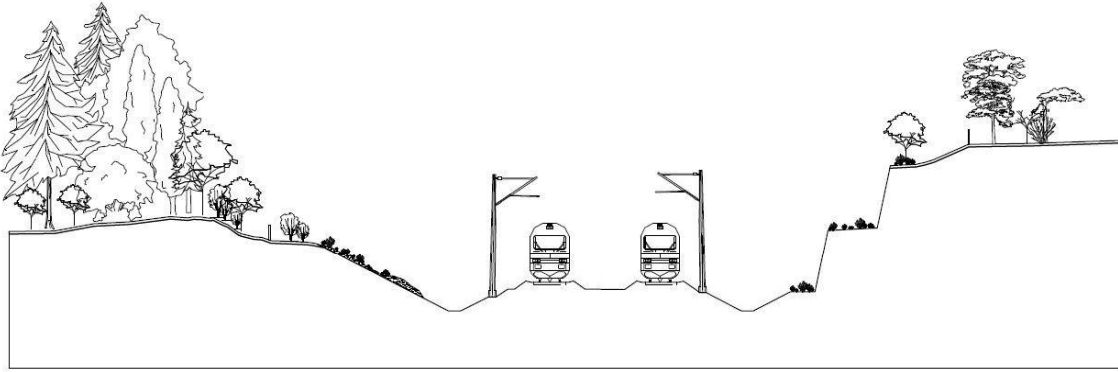
Kuten edellä olevista taulukoista nähdään, lähes kaikki elementtien kestoikään vaikuttavista tekijöistä syntyvät huolimattoman asennuksen tai materiaalivirheiden seurauksena. Kiskojen kestoikään pystytään siis parhaiten vaikuttamaan töiden toteutusvaiheessa, ja laadukas toteuttaminen vaatii riittävää suunnittelua ja työnjohtoa. (4; 11; 18.)

6.4 Yhteiset tekijät

6.4.1 Ympäristö

Rataosuuden ympäristötekijöillä on merkittävä vaikutus muun muassa kaluston pyörien liukumistilanteiden ja niistä aiheutuvien kiskon ympärilyöntien esiintymiseen. Esimerkiksi kiskoille pudonneet lehdet tai vesistön aiheuttama kosteus pienentävät pyörän ja kiskon välistä kitkaa, minkä seurauksena pyörien liukumisriski kasvaa. Tällä saattaa olla huomattavia vaikutuksia esimerkiksi kiskojen paikalliseen kulumiseen, ja tätä tukevat myös Japan Railwaysin tutkimukset,

joissa havaittu pyörien liukumistilanteiden esiintymistiheyden kasvavan merkittävästi edellä mainittujen vaikutuksen alaisilla rataosilla. Käytännössä näiden vaikutuksien suuruusluokat jäävät kuitenkin alhaisiksi niiden paikallisesta esiintymisestä johtuen, kun tilannetta tarkastellaan koko rataosan mittakaavassa. (3; 40.)



KUVA 6. Rautatieympäristön poikkileikkaus (28)

Myös rata-alueen maastonmuodot ja pohjamaan laatu vaikuttavat päällysrakenteen osien kestävyteen niiden käytönaikana. Maastonmuotoja tarkasteltaessa merkittävimpana tekijänä voidaan pitää niistä syntyvän valuma-alueen suuruutta, jonka vaikutukset korostuvat eteenkin tulva-aikoina. Tulviva vesi voi pahimmillaan aiheuttaa penkereiden ja siltojen sortumia, mikäli alueen kuivatus ei toimi riittävällä volyyymillä. Liikenneverkon toimintaa uhkaaviin tulva- ja sortumatilanteisiin varaudutaan ennakkoon luokittelemalla ja kartoittamalla riskit. Tämä tehdään eri tulva- ja sortumatyypeille, ja tiedot tallennetaan myös niille tarkoitettuun rekisteriin niiden päivitettävyyden helpottamiseksi. Ympäristöstä aiheutuvat muutokset on kuitenkin erittäin haastava yhdistää elinkaarimallinnukseen, koska ne aiheutuvat useiden ja vaikeasti määritettävien tekijöiden summana. Tietoja tulisikin pyrkiä hyödyntämään lähinnä kokemusperäisten tarkastelujen kautta, jotta tiedetään missä edellä mainittuihin ongelmiin saatetaan törmätä. (38.)

TAULUKKO 20. Alueellisten tulva- ja sortumariskien kartoittaminen (38)

TULVIMISTYYPIT*)	
T1	Vesistötulva: jokien, järvien tai muiden sisävesien aiheuttama tulva
T2	Meritulva: tuulen aiheuttama merivedennousu
T3	Rumpu- tai silta-aukon padotus: aukon alimitoituksesta tai liettymisestä johtuva tukos
T4	Hulevesitulva: viemärin, rummun tai pumppaamon kapasiteetin riittämättömyys tulvatilanteessa
T5	Jäätymistukoksesta aiheutuva tulva: rummun tai silta-aukon jäätyminen
SORTUMATYYPIT	
S1	Sortuma virtauseroosiona tai tierungon/maapohjan kantavuuden heiketessä tulvan vuoksi
S2	Veden virtauksesta johtuva eroosio tien läheisyydessä aiheuttaa sortuman; vesi ei nouse tielle (liukupintasortumat)
S3	Vettyminen aiheuttaa tien kantavuuden menetyksen; vesi ei nouse tielle (rankkasadetulvat, pohjaveden kohoaminen, pumppaamovikojen ja rumputukosten aiheuttamat)
S4	Sillan sortuma tulvan vaikutuksesta (veden nousu tai joen pohjan jäätyminen aiheuttama nousu)

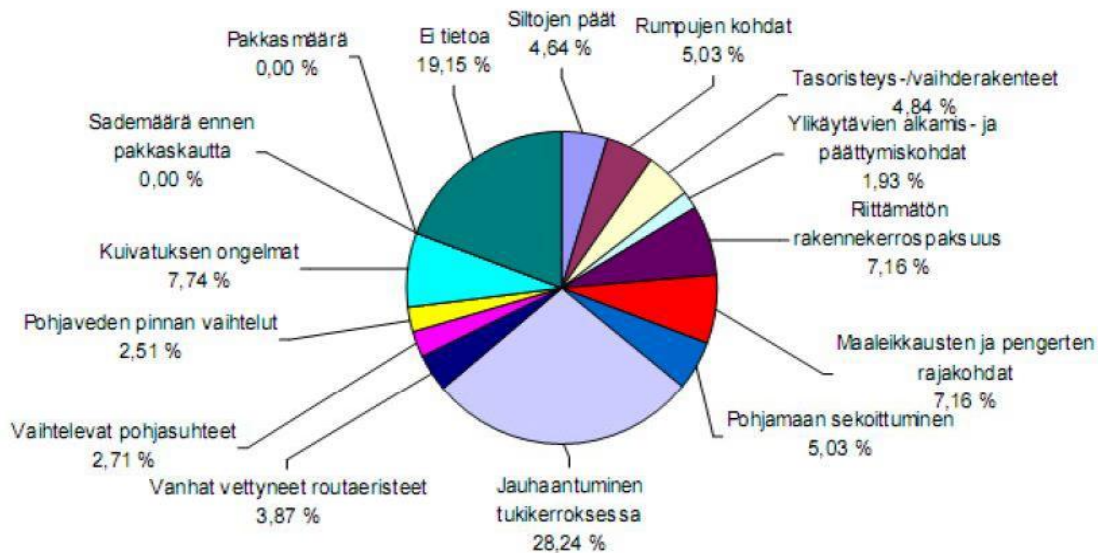
*)Tulvariskin peruste (ja samalla todennäköisyys, luokka 3 todennäköisin)
 3 = historiatieto ja ennustetieto
 2 = historiatieto (ilmoitus- tai kokemustieto)
 1 = ennustetieto (tulvavaarakartta tms. analyysi)

Tulvakohdan kierrettävyys
 9 = selvittämättä
 4 = varareitti on olemassa
 3 = varareitti on olemassa, mutta jää tulvan alle
 2 = varareittiä ei ole määritetty
 1 = varareitti ei ole mahdollinen

6.4.2 Ilmasto

Myös ilmasto vaikuttaa pyörien liukumistilanteiden esiintymistiheyteen, ja sillä on huomattava merkitys etenkin vesi- ja lumisateen muodossa. Jo aiemmin mainitussa Japan Railway Companyn tutkimuksessa kartoitettiin myös näiden tekijöiden vaikutuksia, ja siinä todettiin vesisateen nostavan pyörien liukumistilanteiden esiintymistiheyden noin nelinkertaiseksi ja lumisateen jopa kymmenkertaiseksi poutasään verrattuna. Liukumistilanteiden lisääntyminen vaikuttaa suoraan myös kaluston lovipyörien syntyyn, joten vedellä, lehdillä tai muilla epäpuhtauksilla on merkittäviä yleisiä ja paikallisia vaikutuksia. Ilmaston vaiku-

tukset jäävät kuitenkin normaaliolosuhteissa varsin vähäisiksi, koska ne pyritään ottamaan huomioon suunnittelussa ja rakenteiden mitoituksessa. Seuraavassa kuvassa 7 on esitetty kunnossapitäjän tekemiä havaintoja routavaurioista vuosilta 2003–2007.



KUVA 7. Kunnossapitäjien ilmoittamat syyt routavaurioihin vuosina 2003–2007 (41)

Poikkeuksellisten sääolojen vaikutukset saattavat sen sijaan olla merkittäviä ja esimerkiksi kovien pakkasten on todettu aiheuttaneen kiskojen katkeamisia, mikä on yksi talvikauden yleisimmistä vaurioista. Nopeat lämpötilavaihtelut ovat erityisen hankalia kiskoille, joihin niissä tapahtuva lämpölaajeneminen aiheuttaa jännityksiä. Tämä lisää pölkkyjen poikittaissuuntaisia voimia, ja mikäli pölkkyjen sivuttaisvastus ei ole riittävä, purkautuvat jännitykset saattavat aiheuttaa hellekäyräksi kutsutun ilmiön, joka on aiheuttanut useita radalta suistumisia myös Suomessa. Seuraavalla sivulla olevat kuvat 8 ja 9 ovat Uudesta-Seelannista, jossa havaittiin erityisen paha hellekäyrä vuonna 2010. Tämän hellekäyrän syntymiseen vaikutti omalta osaltaan myös alueella tapahtunut maanjäristys, joka mahdollisti kiskoissa olleiden jännityksien purkautumisen. (3; 35; 38; 40; 53.)



KUVA 8. Uudessa-Seelannissa havaittu hellekäyrä vuodelta 2010 (42)

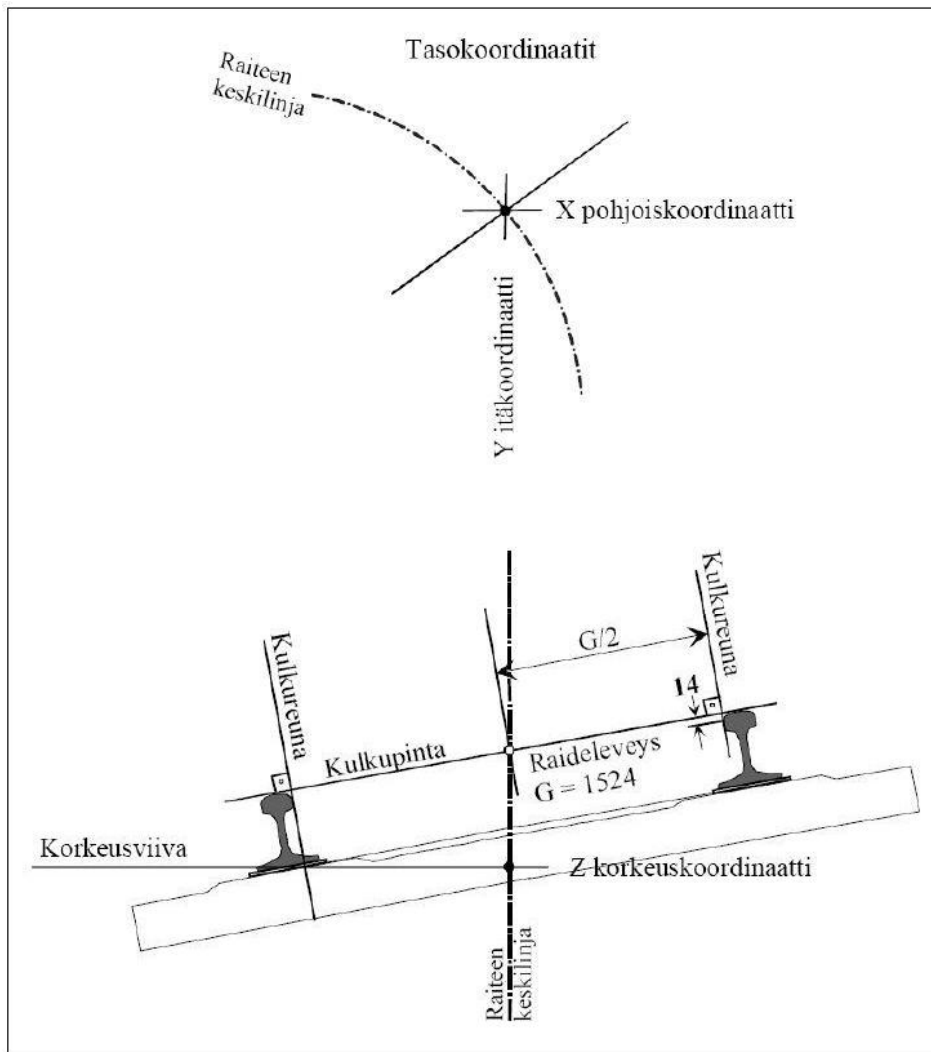


KUVA 9. Uudessa-Seelannissa havaittu hellekäyrä vuodelta 2010 (42)

Myös ilmaston vaikutusten arviointi on erittäin haastavaa elinkaarimallinnuksen kannalta ja myös siinä tulisi hyödyntää lähinnä kokemusperäistä tietoa, kuten ympäristöstä aiheutuvien vaikutusten kanssa. Esimerkiksi hellekäyrien esiintymiseen on mahdollista päästä käsiksi kiskojen neutraalilämpötilan kautta, mutta tarvittava tieto on usein hajallaan. Neutraalilämpötilasta johdetaan suoraan alueen sallittu työskentelylämpötila-alue ja mikäli tietyn alueen neutraalilämpötila ei ole kohdallaan, tai töitä tehdään sallitun työskentelylämpötila-alueen ulkopuolella, niin hellekäyrän riski on suuri. Tarkkojen ja kattavien neutraalilämpötilatietojen avulla voitaisiin siis lähtökohtaisesti suorittaa ainakin jonkinasteista mallinnusta myös elinkaarellisesti. (54.)

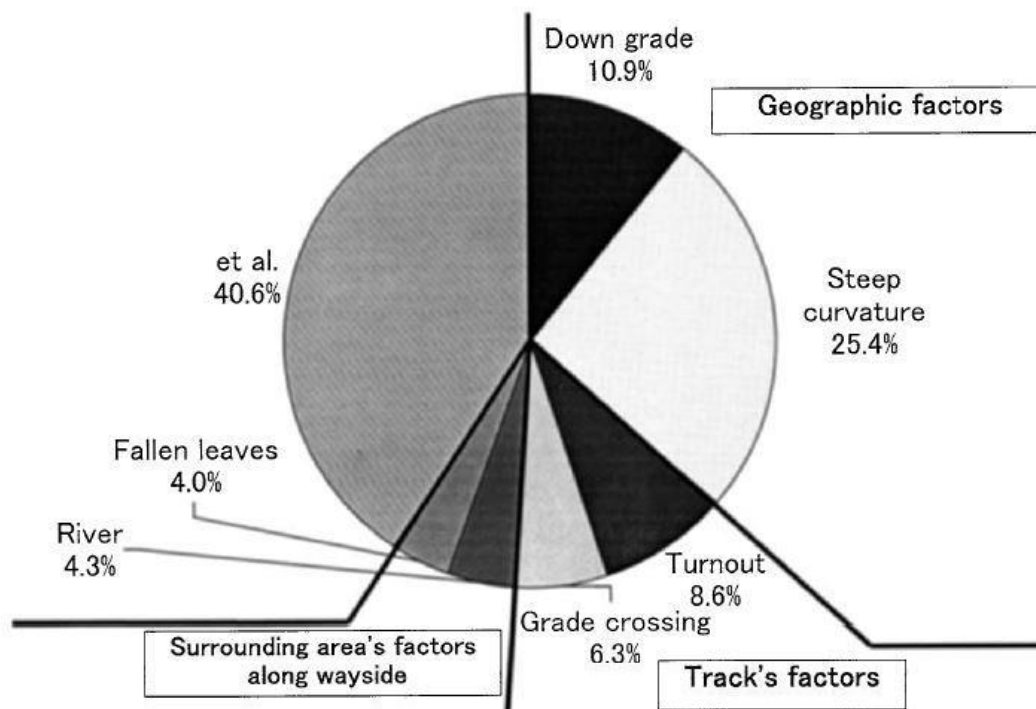
6.4.3 Geometria

Nykyisiä ratoja korjattaessa tai parannettaessa sen geometriselle sijainnille ei yleensä ole paljoa tehtävissä, koska se on sidoksissa erinäisiin pakkopisteisiin, joita muodostavat muun muassa nykyiset sillat ja tasoristeykset. Tästä syystä geometriaan ei juurikaan voida vaikuttaa, ja nykyisen raiteen parantamisen yhteydessä joudutaan usein poikkeamaan suositusarvojen käyttämisestä, koska nykyiset raiteet ovat suunnittelun lähtökohtana. Mikäli toteutettavat korjaustoimenpiteet ovat laajemmat ja myös alusrakenne tehdään uudelleen, niin geometrian sijaintia voidaan muuttaa ja tarvittaessa parantaa suunnittelussa. Geometrian suunnitteluun on kuitenkin aina kiinnitettävä riittävästi huomiota, koska siitä saadaan huomattavia hyötyjä varsinkin pitkällä aikavälillä. Hyvä geometria parantaa junan kulkuominaisuuksia ja pienentää kunnossapitokustannuksia, minkä lisäksi se laskee myös itse rakennuskustannuksia. Suunnittelussa tulee huomioida myös se, että pysty- ja vaakageometria vaikuttavat toisiinsa, ja tästä johtuen koko geometria on suunniteltava yhtenä kokonaisuutena. Hyvä suunnittelu löytää tasapainoisen ratkaisun kustannusten ja toimivuuden sekä ohjeiden mukaisten raja-arvojen väliltä, mikä mahdollistaa yksinkertaisen ja toimivan ratkaisun aikaansaamisen. (35; 39.)



KUVA 10. Raiteen geometrian muodostavat parametrit (39)

Edellä mainittujen lisäksi geometrian mitoituksessa on pyrittävä ottamaan huomioon myös radan rakenteen vaikutus mitoitusnopeuteen ja paikalliseen nopeuteen, jolla on vaikutusta esimerkiksi kiskojen kulumiseen. Radan geometrian vaikutukset vaihtelevat rataosakohtaisesti, joten paikkaansa pitävän arvion laatimiseksi tulisi tarkastella kyseessä olevan rataosan tilannetta. Merkittävänä ja huomionarvoisena geometrian vaikutuksia voidaan kuitenkin pitää, sillä esimerkiksi Japan Railway Companyn tutkimuksessa peräti 50 prosenttia pyörien liukumistilanteista aiheutui geometriasta. Muut syyt ovat lueteltuina seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 7. (3; 39.)



KUVA 11. Japan Railway Companyn tutkimuksessa havaitut syyt kaluston pyörien liukumistilanteisiin (40)

Oheisen kuvan 7 mukaiset syyt on jaettu kolmeen osaan kokonaisuuteen:

1. Radan geometrian vaikutukset (noin 50 prosenttia)
2. Ympäristöolosuhteiden vaikutukset (noin 10 prosenttia)
3. Muiden seikkojen vaikutukset (noin 40 prosenttia)

Kuten nähdään, myös muiden seikkojen vaikutusten suuruus on huomattava, mutta varsinaiset syyt jäivät kyseisessä tutkimuksessa tuntemattomiksi eikä niitä pystytty määrittämään. Suurin syy tähän lienee se, ettei näihin syihin käytännössä pystytä vaikuttamaan (kuljettajan ajokäyttäytyminen tms.) ja niiden mittaaminen on erittäin haasteellista, ehkä jopa mahdotonta.

6.4.4 Alusrakenne ja pohjamaa

Alusrakenteelta edellytetään 100 vuoden käyttöikää, joka altistaa sen sekä kemialliselle että pakkasrapautumiselle huomattavasti enemmän tukikerrokseen verrattuna. Tämän lisäksi alusrakenne on hienorakeisempaa, joten sillä on mo-

ninkertainen ominaispinta-ala, joka lisää tätä vaikutusta entisestään, ja kuivausrakenteiden toimimattomuuden vaikutukset kohdistuvatkin ensimmäisenä alusrakenteeseen ja pohjamaahan. Nykyisen kaltaisia laatuvaatimuksia ei ollut silloin, kun pääosa rataverkkomme alusrakenteista rakennettiin, eli 1800-luvun lopulla ja 1900-luvun alussa. Tuolloin pidettiin tärkeänä asiana massatöiden minimointia, ja tästä syystä radat perustettiin yleensä mahdollisimman tasaiselle maanpinnan varaan. Tämä sai aikaan myös ohuet rakennekerrokset, koska korkeita leikkauksia vältettiin. Ratoja perusparannettiin aktiivisesti 1950- ja 1960-luvuilla, jolloin kiinnitettiin huomiota myös alusrakenteeseen, ja ensisijaisena tavoitteena oli sen vakavuuden parantaminen sekä routahaittojen poistaminen. Aikanaan tehdyt ratkaisut aiheuttavat kuitenkin haasteita vielä nykypäivänäkin, koska nopeuksien ja akselipainojen kasvamisen seurauksena myös rakenteilta vaadittavat ominaisuudet ovat muuttuneet. (41.)

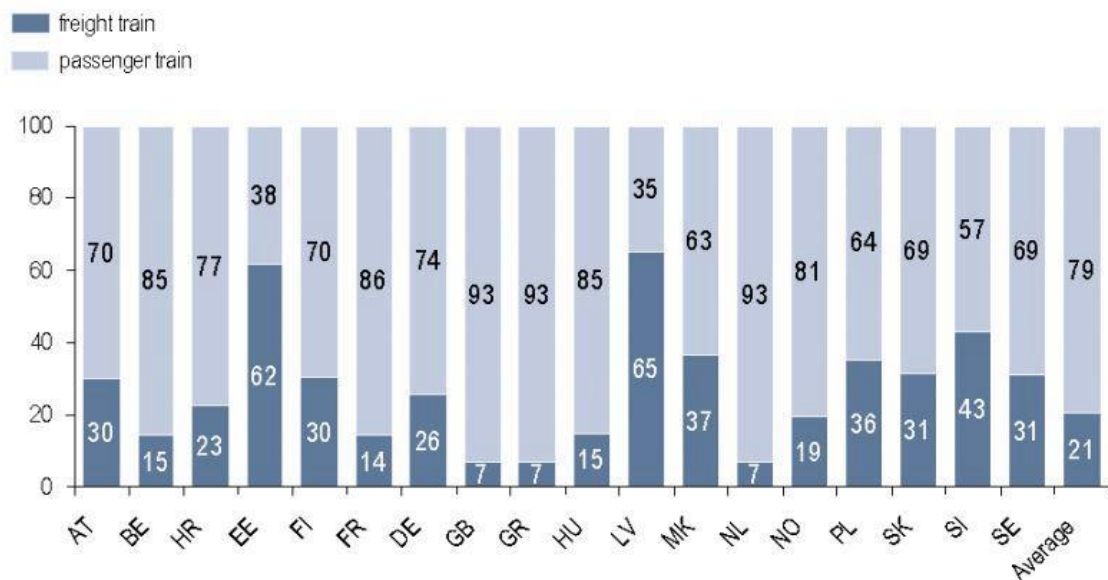
Alusrakenteen lisäksi tulee ottaa huomioon myös se alapuolella oleva pohjamaa, johon myös radalla liikkuvan kaluston kuormitusvaikutus yleensä ulottuu. Pohjamaasta aiheutuvat routahaitat pystytään estämään riittävän paksulla alusrakennekerroksella, joka estää pohjamaan jäätyksen. Lisäksi tulee muistaa, että pohjamaan päälle rakennetut rakennekerrokset aiheuttavat siihen pysyvän kuormituksen, jonka vaikutukset on huomioitava suunnitteluvaiheessa. Pohjamaan ominaisuuksilla on erittäin suuri merkitys radan taipumiin junakuormien alla sekä koko ratapenkereenvakavuuteen ja syntyviin painumiin. Pohjamaata voidaan myös pitää määräävänä tekijänä, mikäli tukikerroksessa käytetty sepeli on hyvälaatuista. Hyvälaatuisen pohjamaan alueella vaurioitumisen voidaan olettaa kasvavan ainoastaan kuormituksen (= liikennemäärän) lisääntymisen seurauksena. (3; 17.)

