

Henri Seppälä

**RAIDEGEOMETRIAN LAADUN PARANTAMINEN
LASEROHJATULLA TUENNALLA**

**RAIDEGEOMETRIAN LAADUN PARANTAMINEN
LASEROHJATULLA TUENNALLA**

Henri Seppälä
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, yhdyskuntatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Henri Seppälä

Opinnäytetyön nimi: Raidegeometrian laadun parantaminen laserohjatulla tuennalla

Työn ohjaajat: Kalle Hyry, kalustopäällikkö, Destia Rail Oy

Jarmo Erho, lehtori, Oulun ammattikorkeakoulu

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017 Sivumäärä: 59 + 12 liitettä

Suomen valtion rataverkko edellyttää jatkuvaa kunnossapitoa, jotta junilla voidaan liikennöidä turvallisesti ja energiatehokkaasti. Raiteen tukeminen on yksi keskeisimmistä radoilla tehtävistä kunnossapitotöistä. Se on työtä, josta kunnossapitäjää joko sanktioidaan tai siitä annetaan bonusta riippuen työn laadusta.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia laserohjattua tuentaa, joka käsittää nosto- ja sivuttaissiirtolaserin käytön. Laserohjattu tuenta on yksi tarkkuusmenetelmän muodoista. Destia Rail Oy:n tukemistöissä on aikaisemmin käytetty vain sivuttaissiirtolaseria, mutta työn laadun dokumentointi on ollut vähäistä. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin sekä sivuttaissiirto- ja nostolaserin käyttöä.

Radan oikealla geometrialla voidaan vaikuttaa ratatekniikan keskeisiin asioihin, kuten matkustusmukavuuden parantamiseen. Radan oikean geometrian kannalta tärkeimpänä voidaan pitää tarkastusvaunuajoja, joita rataverkolla tehdään tietyin aikaväleihin. Tarkastusajojen mittaustuloksista kohdennetaan tukemistarpeet oikeille alueille.

Tutkimus toteutettiin kesällä 2016. Tuloksien analysoinnin perusteella todettiin laserohjatun tuennan olevan tarkin menetelmä (Murtomäki) – Talvivaara rataosalla. Laserohjatulla tuennalla oli selvästi havaittavissa laadukkaampi työn tulos kuin perinteisellä tarkkuusmenetelmällä, joka perustuu nosto- ja siirtoarvoihin 20 metrin välein.

Asiasanat: Rautatie, raiteet, kunnossapito, tukeminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Civil Engineering, Option of Municipal Engineering

Author: Henri Seppälä

Title of thesis: Improvement of Track Geometry by using Combined Longitudinal Level and Alignment Laser

Supervisors: Kalle Hyry, Fleet Manager, Destia Rail Ltd

Jarmo Erho, Lecturer, Oulu University of Applied Sciences

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017

Pages: 59 + 12 appendices

Finland's railway track network is a vital element of transportation systems and requires constant maintenance. Tamping is one key element on the maintenance work. Depending on the quality of the maintenance work sanction or incentive bonus can be given.

The objective of this thesis was to examine the combined longitudinal level and alignment laser tamping which is the one form of the precision method. Destia Rail Ltd has used laser guided tamping before but only the alignment laser tamping has been used. The documentation of former laser tamping usage was relatively low. In this thesis both longitudinal and alignment laser tamping were analyzed.

Correct geometry of track can be influence of track's central matters such as passenger comfort and vehicle ride. Following track maintenance, there is a need to regularly monitor the geometric quality of the track to ensure that it has not fallen below the minimum standard set. This is a crucial factor that terminates where tamping is allocated.

The laser guided tamping tests were done in the summer of 2016 at Murtomäki – Talvivaara track section. The results show that laser guided tamping was the most accurate form of tamping in this track section. The study results indicate that with this method there was clearly a better quality compared to the precision method which is based on target values in every 20 meters.

Keywords: Railways, tracks, maintenance, tamping

ALKULAUSE

Haluan kiittää opinnäytetyön tilaajaa Destia Rail Oy:n kiskokalusto –yksikön kalustopäällikköä Kalle Hyryä, jolta olen oppinut paljon. Kiitokset Kallelle myös erittäin mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta. Kiitos opinnäytetyön ohjajalle lehtori Jarmo Erholle. Kiitos myös kiskokaluston kalustovastaavalle Heikki Väisäselle ja kaikille muille Destia Rail Oy:n työntekijöille keitä haastattelin. Suuri kiitos perheelleni, pojalleni Lemmylle ja vaimolleni Hannalle, joka jaksoi tukea minua opinnoissa ja tutkielman teon aikana.

Oulussa maaliskuussa 2017

Henri Seppälä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 RATAVERKON KUNNOSSAPITO	10
2.1 Liikenneviraston kilpailutus	11
2.2 Kunnossapidon toteuttaminen	12
2.3 Laatutavoitteet	14
3 RAITEEN GEOMETRIA JA TUKEMINEN	21
3.1 Raiteen geometria	21
3.1.1 Siirtymäkaaret ja kallistusviisteet	22
3.1.2 Korikaari ja S-kaari	24
3.2 Raiteen tukemisen periaatteet	24
3.2.1 Suhteellinen menetelmä	26
3.2.2 Tarkkuusmenetelmä	27
3.3 Kunnossapitotuenta	31
3.4 Läpituenta	32
3.5 Raiteen luontainen laatu	33
4 TUKEMISKONEIDEN OHJAUSTIETOKONEET	35
4.1 Automaattinen ohjaustietokone ALC	35
4.2 Data recording processor DRP	36
4.3 Controller Measuring System CMS	37
5 DESTIA RAIL OY	38
5.1 Destia Rail Oy:n tukemiskoneet	38
5.1.1 Yhdistelmätukemiskoneet	38
5.1.2 Linjatukemiskoneet	43
5.2 Tukemiskoneet maailmalla	44
6 (MURTOMÄKI) – TALVIVAARA LASERTUENTA	47
6.1 Rataosa (Murtomäki) – Talvivaara	47

6.2 Tutkimuksen toteutus ja tulokset	49
7 YHTEENVETO	53
LÄHTEET	55
LIITTEET	59

SANASTO

Johtokisko	Tukemiskoneelle määritelty kisko, jota tukemiskone nostaa ennalta määrätyn mukaisesti. Kaarteissa se on aina sisempi kisko.
Kunnossapito	Toimenpiteitä tai yksittäinen toimenpide, joilla rata-alue, rakenteet ja laitteet pidetään käyttökunnossa.
Kunnossapitäjä	Organisaatio tai sen edustaja, joka radanpitäjän toimeksiannosta pitää rataa tai sen osaa liikennöitävässä ja liikenneturvallisessa kunnossa.
Raide	Koostuu ratapölkkyistä, rataakiskosta, ja rataakiskojen kiinnitys- ja jatkososista sekä vaihteista ynnä muista raitteen erikoisrakenteista.
Sulkumerkit ()	Tarkoittavat, että sulkumerkkien välissä oleva kohde ei kuulu luetteloitavaan asiaan.
TQI	Track Quality Index on arvo, joka karakterisoi raitteen geometristä laatua pohjautuen parametreihin ja mittaukseen, jotka ovat yhteensopivia standardin EN 13848 sarjojen kanssa.
Tukikerros	Pitää raitteen geometrisesti oikeassa asemassa ja asennossa.
Vaihde	Raitteen liityntäkohta, jolla voidaan ohjata liikenne raitteelta toiselle.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli antaa perustietoa tukemiskoneista ja tukemismenetelmistä, erityisesti lasertuennasta ja sen soveltuvuudesta Suomen rata-verkolle. Työn tavoitteena oli tutkia laserohjattua raiteen tukemismenetelmää ja verrata saatuja tuloksia yleisesti käytettyyn tarkkuusmenetelmään, joka perustuu raiteen nosto- ja siirtoarvoihin eli nuotitukseen. Destia Rail Oy:llä on aikaisemmin käytetty laserohjattua tuentaa, mutta dokumentointi on ollut vähäistä ja siitä saatuja tietoja ei ole hyödynnetty. Maailmalla tehtyjä tutkimuksia laserin käytöstä on, mutta laadun vertailua muihin tukemismenetelmiin ei ollut.

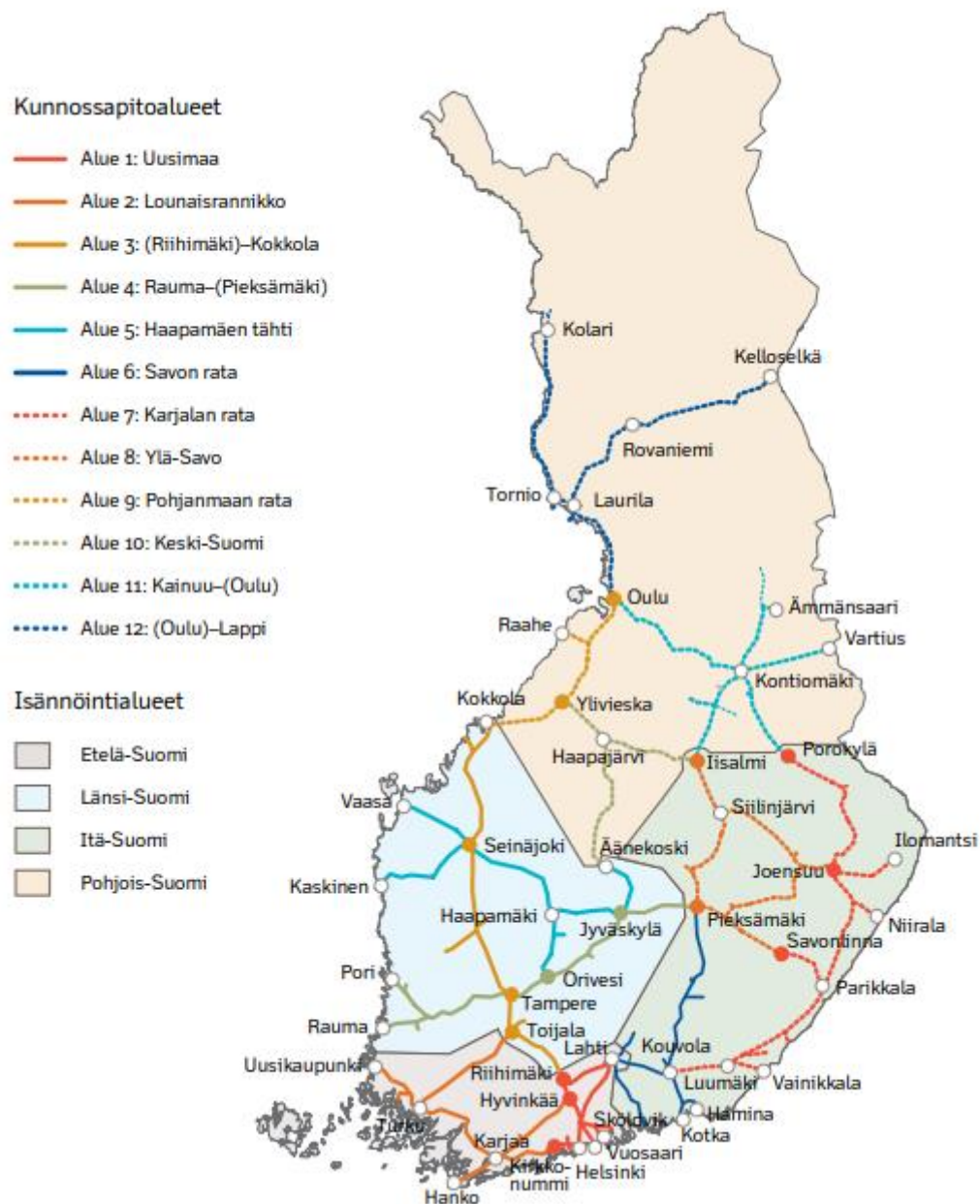
Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Destia Rail Oy, entinen Maansiirto Veli Hyyryläinen Oy, eli MVH Oy, joka on 22.2.2007 lähtien ollut osa Destiaa. Destia Rail Oy on osa Destian Itä-Suomen tulosityksikköä, jonka päätoimialana on ratarakentaminen ja -kunnossapito. Palvelut kattavat koko radanpidon elinkaaren kaikkialla Suomessa. Olen työskennellyt MVH Oy:ssä ja Destia Rail Oy:ssä vuodesta 2005 lähtien kunnossapidon ja ratarakentamisen eri tehtävissä sekä tukemiskoneiden esimiestehtävissä. Tällä hetkellä työskentelen ratatyökoneiden työmaapäällikkönä kiskokalusto-organisaatiossa.