6.4.5 Liikenteen koostumus ja akselipainot

Liikenteen määrän ohella radan päällysrakenteen kestävyys vaikuttaa sen koostumus, joka on yksi oleellisimmista tekijöistä päällysrakenteen kestävyyttä kartoitettaessa. Henkilö- ja tavaraliikenne vaikuttavat radan kulumiseen erilailla, minkä lisäksi eroavaisuuksia syntyy myös käytettävästä kalustosta ja sen telirakenteesta. Esimerkiksi idän liikenteessä käytetään pääasiassa IVY-maiden (It-

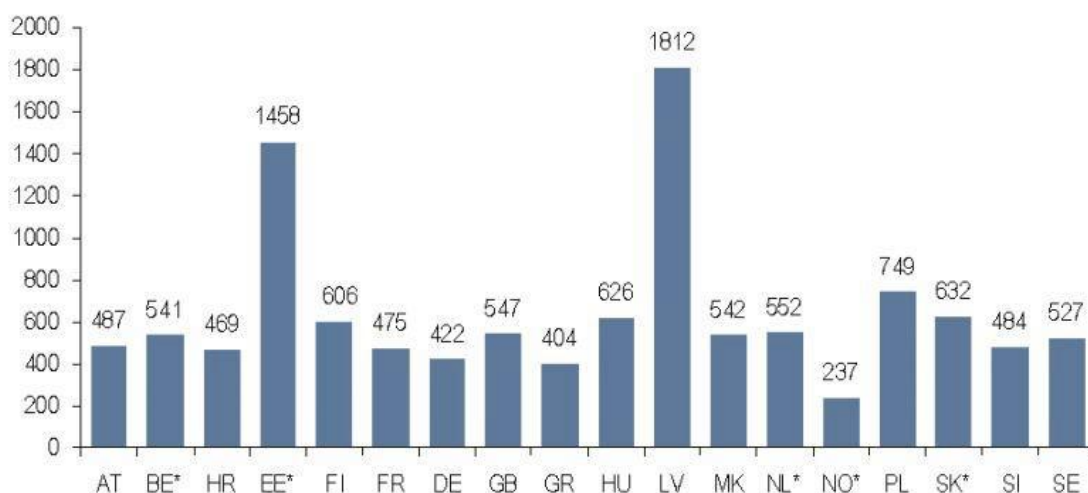
senäisten valtioiden yhteisö) rautatievaunuja, joiden on todettu aiheuttavan huomattavasti enemmän kulumista suuresta jousittamattomasta massasta ja heikoista teliominaisuuksista johtuen. Esimerkiksi teliominaisuudet näkyvät lähinnä telirungon kieroutumisena, joka aiheuttaa tavanomaista suuremman kohaustauskulman pyöräkertojen ja raiteen välille, jolloin kuluminen ja vierintäväsymi-
minen lisääntyvät. Tarkkojen vaikutuksien selvittäminen on kuitenkin ongelmallista, koska asiasta ei löydy riittävästi taustatietoa.

Kalustotyyppikohtaisien eroavaisuuksien suuruusluokkiin päästään kuitenkin käsiksi muun muassa Saksassa ja Ruotsissa tehtyjen tutkimuksien pohjalta. Saksassa 5400 tonnin tavarajunalla todettiin olevan yhtä suuret vaikutukset radan kunnon heikentymiseen kuin 25 henkilöjunalla. Ruotsissa taas todettiin tavarajunien osuuden olevan noin 90–95 prosenttia koko junaliikenteen aiheuttamasta radan kunnon heikentymisestä. Kaluston aiheuttama staattinen voima on suorassa suhteessa junan painoon, ja Suomen liikenteen koostumus on vastaavanlaista kuin Ruotsissa. Tämä voidaan todeta IRG-Railin vuonna 2011 tekemästä selvityksestä, jossa vertailtiin eri Euroopan maiden rautatieliikennettä. Seuraavat kuvat 12 ja 13 ovat tästä kyseisestä selvityksestä. (3; 35; 43; 44.)



* Osuudet laskettu ajettujen junakilometrien perusteella

KUVA 12. Rautateiden tavara- ja henkilöliikenteen välinen koostumus Euroopan maissa vuodelta 2011 (44)



* Painot ilmoitettu nettotonneina ilman vetokalustoa

KUVA 13. Keskimääräiset tavarajunien painot Euroopan maissa vuodelta 2011 (44)

Oheisessa kuvassa 13 esitettyjä tuloksia voidaan käyttää vain eri maiden väliin vertailuun, koska ne ovat tilastojen pohjalta laskennallisesti selvitettyjä arvoja. Oheiset tiedot on saatu jakamalla tavaraliikenteen suoritteet (bruttotonnikilometrit) ajetuilla kilometreillä, joten kevyet ja pitkillä kuljetusmatkoilla varustetut tiedot vääristävät tuloksia merkittävästi. Vertailun vuoksi voidaan sanoa, että esimerkiksi Suomessa keskimääräisen tavarajunan paino oli todellisuudessa 1437 tonnia vuonna 2012. (43; 44.)

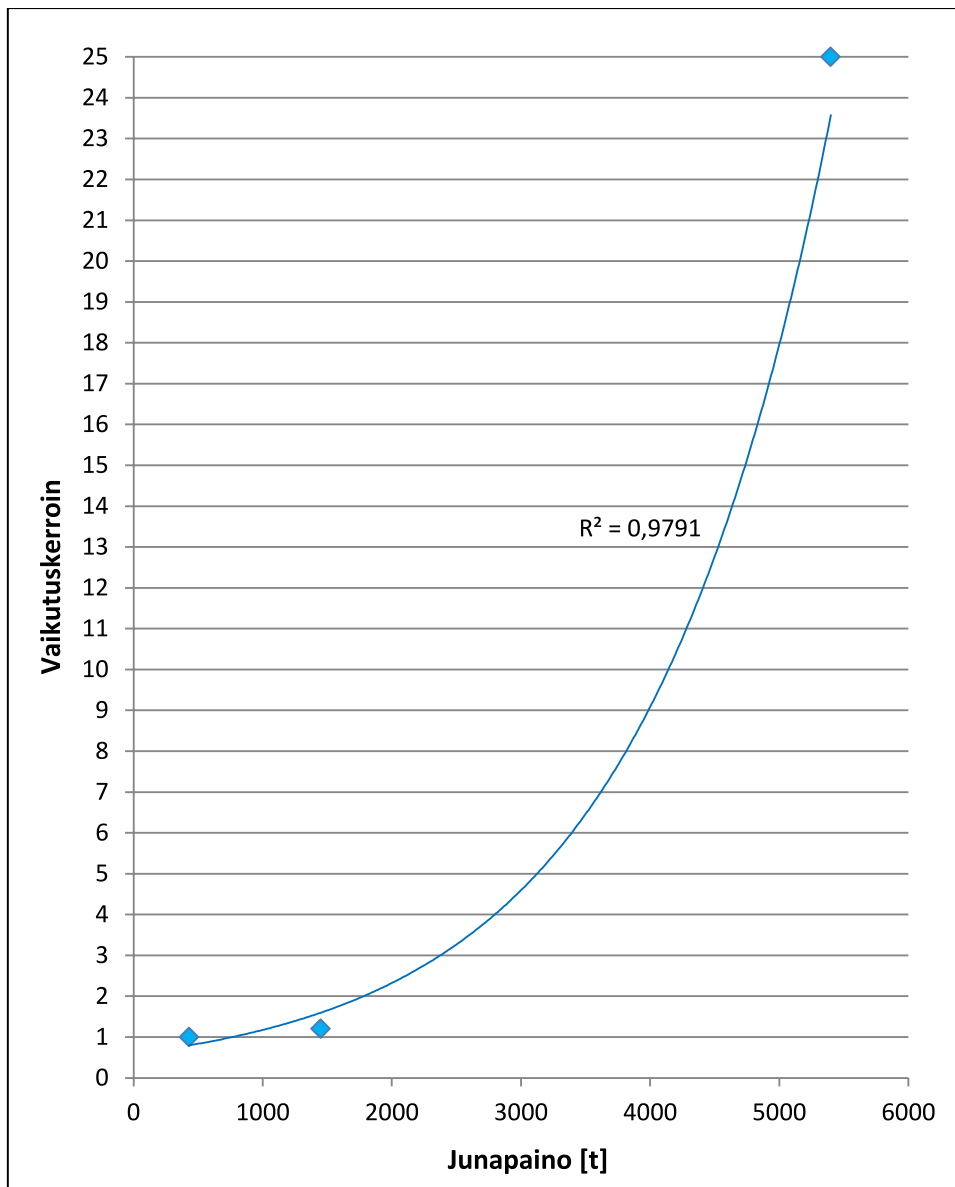
Keskimääräisen tavarajunan lisäksi tarvitaan tietoja myös keskimääräisestä henkilöjunan painosta. Tämän selvittäminen osoittautui hieman ongelmalliseksi, koska henkilöliikenteen osalta määrät esitetään aina ajettuina nettokilometreinä tonnien sijaan. Tilastoista kuitenkin selviää, että Suomessa keskimääräinen henkilöjuna on noin 70 prosenttia tavarajunaa kevyempi, ja tämä erotus on oletavasti samaa luokkaa myös Ruotsissa. Näiden tietojen pohjalta voidaan nyt päätellä seuraavaa:

- Henkilöliikenteen osuus on 30 prosenttia, sen vaikutukset ovat 10 prosenttia kokonaisvaikutuksista ja se painaa keskimäärin 453 tonnia.
- Tavaraliikenteen osuus on 70 prosenttia, sen vaikutukset ovat 90 prosenttia kokonaisvaikutuksista ja se painaa keskimäärin 1437 tonnia.

Edellä esitetyt päätelmät voidaan edelleen johtaa yhtälömuotoon, joiden pohjalta vaikutusten suuruusluokat saadaan selville.

$$\begin{cases} 1437 * 70 * X = 90 \Rightarrow X \approx 8,947 * 10^{-4} \\ 453 * 30 * X = 10 \Rightarrow X \approx 7,358 * 10^{-4} \end{cases}$$

Tavaraliikenteen vaikutukset ovat siis $8,947 / 7,358 = 1,2159\dots \sim 1,22$ kertaiset, eli 22 prosenttia henkilöliikenteen aiheuttamia vaikutuksia suurempia. Ruotsissa tehdyn selvityksen lisäksi olisi ollut hyvä tehdä vertaileva laskelma myös Saksassa tehdyn tutkimuksen pohjalta, mutta sen toteuttamiseksi ei löytynyt tarpeeksi luotettavia lähteitä ja olisi jouduttu tekemään liikaa oletuksia. Junapainon lisääntyminen 453 tonnista 1437 tonniin kasvattaa liikennekuormitusta siis noin viidesosan sen teoreettista määrää enemmän, ainakin tämän tarkastelun pohjalta arvioituna. Junapainon kasvaminen siis lisää rakenteiden kulutusta enemmän kuin massan lisääntyminen antaa olettaa, ja tätä käsitystä vahvistaa omalta osaltaan myös saksalaistutkimus. Näiden päätelmien pohjalta voidaan nyt muodostaa seuraavalla sivulla oleva kaavio 7.

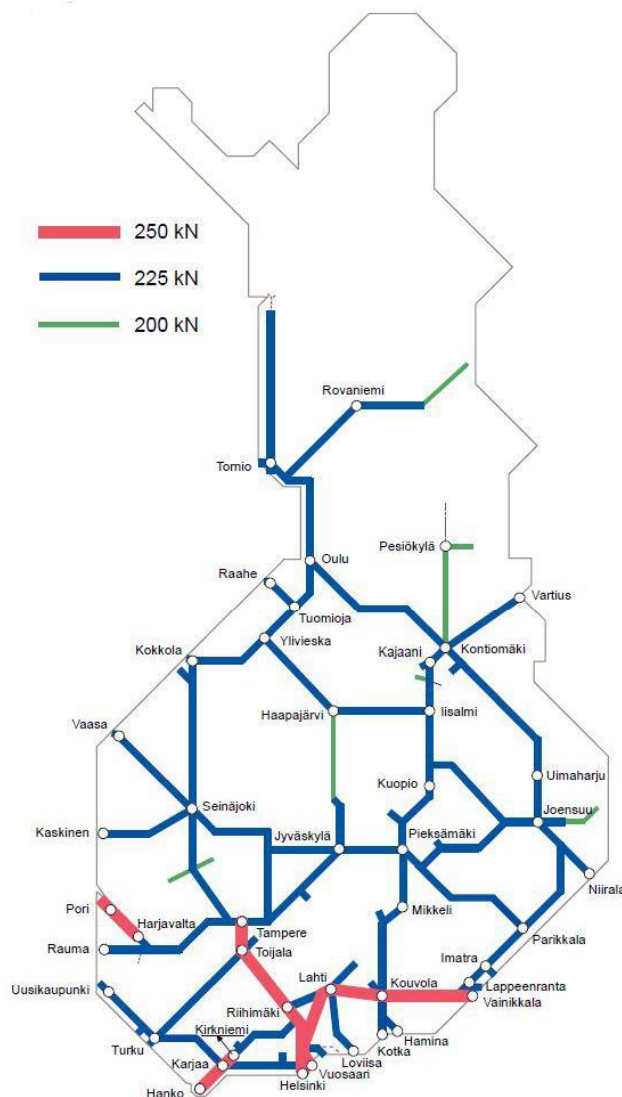


KAAVIO 7. Junapainon kasvamisen suhteelliset vaikutukset

Oheinen kaavio sisältää useita epävarmuustekijöitä, koska esimerkiksi kaluston kunto ja tyyppi eivät ole selvillä. Tämän lisäksi ei tiedetä myöskään selvityksissä tutkittujen ratojen rakenteita ja kuntoa, joilla on myös omat vaikutuksensa oheisen käyrän muotoon. Mallista saadaan kuitenkin suuruusluokkien lähtökohdat päällysrakenteen elinkaaren mallintamiseen, ja kaaviota voidaan sitten myöhemmin tarkentaa tehtyjen havaintojen pohjalta.

Junan kokonaismassan lisäksi vaikuttaa sen akselipaino, joka on Suomessa pääosin 225 kN, jonka lisäksi on muutamia 250 kN:n ja 200kN:n akselipainon

sallivia rataosuuksia. Eri akselipainojen välinen jakautuminen Suomen rataverkolla on esitetty seuraavassa kuvassa 14.



KUVA 14. Suurimmat sallitut akselipainot Suomen rataverkolla (45)

Sallitut akselipainot ovat nousseet koko ajan, ja odotettavissa on, että ne tulevat nousemaan edelleen ja kehitys vie kohti yhä suurempia akselipainoja. Akselipainon noston ensisijainen tavoite on parantaa rautatieliikenteen kilpailukykyä ja rataverkon toimintaedellytyksiä. Tästä on hyötyä sekä liikennöitsijälle että asiakkaalle, joten muutokset synnyttävät harvemmin vastarintaa, ja yleensä kyse on lähinnä rahoituksen puutteesta. Kunnossapitäjälle raskaampi kalusto aiheuttaa enemmän kunnossapitotoimenpiteitä ja lisää radan tarkkailutarvetta, koska

esimerkiksi tärinähaitat lisääntyvät väistämättä. Akselipainoja nostettaessa korostuu se, että ratarakennetta tulee käsitellä kokonaisuutena ja kaikkien elementtien on oltava tasapainossa keskenään. Yleensä määräävimmäksi tekijäksi nousevat sillat, alusrakenne tai pohjamaa. Koska suurempi akselipaino voidaan sallia vain tietyillä radan ominaisuuksilla ja rakenteilla, tulee heikoimmat rakenteet parantaa ennen kuin sen nostaminen on mahdollista. Tämän lisäksi on huomioitava myös kaluston soveltuvuus kyseiselle akselipainolle, eivätkä sen aiheuttamat kuormitukset saa ylittää sallittuja raja-arvoja.

Ruotsissa tutkittiin akselikuormien kasvattamisesta aiheutuvia vaikutuksia Banverketin toimesta Malmbanan rataosan akselipainon noston yhteydessä vuonna 1996. Malmbanalla akselipainot korotettiin 25 tonnista 30 tonniin, ja sen vaikutusten todettiin kohdistuvan raideseppelin ja pohjamaan kautta suoraan raidegeometriaan. Kyseisen tutkimuksen pohjalta saatiin myös muodostettua seuraava kaava, jota voidaan hyödyntää myös tässä selvityksessä. (24; 26; 29.)

$$F = \left(\frac{P}{P_0} \right)^n, \text{ missä}$$

F = Vauriokerroin (yksittäisten akselikuormien synnyttämien vaurioiden suhde)

P = Tarkasteltava akselikuorma [kN]

P₀ = Alkuperäinen akselikuorma [kN]

n = Pohjamaasta riippuva vaurioeksponentti

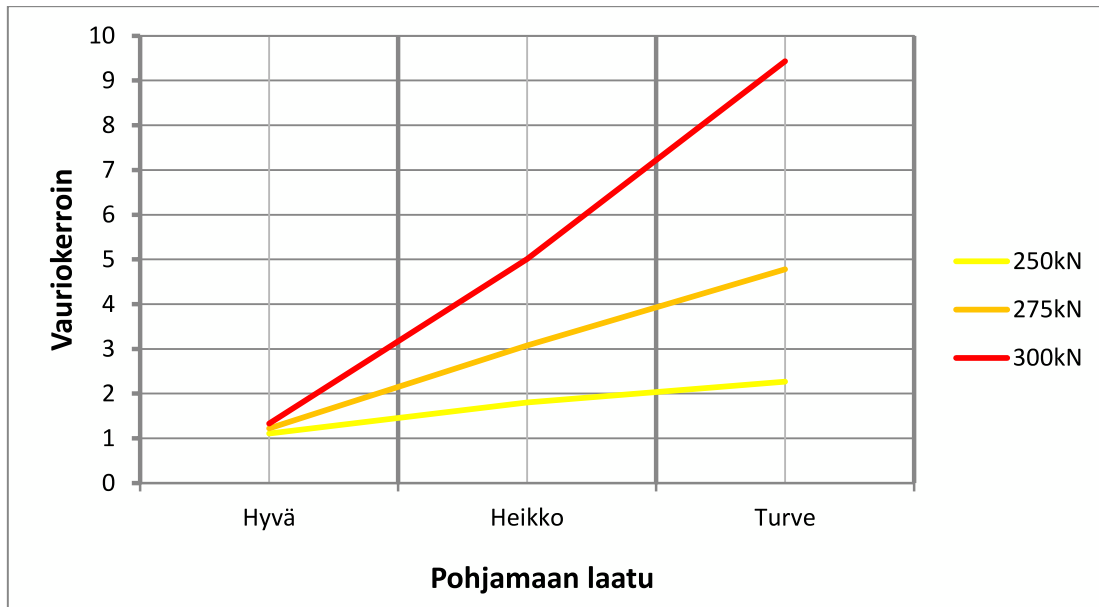
Vaurioeksponentti valitaan seuraavasta taulukosta 21 sen mukaan, minkä laatuista pohjamaata tarkasteltavalla alueella on. Raideseppelin oletetaan olevan hyvässä kunnossa, jolloin pohjamaata voidaan pitää määräävänä tekijänä.

TAULUKKO 21. Vaurioeksponentin (n) määräytyminen

	Minimi	Odotettavissa oleva	Maksimi
Hyvä pohjamaa	1,00	1,00	2,00
Heikko pohjamaa	3,00	5,60	7,80
Turpeinen pohjamaa	3,00	7,80	9,00

Esimerkiksi Suomessa tullaan lähivuosina tekemään akselipainojen nostoja 225kN:sta 250kN:n, jolloin rakenteiden vaurioituminen kasvaa 1,8-kertaiseksi

aikaisempaan tilanteeseen verrattuna. Mikäli pohjamaa on laadultaan hyvää, jäävät vaikutukset vain 1,1-kertaiseksi, mutta mikäli pohjamaa on turvetta, vaikutukset kasvavat peräti 2,3-kertaisiksi. Oheisesta kaaviosta 8 nähdään, miten vauriokerroin käyttäytyy eri laatuksella pohjamaalla, kun akselipainoa nostetaan 225kN:stä asteittain aina 300kN:n asti.



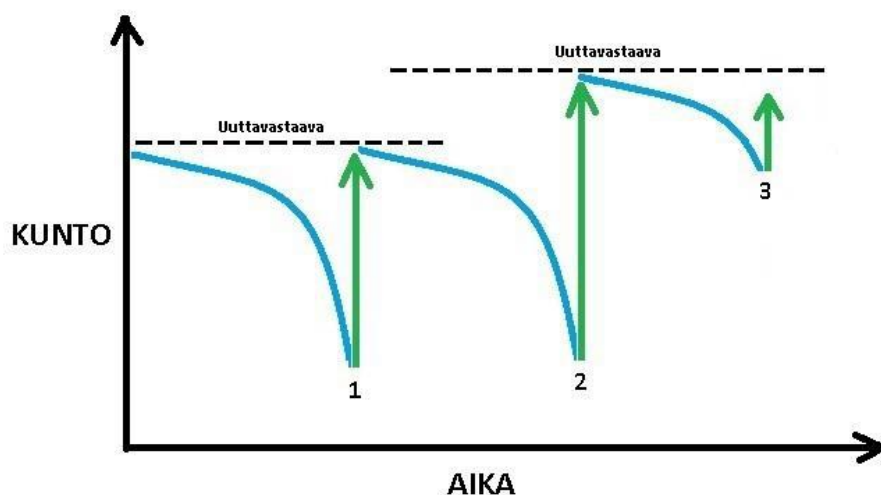
KAAVIO 8. Vauriokertoimen kehittyminen eri laatuksella pohjamaan alueella, kun akselipainoa kasvatetaan 225kN:sta

Kuten nähdään, hyvälaatuisen pohjamaan alueella akselipainon nostamisen vaikutukset ovat erittäin vähäisiä, eikä näin ollen tarvitse varautua esimerkiksi kunnossapitotoimenpiteiden huomattavaan lisääntymiseen. Teoriassa radan vaurioituminen saattaa jopa laskea, koska vaunumäärä vähenee akselikuorman kasvamisen seurauksena ja nettokuorman suhteellinen osuus kasvaa. Huonolaatuisen pohjamaan alueella toimenpiteille on sen sijaan tarvetta, ja ne saattavat olla hyvinkin mittavia, koska muun muassa pohjanvahvistus saattaa tulla kysymykseen. (24; 26; 29.)

7 PÄÄLLYSRAKENTEEN ELINKAAREN HALLINTA

7.1 Päällysrakenteen elinkaaren muodostuminen

Kuten selvityksen alussa todettiin, elinkaari tarkoittaa rakenteen tai rakenneosan kokonaiskäytettävyyttä. Seuraavaksi käydään läpi, mitä tämä radan päällysrakenteen osalta käytännössä tarkoittaa ja mitä ovat sen elinkaaren vaikuttavat tekijät.



KUVA 15. Päällysrakenteen elinkaaren kehittyminen

Oheinen kuva 15 esittää tilannetta, jossa uusi rakenne valmistuu ja otetaan käyttöön. Alussa rakenne on uutta vastaava ja ajan kuluessa rakenteen palvelutaso (= kunto) laskee toimintakykynsä alarajalle. Toimintakyvyn alarajalla tulee vastaan toimenpidetarve, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että rakenteelle on tehtävä välittömiä toimenpiteitä palvelutason turvaamiseksi. Tässä pisteessä päätetään myös rakenteen mahdollisesta yliajamisesta. Päällysrakenteen yliajaminen käsitellään tarkemmin tämän selvityksen myöhemmässä osiossa. Rakenne päädytään korjaamaan, ja sen palvelutaso nostetaan jälleen vastaamaan uutta rakennetta (ks. kuvan 15 kohta nro 1).

Ennen pitkää rakenne on jälleen ajettu samaan tilanteeseen ja korjaukselle on taas tarvetta. Tähän kunnostustarpeeseen mennessä rakenteelle asetetut määräykset ovat saattaneet muuttua ja käytettävät materiaalit ovat parantuneet. Tällöin ollaan tilanteessa, jossa palvelutason nostamiseksi tarvittavat toimenpiteet nostavat rakenteen kunnon alkuperäistä paremmalle tasolle (ks. kuvan 15 kohta nro 2).

Jonkin ajan kuluttua rakenteen palvelutaso alkaa jälleen laskea ja kunnostustoimille on taas tarvetta. Tällä kertaa rakenteelle ei kuitenkaan tarvita mittavia investointeja, vaan sille tehdään ennakoivia kunnossapitotoimia, jotka nostavat rakenteen kunnon yli korjaustarpeen alarajan (ks. kuvan 15 kohta nro 3). Tarvittavaa investointia saadaan siis hieman lykättyä, mutta se tulee kuitenkin väistämättä eteen jossain vaiheessa. Elinkaaren kehittyminen jatkuu koko rataosan historian ajan tätä kaavaa noudattaen.

Päällysrakenteen elinkaari alkaa siihen tehdyn investoinnin, tässä tapauksessa perusparannushankkeen, valmistuttua. Investoinnin aikana päällysrakenteelle on tehty lukuisia toimenpiteitä sen elinkaaren uudistamiseksi. Näiden toimenpiteiden oikeaoppisella toteuttamisella on suuri merkitys elinkaareen ja sen kehittymiseen. Tehtyjen toimenpiteiden laadulla on suorat vaikutukset elinkaaren pituuteen ja elinkaaren aikana tarvittavan kunnossapidon määrään. Tästä syystä hankkeen aikana tulee panostaa riittävään laadunvarmistukseen ja työsuunnitteluun. Myös yhteiskunnan vaatimukset muuttuvat ajan kuluessa ja saattavat synnyttää rakenteen uusimistarpeen, koska nykyinen kuntotaso ei täytä uusia vaatimuksia. Yhteiskunnan vaatimuksien kehittyminen vaikuttaa suoraan korjausvelkaan: vaatimuksien kasvaminen nostaa velkaa elinkaaren laskemisen vaikutuksesta ja vaatimuksien vähentyminen laskee sitä elinkaaren nousemisen vaikutuksesta. Vaatimuksien kehittyminen siis hankaloittaa ja vääristää korjausvelan laskentaa pitkällä aikavälillä. (6; 35.)

7.2 Tukikerrokselle tehtävät toimenpiteet

Tukikerrokselle tehtävät toimenpiteet ovat huomattavasti pölkyille ja kiskoille tehtäviä toimenpiteitä monimutkaisempia, koska toimenpiteiden onnistumiseen

vaikuttavia tekijöitä on paljon. Esimerkiksi koneellisen tuennan onnistuminen riippuu seuraavista tekijöistä:

- Käytettävä kalusto ja sen kunto
- Tukemisorukan ammattitaito
- Tukemisen ajankohta (esim. liian aikaisin keväällä, ennen roudan sulamista)
- Käytettävä tukemismenetelmä

Koneellisen tuennan lisäksi tukikerrosta saatetaan seuloa ja täydentää, mutta se on kuitenkin harvinaisempi toimenpide ja sitä suoritetaan vain tarvittaessa. Se tulee kyseeseen lähinnä ongelmakohtissa, joita joudutaan tukemaan usein ja tämän seurauksena sepelissä on paljon hienoainesta, joka täytyy poistaa. Raidesepelin uusimis- tai puhdistamistarve voidaan määrittää näytteistä muodostettavan rakeisuusluvun perusteella, maatumkauksen avulla tai näiden molempien yhdistelmällä.

Kun tukikerros on hyvässä kunnossa ja raiteen geometrinen asema on kohdillaan, pölkkyjen ja kiskojen voidaan olettaa kestävän vähintään niille asetetut kestävyysvaatimukset. Koska tukikerros on avainasemassa sekä pölkkyjen että kiskojen vaurioiden kehittymisessä, sen kunnostustarpeen arvioinnissa tulisi pelata varman päälle. Aiemmat tutkimukset ovat myös osoittaneet, että paikalliset tukikerroksen laatuvaihtelut voivat olla hyvinkin suuria, eikä yksittäisten havaintojen pohjalta voida siis tehdä kovin kauaskantoisia johtopäätöksiä.

Tukikerroksen heikkeneminen johtuu ensisijaisesti hienorakeisen aineksen määrästä ja laadusta. Hienorakeisen aineksen laatu taas riippuu sen syntyvästä ja alkuperästä. Hienoainesta muodostuu liikennekuormituksen ja kunnossapidon suorittaman tuennan sekä kiviaineksen kemiallisen tai fysikaalisen rapautumisen seurauksena. Tuennalla on tutkimusten mukaan selkeästi eniten vaikutusta hienoaineksen syntymiseen, ja esimerkiksi British Railwaysin tutkimuksen mukaan yhden miljoonan tonnin liikennekuormitus synnyttää 0,2 kg alle 14 mm hienoainesta yhtä ratapölkkyä kohti, kun tuennan vastaavaksi lukemaksi saatiin laboratoriotutkimuksissa 4,0 kg. Täten yksittäinen tukemiskerta vastaa 20 miljoonan tonnin junakuormitusta, eli sen vaikutukset ovat 20 kertaa suuremmat. Kyseisessä tutkimuksessa ei ilmoitettu, minkä luokan kiviaineksella

oheiset tulokset oli saatu, mutta jos oletetaan sen olevan alemmaa luokkaa, niin vaikutuksien suuruudet eivät ole ainakaan pahasti liioiteltuja. Kaikissa EU-maissa on käytössä yhtenäiset standardit raideseppelin laatuvaatimuksille, ja Suomessa sovelletaan SFS-EN 13450 -standardia. Sen mukaan raideseppelin on kuuluttava oheisessa taulukossa 22 esitettyihin raekokojakaumaluokkiin sekä taulukossa 23 esitettyihin iskunkestävyysluokkiin.

TAULUKKO 22. SFS-EN 13450 mukaiset raideseppeliluokat (46)

Seulan koko mm	Raideseppelin raekoko 31,5...50 mm			Raideseppelin raekoko 31,5...63 mm		
	Läpäisy massaprosentteina					
	Rakeisuusluokka					
	A	B	C	D	E	F
80	100	100	100	100	100	100
63	100	97...100	95...100	97...99	95...99	93...99
50	70...99	70...99	70...99	65...99	55...99	45...70
40	30...65	30...70	25...75	30...65	25...75	15...40
31,5	1...25	1...25	1...25	1...25	1...25	0...7
22,4	0...3	0...3	0...3	0...3	0...3	0...7
31,5...50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	-	-	-
31,5...63	-	-	-	≥ 50	≥ 50	≥ 85

HUOM. 1. Seulan 22,4 mm läpäisylle asetetut vaatimuksia sovelletaan vain tuotantopaikalta otetulle raideseppelinäytteelle
 HUOM. 2. Tietyissä olosuhteissa 25 mm seulaa voidaan käyttää 22,4 mm seulan sijasta, tällöin raja-arvona käytetään 0...5 (0...7 luokassa F).

TAULUKKO 23. SFS-EN 13450 mukaiset iskunkestävyysluokat Los Angeles luvun mukaan (46)

Los Angeles - luku	Luokka
	L_{ARB}
≤ 12	L_{ARB12}
≤ 14	L_{ARB14}
≤ 16	L_{ARB16}
≤ 20	L_{ARB20}
≤ 24	L_{ARB24}
> 60	L_{ARB} Ilmoitettu
Ei vaatimusta	L_{ARB} NR

Suomessa käytössä ovat vain rakeisuusluokat C, E ja F. Iskunkestävyysluokista käytössä ovat luokat L_{ARB12} , L_{ARB16} ja L_{ARB20} . Kiviaineksen iskunkestävyys kuvaa suoraan sen jauhautuvuutta rasituksen alla, mitä liikenne ja tuenta myös aiheuttavat. Tästä syystä British Railwayn tutkimuksen pohjalta voidaan tehdä

seuraavat päätelmät, kun oletetaan tutkimuksen kohteena olleen sepelin luokaksi LA_{RB}20.

LA_{RB}20:n kestoikä on 150 Mbrt, ja siinä yksi läpituentakerta vastaa 20Mbrt:n liikennekuormitusta. LA_{RB}16:n kestoikä on 250 Mbrt ja LA_{RB}12:n 350 Mbrt, joten niitä vastaavat liikennekuormitusmäärät ovat seuraavat:

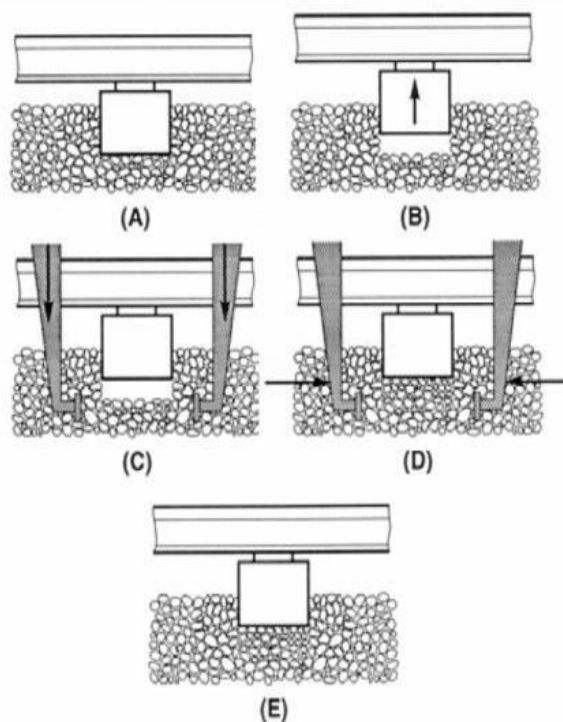
$$LA_{RB16} = \frac{150}{250} * 20 = 12 \text{ Mbrt}$$

$$LA_{RB12} = \frac{150}{350} * 20 = 8.57142 \dots \approx 9 \text{ Mbrt}$$

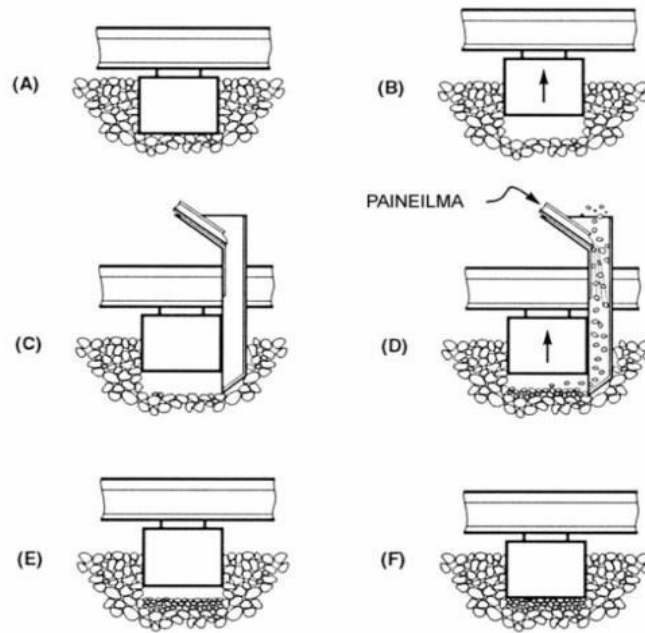
Nämä tulokset eivät tälläkään kertaa ole täysin absoluuttisia, koska käytännön vaikutuksia ei ainakaan laajemmin ole Suomessa kartoitettu, mutta ne antavat kuitenkin tuennan vaikutuksien suuruusluokan. Lisäksi kiviaineksen laatuvaihtelut ovat erimaiden välillä sen verran pieniä, että oheiset tulokset eivät varmasti kovin kaukana ole. Tarpeettoman tuennan välttäminen on siis ensiarvoisen tärkeää, ja tuennan toteuttamisessa tulisi keskittyä yksittäisiin ongelmakohtiin, koska on usein kokonaistaloudellisempaa kunnostaa useita yksittäisiä ongelmakohtia niin sanotun läpituennan sijaan. Toinen oleellinen asia on tunnistaa, johtuuko routiminen alusrakenteesta, jolloin routahaittoja voidaan todennäköisesti pienentää pelkästään kuivatusta parantamalla. Toinen vaihtoehto on käyttää routalevytystä, mutta sen on havaittu paikoin jopa pahentavan ongelmia. Lisäksi tulee muistaa myös se, että virheellisessä geometriassa oleva raide lisää sepelin kulumista ja kasvattaa hienoaineksen määrää.

Radantarkastusvaunulla saatujen tulosten oikeaoppiseen ja huolelliseen tulkintaan tulee kiinnittää huomiota, jotta geometrian ja tukemisen välille löydetään sopiva kompromissi. Esimerkkinä voisi mainita sen, että useat peräkkäiset C-luokan virheet olisi hyvä käydä tukemassa pois, koska niiden edelleen kehittyminen lisää myös sepelin kulutusta, joka lisäksi vaikuttaa myös muiden rakenteosien kulumiseen. Tuennan hyötyjä arvioidessa tulee siis huomioida molemmat näkökohdat, koska myös raiteen virheellinen geometria kasvattaa liikennekuormien vaikutuksia ja lisää sepelin hienoaineksen määrää. (12; 22; 34; 35; 53.)

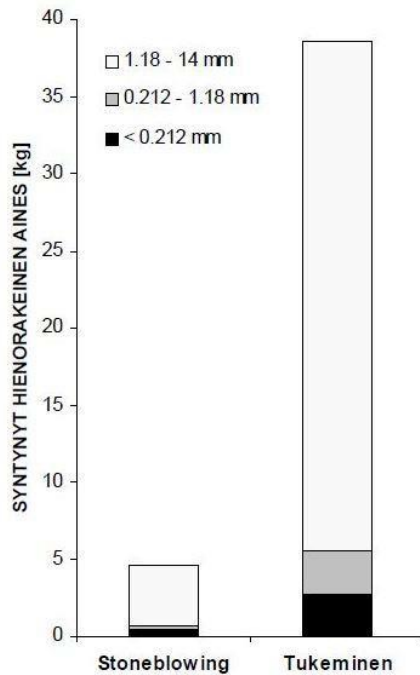
Myös tukemisessa käytetty menetelmä vaikuttaa raideseppelin kunnan kehittymiseen, ja tällä hetkellä Suomessa käytetään vain yhtä menetelmää, jota kutsutaan koneelliseksi tuennaksi. Tässä menetelmässä raiteentukemiskoneen hakut iskeytyvät tukikerrokseen samanaikaisesti ratapölkyn molemmilta puolilta ja puristuvat toisiaan vasten työntäen raideseppeliä ratapölkyn alle. Tämän menetelmän on todettu synnyttävän huomattavasti enemmän hienoainesta kuin esimerkiksi ”stoneblowing”-menetelmän, jota on käytetty Britanniassa jo pidemmän aikaa, ja se on todettu kunnossapitotarvetta vähentäväksi vaihtoehdoksi. Tässä menetelmässä täydennysseppeli työnnetään ratapölkyn alle paineilmalaitteiston avulla, jolloin vältetään olemassa olevan tukikerroksen löyhentymiseltä ja sen seurauksena tapahtuvasta tuennan jälkeisestä painumisesta. Huomioitavaa on lisäksi se, että täydennysseppelin raekoko on pienempi ja vaikuttaa laskevasti tukikerroksen toimintakykyyn. (29.)



KUVA 16. Tukemisen periaate (29)

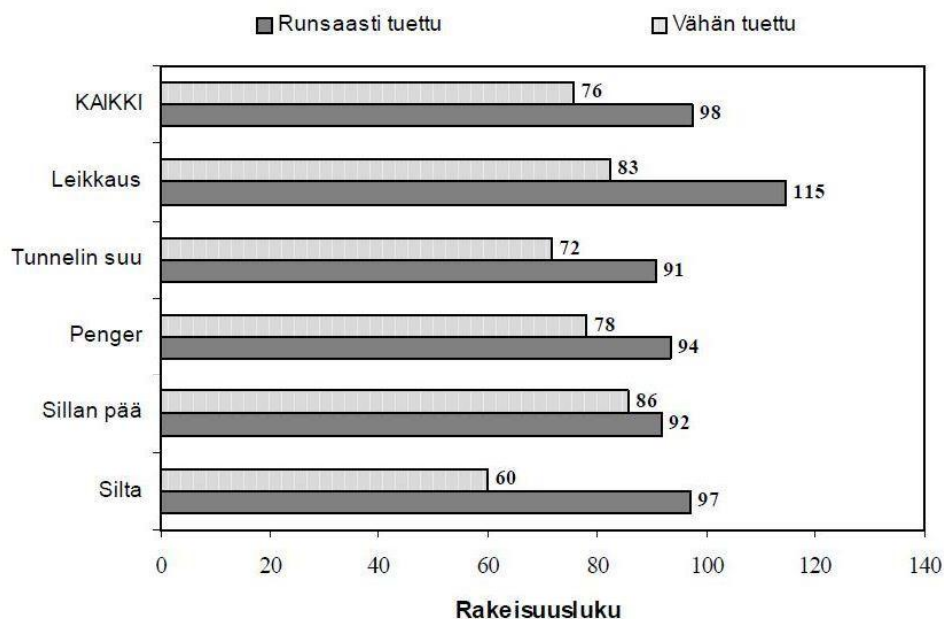


KUVA 17. Stoneblowing -menetelmän periaate (29)



KUVA 18. British Railwaysin suorittamien kenttätutkimuksien tulokset hienoraakeisen aineksen määrästä ratapölkkyä kohti kymmenen suoritteen jälkeen (29)

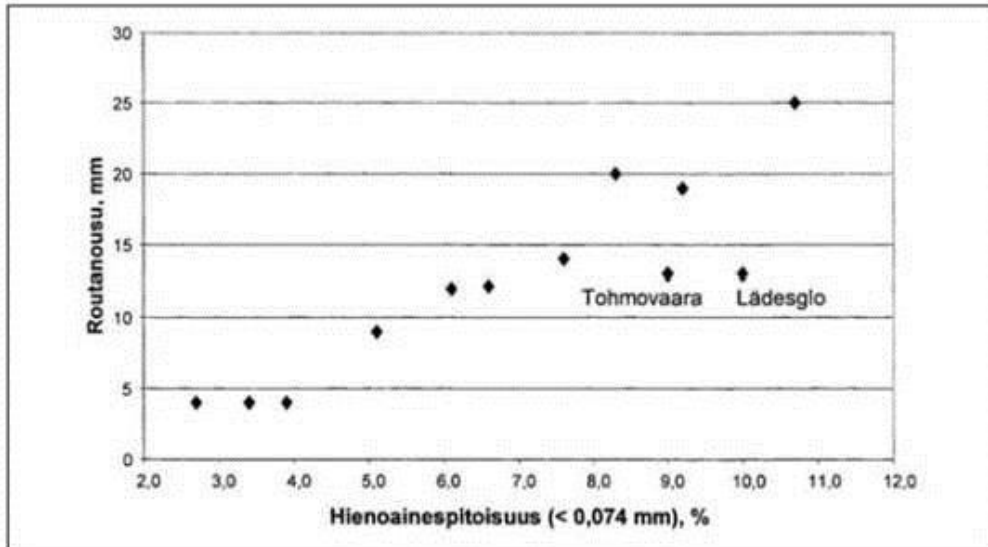
Eri tuentamenetelmien välistä vertailua ei ole Suomessa ainakaan toistaiseksi tutkittu, mutta tuennan määrän konkreettisia vaikutuksia on kartoitettu esimerkiksi Jämsänkosken ja Jyväskylän välisellä rataosalla. Tässä tutkimuksessa otettiin näytteitä runsaasti ja vähän tuetuista kohdista, joista määritettiin rakeisuusluvut kahden rinnakkaisnäytteen keskiarvona. Näytteen ottoajankohta oli 21 vuotta rakentamisen jälkeen. Tutkimuksessa havaittiin runsaasti tuettujen kohteiden rakeisuusluvun olevan keskimäärin 22 yksikköä vähän tuettujen kohteiden arvoja suurempia. Kunnossapitäjältä saadun tukemismääräarvion perusteella runsaasti tuettuja kohteita oli tuettu 34 kertaa ja vähän tuettuja kohteita 7 kertaa, joten yhden tukemiskerran arvioitiin kasvattaneen rakeisuuslukua 0,8 yksiköllä (rakeisuuslukuero oletettiin kokonaan tukemismääräerosta aiheutu-neeksi). Täten tukemisen kokonaisvaikutus oli runsaasti tuetuissa kohteissa 28 yksikköä ja vähän tuetuissa kohteissa 6 yksikköä. Tutkimustulokset ovat esitettyinä seuraavassa kuvassa 19.



KUVA 19. Tuennan määrän vaikutus rakeisuuteen (29)

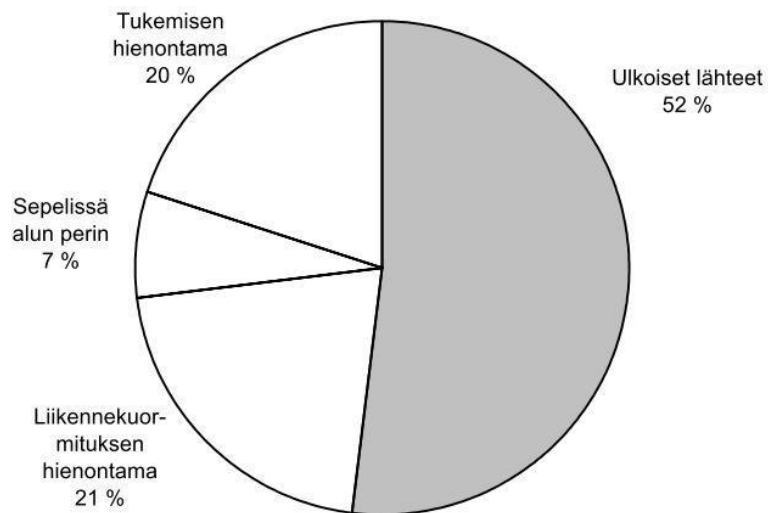
Rakeisuusluvulla on suorayhteys hienoaineksen määrään, jolla on edelleen suorayhteys routivuuteen. Hienoainespitoisuuden vaikutuksien on todettu olevan lineaarisia, eli routiminen lisääntyy tasaisesti samaa vauhtia kuin hieno-

ainespitoisuus kasvaa. Seuraavassa kuvassa 20 on tuloksia Timo Saarenkedon tekemästä "tube suction" -kokeesta vuodelta 2000, joka on yksi harvoista murskattujen kiviainesten routivuuteen liittyvistä tutkimuksista.