2 RATAVERKON KUNNOSSAPITO

Rataverkko on kuljetustoiminnan kannalta elintärkeä ja sen kunnossapito on jatkuva ja käynnissä oleva prosessi, joka vaatii taloudellista tukea (1, 1.1). Suomen valtion rataverkon kunnossapito, rakentaminen ja ylläpito ovat Liikenneviraston vastuulla. Toiminnan keskeisin tavoite on pitää rataverkko siinä kunnossa, että liikennöinti on tehokasta ja turvallista. Suomen rataverkon pituus on noin 6 000 kilometriä, josta yli puolet on sähköistetty. Vuosittain kunnossapitoon käytetään melkein 200 miljoonaa euroa. (2.)

Suomen valtion rataverkko on jaettu kahteentoista kunnossapitoalueeseen ja neljään isännöintialueeseen (kuva 1). Tällä hetkellä kunnossapitäjinä toimivat Destia Rail Oy ja VR Track Oy. Destia Rail Oy toimii kunnossapitäjänä alueilla 4, 5, 6, 8, 10, 11, ja 12. Destia Rail Oy ja Liikennevirasto allekirjoittivat 16.12.2016 sopimuksen Pohjanmaan kunnossapidosta, eli alueesta 9. (3.) Urakka alkoi keväällä 2017 ja sisältää myös osan kunnossapitoalueesta 10, eli rataosan (Iisalmi) – Haapajärvi – (Ylivieska). Urakan perussopimus kestää kolme vuotta, ja se sisältää mahdolliset optiot aina vuoteen 2024 asti. Urakkaan kuuluu myös Oulun ratapihan liikenteenohjaus. (4. s. 1.)

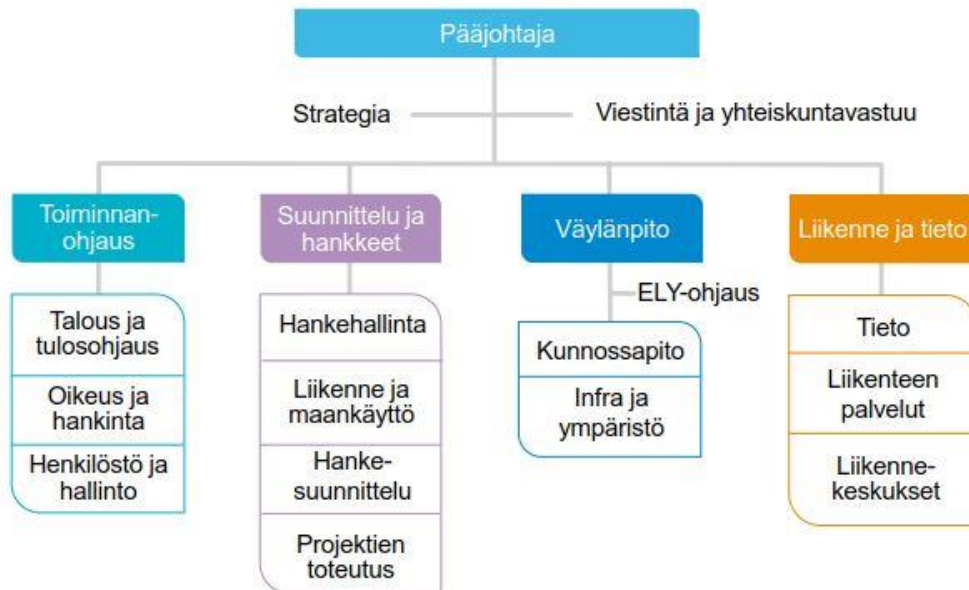
Valtion rataverkolla on käytössään kahdeksan eri kunnossapitotasoa (liite 1), joille jokaiselle on erikseen määrätty suurin nopeus, kiskopaino, ratapölkyt ja tukikerrosmateriaali (liite 2). Radan kunnossapitotaso määrittää kuinka usein ratoja tarkastetaan. Raiteen kuntoa voidaan tarkastaa seuraavilla tavoilla: mitaus tarkastusvaunulla, tarkastus liikkuvasta kalustosta, kävelytarkastus ja vaihdetarkastus. (liite 3).



KUVA 1. Liikenneviraston kunnossapito- ja isännöintialueet (5)

2.1 Liikenneviraston kilpailutus

Liikennevirasto on liikenne- ja viestintäministeriön alainen virasto. Se vastaa valtion rataverkon ylläpitämisestä, kehittämisestä, liikenteenohjauksesta, ratakapasiteetin myöntämisestä ja liikenteen ohjaamisesta. Myös kauppamerenkulun ja muun vesiliikenteen toimintaedellytysten turvaaminen ja kehittäminen kuuluvat Liikennevirastolle. (6, s. 10.) Liikenneviraston organisaatiokaavio on esitelty kuvassa 2.



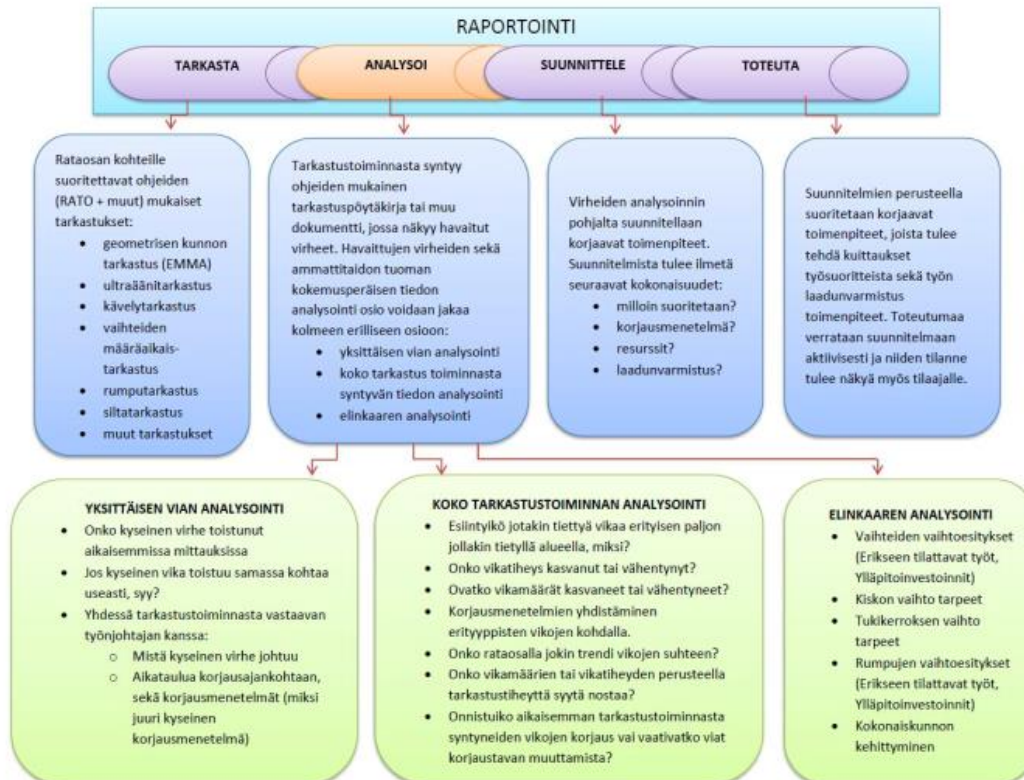
KUVA 2. Liikenneviraston organisaatiokaavio (6, s. 10)

Rataverkon kunnossapidon kilpailutuksen valmistelu aloitettiin vuonna 2004. Heinäkuussa 2005 Pohjois-Suomessa kunnossapitoalueilla 10, 11 ja 12 aloittivat uudet kunnossapittäjät. Lapissa 12 alueella Tieliikelaitos, Kainuussa 11 alueella Eltel Networks ja Keski-Suomessa 10 alueella Maansiirto Veli Hyyryläinen eli MVH, joka oli lisäksi aliorakoitsijana 12 ja 11 alueilla. Tieliikelaitos toimi alueellaan projektinjohtourakoitsijamallin mukaisesti, jolloin MVH vastasi päällysrakenteesta. MVH vastasi myös alueen 11 päällysrakenteen kunnossapidosta. (7, s. 58.)

Kaikki kunnossapitoalueet kilpailutetaan viiden vuoden välein. Vuonna 2017 kilpailutetaan alue 1 Uusimaa ja alue 4 Rauma – (Pieksämäki) (liite 4). (8.)

2.2 Kunnossapidon toteuttaminen

Rataverkon kunnossapitotöiden toteuttaminen pohjautuu kunnossapidon putken hallitsemiseen ja aukottomaan dokumentointiin tilaajalle. Putki koostuu tarkastustulosten analysoinnista, töiden suunnittelusta ja toteuttamisesta. Eri osiot tulee ottaa huomioon töiden raportoinnissa. Kuvassa 3 on esitetty toiminta putken avulla. (9, liite 1.11, s. 4.)



KUVA 3. Kunnossapidon putki ja analysoinnin raportointi (9, liite 1.11, s. 4)

Urakoitsija analysoi tarkastustuloksia ja vikoja ja raportoi tilaajalle kuvassa 3 esitettyihin kysymyksiin. Tämän tavoitteena on lisätä kunnossapidon suunnitelmallisuutta ja ennen kaikkea ennakoivaa kunnossapitoa. Raiteen geometrisestä kunnosta tulee kunnossapitäjän toimittaa raportti viikon kuluessa radantarkastusvaunun tarkastuksesta. (9, liite 1.11, s. 4.)

Tilaaaja määrittelee kunnossapitoalueen tuettavat raidemetrimäärät koko kunnossapidon ajalle. Sopimuksesta riippuen urakoitsija voi esittää lisätuentoja tehtäviksi Y-töinä, jotka eivät kuulu varsinaiseen kunnossapitosopimukseen. Urakoitsija on vastuussa siitä, että tuennat kohdennetaan oikeisiin paikkoihin ja tehdään oikein. Kunnossapitäjällä on pääsy Liikenneviraston tietokantaan, josta löytyvät radantarkastusajojen raportit. (10.)