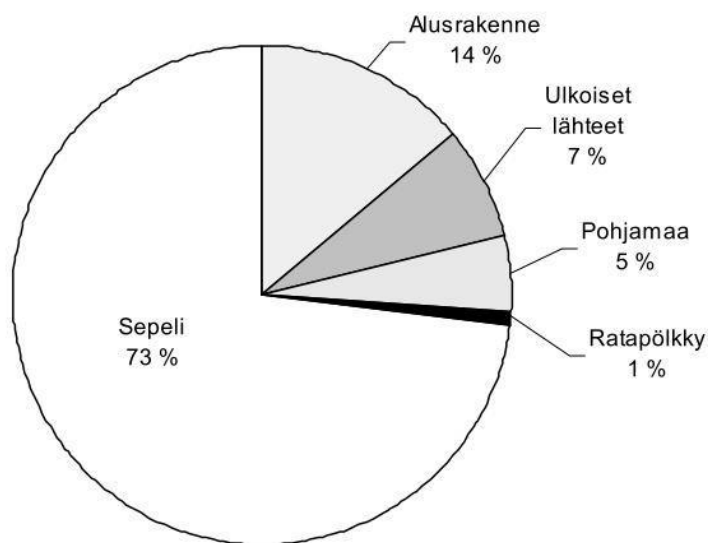


KUVA 20. Murskatun kiviaineksen "tube suction" -kokeen tulokset vuodelta 2000 (29)

Hienoainespitoisuuden lisäksi routivuuteen vaikuttavat myös huokostila ja hienoaineksen laatuominaisuudet, joihin taas vaikuttaa hienoaineksen synty tapa. Tällä on huomattava vaikutus esimerkiksi ratasepelissä, koska hienoainesta syntyy useista erilähteistä (käsittely, tuenta, liikenne ym.). Hienoaineslähteiden kartoittaminen tulee tehdä tapauskohtaisesti, mutta siitä huolimatta tutkimustulokset jättävät paljon sijaa myös tulkinnalle. Tämä voidaan todeta esimerkiksi Pohjois-Amerikassa ja Britanniassa tehtyjä tutkimuksia vertailemalla, joissa saatiin lähes täysin toisistaan poikkeavia tuloksia. Kyseisten tutkimuksien tulokset ovat esitettyinä seuraavalla sivulla olevissa kuvissa 21 ja 22. (17; 29; 49.)



KUVA 21. British Railwaysin tutkimus alle 14mm hienoaineksen alkuperästä vuodelta 1994 (29)



KUVA 22. Pohjois-Amerikassa tehty tutkimus alle 9,5mm hienoaineksen alkuperästä vuodelta 1992 (29)

Hienoaineksen alkuperän tunteminen ei kuitenkaan ole välttämätöntä, koska routimisen pääasiallinen aiheuttaja on vesi, joka ei pääse kulkeutumaan tukikerroksen läpi hienoaineksen takia. Hienoainespitoisuutta voidaan siis pitää yhtenä tukikerroksen mittarina sen laatua ja kunnostustarvetta arvioitaessa.

7.3 Ratapölkkyille tehtävät toimenpiteet

Sekä puisille että betonisille ratapölkkyille tarvitaan vain harvoin toimenpiteitä, mikäli ne on valmistettu ja asennettu virheettömästi, kuten selvityksessä jo aikaisemmin todettiin. Ajoittain voidaan kuitenkin joutua kiristämään löysällä olevia kiinnityksiä tai vaihtamaan yksittäisiä ratapölkkyjä. Huonokuntoisten ratapölkkyjen suurin sallittu lukumäärä määräytyy rataosakohtaisesti, ja siihen vaikuttavat seuraavat tekijät:

- radan kunnossapitotaso
- liikenteen määrä ja laatu
- radan geometria
- kiskopituus.

Vaihtotarve todetaan poikkeavan raidelevyden perusteella (radantarkastusvaunulla) tai silmä määräisesti, ja se tulee selvittää vuosittain. Huonokuntoisten puupölkkyjen kartoittaminen tulisi suorittaa vasta kesällä, kun pölkkyt ovat kuivuneet. Talvikosteassa tilassa olevat puupölkkyt näyttävät nimittäin todellista kuntoa huonommilla, vaihtokunnon arviointi on tästä syystä vaikeaa. Myös betonisten ratapölkkyjen kunnonarviointi on mielekkäintä toteuttaa kesäisin, mutta vuodenaika ei ole sille varsinainen este kuten pyypölkkyille. (18; 21; 27.)

7.4 Ratakiskoille tehtävät toimenpiteet

Merkittävin ratakiskoon vaikuttavista tekijöistä on sen oikeaoppinen ja riittävä hionta. Suorittamalla ehkäisevää hiontaa voidaan jopa kaksinkertaistaa kiskojen käyttöikä verrattuna siihen, ettei hiontaa suoritettaisi ollenkaan. Lisäksi eräälle kaivosradalle tehdyssä tutkimuksessa on havaittu mahdollisimman oikeaoppisen hionnan lisäävän kiskojen käyttöikää jopa 50 prosentilla verrattuna siihen, että suoritettaisiin vain pakolliset hionnat. Hionnan vaikutuksesta on tehty paljon tutkimuksia ja käytännön kokeita muun muassa Yhdysvalloissa ja Intiassa, koska kiskot ovat merkittävin kuluerä koko päällysrakenteen osalta. Kiskojen hiontaa suoritetaan kolmea erityyppistä, ja ne ovat lueteltuina seuraavalla sivulla.

1. Valmisteleva hionta

Tehdään vain uusille kiskoille. Tulisi tehdä ensimmäisen käyttövuoden aikana. Viimeistele kiskon profiilin ja poistaa mahdolliset, töiden aikana syntyneet törsteet.

2. Ennaltaehkäisevä hionta

Normaali ja säännöllinen kunnossapitotoimenpide, jonka tarkoituksena on poistaa väsynyt metalli, ennen kuin se aiheuttaa halkeilua ja johtaa vakavampiin vaurioihin.

3. Korjaava hionta

Kunnostetaan vaurioitunut kisko, johon on kohdistunut poikkeuksellisen voimakas isku esimerkiksi lovipyörän seurauksena. Hionnan lisäksi voidaan käyttää myös päällehitsausta, mikäli vaurion pois hiomista ei katsota järkeväksi (= hiontaa tarvitaan paljon).

Hionnan lisäksi kiskoille tehdään hajavaihtoja ratapölkkyjen tapaan. Kiskojen osalta hajavaihto suoritetaan vain silloin, kun sen kunnostamisen arvellaan tulevan vaihtotyötä kalliimmaksi. Huonokuntoiset kiskot on vikojen laadusta riippuen mahdollista kierrättää ja siirtää toiselle, alempiluokkaiselle rataosalla uudelleen käytettäväksi. Myös kiskon kääntäminen on tietyissä tapauksissa mahdollista, mikäli siinä havaitaan vain toispuoleista kuluneisuutta. Kääntämistä on hyödynnetty muun muassa kaarteissa, joissa sisäkaarten ja ulkokaarten puoleiset kiskot vaihdetaan toisinpäin.

Kiskojen kriittisimmät ja eniten tarkkailua vaativat paikat ovat niiden liityntäkohdat, eli jatkokset. Puutteellisten tai viallisten jatkosten aiheuttamat vauriot ovat aina vakavia ja saattavat pahimmassa tapauksessa johtaa kiskon katkeamiseen, joka puolestaan muodostaa erittäin vakavan turvallisuusriskin. Jatkoksille voidaan tehdä sideruuvien kiristämistä ja hajavaihtoja. Edellä mainittujen lisäksi voidaan korjata myös kiskossa ilmenneitä taipumia, joiden oikaiseminen voidaan suorittaa mekaanisesti tai liekki-oikaisua käyttäen. Käytettävä oikaisutekniikka riippuu taipuman ominaisuuksista, kuten sen laajuudesta ja jyrkkyydestä. (4; 11; 31.)

7.5 Toimenpiteiden toteuttamisen haasteet

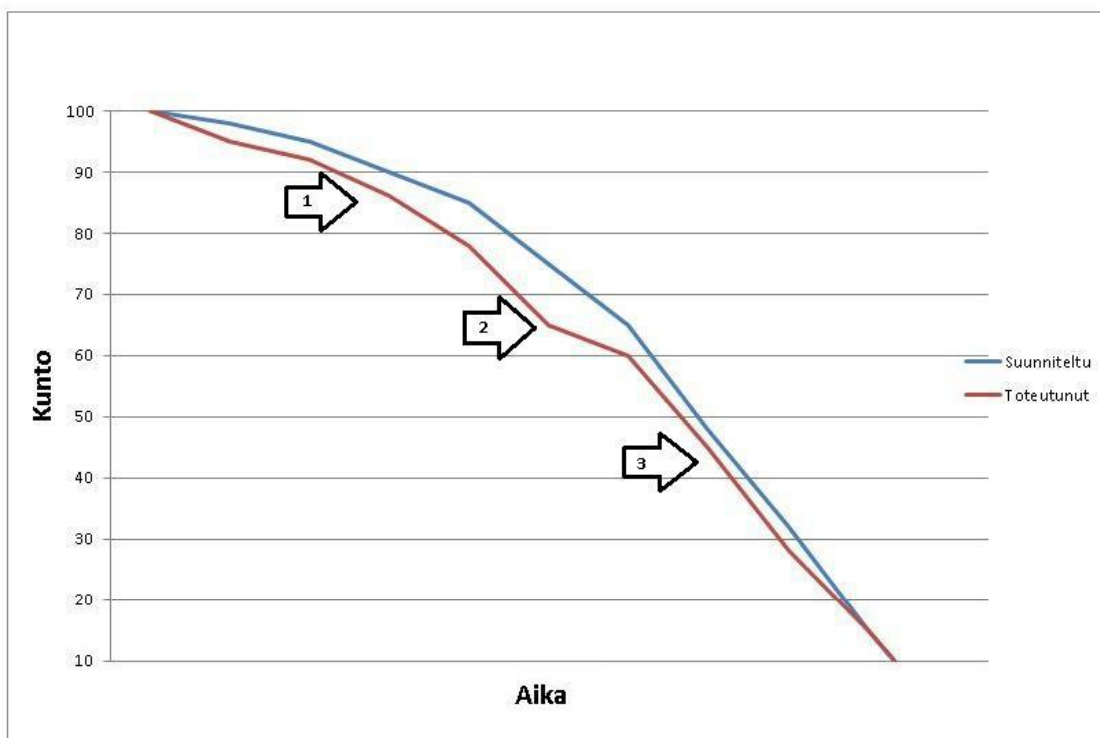
Kunnossapito suunnitellaan vuosittain tammi-helmikuussa ja suunnitteluperusteena ovat radan geometriamittauksen, kiskovikojen ja kokemusperäisesti tiedossa olevien kohteiden tiedot. Suunnittelun tuloksena saadaan muun muassa tukemis-, kiskojenhallinta-, tukikerroksentäydentämis-/muotoilu-, pölkynvaihtoja massanvaihtosuunnitelmat. Esimerkiksi pistemäiset ja toistuvat geometriavirheet korjataan massanvaihdoilla, jonka syvyys on määritetty päällysrakennetöiden yleisissä laatuvaatimuksissa (esim. betonipölkkyraiteella kv-55cm). Suunnitelmaa täydennetään keväällä, jolloin siihen lisätään mahdolliset korjaustarpeet, jotka toteutettavassa kävelytarkastuksessa ja radantarkastuksessa (Emma) on havaittu. Tällöin kuitenkin törmätään usein tilanteeseen, jossa havaitaan, ettei rata ole ohjeiden (RATO ym.) mukaisessa kunnossa ja olisi tarvetta lisätoimenpiteille, mutta käytössä oleva budjetti ei kuitenkaan mahdollista näiden vikojen korjaamista. Havaittuja vikoja joudutaan siis katsomaan läpi sormien ja korjausinvestointeja joudutaan siirtämään.

Oletusarvoisesti kunnossapitäjän tulisi pystyä puuttumaan havaittuihin puutteisiin mahdollisimman nopeasti, jotta vaurioiden edelleen kehittyminen ja siitä aiheutuvat liikennöintihaitat voidaan estää. Tarkemmat vasteajat on määritelty kunnossapitosopimukseen, mutta niiden vaihteluväli on yleisesti nollan ja kahden tunnin välillä. Edellä mainitun sekä rataverkon muiden erityispiirteiden takia tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista, koska liikenteelliset haitat menevät kunnossapidollisten haittojen edelle. Ongelmana on myös se, ettei kunnossapitäjä saa tietoja toteutuneesta liikenteestä tai mahdollisista liikenteen muutoksista, ja tämä vaikeuttaa muun muassa töiden ennakkosuunnittelua. Koska kunnossapitotyöt tehdään pääsääntöisesti junaliikenteen ehdoilla, esimerkiksi kiskonmurtuma tai routaheitto johtaa tällöin paikalliseen nopeusrajoitukseen.

Suurempien vaurioiden korjaamista joudutaan siis usein lykkäämään, koska niitä ei ehditä kunnostaa lyhyemmissä työraoissa. Kunnossapidolle suunnitellavat työraot vaikuttavat suoraan liikennöintikapasiteettiin ja tästä syystä niitä on pyritty jatkuvasti vähentämään. Kaksiraiteisuus parantaa tilannetta huomattavasti, koska se vähentää radan häiriöherkkyyttä ja kasvattaa liikennöintikapasi-

teetin noin nelinkertaiseksi yksiraiteiseen verrattuna. Kaksiraiteisten rataosien määrä on hiljalleen lisääntymässä, koska muun muassa Kokkola-Ylivieska-rataosan muutostyöt ovat tällä hetkellä käynnissä.

Säännöllisten tarkastusten ja seurantalaitteista saatavien tietojen pohjalta suoritettu korjaustarpeen arviointi on isossa roolissa, jotta tarvittavat toimenpiteet osataan ajoittaa mahdollisimman kokonaistaloudellisesti. Tällöin myös häiriökorjausten osuus saadaan mahdollisimman pieneksi, mikä on yksi kunnossapidon pyrkimyksistä. Elinkaarellisesti ajateltuna on tärkeää tietää myös, milloin kunnossapitoa on tarve tehostaa, jotta päästään haluttuun lopputulokseen. Tämä vaatii vertailukohtaksi alustavan mallin, johon nykyistä kuntotilaa peilataan ja jonka pohjalta päätetään tarvittavista toimenpiteistä. Tämänkaltainen tilanne on havainnollistettuna seuraavassa kuvassa 23. (32; 33; 35; 54.)



KUVA 23. Elinkaaren kehittymisen seuranta

Oheisen kuvan 23 kohdassa 1 havaitaan, että toteutunut elinkaari on alkanut jäämään suunnitellusta tavoitteesta. Tilanne ei kuitenkaan vielä ole hälyttävä, joten välittömiä toimenpiteitä ei koeta tarpeellisiksi. Kuvan 23 kohdassa 2 havaitaan, että toteutunut elinkaari on jatkanut laskemista edelleen ja tilanteeseen on

saatava muutos. Tässä kohdassa kartoitetaan tarvittavat toimenpiteet ja aletaan suorittaa muun muassa tehostettua kunnossapitoa, jotta elinkaaren kehityssuunta saadaan käännettyä. Kuvan 23 kohdassa 3 havaitaan, että suoritettujen toimenpiteiden tuoneet halutun vaikutuksen ja tilanne on palautunut toivotunlaiseksi. Lisätoimenpiteitä ei katsota tarpeelliseksi, koska ollaan takaisin suunnitellussa tavoitteessa. Tätä periaatetta tullaan soveltamaan myös tämän selvityksen yhteydessä laadittavassa elinkaarimallissa, jotta lisätoimenpiteiden tarve pystytään tunnistamaan etukäteen ja välttämään päällysrakenteen kunnan äkilliseltä heikkenemiseltä.

8 PÄÄLLYSRAKENTEEN YLIAJO

8.1 Lähtökohdat

Toisinaan elinkaaren lopussa tapahtuvaa kattavaa investointia (perusparannushanketta) ei ole mahdollista välittömästi tehdä ja rata ajetaan tietoisesti elinkaarensa yli. Tällöin radalle tehdään kevyitä investointeja ja tehostettua kunnossapitoa, jotta radan liikennöitävyys saadaan turvattua. Näiden toimenpiteiden päällimmäisenä tarkoituksena on pitää nykyinen palvelutaso yllä ja taata rataosan liikennöitävyyden säilyminen seuraavan, kattavan investoinnin toteutukseen asti. Näillä investoinneilla korjataan siis vain kyseessä olevan rataosan välttämättömimmät ja kriittisimmät paikat. (35; 53.)

8.2 Huomioitavat asiat

Päällysrakenteelle tehtävät toimenpiteet tulisi siis suunnata varsinaisiin ongelmakohtiin, joille suoritetaan niiden kokonaisvaltainen kunnostaminen (korjataan pidemmältä matkalta). Tämänkaltaiset toimenpiteet ovat yleensä järkeviä ja kannattavia, koska ne voidaan huomioida myöhemmin toteutettavassa perusparannushankkeessa. Kokonaisvaltaisesti kunnostetut kohdat voidaan siis ainakin osittain sivuttaa, koska täydelle kunnostukselle ei ole enää tarvetta. Huomioitavaa on kuitenkin se, että tällaisiin paikkoihin saattaa syntyä epäjatkuvuuskohtia (vrt. ratasiltojen päät), joiden kanssa saattaa ilmetä toistuvia ongelmia päällysrakenteen elinkaaren aikana, esimerkiksi routimisen muodossa.

Korjattavien kohteiden kunnostustarpeet tulisi arvioida tapauskohtaisesti ja tarkastella toimenpiteiden vaikutuksia myös toteutettavan perusparannushankkeen kannalta. Näin päästään parhaaseen lopputulokseen ja säästetään sekä aikaa että rahaa. Riittävään tarkastustiheyteen ja tuloksien oikeaoppiseen tulkintaan tulisi kiinnittää erityistä huomiota, jotta ilmeneviin ongelmiin ehditään puuttua mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. (33; 35; 53.)

8.3 Tarvittavat toimenpiteet

Päällysrakenteen kannalta kriittisimpiä kohtia ovat muun muassa kaarteissa olevat sidekiskot, joiden lisäksi tulee kiinnittää huomiota myös muihin oheisessa taulukossa 24 esitettyihin asiakohtiin.

TAULUKKO 24. Elinkaareen jatkamiseksi toteutettavia toimenpiteitä

Nimike	Kunnon toteaminen	Havaittu puute	Korjaava toimenpide
Kaarteissa olevat sidekiskot	1. Radantarkastusvaunu 2. Käsimittaus 3. Kävelytarkastus	Asentovirhe (painauma tms.)	1. Nosto (=ylikorotus) 2. Tukikerroksen vaihto
		Kuluminen	1. Sidekiskojen vaihto 2. Päällehitsaus
		Taipuma	1. Mekaaninen oikominen 2. Liekkioikaisu
Tukikerroksen kunnostaminen	Maatutkaus ja kalibrointinäytteiden otto	Liian suuri hienoaines pitoisuus	Seulonta ja täydentäminen
Raiteen aseman korjaus	1. Radantarkastusvaunu 2. Kävelytarkastus	Raide väärässä asemassa (geometria poikkeama)	Tukeminen
Pölyjen hajavaihdot	1. Radantarkastusvaunu 2. Kävelytarkastus	Halkeama tms. pölkkyä heikentävä tekijä.	Huonokuntoinen ratapölkky vaihdetaan.
Kiskojen hajavaihdot	1. Ultraäänitarkastus 2. Kävelytarkastus	Suosittelun vikatiheyden ylittyminen	Huonokuntoinen kisko korjataan tai vaihdetaan vikojen määrästä ja laadusta riippuen

Kriittisten rakenteiden vaihtotarvetta arvioitaessa tulee muistaa myös niiden uudelleen käyttömahdollisuudet, jotka menetetään, mikäli rakenneosan ominaisuudet heikkenevät sen vaurioitumisen seurauksena. Lisäksi on kokonaistalou-

dellisesti kannattavempaa vaihtaa useampi rakenneosia kerralla kuin yksittäisiä sieltä täältä, ja tämä tehostaa myös kunnossapitoa. (35; 53.)

8.4 Toimenpiteiden kannattavuuden arviointi

Lähtökohtaisesti päällysrakenteen yliajaminen ei ole koskaan järkevää kokonaistaloudellisesti ajateltuna. Tämä johtuu siitä, että tarvittavat toimenpiteet ovat laajuudeltaan huomattavasti niistä saatavia hyötyjä suurempia. Tämän lisäksi lisäkustannuksia syntyy myös radassa olevista rakenteista, jotka joudutaan ajamaan loppuun, eikä niitä pystytä hyödyntämään alempiluokkaisilla rataosilla. Jos yliajamiseen kuitenkin päädytään, rakenteiden kunnan seuranta tulee tehostaa, jotta liikenneturvallisuudesta varmistutaan. Lisäksi tulee muistaa se, ettei yliajamista voida tehdä loputtomiin, koska erinäisiä toimenpiteitä tarvitaan jatkuvasti entistä enemmän ja myös niistä saatavat hyödyt jäävät entistä pienemmiksi. Yleensä ongelmaksi nousee huonokuntoinen tukikerros, koska kuten aiemmin jo todettiin, huonokuntoiset kiskot ja pölkyt soveltuvat käytettäviksi hyvällä tukikerroksella, mutta huonokuntoisella tukikerroksella olevat uudet kiskot ja pölkyt auttavat vain hetkellisesti.

Tukikerrokselle voitaisiin määrittää niin sanottu ”kriittinen parantamistarve”, jonka jälkeen sen kunnan voidaan olettaa romahtavan. Tämä voitaisiin määrittää maatutkauksella (+kalibrointinäytteet) mitatun hienoainespitoisuuden ja radantarkastusvaunulla mitatun raidegeometrian perusteella. Mikäli tukikerroksen hienoainespitoisuus alkaa olla huomattava eikä raide pysy geometriassa, on selvää, että rataosan palvelutaso tulee lähiaikoina romahtamaan, mikäli tukikerrosta ei uusita. (14; 50; 53.)

9 PÄÄLLYSRAKENTEEN ELINKAAREN MITTAROINTI JA TUNNUSLUVUT

9.1 Yleistä

Radan ja sen päällysrakenteen kuntoa seurataan säännöllisesti erilaisten tarkastusten avulla, joista yleisimpiä ovat seuraavat:

- Radantarkastusvaunun suorittamat tarkastukset (EMMA ja ELLI)
- Kiskojen ultraäänitarkastukset
- Kävelytarkastukset
- Laitteiden ja taitorakenteiden tarkastukset (mm. vaihteiden tarkastus)
- Geodeettiset mittaukset

Viimeksi mainittu geodeettinen mittaus tarkoittaa niitä mittauksia, jotka tehdään sitoen mittaukset johonkin koordinaatti- tai korkeusjärjestelmään. Näitä mittauksia tehdään pääasiassa täkymetrin tai vaaituskojeen avulla. Erityyppisten mittauksien tarkastustiheydet määräytyvät kyseessä olevan rataosan kunnossapitotason perusteella ja ovat esitettyinä seuraavassa taulukossa 25.