Kunnossapito käsittää paljon töitä, joista on oma kunnossapitotöiden tehtäväluettelo. Luettelo voidaan jakaa seuraaviin töihin:

- päällysrakenteen kunnossapitotöihin
- vaihteiden kunnossapitotöihin

- radan varusteiden ja laitteiden kunnossapitotöihin
- siltojen kunnossapitotöihin
- alus- ja pohjarakenteen sekä rautatiealueiden kunnossapitotöihin
- liikennepaikkojen ja ulkoalueiden kunnossapitotöihin
- raideliikenteen ohjaus- ja turvalaitejärjestelmien kunnossapitotöihin ja
- rakennuksien kunnossapitotöihin (11, liite 1.5, s. 2 - 5).

2.3 Laatutavoitteet

Radan päällysrakenteen geometristä kuntoa mitataan radantarkastusvaunulla Plasser & Theurer EM 120 (sarjatunnus Ttr1 51). Radantarkastusvaunusta käytetään yleisesti nimeä Emma (kuva 4). (10.)



KUVA 4. Radantarkastusvaunu Ttr1 51 (Emma) (12)

Tarkastusajojen tiheys, joka on määritelty RATO 13:ssa (Ratatekniset ohjeet) (liite 3), vaihtelee radan kunnossapitotason mukaan. Radantarkastusvaunu mittaa suureita kuten kierous, kallistus, nuolikorkeus, korkeuspoikkeama ja raideleveys. (10.) Korkeuspoikkeama ja nuolikorkeus käsitellään myöhemmin tässä luvussa, koska ne ovat oleellisia tämän opinnäytetyön ymmärtämiseksi.

Mittauksien perusteella lasketaan geometrisen kunnon palvelutaso eli GKPT kaavan 1 mukaisesti (12, s.21).

$$GKPT \% = 100 \% + (P \% - T \%) - ET \% \qquad \text{KAAVA 1}$$

$P \% =$ vakio, joka on määritelty sopimuskohtaisesti kunnossapidossa. Tämä on yleensä $P \% 0$ tai $P \% 15$. Jos $P \%$ on 15, se tarkoittaa että tarkastusvälillä saa olla 15 prosenttia tyydyttäviä kilometrejä. Näitä voivat olla esimerkiksi pysyvät nopeusrajoitukset ja työmaakohtaiset nopeusrajoitukset. (12, s. 21.)

$T \% =$ tyydyttävien kilometrien prosentuaalinen osuus tietyllä tarkasteluvälillä.

$ET \% =$ epätydyttävien kilometrien prosentuaalinen osuus tietyllä tarkasteluvälillä.

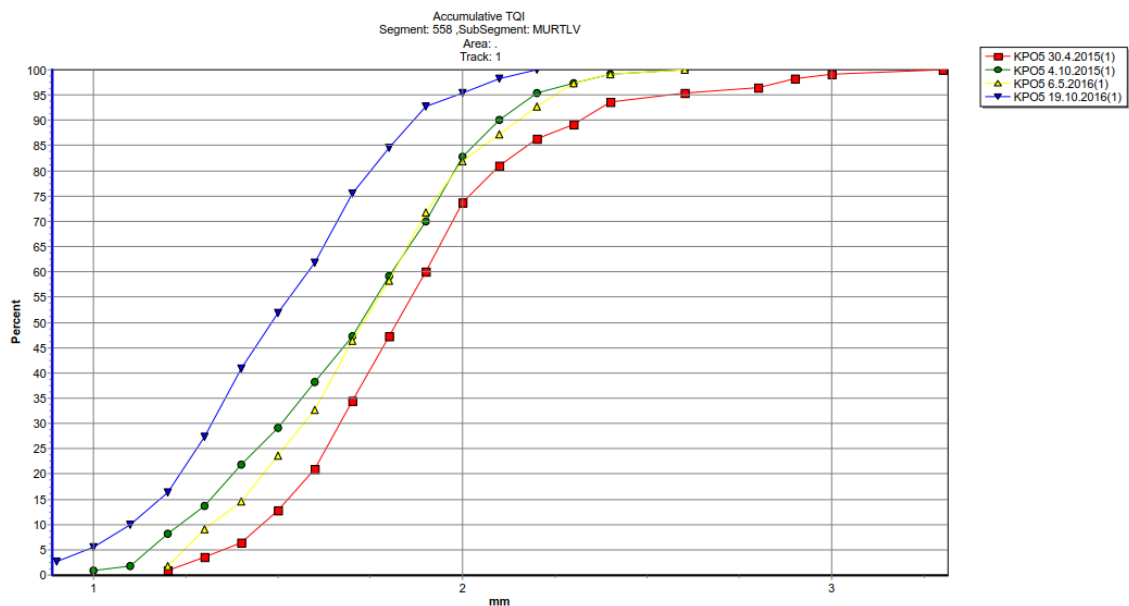
$GKPT \%$ lasketaan seuraavasti: jos sulkulause $(P \% - T \%) \geq 0$, niin lauseke saa arvon 0 (13, liite 1.6, s. 21).

Radantarkastuksissa raportoidaan lisäksi VKPT eli vaihteiden kunnossapitotaso, joka lasketaan kaavan 1 mukaisesti (10).

Virheluokkia on kolme, C-, D- ja *-luokka. Nämä jaetaan siten, että *- luokan virhe on välittömästi korjattava virhe, joka automaattisesti arvostelee kilometrin tyydyttäväksi. D-luokan virhe tarkoittaa lähitulevaisuudessa korjattavaa virhettä, joka vaikuttaa kilometrin virhemetrimäärään. Jos kilometrillä on D-luokan virheitä enemmän kuin 10 metriä, se arvostellaan tyydyttäväksi. C-luokan virhe tarkoittaa alkavaa virhettä, jonka kehittymistä on seurattava. (10.)

Rataosan kunto ei saa milloinkaan olla huonompi kuin kyseessä olevalle rataosalle on määräyksissä ja ohjeissa sallittu. Tilaaja voi teettää ylimääräisiä tarkastusmittauksia tiedossa olevien tarkastusmittausten lisäksi. (13, liite 1.6, s. 4.)

Raiteen geometrisen kunnan palvelutason lisäksi jatkuvakiskoraiteisille rataosille on määrätty TQI:n (Track Quality Index) korkeuspoikkeaman frekvenssikäyrän mukaiset tavoitteet 95 %:n ja 85 %:n arvoille. Kuvassa 5 on esitetty (Murtomäki) – Talvivaara rataosan frekvenssikäyrä. Radantarkastusvaunusta saadaan molempien kiskojen keskihajonnan, mutta frekvenssikäyrässä se on esitetty vain toisesta, tässä tapauksessa oikeasta (KPO). Vasen olisi vastavasti KPV. Käyrästä on nähtävissä neljän eri mittauskerran tulokset. (12, s. 14.)



KUVA 5. Frekvenssikäyrä (Murtomäki) – Talvivaara rataosalta (14)

Keskihajonta on yksi yleisemmistä TQI:stä ja se kuvaa mittaustulosten hajontaa tietyllä osuudella suhteessa keskiarvoon. Keskihajonta lasketaan standardin SFS-EN 13848-6 mukaan kaavalla 2 (15, s. 7).

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

KAAVA 2

missä

N = mittausarvojen lukumäärä

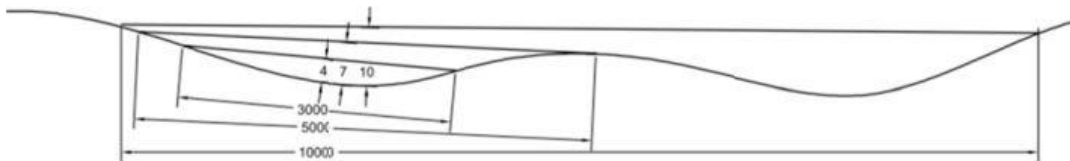
x_i = tietyllä hetkellä mitattu arvo

\bar{x} = mitattujen arvojen keskiarvo

SD = keskihajonta

Huomioitavaa on, että standardissa ei ole mainintaa TQI:n multiplier-luvusta, kun taas radantarkastuspalvelut ilmoittavat käyttävänsä multiplier-lukuna 2:sta. Tämä tarkoittaa, että radantarkastuspalveluiden TQI on 95 %:n keskihajonta, eli mittauksessa jätetään huomioimatta yli 95 %:n arvot. Tämä on syytä ottaa huomioon, kun vertaillaan tukemiskoneen työpiirturin ilmoittamaa keskihajontaa ja radantarkastuspalveluiden ilmoittamaa keskihajontaa. (12, s. 14.)

Kun käytetään mittakantamittausta, on syytä huomioida, minkä pituista mittakantaa käytetään. Mittakannan pituudella on perustavalaatuinen vaikutus korkeuspoikkeaman suuruuteen (kuva 6). Radantarkastuspalvelut käyttävät korkeuspoikkeaman keskihajonnan mittaamisen viiden metrin pituista mittakantaa, tukemiskoneissa mittakannan pituus vaihtelee konetyypeittäin, mutta useimmissa se on kymmenen metriä (10).



KUVA 6. Mittakannan vaikutus korkeuspoikkeaman suuruuteen (16, s. 102)

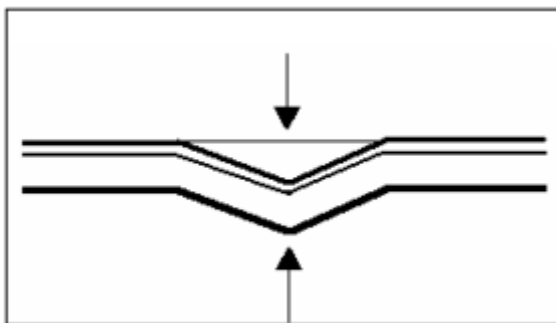
Suomessa keskihajonta lasketaan yleensä vain korkeuspoikkeamalle ja nuolikorkeudelle, mutta se voidaan laskea myös kallistukselle, kieroudelle, raidelevydelle, korkeuspoikkeamalle ja nuolikorkeudelle kaavan 2 mukaisesti. (17, s.27)

Radantarkastuspalvelut arvioivat keskihajontaa 200 metrin osissa ja tieto mittausantureista tulee 0,25 metrin välein, eli 200 metriin tulee 800 näytettä. (12, s.15) Standardissa SFS-EN 13848-6 liitteessä C käsitellään TQI_{ref} :ia, joka on otettu Euroopan rataverkolla yhteneväiseksi referenssiksi kuvaamaan radan geometristä laatua. Standardin mukaan keskihajonta lasketaan molempien kiskojen keskiarvona, ja mittaukset arvostellaan 200 metrin välein, mutta kuitenkin niin, että mittausarvot otetaan esimerkiksi 0,25 metrin välein (15, s. 24). Huomioitavaa on, että mittausstiheyttä ei ole määrätty. Kun tutkittiin, mikä on tukemis-

koneen mittaustiheys, se poikkesi tästä ollen 0,5 metriä. Tämä tarkoittaa, että tukemiskoneelta tulee 400 mittauspistettä 200 metriin. Tällä erolla ei kuitenkaan ole näennäistä vaikutusta keskihajonnan tulokseen (18).