TAULUKKO 25. Ratojen tarkastustiheydet kunnossapitotaso kohtaisesti (27)

Kunnossapitotaso	Raide	Mittaus tarkastusvaunulla	Tarkastus liikkuvasta kalustosta	Kävelytarkastus	Vaihteiden tarkastus
1 AA	kaikki	6 krt / v	6 krt / v	2-3 krt / v	4 krt / v
1 A	kaikki	6 krt / v	6 krt / v	2 krt / v	4 krt / v
1	kaikki	3 krt / v	6 krt / v	1-2 krt / v	4 krt / v
2	kaikki	2 krt / v	6 krt / v	1-2 krt / v	2-4 krt / v
3	kaikki	2 krt / v	6 krt / v	1-2 krt / v	2-4 krt / v
4	pää	2 krt / v	3 krt / v	1-2 krt / v	2-4 krt / v
	sivu	1 krt / v	3 krt / v		
5	pää	2 krt / v	2 krt / v	1-2 krt / v	1 krt / v
	sivu	1 krt / 3v	1 krt / v		
6	pää	2 krt / v	2 krt / v	1-2 krt / v	1 krt / v
	sivu	1 krt / 3v	1 krt / v		

Edellä mainituista tarkastuksista kertyy runsaasti tietoa, ja niistä laaditaan ohjeiden mukaiset lomakkeet ja raportit. Tätä tietoa on mahdollista koota systemaattisesti sellaiseen muotoon, että tuloksia päästään hyödyntämään kunnossapitotöiden ennakkosuunnittelussa. Tällainen tieto on siis ensiarvoisen tärkeää varsinkin Liikennevirastolle, jonka vastuulla uusien kunnossapitosopimusten laadinta ja kilpailutus on. Nykyisin tarkkojen tietojen toimittamista ei kuitenkaan vaadita ja edellytetä, joten ne jäävät vain asianomaisen kunnossapitäjän tietoon. Tämä asettaa eri kunnossapitäjät eriarvoiseen asemaan ja hankaloittaa kunnossapidon kilpailuttamista, koska nykyinen kunnossapitäjä on ainoa, joka tietää tarkalleen, mitä edellisen viiden vuoden aikana on tapahtunut ja mitä toimenpiteitä on mahdollisesti tulossa.

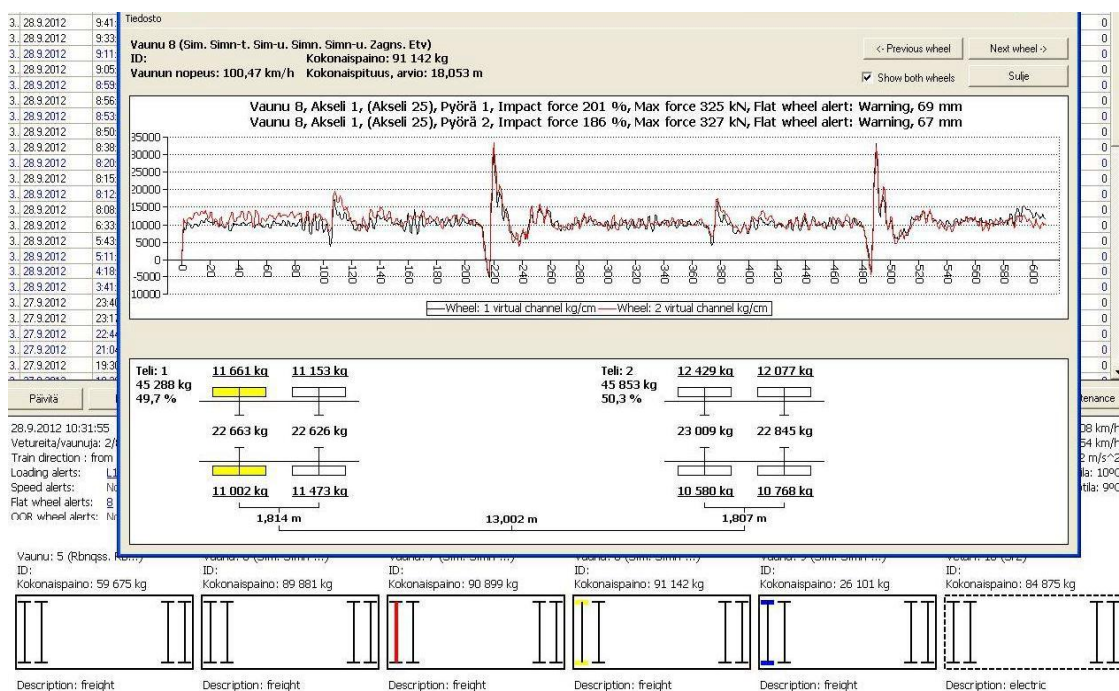
Tähän asiaan on kuitenkin ryhdytty kiinnittämään huomiota, ja esimerkiksi korvausinvestointien osalta vaaditaan nykyisin raporttimuotoinen selostus, joka luovutetaan Liikennevirastolle työn valmistuttua. Tässä raportissa tulee esittää tarkat toimenpiteet tehdyistä töistä sekä esitetään suunnitelma, miten kyseessä olevaa rakennetta tullaan kunnossapitämään. Tämänkaltaista, myöhemmin hyödynnettävissä olevaa aineistoa, tulisi vaatia myös seuraavissa kunnossapitosopimuksissa, jotta kunnossapitäjät saataisiin tulevaisuudessa samalle lähtöviivalle. Vaadittavia aineistoja on kuitenkin syytä tarkastella myös kriittisesti, koska kaikkien tietojen kerääminen ja ylläpitäminen ei ole mahdollista. Tiedonkeruusta ja ylläpidosta aiheutuvat kustannukset voivat myös ylittää niistä saatavan hyödyn, jolloin niiden kerääminen ei ole taloudellisesti järkevää. Kuntotietojen kerääminen ja ylläpidon on arvioitu maksavan muutaman prosentin kunnossapidon kokonaisbudjetista, ja niiden kerääminen voitaisiin sisällyttää tuleviin kunnossapitosopimuksiin. Lisäksi tiedot tulisi saada myös suunnittelijoilta ja urakoitsijoilta, joten myös sopimukseen ja tilauksiin tulisi sisällyttää entistä voimakkaammat ehdot tarvittavien tietojen toimittamisesta.

Huomioitavan arvoinen seikka on myös se, että nykyisin kerättäviä tietoja säilytetään liian vähän aikaa, ja tällä hetkellä suurinta osaa tiedoista säilytetään vain 5-10 vuotta. Päälysrakenteen osalta vain kiskovioista kerättäviä tietoja säilytetään pidemmän aikaa. Lisäksi nykyisin saatavilla olevien tietojen olemassaolosta olisi hyvä tiedottaa laajemmin, jotta niiden hyödynnettävyyttä saataisiin pa-

rannettua. Tietoja ei yksinkertaisesti osaa kaivata, mikäli niitä ei ole aikaisemmin tarvinnut, ja toisaalta myös tiedonkerääminen olisi mielekkäämpää, kun tietää, että niistä on apua tulevaisuudessa myös omassa toiminnassa. (16; 18; 23.)

9.2 Seurantalaitteista ja radantarkastusvaunuista saatavat tiedot

Suomessa käytettävät pyöräilmaisimet tuottavat tietoa kalustosta aiheutuvista pystyvoimista. Pyöräilmaisimella mitatut parametrit käsitellään taustaohjelmiston avulla, joka muodostaa niistä oheisen kuvan 24 mukaisen aineiston.



KUVA 24. Esimerkki pyöräilmaisimesta saatavista tiedoista

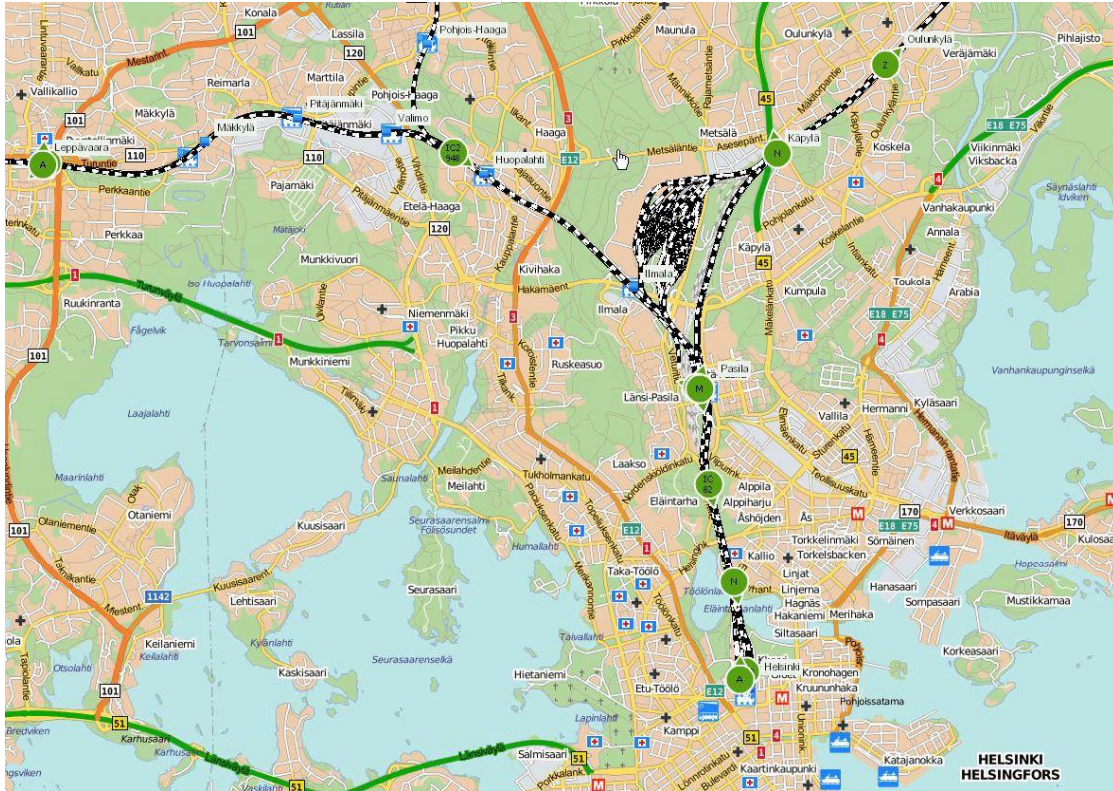
Kuvassa 24 näkyvät ”piikit” ovat merkkejä huonokuntoisesta kalustosta, jonka pyörän kulkupinnassa on puutteita (= lovipyörä tms.). Poikkeuksellisen suuret pyörävoimat lisäävät rakenteiden kulumista ja vaikuttavat laskevasti päällysrakenteen elinkaareen. Tämän lisäksi ne vaikuttavat myös kalustoon, ja niistä on eniten haittaa akseleissa oleville laakereille. Pyöränkulkupinnan laadun seuraaminen on siis otettava huomioon todellisen elinkaaren kehittymistä mallinnettäessä. Pyörävikojen lisäksi pyöräilmaisimista saadaan selville myös junan todellinen paino, ja näitä tietoja yhteenlaskemalla saataisiin selville kuormituksen

todelliset suuruudet. Junapainojen laskentaan olisi hyvä määrittää vastuuhenkilö, jotta niiden käsittely olisi luotettavaa ja koordinoitua, jotta se saataisiin kuvastamaan todellista tilannetta. Huomionarvoinen seikka on myös se, että nykyisin tämän kaltaiset tiedot välittyvät kunnossapitäjien tietoon vuoden viiveellä, joten myös mahdollisten korjausliikkeiden suunnittelussa ollaan jäljessä. Kunnossapitäjät hyötyisivät eniten mahdollisimman reaaliaikaisesta tiedosta, joka olisi tarkkuudeltaan liikennepaikkaväleittäin eikä rataosittain kuten nykyisin. Reaaliaikaisista tiedoista olisi huomattavaa hyötyä myös päällysrakenteen elinkaarimallin seurannassa, jotta lisätoimenpiteiden tarve pystytään päättämään mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. (32; 54.)

Pyöräilmaisimesta saatavien tietojen tehokas hyödyntäminen vaatii automaattisen vaunujen tunnistuksen, ja tästä syystä pyöräilmaisimien yhteydessä on myös RFID-lukijat. RFID (Radio Frequency Identification) on yleisnimitys radioaalloilla toimiville tekniikoille, joita käytetään havainnoinnin ja tunnistamisen apuna. Teknologian toiminta perustuu siihen, että haluttu tieto tallennetaan RFID-tunnisteeseen, jonka jälkeen se voidaan lukea langattomasti RFID-lukijalla. RFID:n idea on siis hyvin samankaltainen viivakoodin kanssa, ja sitä sanotaankin usein ”älytarraksi”. RFID-tunniste on pieni lätkä, joka sisältää sirun ja antennin. Kehittyneemmällä tunnisteella (aktiivinen) tietoa voidaan sekä lukea että kirjoittaa, kun perinteisellä (passiivinen) tunnisteella sitä voidaan ainoastaan lukea. Jokaiseen alueella liikkuvaan vaunuun kiinnitetään siis aktiivinen tai passiivinen tunnistinlätke, jonka avulla pyöräilmaisimen mittaukset saadaan yhdistettyä tiettyyn akseliin. Tämä mahdollistaa vian nopean ja varman löytämisen, jonka lisäksi sillä voidaan seurata myös kaluston kulumista, koska kaikki mittaustiedot yhdistyvät tiettyyn pyöräkertaan. (57.)

Pyörävoimien ja kalustotyyppin lisäksi tulisi tietää myös kyseessä olevan kaluston todellinen nopeus, koska kaluston aiheuttama lisärasite koostuu vaikuttavien tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Esimerkiksi voidaan ottaa vaikka junapaino, jonka aiheuttamat rasitukset riippuvat suuresti myös käytettävästä nopeudesta. Todellinen nopeus saataisiin riittävän tarkasti esimerkiksi GPS-paikannuksen avulla, ja ainakin VR Trackillä on jo nykyisin ”Junat kartalla” sovellus henkilöliikennettä varten (kuva 25), jonka avulla jokainen palvelua käyttävä näkee junien

tarkan sijainnin ja nopeuden (viive 15–30 s). GPS-pohjainen paikannus on siis jo nykyisin arkipäivää rautateillä, joten todellisten nopeuksien haarukointia varten ei tarvita ainakaan paljoa lisäinvestointeja. (15.)

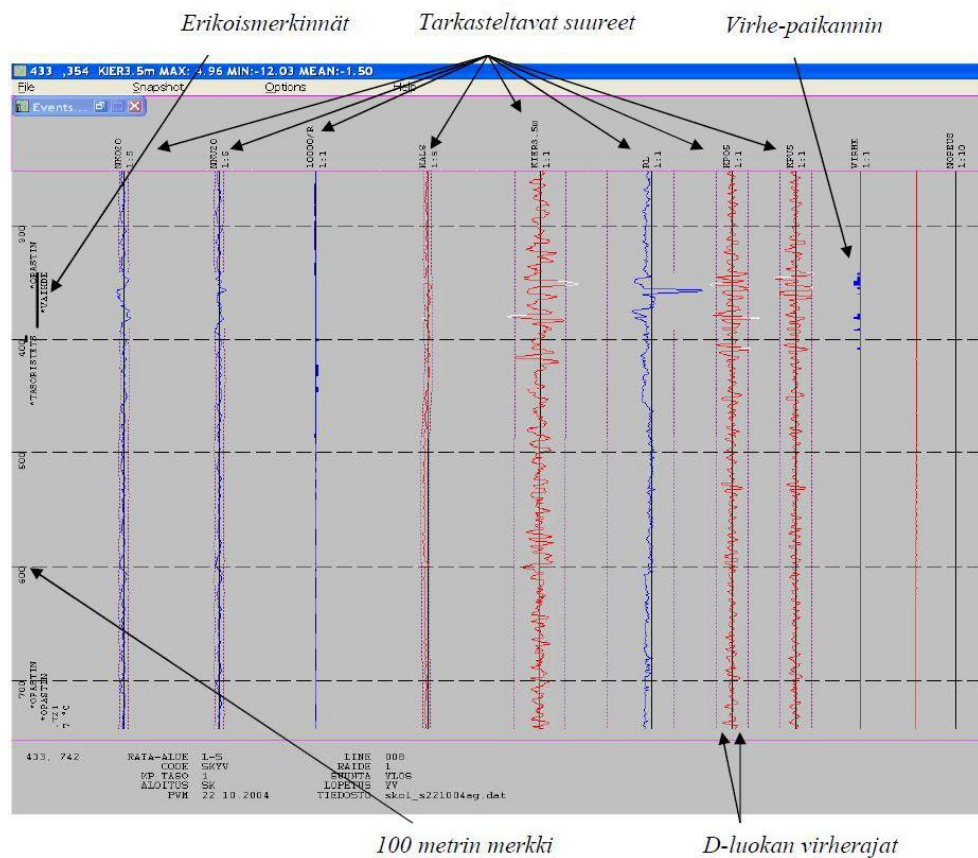


KUVA 25. Kuvakaappaus VR-yhtymän ”junat kartalla”-palvelusta

Kaluston seurannan lisäksi seurataan myös itse ratarakenteita, joiden tarkastamisessa käytetään radantarkastusvaunuja. Tarkastusvaunujen mittauksista saatujen tuloksien analysointivastuu on kyseisen rataosan kunnossapitäjällä. Rataympäristössä on käytössä kaksi erityyppistä tarkastusvaunua, jotka tunnetaan nimillä ”Emma” ja ”Elli”. Emma kulkee kaikki rataosuudet läpi vähintään kaksi kertaa vuodessa, ja nopeimmat rataosuudet tarkastetaan jopa kuusi kertaa vuodessa (ks. taulukko 22, s. 75). Elli puolestaan käy kerran vuodessa läpi kaikki sähköistetyt rataosuudet, joita on tällä hetkellä hieman yli 3000 ratakilometriä. Niin sanottujen rutiinitarkastusten lisäksi molemmille tulee säännöllisesti myös erikseen tilattuja tarkastusajoja, joita tarvitaan muun muassa ratahankkeiden aikana sekä niiden loputtua. Emmalla mitataan raiteen geometriaa, ja sillä saadaan tuotettua seuraavat parametrit:

- Korkeuspoikkeamat
- Kierous
- Raideleveys
- Kallistus
- Nuolikorkeudet

Näiden parametrien pohjalta Emma muodostaa oheisen kuvan 26 mukaisen käyrätulosteesta, josta löydetty puutteet ovat helpommin havainnollistettavissa.



KUVA 26. Esimerkki radantarkastusvaunun tuottamasta käyrätulosteesta (23)

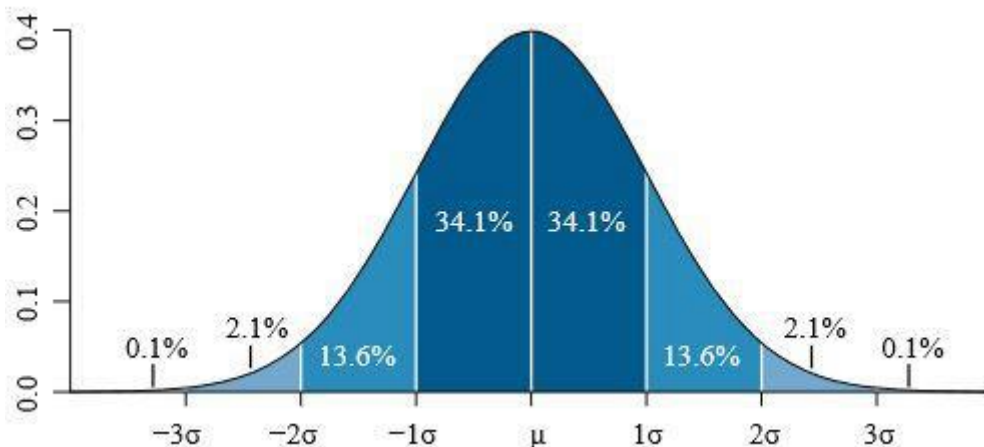
Tulosten tulkinta on samankaltainen pyöräilmaisimen kanssa, sillä myös näissä käyrissä näkyvät piikit ovat merkkejä puutteista. Emma jaottelee virheet kolmeen eri luokkaan, jotka ovat C, D ja *. C-luokan virheet ovat alkavia ja tarkkailua vaativia virheitä, D-luokan virheet tulisi korjata lähitulevaisuudessa ja pahimmat *- luokan virheet on korjattava välittömästi. Virheluokitus on otettu huomioon myös oheisessa käyrätulosteesta, sillä piirityneiden käyrien vieressä on

D-luokan virherajat, joita käytetään yksittäisten kilometrien tulkinnessa. Rajojen ylitykset lasketaan yhteen, ja kyseessä olevan kilometrin laatu määritetään seuraavan taulukon 26 perusteella. (23.)

TAULUKKO 26. Yksittäisen kilometrin virhepisteitys (27)

Arvostelu	D-luokan virhemäärä / kilometri
Kiitettävä	= 0
Hyvä	≤ 10
Tyydyttävä	≤ 25
Epätyydyttävä	> 25

Arvostelussa huomioidaan myös ylimmän *-luokan virheet, jotka tekevät kyseessä olevasta kilometristä automaattisesti tyydyttävän, vaikka D-luokan virhemäärä olisi alle 10. Emman mittauksien perusteella on mahdollista muodostaa myös TQI eli "Track Quality Index", jonka avulla peräkkäisiä mittauksia pystytään vertailemaan. Radantarkastuksessa TQI on keskihajonta, jossa jätetään huomiotta yli 95 prosentin yli menevät arvot, ja tästä syystä keskihajonnan arvo kerrotaan luvulla kaksi, jolloin saadaan kahden keskihajonnan etäisyys. Tämä perustuu siihen, että selvittävät arvot noudattavat normaalijakaumaa, joten kahden keskihajonnan etäisyys rajaa yli 95 prosentin menevät luvut laskennan ulkopuolelle. (23; 47.)



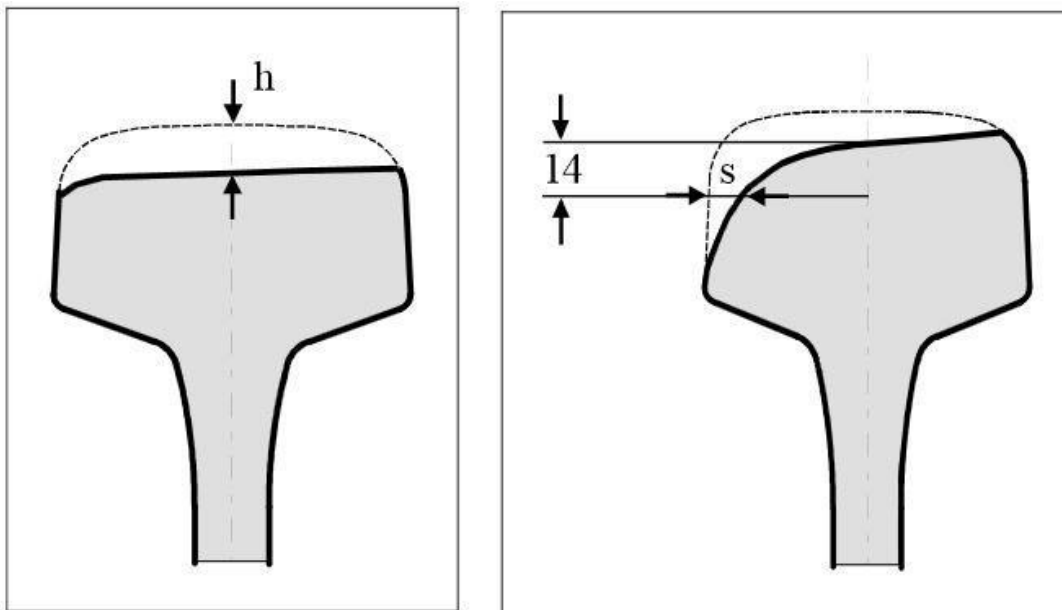
KUVA 27. Normaalijakauma (47)

Radan geometriaan keskittyvän Emman lisäksi on siis myös Elli, joka mittaa ajojohtotietoja ja kiskojen kuluneisuutta. Kuluneisuuden selvittämiseksi mitattua

kiskoprofiilia verrataan alkuperäiseen profiiliin, jolloin kiskon korkeus- ja sivuttaiskuluneisuus saadaan selville. Mitatut korkeus- ja sivuttaiskuluneisuudet yhdistetään niin sanotuksi vertailukuluneisuudeksi, joka lasketaan summaamalla saatuun korkeuskuluneisuuden arvoon puolet sivuttaiskuluneisuuden arvosta. Mikäli korkeuskuluneisuuden arvo on 6 mm ja sivukuluneisuuden 10 mm, niin vertailukuluneisuuden arvo on $6+10/2 = 11$ mm. Tämän jälkeen saatua tulosta verrataan oheisessa taulukossa 27 määritettyihin raja-arvoihin, ja mikäli arvo on sallittua rajaa suurempi, kisko täytyy vaihtaa. (23; 27.)