Korkeuspoikkeama

Korkeuspoikkeama (longitudinal level) on määritelty Ratahallintokeskuksen julkaisussa "Raiteentarkastustulokset ja niiden tulkinta" seuraavasti: "korkeuspoikkeamilla tarkoitetaan kiskon kulkupinnan teoreettisen jänteen keskipisteen etäisyyttä kiskon kulkupinnasta" (kuva 7) (12, s. 3). Teoreettinen jänne kuvastaa kulloisenkin valitun mittakannan pituutta. Raiteen käyrätulostuksessa käytetään viiden metrin mittakantaa. Kunnossapitotaso 1 ja sitä ylemmän luokan radoilta tulostetaan spc-käyrä eli space curve -käyrä, jossa korkeuspoikkeama on mitattu laskennallisesti 25:n ja 70:n metrin mittakannoilla. Näin pystytään tulkitsemaan radan kuntoa kokonaisvaltaisemmin. Tuloste saadaan molemmista kiskoista erikseen. (10.)

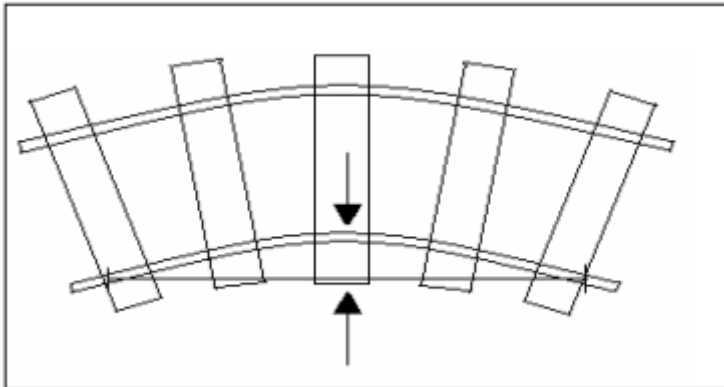


KUVA 7. Korkeuspoikkeaman kuvaus (12, s. 3)

Nuolikorkeus

Nuolikorkeus (alignment) määritellään tietyn pituisen suoran jänteen suurimpana sivuttaissuuntaisena poikkeamana (kuva 8). Ympyränkaaressa maksimiarvo sijaitsee jänteen keskellä, ja suoralla se saa arvon nolla. Nuolikorkeuspoikkeamasta puhekielessä kuullaan usein puhuttavan "rekkamutkasta". Nuolikorkeus mitataan radantarkastusvaunun omalla 12 metrin mittakannalla tai laskennallisesti 20, 35, tai 70 metrin mittakannoilla. Nämä mittakannat auttavat

kokonaisvaltaisessa raiteen analysoinnissa. Tulosteen saa molemmista kiskoista erikseen. (10.)



KUVA 8. Nuolikorkeus (12, s. 5)

Nuolikorkeuteen yleisesti liittyvä termi on versini (versine, versed sine). Tämä voidaan esittää kuvan 9 tapaan. Versiniin usein yhdistetään Halleden menetelmä, joka on ranskalaisen Emile Halleden kehittämä arviointimenetelmä. Kyseistä menetelmää käytetään radan geometrian tarkistuksiin, suunnitteluun ja radan kaarien tarkastuksiin. Versini voidaan laskea kaavalla 3:

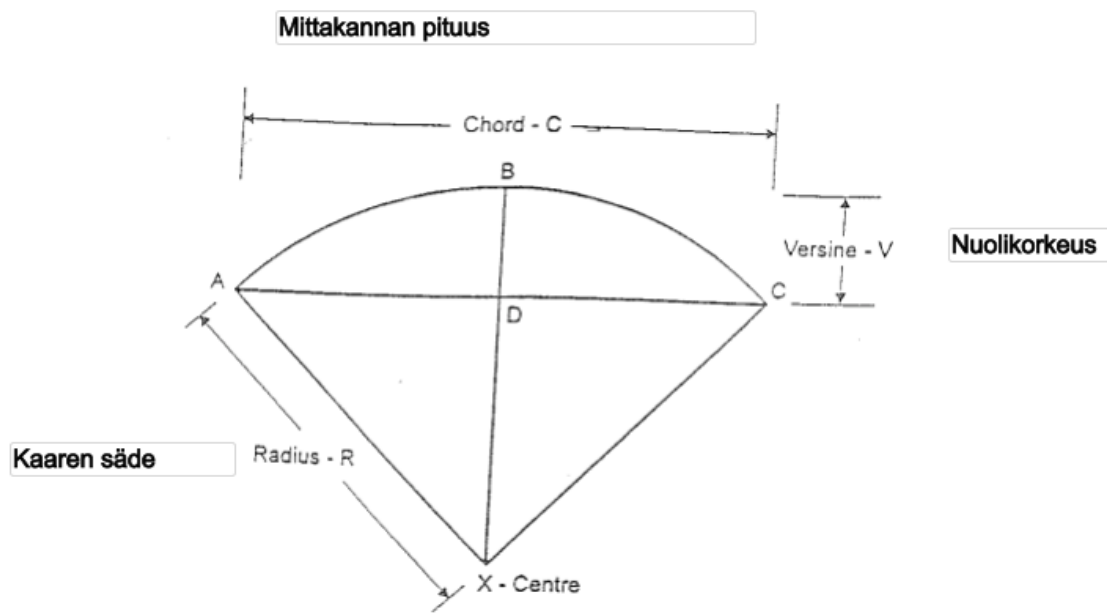
$$v \approx \frac{L^2}{8r}$$

KAAVA 3

v = versini (m)

L = mittakannan pituus (m)

r = kaaren säde (m). (19, s. 5.)



KUVA 9. Versinin määritelmä (19, s. 5)

3 RAITEEN GEOMETRIA JA TUKEMINEN

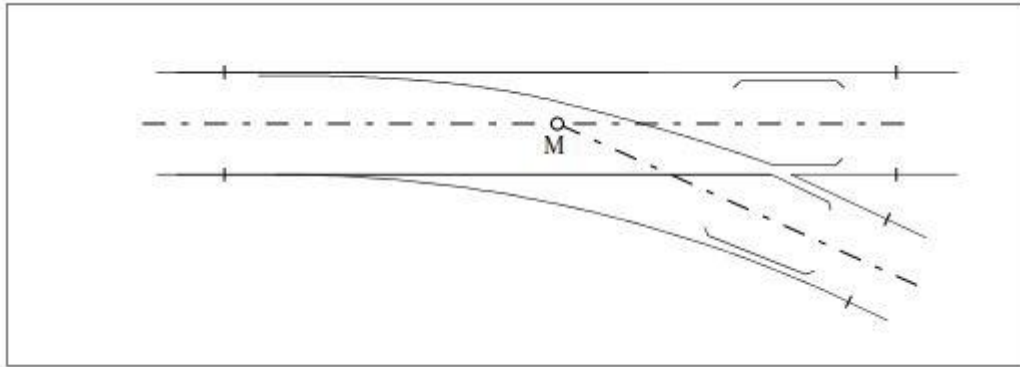
Tukemisella (tamping) palautetaan geometrisesti raide oikeaan asemaansa. Tukemisella tarkoitetaan raiteen nostamista ja siirtämistä haluttuun pysty- ja vaakageometriaan, ja se tapahtuu raidetta nostamalla, oikomalla ja sepelin uudelleenjärjestäytymisellä ratapölkyn alle. Raiteen tukeminen voidaan toteuttaa suhteellisella tai tarkkuusmenetelmällä (17, s. 30). Raiteen tukemista täytyy tehdä tietyin aikaväleihin, jotta ratapölkky ei ala kantamaan raidetta ratapölkyn keskeltä (10). Tällöin voidaan tehdä läpituontaa, jota käsitellään tarkemmin luvussa 3.5.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään myös radan geometriaa, joka on tukemiskoneen henkilöstön ensisijaisen tärkeää ymmärtää. Jotta tukemiskone voi tukea raidetta siirtymäkaarista ja kaarista, on tukemiskoneen ohjaustietokoneeseen syötettävä kulloisenkin elementin oikeat tiedot, muuten raidetta todennäköisesti tuetaan väärään asemaan, mikä voi johtaa vaaratilanteeseen.

3.1 Raiteen geometria

Raiteen geometria käsittää radan siirtymäkaaria, kaarteita, kaltevuusjaksoja, raideleveyttä ja aukean tilan ulottumaa. Tässä luvussa käsitellään myös kallistusta sekä erilaisia kallistusviisteitä, jotka eivät kuitenkaan varsinaisesti ole osa geometriaa. Raideleveyttä ja aukean tilan ulottumaa ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

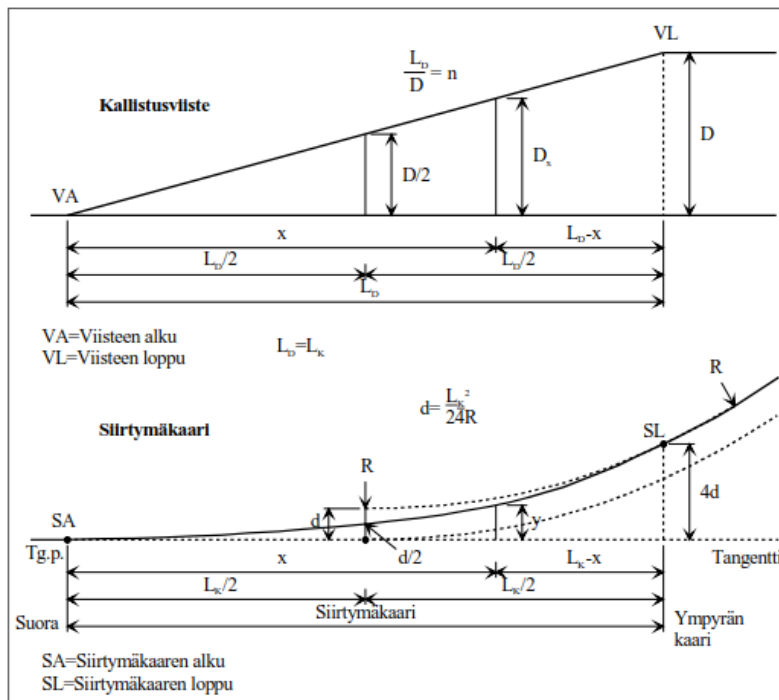
Vaihteilla (switch) on aina oma kaarregeometria poikkeavalle ajettaessa ja vaihteen kaaren peruselementti on ympyrä (kuva 10). Poikkeavalla raiteella on yleensä yksi kaarresäde, mutta vaihdetyypistä riippuen geometria voi olla siirtymäkaarilla ja ympyränkaarilla. (20, s. 18.)



KUVA 10. Yksinkertainen vaihde (20, s. 11)

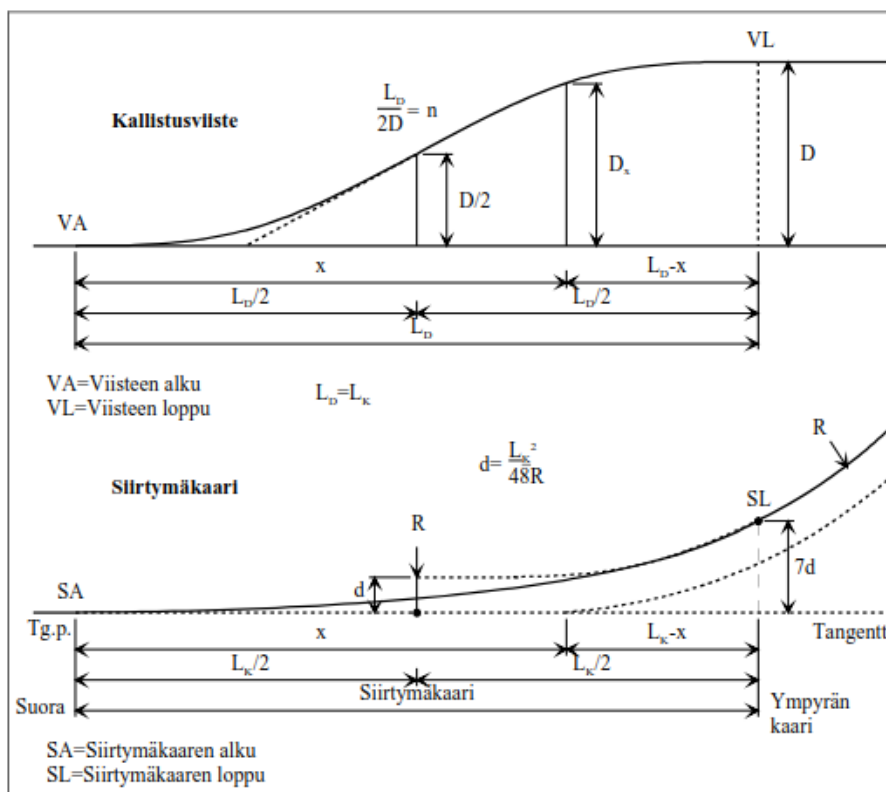
3.1.1 Siirtymäkaaret ja kallistusviisteet

Kaarteissa, joissa on kallistus, käytetään siirtymäkaarta ja kallistusviistettä. Siirtymäkaarena on pääsääntöisesti klotoidi, jolloin kallistusviiste on suora kallistusviiste. Klotoidi on käyrä ja kaarevuus muuttuu suoraviivaisesti. Suoran kallistusviisteen matkalla kallistus muuttuu suoraviivaisesti arvosta nolla arvoon D ja siirtymäkaaren matkalla kaarevuus muuttuu arvosta nolla arvoon $1/R$. Kallistusviisteen matka on yleensä samanmittainen kuin siirtymäkaaren matka (kuva 11). (21, s. 33.)



KUVA 11. Suora kallistusviiste ja klotoidi (21, s. 34)

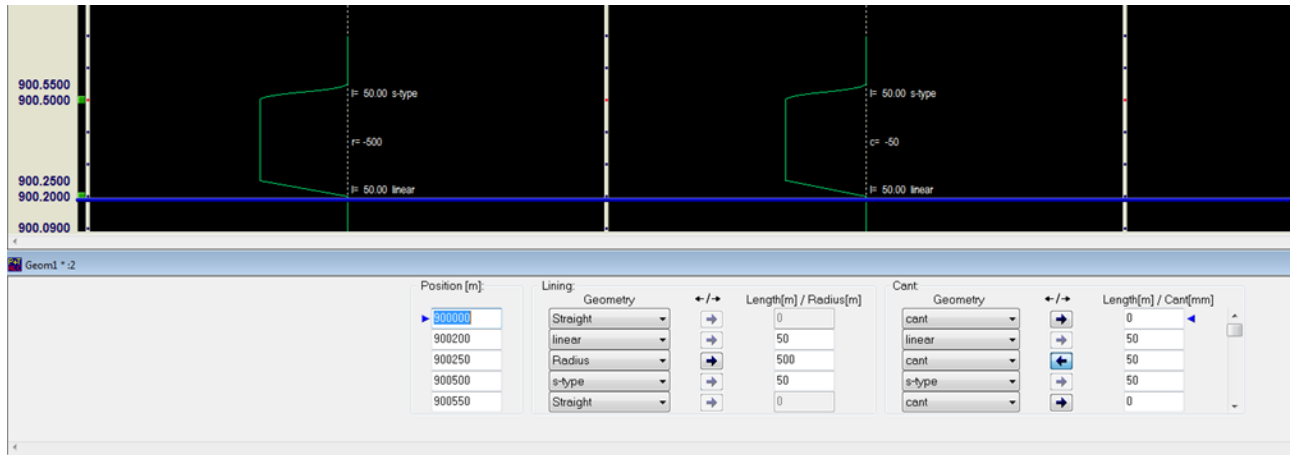
Suomen rataverkolla on käytössä myös Helmertin siirtymäkaari (kuva 12). Tämän yhteydessä on käytettävä S-kallistusviistettä. Tukemiskoneen ALC-ohjelma (käsitellään luvussa 4.1) antaa aina automaattisesti oikean kallistusviisteen, joten virhemahdollisuutta ei tässä ole. (10.) S-kallistusviistettä käytetään yleensä, jos kallistus on ≥ 100 mm ja nopeus > 120 km/h. Helmertin siirtymäkaari on $\sqrt{2}$ x pidempi kuin klotoidi samalla ympyränkaaren sivusiirtymämatkalla. Tämä mahdollistaa suuremman kallistuksen käytön ja sen vuoksi suuremman nopeuden käytön, jos kallistus on ollut nopeutta rajoittava tekijä. Toisaalta, Helmertin siirtymäkaareissa raiteeseen kohdistuvat voimat ovat suurimmillaan keskellä siirtymäkaarta, mikä asettaa kunnossapidolle kovempia vaatimuksia. Tämän vuoksi Helmertin siirtymäkaarta on käytettävä vain, jos hyöty on merkittävä. (21, s. 36 – 37.)



KUVA 12. Helmerin siirtymäkaari ja S-kallistusviiste (21, s. 37)

Kuvassa 13 on esitetty näkymä tukemiskoneen ALC-näytöltä, kun siihen on syötetty ensin suora, klotoidi ja suora kallistusviiste, ympyränkaari, S-kallistusviiste ja Helmertin siirtymäkaari. Vihreät neliöt ovat niin sanottuja pakkopisteitä, joihin ALC-tietokone jää, jos käyttäjä ei paina tiettyä näppäinyhdistelmää. Myös

varoitusäänimerkki alkaa hälyttää, kun kone lähestyy kohdetta. Sininen viiva kuvastaa tukemiskoneen etummaista mittapistettä.



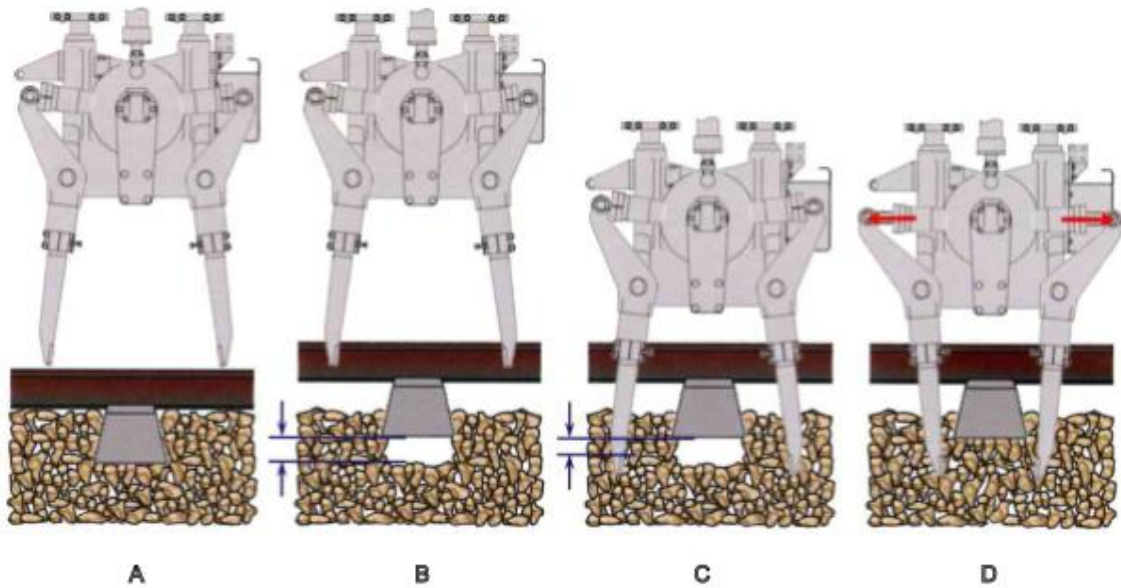
KUVA 13. Näkymä tukemiskoneen ALC-näytöltä

3.1.2 Korikaari ja S-kaari

Korikaari tulee kahdesta tai useammasta kaaresta, jotka kääntyvät samaan suuntaan, säteet poikkeavat toisistaan ja välillä ei ole suoraa. Korikaarta käytetään, jos esteet ja muut pakkopisteet määräävät raiteen sijainnin niin, että kaarta ei ole muuten mahdollista yhdellä normaalikaarella muodostaa. Näitä ovat esimerkiksi siltojen kohdat. Korikaarien välissä on käytettävä siirtymäkaaria, jos tiettyjen kaavojen ehdot eivät täyty. Näitä kaavoja ei käsitellä tässä opinnäytetyössä. Korikaaren kaarien väliin tuleva siirtymäkaari ja kallistusviiste on oltava yhtä pitkiä. Jos tulee poikkeustapauksia, joissa siirtymäkaari on lyhyempi kuin kallistusviisteen pituus, on viiste tehtävä suuremman säteen puoleiselle kaarelle. (21, s. 38.)

3.2 Raiteen tukemisen periaatteet

Raiteen tukemisen periaatteet on esitetty kuvassa 14. Kuva on esitetty yhden pölkyn näkökulmasta, mutta tukemiskoneen mallista riippuen yhdellä tuennalla voidaan tukea jopa neljää ratapölkkyä kerralla. Kuvassa ei näy tukemiskoneen pihti- ja nostolaitetta, jolla rataa nostetaan. Todellisuudessa se sijaitsee tukemishakkujen vieressä.



KUVA 14. Tukemisen eri vaiheet (22, s. 137)

- A. Tukemiskone pysähtyy tuettavalle pölkylle
- B. Pihtilaite toimii yhdessä mittausjärjestelmän kanssa ja tarttuu raiteesta nostaan ja siirtäen sen ennalta määrättyyn korkeuteen ja asemaan muodostaen pölkyn alle tyhjätilan (void)
- C. Värähtelevät tukemishakut työntyvät tukikerrokseen tuettavan pölkyn molemmin puolin ennalta määrättyyn syvyyteen. Tukemishakut värähtelevät, jotta tukikerrosmateriaali voi uudelleenjärjestäytyä. Värähtely myös huomattavasti vähentää tarvittavaa voimaa, millä tukemishakut voivat tunkeutua tukikerrokseen
- D. Sylinterit suorittavat puristustoiminnon ja tiivistävät tukikerrosta ja aikaisemmin muodostunut tyhjätila täyttyy. Tukemishakut nostetaan tukikerroksesta ylös ja kone siirretään seuraavalle tuettavalle pölkylle ja edellä mainitut kohdat suoritetaan uudestaan. (22, s. 137 – 138.)