TAULUKKO 27. Ratakiskon kuluneisuuden raja-arvot (27)

Kisko	Jatkuvakiskoraide [mm]	Muu pääraide [mm]	Sivuraide [mm]
K30	9	11	13
K43	12	14	16
54E1	14	16	18
60E1	14	16	18



KUVA 28. Kiskojen korkeus- ja sivukuluneisuuden tulkinta (27)

Ellin mittaamien tuloksien perusteella kiskoille määritellään myös palvelutaso, joka kertoo kiskojen kunnosta rataosakohtaisesti. Tätä voidaan käyttää muun muassa kiskohionnan ohjaukseen ja vaihtotarpeen määrittämiseen. (23.)

9.3 Seurantalaitteiden kehittäminen

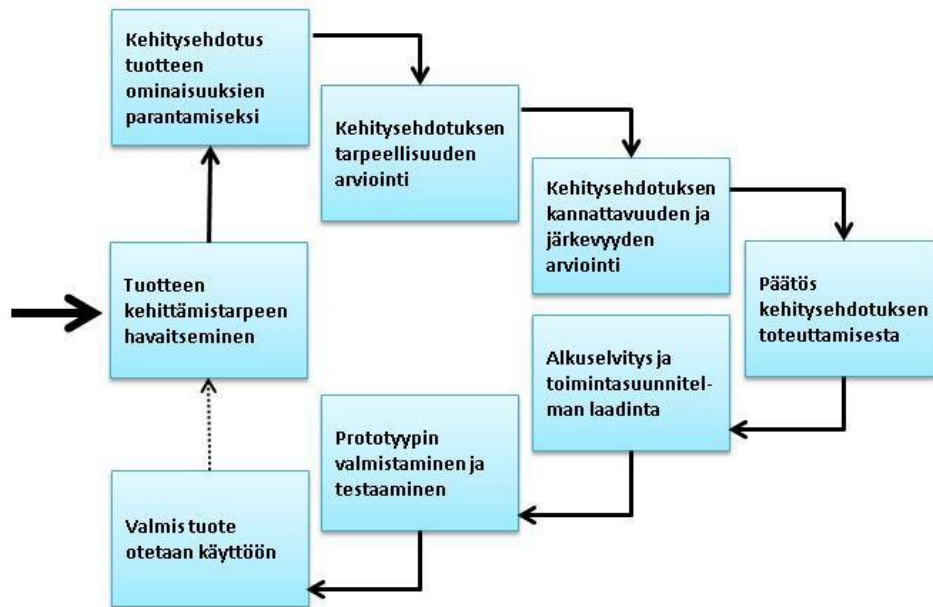
Suomen rataverkolla olevia seurantalaitteita tullaan kehittämään tulevaisuudessa, ja muun muassa pyöräilmaisimista on tarkoituksena saada vaakavoimat mitattua nykyisin saatavien pystyvoimien lisäksi. Mittausta varten kehitetyt anturit ovat tällä hetkellä testauksessa, mutta varsinaisen käyttöönottoajankohdan arviointi on lähes mahdotonta ja se selviää vasta testien valmistuttua. Seurantalaitteiden kehittäminen vaatii aina tarkan taustaselvityksen, jonka pohjalta laadittavaa toimintasuunnitelmaa lähdetään toteuttamaan systemaattisesti. Tällaista toimintatapaa on sovellettu esimerkiksi Suomessa käytettävien kuumakäynti-ilmaisimien kehittämisessä, joiden luotettavuudessa on aikaisemmin ollut ongelmia.

Kuumakäynti-ilmaisimien luotettavuuden parantuminen on saatu aikaan lähinnä uusien ohjeistusten avulla, jotka selkeyttivät aikaisemmin monimutkaista kunnossapitoketjua. Aiheettomia kuumakäyntihälytyksiä aiheutuu kuitenkin huomattava määrä myös nykyisin, joten laitteita pyritään edelleen kehittämään radanpitäjän ja -käyttäjän toimesta. Kuumakäyntivalvonnan luotettavuutta voidaan kehittää parhaiten parantamalla kuumakäynti-ilmaisimen ja liikkuvan kaluston keskinäistä vuorovaikutusta ottaen huomioon myös ulkoiset tekijät (mm. sääolosuhteet). Tämänhetkisten tutkimustuloksien mukaan laakereiden kuumakäynnin osoittavat, että vasemman ja oikean puolen laakereiden liian suurista lämpötilaeroista aiheutuu paljon aiheettomia kuumakäyntihälytyksiä. Tällaiset hälytykset eivät tutkimuksen mukaan kuitenkaan johdu mittalaitteen aiheuttamasta toimintaviasta vaan mittalaitteelle asetetuista hälytysrajoista, joita tulisi kehittää kalustotyyppi kohtaisiksi. Tutkimuksessa ei ilmennyt kuitenkaan jotain tiettyä kalustotyyppiä, jolla olisi ollut merkittävästi enemmän kuumakäyntejä kuin muilla kalustotyypeillä. Edellä mainitut asiat tulee huomioida kuumakäyntivalvonnan kehittämisessä, ja niiden lisäksi tarvitaan käytännössä suoritettavia kokeellisia menetelmiä, joiden avulla laakereiden lämpötilakäyttäytyminen saadaan selville.

(25.)

Kuumakäynti-ilmaisimien ja muiden seurantalaitteiden kehittäminen vaatii siis paljon asiantuntemusta ja tarkkaa taustatyötä, edellä todetun mukaisesti. Lisäk-

si niiden kehitysprosessi on yleensä jatkuvaa, kuten monien muidenkin tuotteiden kohdalla. Tähän vaikuttavat sekä yhdyskunnalliset tarpeet että säädettävät lait ja asetukset. Seuraavassa kuvassa 20 on esitettyä yhdenlainen tuotekehitysprosessi, jota mukailen esimerkiksi seurantalaitteen kehittäminen voisi mahdollisesti edetä.

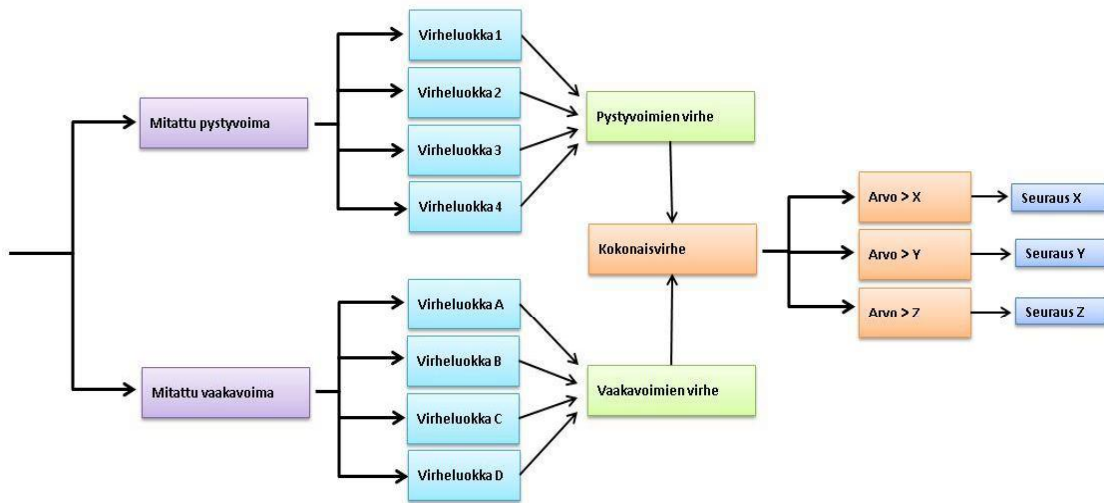


KUVA 29. Esimerkki tuotekehitysprosessin kulusta

Suomessa on tällä hetkellä käynnissä pyöräilmaisimien kehittämishanke, jonka tarkoituksena on saada tuotettua vaakavoimien mittausta nykyisin saatavien pystyvoimien lisäksi. Vaakavoimien mittausta varten kehitettyjä antureita testataan parhaillaan laitevalmistajan toimesta, mutta tarkempaa aikataulua ei ole ainakaan toistaiseksi saatavilla, koska kaikki riippuu testien onnistumisesta. Vaakavoimien mittausta voi kuitenkin olla arkipäivää jo lähivuosien aikana myös Suomessa.

Periaatteessa myös aiemmin puhuttu ”kaluston hyvästä käytöstä palkitseminen” olisi tämän jälkeen mahdollista toteuttaa. Pyöräilmaisimista saataville pysty- ja vaakavoimille voitaisiin määrittää virherajat ja -luokat, joiden ylittämisestä seuraisi tietty toimenpide (esim. hyvitystä) tilanteen mukaan. Virheiden lukumäärät kirjattaisiin tiettyihin virheluokkiin niiden arvojen perusteella, jonka jälkeen ne kerrottaisiin painokertoimien avulla. Tämän jälkeen erisuuruiset virheet voidaan

yhdistää ja kartoittaa niiden kokonaisvaikutuksen suuruus, jonka mukaan tarvittavat toimenpiteet määräytyisivät.



KUVA 30. Ehdotus kaluston kunnosta ja käytöstä aiheutuvien vaikutuksien kartoittamiseksi, pyöräilmaisimesta saatavien tietojen pohjalta

Oheisessa kuvassa 30 esitettyjen tuloksien tulkinta voitaisiin tehdä myös siten, että tarkasteltaisiin sekä vaaka- että pystyvoimia jo alkutilanteessa. Tällöin painokertoimen määrittämisessä otettaisiin huomioon molempien voimien yhteisvaikutus. Painokerroin voitaisiin tällaisessa tapauksessa määrittää esimerkiksi seuraavan taulukon 28 avulla.

TAULUKKO 28. Pyöräilmaisimesta saatujen tietojen painokertoimen määrittäminen

	Pystyvoima > X	Pystyvoima > Y
Vaakavoima > A	Kerroin 1	Kerroin 4
Vaakavoima > B	Kerroin 2	Kerroin 5
Vaakavoima > C	Kerroin 3	Kerroin 6

Edellä mainittujen esimerkkien lisäksi olisi varmasti muitakin hyviä vaihtoehtoja, mutta niiden pohtiminen ei ole tässä vaiheessa järkevää, koska käsiteltäväksi tulevan datan vaihteluväli ei ole selvillä ja toisaalta myös vaakavoimien saata-

vuoden ajankohta ei ole selvillä. Pyöräilmaisimien virherajoja suunniteltaessa on otettava huomioon myös se, että rataverkollamme liikennöi sekä tavara- että henkilöjuna, joiden akselipainoissa on huomattavia eroja. Tästä johtuen virheluokkien raja-arvojen tulee olla tietyssä suhteessa kaluston normaaliin ja keskimääräiseen pyörävoimaan, eli virheluokat vastaisivat tiettyjä prosenttimääräisiä ylityksiä mitatun pyörävoiman keskiarvosta. Pelkät vakioarvot sallisivat liian suuria vikoja alhaisemman akselipainon omaavissa junissa, ja tämä heikentäisi myös turvallisuutta. Ylimmissä virheluokissa voitaisiin myös määrätä välittömiä toimenpiteitä (esim. nopeuden hidastaminen), jotta viallinen kalusto ei ehdi vaikuttaa rakenteiden käyttöikään. Alimpien virheluokkien ylityksistä voitaisiin antaa esimerkiksi korjauskehotuksia, mikäli tämä katsotaan tarpeelliseksi.

Lopuksi kaikkien virheluokkien virheet kerrottaisiin määritetyillä painokertoimilla, ja siitä saatu kokonaisvirhekerroin nostaisi kyseisen junan mitattua bruttotonnimäärää, jolla olisi elinkaarta laskevia vaikutuksia. Näin saataisiin kartoitettua junapainojen todelliset vaikutukset, sillä mitatut junapainot eivät aina vastaa todellisuutta. Virheluokkakohtaisia rajoja tulee myös pystyä säätelemään, koska Suomessa vaikuttavat vuodenaajat olisi hyvä ottaa huomioon. Aikaisemmat havainnot ja tutkimukset ovat osoittaneet, että esimerkiksi kiskot ovat talven pakasten aikaan huomattavasti herkempiä vaurioitumiselle. Tästä syystä pyörävoimien suurimmat arvot ovat haitallisempia, joten virheluokkakohtaisia kertoimia ja sanktioita tulisi näin ollen nostaa. (3.)

Sopivien virheluokkien ja painokertoimien määrittäminen vaatii kalustokohtaisen analyysin tekemistä pyöräilmaisimesta saatujen mittaustietojen pohjalta. Tämä ei kuitenkaan vaatisi kovin pitkän ajan seurantatietoja, koska RFID-lukijat mahdollistavat mittauksien sitomisen tiettyyn pyöräkertaan, ja näin ollen saman pyöräkerran voimien ja sitä kautta kunnon kehittymistä on mahdollista seurata. Näin saataisiin selville myös kalustotyyppikohtaiset painokertoimet, kun suunnilleen saman painoinen mutta erityyppinen kalusto ajaa pyöräilmaisimen yli ja tuottaa erilaisen mittaustuloksen. Myös kaaviossa 7 (s. 57) esitetty kuvaaja saataisiin kalibroitu totuuden mukaiseksi, kun samantyyppisellä kalustolla ajetaan eri painoisena pyöräilmaisimien yli. Pyörävoimien suhteelliset erot kuvaavat oletettavasti hyvin myös kaluston aiheuttamaa kulutusta, joten tämän menetelmä luul-

tavammin onnistuisi. Vertailu tulee tehdä samalla pyöräilmäisimellä mitattujen arvojen pohjalta, jotta ympäristötekijät ja olosuhteet (mm. nopeus) säilyvät samankaltaisina. Toisaalta kaikki tehdyt päätelmät ja niistä saadut tulokset vaikuttavat elinkaarimallin piirtymiseen, ja sitä seuraamalla kalibrointi saadaan toteutettua ikään kuin luonnostaan.

Tulevaisuudessa voitaisiin hyödyntää myös rataosakohtaisesti kuljetettavien tuotteiden ja materiaalien tietoja, koska sillä saattaa olla paikallisia vaikutuksia esimerkiksi tukikerroksen hienoainespitoisuuteen ja sitä kautta sen kestävyys-teen. Esimerkiksi Siilinjärveltä lähtevien pasutekuljetuksien on todettu aiheuttavan paikallisia vaikutuksia, sillä tukikerros oli värjäytynyt kauttaaltaan punaiseksi ja malmin oli näin ollen päässyt sekoittumaan tukikerrokseen. Pasute on rikkihappotuotannon sivutuote, jota voidaan käyttää rautamalmin korvikkeena terästeollisuudessa. Ongelma syntyy siitä, että kyseinen aine on erittäin hienojakoista (pölyä) ja sitä pääsee kulkeutumaan myös vaunujen lavettien päälle, joihin malmin sisältävät kontit lastataan. Lavettien päältä malmi pölisee edelleen radalle liikkeestä syntyvien ilmavirtojen seurauksena. Samankaltaisen tilanteen on aiheuttanut myös 1960-luvun alussa aloitettu malmiliikenne Pyhäkummun ja Ykspihlajan välillä. (54.)

10 PÄÄLLYSRAKENTEEN ELINKAAREN MALLINTAMINEN OULU – KONTIOMÄKI-RATAOSALLE

10.1 Lähtötiedot

Tällä hetkellä Oulu – Kontiomäki-rataosuus kuuluu päällysrakenteen osalta luokkaan C1 ja kunnossapidon osalta luokkaan 1. Rataosa on yksiraiteinen, ja sen pituus on 166 raidekilometriä. Rataosa sähköistettiin vuosien 2004 – 2006 aikana, ja sen kuormitus oli 8,8 miljoona bruttotonnia vuonna 2011. Edellinen perusparannushanke toteutettiin vuosina 1987 – 1993, jolloin puuratapölkkyt uusittiin ja kiskot vaihdettiin 54E1-luokkasiksi. Tukikerrosta ei vaihdettu kokonaan, vaan sitä täydennettiin luokan R1/R2 (vastaa nykyisen luokituksen LA_{RB}12 - luokkaa) raidesepeleillä. Tänä vuonna alkavan perusparannushankkeen yhteydessä tehdään seuraavat toimenpiteet:

1. Vanhat kiskot uusitaan ja vaihdetaan luokkaan 60E1
2. Puiset ratapölkkyt uusitaan ja vaihdetaan betonisiin
3. Tukikerros uusitaan luokan LA_{RB}16 raidesepeleillä

Edellä mainittujen lisäksi tehdään myös rumpujen vaihtoja, mutta laajempi ja kokonaisvaltaisempi kuivatuksen kunnostaminen ei projektin aikataulun puitteissa ole mahdollista. Kuivatuksen mahdollinen toimimattomuus vaikuttaa alusrakenteeseen ja sen routivuuteen, jonka vaikutus säteilee tukikerrokseen ja siitä edelleen pölkkyihin ja kiskoihin. Tällaisten vaikutuksien arvioimiseksi on tehtävä liikaa oletuksia, joten ne joudutaan jättämään huomiotta. Vaikutukset pyritään tietysti kartoittamaan myöhemmin, mikäli niiden todetaan aiheuttaneen ongelmia toteutettavan elinkaarisurannan aikana. (22.)

10.2 Elinkaaren mallintaminen

Oulu – kontiomäki-rataosan perusparannushankkeen jälkeinen kestoikä voidaan määrittää teoreettisesti vain liikennekuormituksen vaikutukset huomioon ottamalla. Tällaisen elinkaaren toteuttaminen vaatii sen, että kaikkien osaluokkien on oltava kunnossa, joten sen seuraaminen sopii erinomaisesti toi-

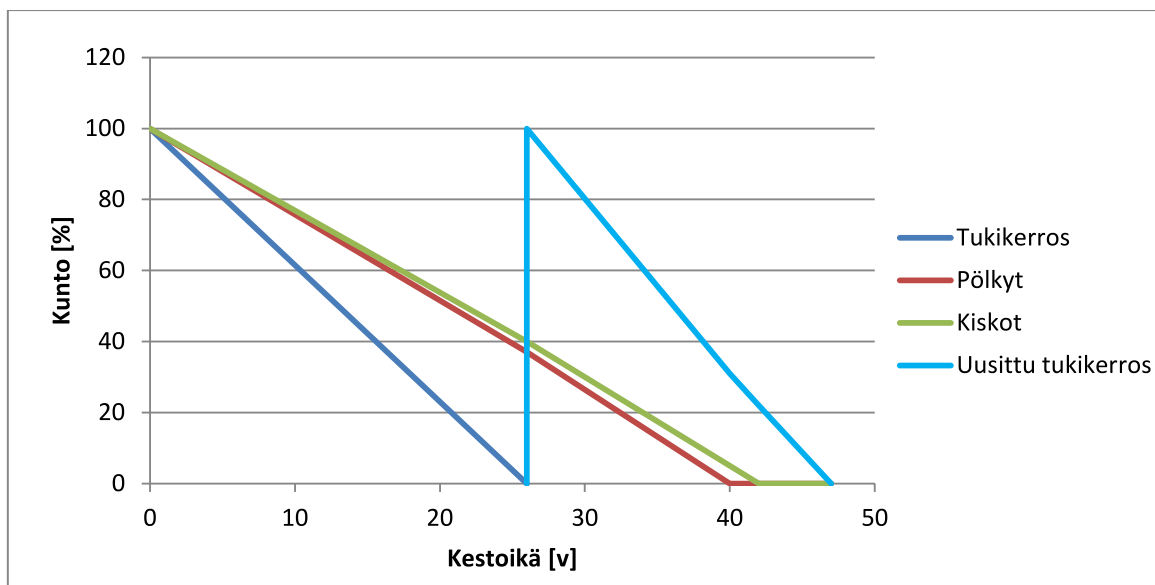
menpiteiden kokonaistaloudellisuuden määrittämiseen ja vastaa näin ollen tämän selvityksen tavoitteisiin. Teoreettisen mallin laadinnassa on huomioitava myös se, että liikennemäärät tulevat kehittymään suuntaan tai toiseen ennen kuin seuraava perusparannushanke on ajankohtainen. Selvityksen aikaisemmassa osiossa määritettiin tilastollisesti, että liikennemäärät tulisivat kasvamaan 0,8 prosenttia vuosittain. Lisäksi tiedetään tarkat toimenpiteet ja käytettävät materiaalit, joten näiden tietojen pohjalta voidaan nyt määritellä Oulu-Kontiomäki-rataosan teoreettinen ja tavoitteellinen elinkaari.

TAULUKKO 29. Oulu – Kontiomäki-rataosan käyttöikätaavoitteen laskeminen

Nimike	Laatu	Kestävyys	Keskimääräinen kuormitus	Käyttöikä tavoite
Tukikerros	LA _{RB} 16	250 Mbrt	8,8...10,7 = 9,7 Mbrt/v	26 vuotta
Pölkkyt	Betoni	40 vuotta	-	40 vuotta
Kiskot	60 E1	450 Mbrt	8,8... 12,3 = 10,6Mbrt/v	42 vuotta

Tukikerroksen vaihto tulee suorittaa ensimmäisenä, arviolta 26 vuoden päästä. Käytettäessä saman luokan kiviainesta sen elinkaari jatkuu hieman edellistä vähemmän, koska liikennemäärät ovat oletettavasti kasvaneet vuosien saatossa. Seuraavan tukikerroksen keskimääräinen kuormitus on 10,7...12,7 = 11,7 Mbrt, joten uusittu tukikerros tulee kestämään 21 vuotta.

Seuraava perusparannushanke tulisi toteuttaa siis 47 vuoden päästä, jolloin tukikerros on jälleen elinkaarensa lopussa. Pölkkyjen ja kiskojen teoreettinen käyttöikä tulee ennemmin vastaan, mutta niiden voidaan olettaa kestävän, mikäli niiden riittävästä kunnossapidosta on huolehdittu asianmukaisesti. Teoreettisesti määritetty tilanne on siis tämän selvityksen yhteydessä laadittavan elinkaarimallin tavoite, johon pääsemistä seurataan ja, mikäli tavoitteesta ollaan jäljessä, osataan ohjata tehostettuja toimenpiteitä asian korjaamiseksi.



KAAVIO 9. Oulu – Kontiomäki-rataosan oletettu elinkaari ennen seuraavaa perusparannushanketta

Oheisessa kaaviossa 9 esitetyt käyrät eivät todellisuudessa tule olemaan näin lineaarisia vaan enemmän haineviä muistuttavia kuvioita. Korjattuja muotoja käytetään kuitenkin varsinaisessa elinkaarimallissa, koska myös havaintojen ja tulkintojen mukaan piirtyvä seurantakäyrä tulee noudattamaan kyseistä muotoa.