3.2.1 Suhteellinen menetelmä

Suhteellinen menetelmä (smoothing method, relative tamping) tarkoittaa, että raiteen oikomisessa ja nostamisessa hyödynnetään tukemiskoneen omaa mittausjärjestelmän mittakantaa. Liitteessä 5 on esitetty koneen mittausjärjestelmän kolme pistettä, joiden toimintaperiaate voidaan yksinkertaistettuna esittää niin, että pisteet A ja C muodostavat vertailulinjan. Työpiste, eli piste B, nostaa rataa niin että piste B on vertailulinjan AC samalla tasolla. Sama ehto pätee sivuttaissiirtoon. Eli työpiste B siirtää rataa niin että piste B on vertailulinjan AC samassa linjassa. (1, 14.5.) Tukemiskoneilla on konetyyppikohtaisesti eripituisia mittakantoja, joten tämä menetelmänä korjaa aallonpituudeltaan erilaisia virheitä eri tehokkuudella. Toisin sanoen suhteellista menetelmää käytettäessä raiteeseen jää aina jäännösvirheitä. Yleisesti voidaan todeta, että menetelmä jättää rataan noin kolmasosan virheen alkuperäisestä suuruudesta. Tämä seikka on tärkeää ottaa huomioon kun lähdetään korjaamaan virhettä. (10.)

Suhteellista menetelmää käytetään yleensä alempien kunnossapitotasojen radoilla eli yleensä tasoilla 5 ja 6. Menetelmää käytetään myös, kun raiteen geometrisen aseman virheet ovat pieniä ja pistemäisiä. Mittausresurssien puute voi myös ajaa tähän menetelmään. Toisaalta, jos radassa havaitaan virhe, joka on korjattava tukemisella välittömästi ja samaan kohtaan on tulossa ennalta suunniteltua, joko läpituennan tai kunnossapitosopimukseen sisältyvää tuentaa, tämän kohdan mittaaminen voidaan siis jättää ensimmäisen tukemiskerran jälkeen tehtäväksi. Toisella tuentakerralla virhe poistuu tarkkuusmenetelmän ansiosta kokonaan. Tukemiskoneen miehistöllä on oltava uusin geometriatieto mahdollisten siirtymä- ja ympyränkaarien varalta. Myös raiteen kallistus on oltava tiedossa. (10.)

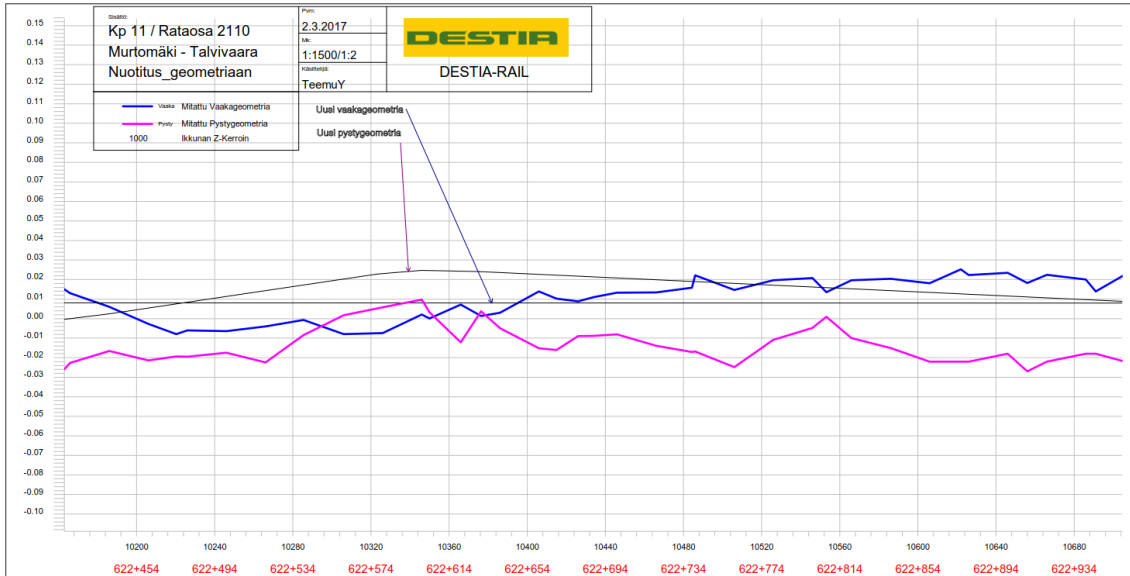
Kun raidetta tuetaan suhteellisella menetelmällä, varsinaista noston arvoa ei ole ennalta määrätty. Tällöin tukemiskoneen esimies itse määrittelee sopivan perusnoston, yleensä 25 millimetriä. Tämä tehdään viisteellä, jonka pituus on suositeltu olevan 1:1000. Myös loivennus tehdään samalla viisteen suuruudella. Ilman nostoa tukemiskone ei nostaisi raidetta kuin niiltä kohdin missä työpiste B sijaitsee vertailulinjan AC alapuolella. (10.)

3.2.2 Tarkkuusmenetelmä

Sivuttaissiirron- ja noston tarkkuusmenetelmä toimii täysin raiteen tavoitteellisen geometrian matemaattisten säännösten mukaan. Raide nostetaan ja sivuttaissiirretään mekaanisen ja elektronisen sallivuuden rajoissa ja teoreettisten säännösten mukaan. Edellä mainittujen toimintojen suorittamiseksi tarvitaan seuraavat tiedot:

- rataosa sekä tukemistyön aloitus- ja lopetuskohta
- kaaritiedot (siirtymäkaarien pituudet, kaarresäde, kallistus ja pystygeometria)
- sivuttaissiirto- ja nostoarvot eli nuotit. (23, s. 452.)

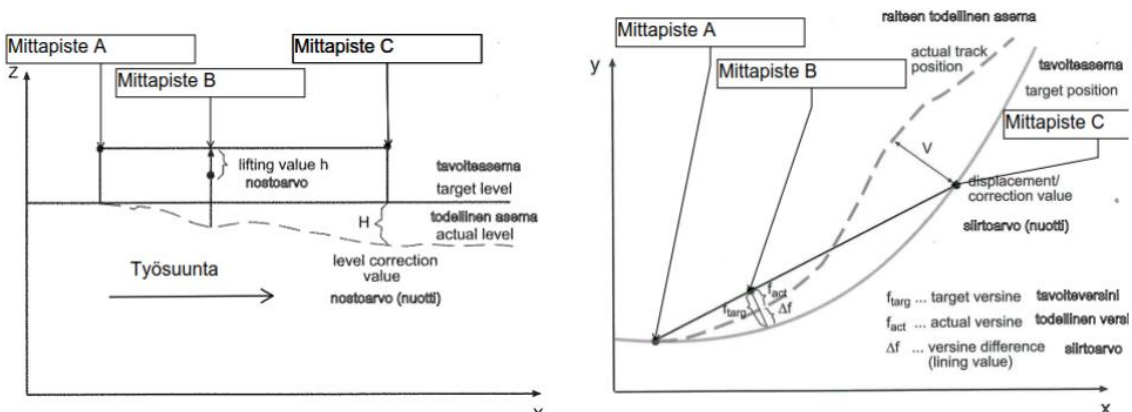
Sivuttaissiirto- ja nostoarvot saadaan mittamieheltä, joka mittaa ensin radan maastomittauksin ja sen jälkeen tekee tietokoneohjelmalla korjausarvot eli nuotit vaaka- ja pystygeometrialle (kuva 16). Kuvassa on vaaka- ja pystygeometrialle uusi tilanne, mihin asemaan rata tuetaan suhteessa suunniteltuun geometriaan. Kuvassa 0-viivan kohta on raiteen teoreettinen eli suunniteltu asema/geometria. Tässä tapauksessa teoreettisesta asemasta vaakageometriaan nähden jäädyään noin 8 millimetriä. Jos rata siirrettäisiin teoreettiseen asemaan, siirtoa tulisi kohtuuttoman paljon, mikä vaikuttaa kiskojen jännitystilaan. Nostossa ei päästä aivan teoreettiseen asemaan. Tähän vaikuttaa se, että nostoa on oltava koko ajan tietyn verran, joten rata joudutaan tukemaan hieman kovaksi eli yli teoreettisen pystygeometrian. Tasoristeykset, sillat, rumpujen kohdat, siirtymäkaarien alut ja loput mitataan erikseen. Vaihdealueet mitataan vähintään viiden metrin välein ja aina vaihteen etu- ja takajatko. Suurimmat virhepaikat mitataan tarvittaessa tiheämpään. Mittamies myös määrittää johtokiskon (reference rail, datum rail), eli sen kiskon, jota tukemiskone nostaa automaattisesti, kun taas toinen kisko nostetaan vaakatasoon tai haluttuun kallistukseen työpisteestä. (24.)



KUVA 16. Vanha ja uusi vaak- ja pystygeometria (24)

Kuva 17 osoittaa 3-pisteen tarkkuusmenetelmän sivuttaissiirrossa ja nostossa. Mittapiste A kuvastaa tukemiskoneen takimmaista mittakelkkaa, mittapiste B kuvastaa työpisteen mittakelkkaa ja mittapiste C etummaista mittakelkkaa. Sama on nähtävissä liitteestä 5.

Kun sovelletaan tarkkuusmenetelmää, mittalangan takimmainen akseli eli mittapiste A on jo aiemmin korjatulla virheettömällä radalla (kuva 17). Langan etummainen mittapiste C on virtuaalisesti ohjattu siirto- ja nostoarvoin oikeaan asemaan olettaen, että nuotit ovat oikeat. Kolmas mittauspiste sijaitsee työpisteessä. Tässä elektroninen järjestelmä vertaa tavoiteversinejä (tavoitearvoja) oikeisiin arvoihin ja pihtilaite siirtää ja nostaa rataa niin, että arvot vastaavat. (23, s. 452.)



KUVA 17. 3-pisteen menetelmä sivuttaissiirrossa ja noston tarkkuusmenetelmässä (23, s. 453 – 454)

Yksi tarkkuusmenetelmän muoto on laserohjattu tuenta, jota käytettiin (Murto-mäki) – Talvivaara rataosuudella. Laseria on käytetty tukemiskoneissa jo vuodesta 1969. Silloin oli noston ja sivuttaissiirron erillinen järjestelmä. Lasersäde ”viuhkattiin” optisesti tukemiskoneen vastaanottimeen. Koneen vastaanotin liikkui sähkömoottorilla ja näin piti säteen keskellä. Vastaanottimen poikkeama nolla-asemasta välitettiin työpisteeseen ja tämä oli korjausarvo. (23, s. 444.)

Nykyaikaisissa Plasser and Theurer -tukemiskoneissa laserjärjestelmä toimii niin, että laserkelkka, jossa laserlähetin sijaitsee (kuva 18), laitetaan määrätyle kohdalle raiteeseen ja kelkan kiskopyörät painetaan määrättyä kiskoa vasten, ja lähetin ja runko vaaditetaan. Lasersäde kohdistetaan laserlähettimestä tukemiskoneen vastaanottimeen, jossa sijaitsee 200 mm x 200 mm:n kokoinen vastaanotinruutu (kuva 19). (25.)



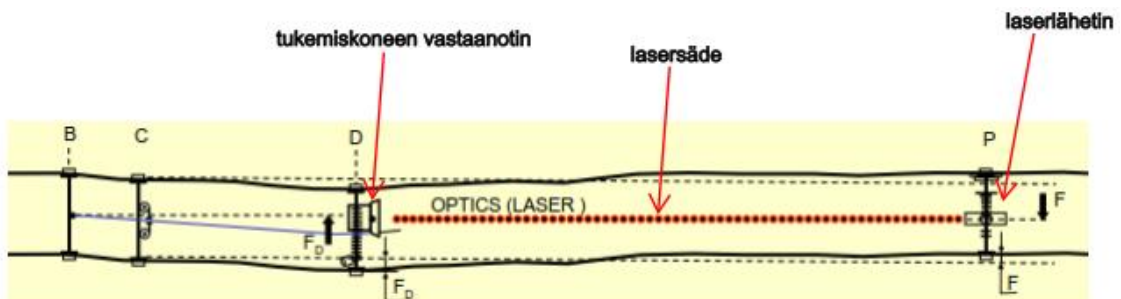
KUVA 18. Laserlähetin ja laserkelkka

Tukemiskoneen esimies ilmoittaa, milloin säde on kohdistettu oikein. Keulassa on kolme valoa vaaka- ja pystysuuntaisesti kohdistamisen helpottamiseksi. ALC -järjestelmällä asetetaan lähettimen kohdalle tavoitegeometria, joka on saatu mittamieheltä (kuva 19). (25.)



KUVA 19. Lasersäde, joka on tähdätty tukemiskoneen vastaanottiin

Näin saadaan lähettimen ja tukemiskoneen mitan välinen matka tavoitegeometriaan, ja tukemiskone saa koko ajan nosto- ja siirtoarvon. Tämä perustava-
laatuinen ero normaaliin tarkkuusmenetelmään verrattuna (jossa nuotit 20 metrin välein) on havaittavissa liitteestä 12. Myös pitkän aallonpituuden virheet tulevat tällä menetelmällä eliminoiduiksi. Etenkin suurilla nopeuksilla aiheuttavat huonoa matkustusmukavuutta, ja tukemiskone saa tällä menetelmällä nostoarvon kuormitettuna. Tämä tarkoittaa sitä, että mahdolliset palautuvat painumat tulevat myös eliminoiduiksi. Näitä ei voida kuormittamattomalla mittausmenetelmällä huomata (kuva 20).



KUVA 20. Sivuttaissiirto laserohjatulla tuennalla. (26, s. 405)

Plasser and Theurer lupaa lasersäteen kantamaksi jopa 300 metriä, mutta tämä saattaa olla liian pitkä matka. Destia Rail Oy:llä käytetään yleensä 200 metriä. Sääolosuhteet vaikuttavat myös kantamaan. Sateinen ja sumuinen sää saattavat häiritä lasersädettä. (27.)

3.3 Kunnossapitotuenta

Kunnossapitotuennalla tarkoitetaan radan tarkastuksissa esille tulleita virheitä, jotka vaativat mahdollisimman nopeita korjaustoimia turvallisuuden ja olemassa olevan liikennöintinopeuden varmistamiseksi. On hyvin tärkeää, että virheen jälkeen kohteelle tehdään tilanneanalyysi, jotta voidaan arvioida virheen luonne ja määrittää korjaamiseen tarvittavat kalustot ja resurssit. Tilanneanalyysi voidaan esittää seuraavasti:

- mitä on tapahtunut?
- miksi ja minne virhe on tullut?
- miten se korjataan?
- millä se korjataan?
- milloin se korjataan?
- vaikuttaako se liikennöintiin? (28, s. 25.)

On hyvin yleistä, että tietyt virheet toistuvat useasti. Syitä tähän voi olla esimerkiksi pehmeikköalue tai puutteellinen kuivatusjärjestelmä. Virhettä on voitu mahdollisesti tukea väärällä menetelmällä, jolloin se ei ole korjaantunut kokonaan ja on tullut seuraavassa radan tarkastusajossa virheeksi. Voi myös olla, että kyseistä virhettä ei voida edes tukemisella korjata, ja tästä turhasta tukemisesta johtuen tukikerros on jauhaantunut. (10.) Olisikin erityisen tärkeää, että ongelman aiheuttaja saataisiin selville (28, s. 26).

Kunnossapitotuennassa tuettavan matkan pituus vaihtelee, mutta yleisesti ottaen se on alle 200 metriä, mutta ei lyhyempi kuin 50 metriä. Lyhyteen rajoittava tekijä on viisteen eli rampin pituus, joka tyypillisesti on 1:1000 ja pituuteen rajoittava tekijä on virheiden sijainti, esimerkiksi kaksi lähekkäin olevaa virhettä. Jos virhe on siirtymäkaassa, on koko siirtymäkaari tuettava kokonaan ja sen pituus voi olla yli 200 metriä. (10.)

3.4 Läpituenta

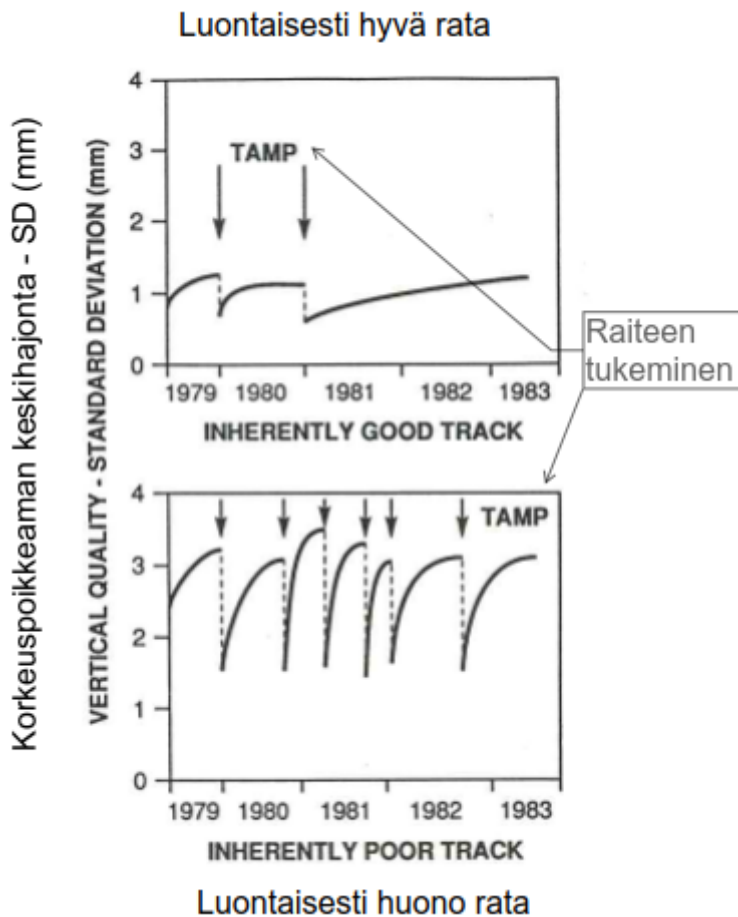
Läpituenta on tarkkuusmenetelmällä tehtävää tuentaa, joka yleensä ei ole lyhyempi kuin 200 metriä. Läpituennalla pyritään parantamaan radan geometrian tasalaatuisuutta eli korkeuspoikkeaman keskihajontaa. Menetelmällä onkin tarkoitus korjata pitkiä aallonpituuden virheitä, jotka vaikuttavat suurilla nopeuksilla matkustusmukavuuteen. (10.)

Läpituennalla varmistetaan myös ratapölkyn oikea tukipinta toisin sanoen, että pölkky ei ala kantamaan sen keskeltä, ja varmistetaan tukikerroksen tasalaatuinen jousto-ominaisuus. Läpituennalla pyritään saavuttamaan yhtenäinen geometria. Sitä käytetäänkin lähinnä 1AA, 1A, 1 ja 2 kunnossapitotasoisilla radoilla. Joitakin rataosia on vuosien saatossa tuettu vain suhteellisella menetelmällä. On yleistä, että tällaisilla rataosilla geometria ei ole enää halutussa paikassa/asemassa. Läpituenta käsittää rataosan läpituennan tietyssä ajanjaksoissa, yleensä kerran viidessä vuodessa. Kunnossapitosopimuksien laatutavoitteissa on yleensä määritelty korkeuspoikkeaman keskihajonnalle tavoitetasot, jolla seurataan tuennan onnistumista. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että sopimuskauden alussa tuetaan alueet, joissa keskihajonta on suurin ja lopussa alueet, joissa keskihajonta on pienin. Keskihajontaan merkittävästi vaikuttava asia on päällysrakenteen kunto ja erityisesti kiskon kulkupinnan tasalaatuisuus eli korrugaatio. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä parempikuntoinen päällysrakenne on, sitä parempi korkeuspoikkeaman keskihajonta on tuennan jälkeen. (10.) Tähän vaikuttaa myös tukemiskalusto ja tukemisen tietyt parametrit, joita käsitellään luvussa 6.

Raiteen nostot pyritään pitämään alle 70 mm:ssä, mutta ei kuitenkaan pienempänä kuin 20 mm:ä, ja sivuttaissiirrot alle 40 mm:ssä (29). Tällä tavoin varmistetaan raideseppelin uudelleenjärjestäytyminen ratapölkyn alla (28, s. 12). On myös tärkeää pitää mielessä, että kiskojen jännitystila on rajoittava tekijä nostojen ja siirtojen suuruuteen (29). Destia Rail Oy:n käyttämät minimi- ja maksiminostoarvot mukailevat UIC:n Best practice guide – teosta (liite 6), jossa on esitelty eri Euroopan maissa käytettäviä arvoja. Saksa, Ranska, Britannia, Itävalta ja Belgia poikkeavat näistä arvoista. (30, s. 31.)

3.5 Raiteen luontainen laatu

Kuvassa 21 on kaksi eri rataosaa, joita kuormittaa sama liikennemäärä. Nuolet alaspäin kuvastavat raiteen tuentaa. Ylemmässä rataosassa korkeuspoikkeaman keskihajonta on ollut noin 1,5 millimetriä ja se on vaatinut kaksi tuentakertaa viidessä vuodessa, jotta sama laatu on saatu ylläpidettyä. Kyseisellä rataosalla voidaan sanoa olevan hyvä luontainen laatu. Alemmassa rataosassa alkutilanteessa korkeuspoikkeaman keskihajonta on noin 3,2 millimetriä ja on vaadittu kuusi tuentakertaa viidessä vuodessa, jotta sama laatu on saatu ylläpidettyä. Tällaisen rataosan laatu voidaan luokitella luontaisesti huonoksi.



KUVA 21. Ratojen luontaisen laadun ero (1, 15.10)

Kun virheiden koko kasvaa, siitä seuraa radan laadun heikentyminen, kuten alemmalla rataosalla on käynyt. Mitä luontaisesti parempilaatuinen rata on, sitä pienempiä virheet ovat, ja näin myös laatu heikentyy hitaammin. Kuvan kaksi

rataosaa ovat saman ikäisiä, niillä on samat radan komponentit ja sama liikennemäärä, joten eroja radan luontaiseen laatuun voidaan määritellä seuraavasti:

- ratkaisevasti raiteen luontaiseen laatuun vaikuttavat sen elinkaaren ensi hetket. Toisin sanoin raiteen eri rakennusvaiheet ja sen komponentit ja niiden käsittely
- hyvä luontainen laatu vaatii vähemmän kunnossapitoa, joka vähentää kustannuksia.
- huono luontainen laatu lisää kunnossapitokustannuksia
- hyvä luontainen laatu takaa paremman matkustusmukavuuden
- hyvä luontainen laatu on etu, välttämättä siitä onko radalla matkustus- tai tavaraliikennettä, millä nopeudella tahansa. (1, 15.10 - 15.11.)