10.3 Elinkaaren seurannan toteuttaminen

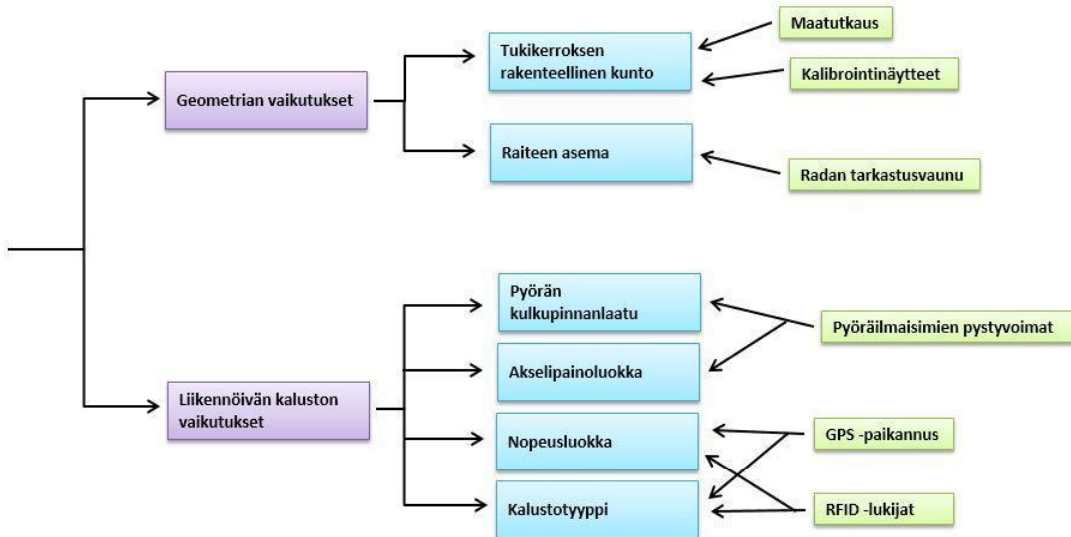
Suoritettujen haastattelujen ja aikaisempien selvityksien pohjalta voidaan todeta, että mitattavia tekijöitä on päällysrakenteen osalta yllättävän vähän. Tällä hetkellä pyöräilmaisimista saatavat pystyvoimat ja radan tarkastusvaunusta saatavat tulokset ovat ainoita säännöllisiä ja jatkuvaksi mittaukseksi luokiteltavia menetelmiä Suomen rataverkolla. Tämä ei kuitenkaan ole varsinainen ongelma, sillä koko päällysrakenteen kunnan kehittyminen riippuu ensisijaisesti tukikerroksesta ja sen alapuolisista osista, kuten aikaisemmin on todettu.

Kaikki oleellimmat kiskoihin ja pölkkyihin vaikuttavista tekijöistä heijastuvat tukikerroksen puutteista tai liikennöivästä kalustosta. Mikäli kalustosta aiheutuvat virheet saataisiin kokonaan poistettua, voitaisiin todeta, että kiskot ja pölkyt kestävät vähintään teoreettisen kestoikänsä verran, mikäli tukikerros pidetään hyvässä kunnossa. Oletuksena tietenkin se, että ne on valmistettu ja asennettu

virheettömästi. Tukikerroksen kuntoa tulisi seurata nykyistä säännöllisemmin, ja tämä voitaisiin suorittaa esimerkiksi maatutkauksen ja näytteenoton avulla. Tästä on saatu hyviä kokemuksia muun muassa vuoden 2012 Kurjenmäki-Kuopio-välin laaduntarkastuksessa, jossa kyseistä menetelmää käytettiin. Myös kalustosta syntyvät vaikutukset ovat nykyisin kartoitettavissa, ja niiden osalta tulisi mittaroida seuraavia parametreja:

1. Pyörän kulkupinnanlaatu => lkm / lovipyörät yms.
2. Akselipainoluokat => lkm / akselipainoluokka
3. Nopeusluokat => t / nopeusluokka
4. Kalustotyyppi => lkm / kalustotyyppi

Oheisille parametreille tulee lisäksi määrittää luokka-/ tyyppikohtaiset painoker-
toimet, koska ääriarvot lisäävät kulumista huomattavasti niiden laskennallista
muutosta enemmän. Seuraavassa kuvassa 31 on havainnollistettuna, miten
erityyppien parametrien kartoittaminen ja mittaaminen voitaisiin nykyisellä lait-
teistolla toteuttaa.



KUVA 31. Päälysrakenteen elinkaaren mittarointi

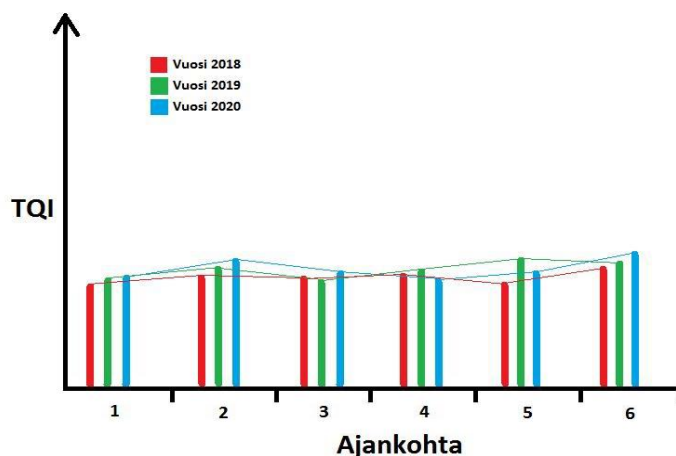
10.4 Elinkaaren seurannassa tarvittavat tiedot ja niiden hyödyntäminen

Päälysrakenteen elinkaarimallin tulisi siis keskittyä ensisijaisesti tukikerroksen ja raiteen geometrian analysointiin, koska näistä aiheutuvat vaikutukset heijas-

tuvat myös pölkkyissä ja kiskoissa ilmeneviin ongelmiin. Näiden lisäksi tulee ottaa huomioon liikennöivä kalusto, jonka vaikutukset suuntautuvat lähinnä kiskoihin. Näiden parametrien kartoittamista varten tarvitaan seuraavien tietojen analysointia:

1. Radantarkastusvaunun tuloksista muodostettu TQI
2. Tukikerroksen maatutkaus (+ kalibrointi näytteiden ottaminen)
3. Pyöräilmaisimella mitattu pystyvoima
4. Pyöräilmaisimella mitattu junapaino
5. RFID -lukijalla saatu kalustotyyppi
6. Kaluston todellinen nopeus

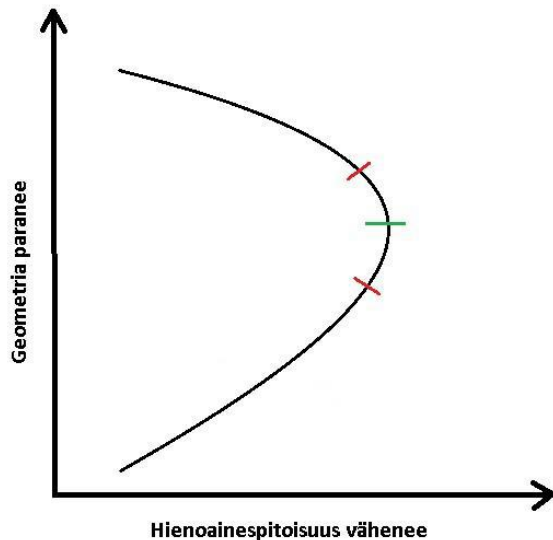
Radantarkastusvaunulla muodostetun TQI:n ja maatutkauksen avulla tarkkailaan tukikerroksen laatua. Maatutkaus ja kalibrointinäytteiden ottaminen tulisi suorittaa hankkeen valmistuttua, jonka jälkeen sitä voitaisiin suorittaa viiden vuoden välein. Radantarkastusvaunulla tullaan ajamaan kuusi kertaa vuodessa (ks. taulukko 25, sivu 76), joten TQI:n tuloksia ehtii tänä aikana kertyä 30 kappaletta. Jokaisen vuoden TQI:n tuloksista piirrettäisiin oma kehityskäyrä oikein kuvan 32 mukaisesti.



KUVA 32. Peräkkäisten TQI -mittausten vertailu

Tämä mahdollistaa peräkkäisten vuosien vertailun lisäksi sen, että viiden vuoden tuloksien pohjalta voidaan määrittää regressiokäyrä, joka kertoo raiteen

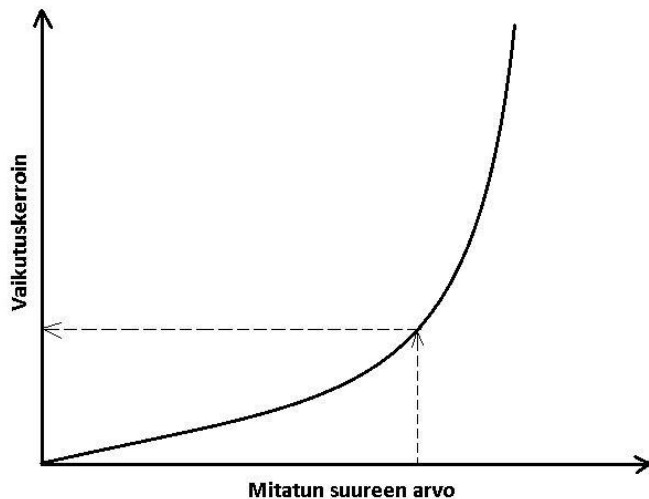
geometrian kehityssuunnasta. Myös maatutkuksesta muodostettaisiin regressiokäyrä, joka kertoo hienoainesmäärän kehittymisestä, ja nämä tiedot antavat hyvät lähtökohdat tukemisen kokonaistaloudellisuuden arviointiin. Hienoaines lisääntyy sekä puutteellisen geometrian että sen parantamiseksi tehtävän tuen seurauksena, joten näiden käyrien kehittymistä analysoimalla voitaisiin määrittää sopiva kompromissi näiden kahden suureen välille.



KUVA 33. Optimaalisen tuentamäärän selvittäminen

Rataosalla liikkuvasta kalustosta tulisi arvioida edellä mainittujen parametrien yhteisvaikutuksia. Käytännössä tämä tehtäisiin siten, että nopeudelle, pyörävoimalle ja kalustotyypille määritettäisiin kertoimet, jotka kerrottaisiin keskenään ja tämä yhteisvaikutus kohdistuisi mitattuun junapainoon. Suureet kasvattaisivat siis mitatun junapainon vaikutuksia, josta aiheutuisi elinkaarta laskevaa lisäkuormitusta. Pyörävoimailmaisimen mittaamat junapainot olisivat siis normaaliakulumista, joka on oletettavasti noin yhdeksän miljoonaabruttotonnia elinkaar-alkuvuosina (ks. kohta 10.1). Tämän lisäksi otetaan huomioon mitattavien suureiden (pyörävoima, nopeus ja kalustotyyppi) vaikutukset, jotka on käsiteltävä laskennallisesti ennen niiden Yhteenlaskemista. Näiden suureiden vaihteluvälit tulee ensin kartoittaa käytännössä, minkä jälkeen niille muodostetaan todennäköiset vaikutuskertoimet. Ensimmäiset vaikutuskertoimet sisältävät jonkin verran oletuksia, mutta ne tarkentuvat seurannan edetessä. Tarkennus voi-

taisiin huomioida myös mahdollisten painotusten avulla, koska suureiden keskinäiset vaikutukset tulevat poikkeamaan toisistaan jonkin verran. Tarvittavan aikaa suoritettun seurannan jälkeen jokaiselle näistä suureista saadaan määritettyä tietyt käyrämuodot, joita niiden vaikutukset noudattavat.



KUVA 34. Mitatun suureen vaikutuskertoimen määrittäminen

Kaikista suureista piirtyneet käyrät noudattavat todennäköisesti oheisessa kuvassa esitettyä muotoa, koska vaikutusten suuruudet kasvavat lineaarisesti vain tiettyyn rajaan asti, jonka ylittämisen jälkeen tietyn lisäyksen vaikutukset moninkertaistuvat. Käsittelyn helpottamiseksi oheisille käyrille määritetään myös kaavat, jotta jokaista arvoa ei tarvitse tulkita erikseen. Kertoimien määrittämisen jälkeen lasketaan suureiden yhteisvaikutus, jonka jälkeen saadaan sen aiheuttama lisäkuormitus selville. Yksinkertaisimmillaan tämä voidaan hoitaa esimerkiksi seuraavan taulukon 30 tapaan.

TAULUKKO 30. Esimerkki kalustosta aiheutuvan lisäkuormituksen määrittämisestä

Pyörävoima	Nopeus	Kalustotyyppi	Yhteisvaikutuskertoimen	Junnainpaine	Kokonaisvaikutus	Lisäkuormitus
1,10	0,90	1,40	$1,1 \times 0,9 \times 1,4 = 1,386$	1500t	$1,386 \times 1500 = 2079 \text{ t}$	$2079 \text{ t} - 1500 \text{ t} = 579 \text{ t}$

10.5 Elinkaarimallin haasteet ja luotettavuuden arviointi

Laadittavan elinkaarimallin luotettavuuden arvioimisen voidaan todeta olevan käytännössä mahdotonta, koska sen arvioimiseksi tarvittaisiin seurantatietoja usean vuoden ajalta. Uuden elinkaarimallin luotettavuus alkaa hahmottua siis vasta sen käyttöönottamisen myötä. Yksi suurimmista epävarmuustekijöistä syntyy Suomen ja Venäjän välisistä kuljetuksista, jotka ovat merkittävässä roolissa myös Oulu – Kontiomäki-rataosalla. Myös yhteiskunnallisten tarpeiden ja säännösten muuttuminen hankaloittaa elinkaaren määrittämistä, koska niiden muuttuminen voi pahimmassa tapauksessa romuttaa aikaisemmin laaditun elinkaarimallin. Jos tarkasteltavalla rataosalla päätetään suorittaa esimerkiksi akselipainonnosto, niin aikaisemmin laadittuun elinkaareen on tehtävä korjauksia, koska elinkaari jää huomattavasti alkuperäistä lyhyemmäksi.

Edellä mainituista syistä esimerkiksi Yhdysvalloissa ei käytetä varsinaista elinkaarimallinnusta, vaan rataympäristön kartoitus toteutetaan rataosakohtaisen palvelutason ja budjetin perusteella. Käytännössä tämä hoidetaan siten, että kartoitetaan kunkin rataosan tarpeet käyttäjien pohjalta. Tämä voidaan hoitaa esimerkiksi kyselyn avulla, jolla selvitetään vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

- Minkälaisen palvelutason asiakkaat vaativat?
- Paljonko he ovat valmiita maksamaan tästä palvelutasosta?
- Paljonko rahaa tämän palvelutason ylläpitäminen vaatii?
- Onko tämän palvelutason ylläpitäminen järkevää ja kannattavaa? (32.)

Vastauksien avulla saavutetaan lopputulos, jossa rataosan palvelutaso suhteutetaan asiakkaiden vaatimuksien ja käytettävissä olevaan rahan perusteella. Tätä menetelmää käytettäessä asiakas siis käytännössä saa mitä tilaa.

Elinkaarimallinnus kuitenkin soveltuu myös rataympäristöön, kunhan ymmärretään ja muistetaan sen pääajatus: Elinkaarimallissa on kyse pitkän aikavälin kehittämisestä, joten ensimmäiset mallit ovat ensimmäisiä arvauksia. Olosuhteiden muuttuminen ja aikaisempien arvioiden vääräksi paljastuminen ovat siis mallinnusprosessiin kuuluvia kokonaisuuksia, jotka kuitenkin lopulta johtavat luotettavaan ja käyttökelpoiseen ratkaisuun. Lähtökohtaisesti kaikki käytettävissä-

sä oleva tieto tulisi tallentaa ja käyttää ennusteisiin, analyysihin tai vaihtoehtoisten toimenpiteiden miettimiseen. Näiden tulosten ja niiden perusteiden tallentaminen ja seuraaminen kertoo sitten myöhemmin, miten hyvin tehdyt oletukset osuivat oikeaan. (9; 32; 55.)

11 YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET

Tämän selvityksen päällimmäisenä tavoitteena oli laatia käytännönläheinen toimintamalli radan päällysrakenteen elinkaaren mallintamista ja seurantaan varten. Tarkasteltavana kohteena oli Oulun ja Kontiomäen välinen rataosa, jonka perusparannushanke oli juuri käynnistymässä. Työssä selvitettiin päällysrakenteen elinkaareen vaikuttavat tekijät, joista oleellisimpina voidaan pitää koneellista tuentaa, kiskohiontaa ja liikennekuormitusta. Näiden tekijöiden käytännön vaikutuksien kartoittamiseksi perehdyttiin aikaisempiin tutkimuksiin, joiden lisäksi tehtiin niitä täydentäviä haastatteluja.

Tutkimustyön ja haastattelujen pohjalta kävi ilmi, että suurin osa kiskoihin ja pölkkyyihin vaikuttavista tekijöistä heijastuu tukikerroksen puutteista, mikäli ne on valmistettu ja asennettu virheettömästi. Tästä syystä kehitettävässä elinkaari-mallissa päätettiin keskittyä tukikerroksen laadun ja raiteen geometrian tarkkailuun, jonka lisäksi huomioitiin myös liikennöivän kaluston aiheuttamat vaikutukset. Liikkuvan kaluston aiheuttama kokonaisvaikutus muodostuu useista eri lähteistä, joten päädyttiin mittaroimaan junapainon, kalustotyyppin, nopeuden ja akselikuorman välistä yhteisvaikutusta. Näiden tekijöiden mittarointiin kehitettiin toimintasuunnitelma, jonka lähtökohtana oli se, että se olisi toteutettavissa nykyisin käytössä olevan tekniikan avulla. Tämä mahdollistaa myös sen, että elinkaaren seuranta ja mittarointia pystytään toteuttamaan heti perusparannushankkeen valmistumisesta alkaen. Ensimmäinen jatkotoimenpide olisikin aloittaa Oulun ja Kontiomäen välisen rataosan elinkaariseuranta, jotta kaikki perusparannushankkeesta syntyvät tiedot saadaan analysoitavaksi alusta asti ja myös töiden aikana tehdyt havainnot osataan ottaa huomioon.

Päällysrakenteen elinkaaren kehittymisen seuranta päätettiin toteuttaa radan-tarkastusvaunulla ja maatutkauksella, joilla tarkkaillaan tukikerroksen laatua ja raiteen geometriaa. Kaluston seuranta suunniteltiin toteutettavaksi pyöräil-maisimien, RFID-tekniikan ja GPS-paikannuksen avulla. Pyöräilmaisimien avulla saataisiin selville kaluston aiheuttama akselikuorma ja junapaino. Tämän lisäksi pyöräilmaisimien yhteydessä on myös RFID-lukijat, joiden avulla mitatut

suureet saadaan yhdistettyä tiettyyn akseliin, ja samalla saataisiin selville myös kalustotyyppi. GPS-paikannusta voitaisiin käyttää kaluston todellisen nopeuden määrittämisessä, joka on viimeinen kaluston kokonaisvaikutuksien arvioimiseksi vaadittava tekijä. GPS-paikannus on myös jo nykyisin arkipäivää, koska esimerkiksi VR Trackilla on olemassa ”Junat kartalla” -sovellus, josta matkustajajunien kulkua voidaan seurata lähes reaaliajassa. Mikään näistä menetelmistä ei siis vaatisi suurempia investointeja, koska kyseinen tekniikka on jo ainakin osittain otettu käyttöön.

Elikaarimallin ideoimisen jälkeen pohdittiin vielä sen luotettavuutta heikentäviä tekijöitä, joista päällimmäisiksi nousi liikennemäärien kehittyminen, erityisesti Venäjän ja Suomen välisien kuljetuksien osalta. Näillä kuljetuksilla on huomattava merkitys myös Oulu – Kontiomäki-rataosalla, joten niiden kehityssuunta tulee vaikuttamaan ainakin pidemmän aikavälin seurannassa. Muut epävarmuustekijät muodostuvat lähinnä vähäisten lähtötietojen ja niiden puutteesta tehtyjen olettamuksien kautta. Osalle tarvittavista parametreista saatiin myös määritettyä niiden suuruusluokat, jotta on edes jonkinlainen käsitys siitä, missä suhteessa erilaiset suureet toisiinsa nähden vaikuttavat. Toinen jatkotoimenpide koskee muiden suureiden vaikutusluokkien kartoittamista, joita olisivat muun muassa kiskovikojen vaikutuksien selvittäminen ja analysoiminen. Kiskoihin syntyvät pintaviat tulisi saada minimoitua, koska kaikki niistä eivät lähde hiomalla, ja näin ollen joudutaan turvautumaan muihin kunnostusmenetelmiin (esim. päällehitsaus). Tämä on hidasta ja aikaa vievää, joten se työllistää kunnossapitoa huomattavasti perinteistä kiskonhiontaa enemmän. Mikäli kiskovikojen kehitymisestä aiheutuvat käytännön vaikutukset tunnettaisiin nykyistä paremmin, pystyttäisiin määrittämään kiskonhionnan optimaalinen määrä ja päättämään myös lisähionnan tarpeesta (vrt. kuva 33, sivu 94).

Seurantalaitteiden ja radantarkastusvaunujen mittaustarkkuudet ovat nykyisellään riittäviä, joten suurimman vaikutuksen niistä saatujen tuloksien luotettavuuden muodostaa niiden oikea tulkinta. Muun muassa radantarkastusvaunujen tekemien mittausten analysointi vastuu on kunnossapitäjällä, joten tulkinnasta syntyviä eroavaisuuksia ei voida kokonaan sulkea pois. Selvityksen aikana nousi selkeästi esille myös se, että vaikka kunnossapidon tarpeisiin olisi luotet-

tava ja optimaalinen toimintamalli, sitä ei välttämättä pystytä noudattamaan rataverkon erityispiirteistä johtuen. Päällimmäisenä tekijänä on nykyisin vallitseva käsitys siitä, että liikenteelliset haitat ovat kunnossapidolle koituvia haittoja suurempia, ja näin kunnostustoimenpiteet joudutaan suunnittelemaan täysin liikenteen ehdoilla. Kolmas jatkotoimenpide koskisi näiden haittojen vertailemista ja sen pohjalta tehtävää analyysiä, jotta saataisiin kehitettyä yhteiset pelisäännöt siitä, milloin kunnossapidolliset haitat ovat liikenteellisiä haittoja suurempia. Nykyisin yhteisiä pelisääntöjä ei ole, ja tästä syystä kunnossapitotoimet oletetaan toisarvoisiksi eikä osata huomioida vaurioiden edelleen kehittymisestä ja nopeusrajoituksista aiheutuvien vaikutusten suuruutta.

Olosuhteiden muuttuminen ja aikaisempien arvioiden vääräksi paljastuminen ovat kuitenkin elinkaaren mallinnusprosessiin kuuluvia kokonaisuuksia, jotka kuitenkin lopulta johtavat luotettavaan ja käyttökelpoiseen ratkaisuun. Alustava elinkaarimalli pystytään siis tässä selvityksessä esitettyjen periaatteiden avulla muodostamaan, ja sen luotettavuutta pystytään parantamaan seurannan edetessä. Lisäksi eräiden parametrien vaikutusten luokittelu on olisi järkevää tehdä vasta tietyn aikaisen seurannan jälkeen. Esimerkiksi kalustosta aiheutuvien lisäkuormitusten kartoittamiseksi ja luokitteluksi on ensin tunnettava, minkä suuruusluokan parametrejä kyseessä olevan rataosan seurantalaitteista saadaan.

LÄHTEET

1. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 11 Radan päällysrakenne. 2002. Ratahallintokeskus. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_11_radan_paallysrakenne.pdf
Hakupäivä 12.11.2013.
2. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 15 Radan kunnossapito. 2002. Ratahallintokeskus. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_15_radan_kunnossapito.pdf
Hakupäivä 14.11.2013.
3. Korkeamäki, Samuel 2011. Rataan kohdistuva kuormitus liikkuvan kaluston ja radan vuorovaikutuksessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 4/2011. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/idcprod/groups/public/@l102/@web/@p/documents/liit/p033631.pdf>
Hakupäivä 16.11.2013.
4. Tuominen, Marko 2004. Rautatieinfrastruktuurin elinkaarikustannukset. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 3/2004. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_2004-a3_rautatieinfrastruktuurin_elinkaarikustannukset_web.pdf
Hakupäivä 16.11.2013.
5. Koskela, Oona-Lina 2011. Ratojen elinkaariajattelu ja ratahankkeiden kannattavuuslaskennan ongelmat. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 8/2011. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/idcprod/groups/public/@l102/@web/@p/documents/liit/p033599.pdf>
Hakupäivä 18.11.2013.
6. Virtala, Pentti – Äijö, Juha 2011. Liikenneväylien korjausvelka: laskentamallin kehitys ja testaus. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 42/2011.

Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-42_liikennevaylien_korjausvelka_web.pdf

Hakupäivä 19.11.2013.

7. Rautateiden verkkoselostus 2013. 2011. Liikennevirasto. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lv_2011-02_rautateiden_verkkoselostus_web.pdf

Hakupäivä 20.11.2013.

8. Tuominen, Arttu 2010. Rataverkon luokittelun vertailu kantavuuden mukaan. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2010. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2010-21_rataverkon_luokittelun_web.pdf

Hakupäivä 20.11.2013.

9. Kuula-Väisänen, Pirjo - Nurmikolu, Antti 2012. Kirjallisuusselvitys ratarakenteiden elinkaaritaloudellisuuden arvioinnista. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 1/2012. Saatavissa:

<http://www.tut.fi/idcprod/groups/public/@l102/@web/@p/documents/liit/p033598.pdf>

Hakupäivä 2.12.2013.

10. Liikennetilastollinen vuosikirja 2012. 2012. Tilastokeskus. Saatavissa:

http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/julkaisuluettelo/ylii_lii_201200_20128307_net.pdf

Hakupäivä 3.12.2013.

11. Kauppinen, Mikko 2011. Ratakiskon elinkaari. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 01/2011. Saatavissa:

<http://www.tut.fi/idcprod/groups/public/@l102/@web/@p/documents/liit/p033633.pdf>

Hakupäivä 3.12.2013.

12. Kolisoja, Pauli – Nurmikolu, Antti 2010. Sepelinpuhdistuksen vaikutukset raideseppelin ominaisuuksiin. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä

11/2010. Saatavissa:

<http://www.tut.fi/idcprod/groups/public/@l102/@web/@p/documents/liit/p033621.pdf>

Hakupäivä 9.12.2013.

13. Heikka, Antti 2012. Äänekoski - Saarijärvi radan päällysrakenteen uusiminen: Työmaan laatusuunnitelma. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
14. Talman, Jani 2013. Rautateiden ylläpidon kustannuslaskennan kehittäminen. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
15. Piironen, Tuomas 2010. Sijaintiin perustuva liikkuvan kaluston pyörän laipan voitelu. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 3/2010. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2010-03_sijaintiin_perustuva_web.pdf
hakupäivä 3.1.2013.
16. Reiman, Liisa-Maija 2012. Selvitys radanpitoon liittyvistä rekistereistä. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
17. Soininen, Suvi 2013. Ratojen routaongelmat Suomessa. Espoo: Aalto yliopisto, yhdyskunta- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.
18. Hyvärinen, Jakke 2013. Radan päällysrakenteen kunnonhallinnan kehittäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, liikennealan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
19. Selenius, Juho 2012. Radan päällysrakennesuunnittelun vaatimukset. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
20. Kerokoski, Olli – Nurmikolu, Antti – Rantala, Tommi 2013. Betoniratapölkyn rakenteellinen toiminta ja vaurioitumismekanismi: kirjallisuusselvitys. Liiken-

neviraston tutkimuksia ja selvityksiä 36/2013. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-36_betoniratapolkyn_rakenteellinen_web.pdf

Hakupäivä 6.1.2013.

21. Kerokoski, Olli – Köliö, Arto – Nurmikolu, Antti – Rantala, Tommi 2013. Betoniratapolkyn rakenteellinen toiminta ja vaurioitumismekanismit: Ratapolkyn mekaanisen toiminnan ja rapautumisen kokeellinen ja laskennallinen arviointi. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 37/2013. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-37_betoniratapolkyn_rakenteellinen_web.pdf

Hakupäivä 14.1.2014.

22. Helaja, Olli-Pekka 2010. Routimisen ehkäisy ratarakenteessa kuivatusta parantamalla. Lappeenranta: Saimaan ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

23. Raiteen tarkastustulokset ja niiden tulkinta. 2002. Ratahallintokeskus. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_radantarkastusohjeita_raiteentarkastustulokset.pdf

Hakupäivä 15.1.2014.

24. Akselipainon noston tekniset edellytykset ja niiden soveltuminen Luumäki - Imatra rataosuudelle. 2007. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 1/2007. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_2007-](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_2007-a1_akselipainon_noston_web.pdf)

[a1_akselipainon_noston_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_2007-a1_akselipainon_noston_web.pdf)

Hakupäivä 20.1.2014.

25. Nurmentie, Markku 2010. Rautateiden liikkuvan kaluston pyöränlaakereiden kuumakäynti-ilmaisimien mittaustietojen seurannan kehittäminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 9/2010. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2010-09_rautateiden_liikkuvan_web.pdf

Hakupäivä 23.1.2014.

26. Luomala, Heikki – Nurmikolu, Antti – Peltokangas, Ossi 2013. Radan pystytuunainen jäykkyys ja sen mittaaminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 6/2013. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-06_radan_pystytuunainen_web.pdf
Hakupäivä 23.1.2014.
27. Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO) osa 13 Radan tarkastus. 2004. Ratahallintokeskus. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_13_radn_tarkastus.pdf
Hakupäivä 4.2.2013.
28. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 20 Ympäristö ja rautatiealueet. Liikenneviraston ohjeita 18/2012. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-18_rato_20_web.pdf
Hakupäivä 4.2.2013.
29. Murskatun kalliokiviaineksen hienoneminen ja routivuus radan rakennekeroksissa. 2004. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 4/2004. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_2004-a4_murskatun_kalliokiviaineksen_web.pdf
Hakupäivä 5.2.2014.
30. Nilsson, Jan-Eric 2003. Restructuring Sweden's railways: The unintentional deregulation. VTI särtryck 356A. Saatavissa:
<http://www.vti.se/sv/publikationer/pdf/restructuring-swedens-railways-the-unintentional-deregulation.pdf>
Hakupäivä 6.2.2014.
31. Melamies, Markku. VR Track Oy. Puhelinhaastattelu 11.2.2014.
32. Lane, Kevin. CC Infra Oy. Haastattelu 13.2.2014.
33. Mäkitupa, Seppo – Viitala, Tuomo. Liikennevirasto. Haastattelu 18.2.2014.

34. Nurmikolu, Antti. Tampereen teknillinen yliopisto. Puhelinhaastattelu 21.3.2014.
35. Poussu, Teemu. Liikennevirasto. Opinnäytetyöpalaverit 31.10.2013, 11.11.2013, 16.12.2013, 24.1.2014 ja 17.3.2014.
36. Pisara-rata: Yleissuunnitelman tiivistelmä. 2011. Liikennevirasto ja Helsingin kaupunki. Saatavissa:
http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/hankkeet/suunnitteilla/pisara/tietoa_pisarasta/Pisaran_YSn_tivistelmaraportti_netti.pdf
Hakupäivä 21.2.2014.
37. Rataverkonkuvaus 1.1.2014. Liikenneviraston väylätietoja 5/2013. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lv_2013-05_rataverkon_kuvaus_web.pdf
Hakupäivä 24.2.2013.
38. Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 5/2013. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-05_teiden_ja_ratojen_web.pdf
Hakupäivä 24.2.2013.
39. Taimela, Reijo 2011. Raidegeometrian suunnittelu. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 22/2011. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-22_raidegeometrian_suunnittelu_web.pdf
Hakupäivä 25.2.2014.
40. Hiramata, Junji – Hirota, Yukihiko – Nagase, Kazuhiko – Omchi, Tamaki – Tanabe, Naoki 2004. Study on the Factors Which Cause the Wheel Skidding of JR Ltd. Express EMUs. Saatavissa:
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmec/47/2/47_2_488/_pdf
Hakupäivä 25.2.2014.
41. Ratojen alusrakenteissa käytettyjen materiaalien routimisherkyys. 2008. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 7/2008. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_2008-a7_ratojen_alusrakenteissa_web.pdf

Hakupäivä 26.2.2014.

42. Senses Lost - Online Arts and Culture Magazine. Earthquake Turns Train Tracks to Spaghetti, 10.11.2010. Saatavissa:
<http://senseslost.com/2010/11/10/earthquake-turns-train-tracks-to-spaghetti/>

Hakupäivä 26.2.2014.

43. Suomen rautatietilasto 2013. Liikenneviraston tilastoja 9/2013. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti_2013-09_suomen_rautatietilasto_2013_web.pdf

Hakupäivä 27.2.2014.

44. Annual Market Monitoring Report 2/2013. IRG–Rail. Saatavissa:
<http://www.irg-rail.eu/public-documents/2013/>

Hakupäivä 27.2.2014.

45. Liikenneviraston verkkosivut. Saatavissa: www.liikennevirasto.fi

46. SFS-EN 13450. 2004. Raidesepelikiviainekset. Kansallinen soveltamisohje. Liikennevirasto.

47. Wikipedia, the free encyclopedia. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

48. Pekkarinen, Saara – Tervonen, Juha 2011. Radan kulumisen rajakustannukset 1997–2009. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 58/2011. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-58_radan_kulumisen_web.pdf

Hakupäivä 27.2.2014.

49. Nurmikolu, Antti 2011. Ratarakenteessa käytettävien kalliomurskeiden hioneminen ja routimisherkyys, Kokeellinen tutkimusosuus. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 9/2006. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_2006-a9_ratarakenteessa_kayttavien_web.pdf

Hakupäivä 28.2.2014.

50. Passi, Tuomo 2007. Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnan arvioinnissa. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 8/2007. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_2007-a8_maatutkatekniikan_hyodyntaminen_web.pdf

Hakupäivä 28.2.2014.

51. Haapalahti, Antti – Lane, Kevin – Seppä, Jussi 2010. Kuntoanalyysien uudet mallit. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 14/2010. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2010-14_kuntoanalyysien_uudet_web.pdf

Hakupäivä 28.2.2014.

52. Siirtola, Marko 2012. Ennakoivan kunnossapitotoiminnan kehittäminen.

Tampere: Tampereen Ammattikorkeakoulu, tekniikan koulutusohjelma.

Opinnäytetyö.

53. Saarela, Kimmo. Ramboll Infrapalvelut Oy. Sisäiset palaverit ajalla

1.10.2013 – 8.4.2014.

54. Kosonen, Mauri. Ramboll Infrapalvelut Oy. Sähköpostikeskustelut 1.4.2014

ja 8.4.2014.

55. Äijö, Juha. Ramboll Finland Oy. Sähköpostikeskustelut 28.1.2014 ja

10.3.2014.

56. Päälysrakennetöiden yleinen työselitys. 2004. Ratahallintokeskus. Ratahallintokeskuksen julkaisuja D 16. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_d16_paallysrakennetoiden_yleinen_tyoselitys.pdf

Hakupäivä 4.3.2013.

57. RFIDLab Finland ry:n verkkosivut. Saatavissa: <http://www.rfidlab.fi/>

LIITTEET

Liite 1 Haastattelulomake 1, tukikerros

Liite 2 Haastattelulomake 2, kiskot

Liite 3 Haastattelulomake 3, seurantalaitteet

Päiväys	____.____.2014	Paikka	
Vastaaja (Nimi/Yritys)			

Selvitys	Radan päällysrakenteen elinkaari selvitys
Selvityksen kuvaus	<p>Radan elinkaareen liittyviä tutkimuksia on vuosien varrella tehty useita, mutta yhdessäkään niistä ei ole rajattu ja yksilöity selvitystä riittävän tarkasti, jotta lopputuotteena saataisiin jotain käytännön työympäristöön soveltuvaa.</p> <p>Monen tutkimuksen loppupäätelmissä todetaan myös, että jatkossa tietoa tulisi kerätä tarkemmin ja yksilöidymmin. Nämä neuvot ovatkin olleet lähtökohtana tätä selvitystä suunniteltaessa.</p> <p>Selvitys tehdään Oulu – Kontiomäki perusparannushankkeen tiimoilta ja siinä keskitytään päällysrakenteeseen (pl. vaihteet). Tarkastelu tehdään koko Oulu – Kontiomäki väliltä.</p> <p>Työ on muodoltaan opinnäytetyö, jonka tekijänä on Henri Maarala Oulun seudun ammattikorkeakoulusta ja se suoritetaan ammattikorkeakoulujen opinnäytetyövaatimusten mukaan.</p> <p>Virallisina yhteistyötahoina toimivat Liikennevirasto ja Ramboll Infrapalvelut Oy.</p> <p>Selvityksen tekemisessä hyödynnetään aiheesta aiemmin tehtyjä selvityksiä ja tutkimuksia, joiden lisäksi suoritetaan täydentäviä haastatteluja.</p>
Haastattelun tarkoitus	<p>Tämän haastattelun päällimmäisenä tarkoituksena on saada yhdistettyä käytännön kokemukset saatavilla olevan aineiston kanssa.</p> <p>Sitä kautta päästään lopputulokseen, joka vastaa mahdollisimman lähelle todellista tilannetta ja tämä mahdollistaa luotettavien tuloksien aikaan saamisen.</p> <p>Luotettavien tuloksien aikaan saaminen taas on selvityksen onnistumisen edellytys.</p> <p>Haastattelut ovat siis erittäin tärkeässä roolissa koko työtä ajatellen ja tästä syystä vastaajille annetaan mahdollisuus tuoda vapaasti esille myös omat ajatuksensa ja näkökantansa lopussa olevassa ”Vapaa sana” kohdassa.</p> <p>Jos esimerkiksi jotain selvityksen kannalta oleellista jäi mielestäsi uupumaan, eivätkä valmiiksi laaditut kysymykset siihen ottaneet kantaa niin erityisesti näiden asioiden esiin nostaminen olisi tärkeää.</p> <p>Kaikki vastaukset käsitellään luottamuksellisesti.</p>

KYSYMYKSET

1. Mitkä tekijät määräävät tukikerroksen elinkaaren lähtökohdat?

esim. käytettäväksi valitun kiviaineksen laatu

2. Mitkä tekijät lyhentävät tukikerroksen elinkaarta sen käytön aikana? Miten?

esim. raiteen tuenta

=> jauhaa sepeliä => vesi jää tukikerrokseen => nopeuttaa jauhautumista

3. Onko tekijöitä, jotka pidentävät tukikerroksen elinkaarta sen käytön aikana?

esim. sepelin puhdistus?

4. Miten näiden tekijöiden vaikutuksien laajuudet saadaan kartoitettua? Mitä tietoja on saatavilla ja mistä ne saadaan?

esim. pyydetään tietyn rataosan tuentakertojen määrä kunnossapitäjältä

5. Ovatko nämä tiedot täysin luotettavia ja absoluuttisia?

esim. eri kunnossapitäjien välisissä käytännöissä on eroavaisuuksia?

6. Miten näiden tietojen luotettavuutta voitaisiin parantaa?

esim. laaditaan yhteinen toimintamalli, jota kaikkien tulee käyttää

7. Miten tiedot voitaisiin muuntaa normaalia liikennekuormitusta vastaavaan yksikköön eli bruttotonneiksi?

esim. yksi tuenta kerta vastaa xxx brt

VAPAA SANA

Päiväys	____.____.2014	Paikka	
Vastaaja (Nimi/Yritys)			

Selvitys	Radan päällysrakenteen elinkaari selvitys
Selvityksen kuvaus	<p>Radan elinkaareen liittyviä tutkimuksia on vuosien varrella tehty useita, mutta yhdessäkään niistä ei ole rajattu ja yksilöity selvitystä riittävän tarkasti, jotta lopputuotteena saataisiin jotain käytännön työympäristöön soveltuvaa.</p> <p>Monen tutkimuksen loppupäätelmissä todetaan myös, että jatkossa tietoa tulisi kerätä tarkemmin ja yksilöidymmin. Nämä neuvot ovatkin olleet lähtökohtana tätä selvitystä suunniteltaessa.</p> <p>Selvitys tehdään Oulu – Kontiomäki perusparannushankkeen tiimoilta ja siinä keskitytään päällysrakenteeseen (pl. vaihteet). Tarkastelu tehdään koko Oulu – Kontiomäki väliltä.</p> <p>Työ on muodoltaan opinnäytetyö, jonka tekijänä on Henri Maarala Oulun seudun ammattikorkeakoulusta ja se suoritetaan ammattikorkeakoulujen opinnäytetyövaatimusten mukaan.</p> <p>Virallisina yhteistyötahoina toimivat Liikennevirasto ja Ramboll Infrapalvelut Oy.</p> <p>Selvityksen tekemisessä hyödynnetään aiheesta aiemmin tehtyjä selvityksiä ja tutkimuksia, joiden lisäksi suoritetaan täydentäviä haastatteluja.</p>
Haastattelun tarkoitus	<p>Tämän haastattelun päällimmäisenä tarkoituksena on saada yhdistettyä käytännön kokemukset saatavilla olevan aineiston kanssa.</p> <p>Sitä kautta päästään lopputulokseen, joka vastaa mahdollisimman lähelle todellista tilannetta ja tämä mahdollistaa luotettavien tuloksien aikaan saamisen.</p> <p>Luotettavien tuloksien aikaan saaminen taas on selvityksen onnistumisen edellytys.</p> <p>Haastattelut ovat siis erittäin tärkeässä roolissa koko työtä ajatellen ja tästä syystä vastaajille annetaan mahdollisuus tuoda vapaasti esille myös omat ajatuksensa ja näkökantansa lopussa olevassa ”Vapaa sana” kohdassa.</p> <p>Jos esimerkiksi jotain selvityksen kannalta oleellista jäi mielestäsi uupumaan, eivätkä valmiiksi laaditut kysymykset siihen ottaneet kantaa niin erityisesti näiden asioiden esiin nostaminen olisi tärkeää.</p> <p>Kaikki vastaukset käsitellään luottamuksellisesti.</p>

KYSYMYKSET

1. Mitkä tekijät määräävät kiskon elinkaaren lähtökohdat?

esim. kiskon valmistukseen käytetyn teräksen laatu

2. Mitkä tekijät lyhentävät kiskon elinkaarta sen käytön aikana? Miten?

esim. viallinen kalusto (lovi pyörät) => pinta vikoja => korroosio => nopeuttaa kulumista

3. Onko tekijöitä, jotka pidentävät kiskon elinkaarta sen käytön aikana?

esim. kiskon hionta?

4. Miten näiden tekijöiden vaikutuksien laajuudet saadaan kartoitettua? Mitä tietoja on saatavilla ja mistä ne saadaan?

esim. kuumakäynti-ilmaisimet

5. Ovatko nämä tiedot täysin luotettavia ja absoluuttisia?

esim. ulkolämpötilan vaihtelu haittaa kuumakäynti-ilmaisimiin asetettujen rajojen toimivuutta

6. Miten näiden tietojen luotettavuutta voitaisiin parantaa?

esim. laakerin lämpötilaa tulisi verrata toisiin laakereihin, eikä ulkoilmaan

7. Miten tiedot voitaisiin muuntaa normaalia liikennekuormitusta vastaavaan yksikköön eli bruttotonneiksi?

esim. yksi hionta kerta vastaa xxx brt

VAPAA SANA

Päiväys	____.____.2014	Paikka	
Vastaaja (Nimi/Yritys)			
Selvitys	Radan päällysrakenteen elinkaari selvitys		
Selvityksen kuvaus	<p>Radan elinkaareen liittyviä tutkimuksia on vuosien varrella tehty useita, mutta yhdessäkään niistä ei ole rajattu ja yksilöity selvitystä riittävän tarkasti, jotta lopputuotteena saataisiin jotain käytännön työympäristöön soveltuvaa.</p> <p>Monen tutkimuksen loppupäätelmissä todetaan myös, että jatkossa tietoa tulisi kerätä tarkemmin ja yksilöidymmin. Nämä neuvot ovatkin olleet lähtökohtana tätä selvitystä suunniteltaessa.</p> <p>Selvitys tehdään Oulu – Kontiomäki perusparannushankkeen tiimoilta ja siinä keskitytään päällysrakenteeseen (pl. vaihteet). Tarkastelu tehdään koko Oulu – Kontiomäki väliltä.</p> <p>Työ on muodoltaan opinnäytetyö, jonka tekijänä on Henri Maarala Oulun seudun ammattikorkeakoulusta ja se suoritetaan ammattikorkeakoulujen opinnäytetyövaatimusten mukaisesti.</p> <p>Virallisina yhteistyötahoina toimivat Liikennevirasto ja Ramboll Infrapalvelut Oy.</p> <p>Selvityksen tekemisessä hyödynnetään aiheesta aiemmin tehtyjä selvityksiä ja tutkimuksia, joiden lisäksi suoritetaan täydentäviä haastatteluja.</p>		
Haastattelun tarkoitus	<p>Tämän haastattelun päällimmäisenä tarkoituksena on saada yhdistettyä käytännön kokemukset saatavilla olevan aineiston kanssa.</p> <p>Sitä kautta päästään lopputulokseen, joka vastaa mahdollisimman lähelle todellista tilannetta ja tämä mahdollistaa luotettavien tuloksien aikaan saamisen.</p> <p>Luotettavien tuloksien aikaan saaminen taas on selvityksen onnistumisen edellytys.</p> <p>Haastattelut ovat siis erittäin tärkeässä roolissa koko työtä ajatellen ja tästä syystä vastaajille annetaan mahdollisuus tuoda vapaasti esille myös omat ajatuksensa ja näkökantansa lopussa olevassa ”Vapaa sana” kohdassa.</p> <p>Jos esimerkiksi jotain selvityksen kannalta oleellista jäi mielestäsi uupumaan, eivätkä valmiiksi laaditut kysymykset siihen ottaneet kantaa niin erityisesti näiden asioiden esiin nostaminen olisi tärkeää.</p> <p>Kaikki vastaukset käsitellään luottamuksellisesti.</p>		

KYSYMYKSET

1. Mitä seurantalaitteita Suomen rataverkolla on?

esim. kuumakäynti-imaismia

2. Mitä tietoja näistä saadaan ja miten niitä hyödynnetään?

esim. havaitsee pyöränlaakerin kuumenemisen => estää akselivaurion ja mahdollisen vaaratilanteen

3. Miten nopeaa tai missä vaiheessa näihin tietoihin voidaan reagoida ja miten niihin reagoidaan?

*esim. kuumakäyntijärjestelmä antaa heti hälytyksen liikenteenohjaukselle => liikenteenohjaus ilmoittaa kuumasta laakerista kuljettajalle => juna pysäytetään välittömästi tai seuraavaan mahd. paikkaan.
Reagointiaika = muutamia kymmeniä sekunteja.*

**4. Ovatko saatavat tiedot täysin absoluuttisia ja luotettavia?
Miten luotettavuutta voitaisiin parantaa?**

*esim. ulkolämpötilan vaihtelu haittaa kuumakäynti-ilmaisimiin asetettujen rajojen toimivuutta
=> laakerin lämpötilaa tulisi verrata toisiin laakereihin, eikä ulkoilmaan*

5. Miten seurantalaitteita on tarkoitus kehittää tulevaisuudessa? Onko käynnissä olevia tutkimuksia?

esim. uusia laitteita? vaakavoimien mittaus pyöräilmaisimista?

6. Olisiko liikennöitsijöitä mahdollista palkita rataverkon hyvästä käytöstä?

esim. kun kalustoa käytetään oikeaoppisesti, siitä seuraa ratamaksu hyvitystä tms.

7. Voitaisiinko seurantalaitteista saatavia tietoja muuntaa normaalia liikennekuormitusta vastaavaan yksikköön eli bruttotonneiksi?

esim. yhden lovipyörän havaitseminen vastaa xxx brt

VAPAA SANA