Rataverkon kuntoa laskee liikenteen seurauksena tuleva kuormitus. Radan laadun heikkeneminen voidaan nähdä ajan funktiona, kun sitä rasitetaan. Radan kunto laskee vaikka sitä kunnossapidetään. On siis erityisen tärkeää, että radalla on luontaisesti hyvä laatu, jotta kunnossapitotoimet olisivat mahdollisimman vähäisiä ja, että ne tehdään oikein. (31, s. 9 – 10.)

4 TUKEMISKONEIDEN OHJAUSTIETOKONEET

Tukemiskoneiden ohjaustietokoneilla tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan tietokoneita, järjestelmiä ja muita laitteita, joilla hallitaan työskentelyä, ja jotka toimivat tukemiskoneen operaattorin apuna. Tässä käsitellään vain Plasser and Theurerin tukemiskoneiden järjestelmiä.

4.1 Automaattinen ohjaustietokone ALC

Plasser and Theurerin käyttämä Automaattinen ohjaustietokone WIN-ALC tulee sanoista Windows Automatischer Leit Computer. ALC:n geometrianäkymä esitettiin luvussa 3.1.1. Ohjelmaan syötetään siirtymäkaarien pituudet, kaarresäteet, kallistusviisteiden pituudet ja kallistuksen arvot. (27.) Aina vuoteen 1975 asti nämä tehtiin manuaalisesti ja korjausarvot syötettiin koneen omasta tyyppikohtaisesta taulukosta (26, s. 406).

Ohjelmaan voi asettaa tuettavan alueen nosto- ja siirtoarvot eli nuotit. Destia Rail Oy:n mittamiehet käyttävät VER-tiedostoa, joka mahdollistaa nuottien syöttämisen suoraan ulkoisesta lähteestä. Jos nuotteja ei aseteta ohjaustietokoneelle joko VER – muodossa tai perinteiseltä nuottilomakkeelta, joutuu tukemiskoneen käyttäjä asettamaan arvot työn aikana manuaalisesti noston- ja siirtoarvojen potentiometreillä. (10.) Nuotit ovat yleensä 20 metrin välein, joten tukemiskoneen käyttäjä joutuu interpoloimaan peräkkäiset nuottuspaalujen välit (17 s.70). Tämä tarkoittaa sitä, että nosto- ja siirtoarvot eivät välttämättä täsmää radan oikeaan geometriaan nuottien välissä. Tätä kyseenalaisuutta ei laserohjatulla tuennalla ole. (10.)

Yksi ohjaustietokoneen tärkeitä ominaisuuksia on mittausajo. Tämä tarkoittaa, että jos raidegeometriaa ei tunneta, tai ei jostain syystä mitata, voidaan tukemiskoneella mitata tuettava alue ja tämän jälkeen tukea mitattu alue tukemiskoneen mittausajoon perustuen. Jos geometriatietoja, kuten kaaren sädettä, siirtymäkaaren pituutta tai kallistusta ei tunneta, voidaan samaa menetelmää käyttää. Mittausajoon perustuva tukeminen poistaa hyvin yksittäisiä virheitä, jotka ovat aallonpituudeltaan 6:sta 15:sta metriin. Lisäksi raiteesta saadaan etukäteen tieto, jos siinä on suuria virheitä, kuten esimerkiksi kallistuksessa tai

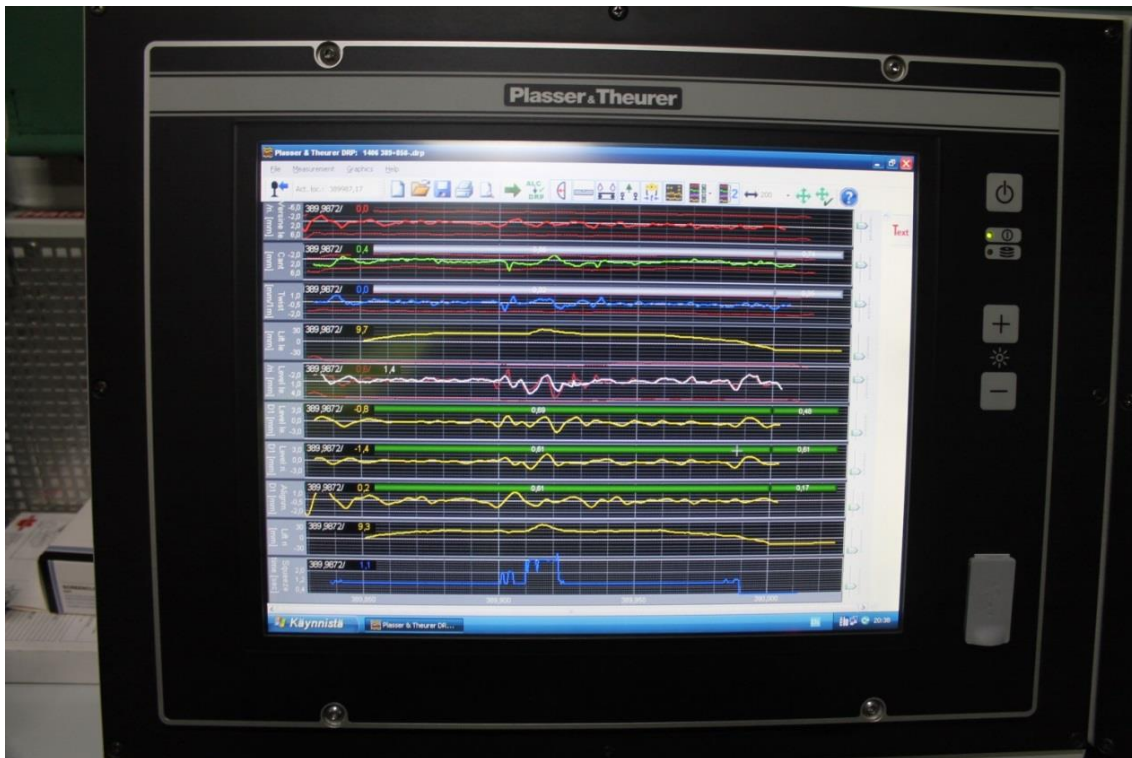
nuolikorkeudessa. Mitta-ajossa raiteesta mitataan nuolikorkeus, korkeuspoikkeama, kallistus ja matka. Tiedonkeruuna käytetään koneen omaa mittausjärjestelmää. (32, s. 24 - 25.)

Destia Rail Oy käyttää mitta-ajo-sovellusta yleensä sellaisilla rataosuuksilla, joissa ei ole saatavilla geometriatietoja eli kaaritietoja, käytännössä vain rataosalla 2001 (Äänekoski) - (Haapajärvi) (10).

4.2 Data recording processor DRP

Data recording processor eli DRP (kuva 22) on Plasser and Theurerin tukemis-koneiden geometriasuureiden tallennusjärjestelmä. Ohjelmalla voidaan työn aikana mitata tiettyjä suureita radasta, kuten nuolikorkeutta, korkeuspoikkeamaa, kallistusta, kieroutta ja raideleveyttä. Lisäksi järjestelmällä voidaan mitata korkeuspoikkeaman, nuolikorkeuden ja kallistuksen keskihajontaa (standard deviation, SD). (27.) Näistä erityisesti korkeuspoikkeaman keskihajonta on rautatietekniikassa tärkeä, sillä se kuvaa tarkastettavan osuuden tasalaatuisuutta (10).

Ohjelmassa voidaan ajon aikana merkitä tiettyjä erikoismerkintöjä kuten siltoja, tasoristeyksiä ja vaihteita (etu- ja takajatko). Tämä helpottaa tulosten lukemista ja paikantamista. Ohjelma käyttää samaa mittausjärjestelmää kuin ALC, joten samat kilometrit pätevät myös DRP-ohjelmassa.



KUVA 22. Käyttäjän näkymä DRP-näytöstä

4.3 Controller Measuring System CMS

Controller Measuring System Plasser and Theurer tukemiskoneissa käsittää nosto- ja siirtoyksikön. CMS mahdollistaa työn reaaliaikaisen seuraamisen. Se näyttää kaikki tarvittavat arvot jokaisen kolmen mittapisteen kohdalla, ja se helpottaa ja auttaa tukemiskoneen käyttäjän työtä. Lisäksi sillä voidaan tehdä aloitus- ja lopetusviisteet, mikä on hyvä työkalu, jos tukeminen joudutaan keskeyttämään ennen kuin tuettava alue on valmis. Tällöin kaikki siirto- ja nostoarvot täsmäävät nuotteihin sillä edellytyksellä, että aloitus ja lopetus tehdään tarkalleen samasta kohdasta. Myös viisteen pituutta voidaan muuttaa. Destia Rail Oy:llä käytetään yleensä kaltevuutta 1:1000. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi 30 millimetrin nosto loivennetaan 30 metrin matkalla nolnaan. (25.)

5 DESTIA RAIL OY

Destia Rail Oy on Destia Oy:n yksi neljästä alakonsernista. Destia Rail Oy:n palvelutarjontaan kuuluu ratarakentamisen palvelut aina useiden kilometrien pituisista päällysrakennearakoista pienempiin silta- ja massanvaihtotöihin. Palvelut kattavat koko radanpidon elinkaaren. Vuonna 2017 Destia Rail Oy vastasi kunnossapidosta seitsemässä Suomen kahdestatoista rataverkon kunnossapitoalueista. (10.)

5.1 Destia Rail Oy:n tukemiskoneet

Tukemiskoneet voidaan lajitella linjatukemiskoneisiin ja yhdistelmä/vaihteentukemiskoneisiin. Linjatukemiskoneilla voidaan tukea vain raideosuuksia, joissa ei ole vaihteita tai raideristeyksiä (crossing). Yhdistelmäkoneilla puolestaan voidaan tukea raidetta, vaihteita ja raideristeyksiä. Kaikissa Destia Rail Oy:n tukemiskoneissa on sivutiivistimet (sleeper-end consolidators), jotka tiivistävät tuettujen pölkkyjen reunat. (33.) Destia Rail Oy:llä on tällä hetkellä käytössä viisi omaa tukemiskonetta, joista kolme on vaihteentukemiskoneita ja kaksi on linjatukemiskoneita. Neljä tukemiskonetta on Plasser and Theurerin (P&T) ja yksi Matisan valmistama. Koneet työskentelevät sulan maan aikaan, yleensä toukokuusta marraskuuhun. Yleisesti ottaen tukemiskoneen elinkaari on noin 15 vuotta, mutta Destia Rail Oy:llä on käytössä vuonna 1983 Plasser and Theurerin valmistama linjatukemiskone. (10.)

5.1.1 Yhdistelmätukemiskoneet

Destia Rail Oy:n vanhin vaihteentukemiskone on Matisa B133 (kuva 23). Kone on ollut Destia Rail Oy:n omistuksessa vuodesta 2010. Sitä ennen koneen omisti Maansiirto Veli Hyyryläinen. Kone tuli MVH:lle vuonna 1998. (34.) Konea käytettiin Suomen rataverkolla ja Metrolla. Kone ei ole enää rekisterissä ja se ei ole toimintakuntoinen (10).



KUVA 23. Yhdistelmätukemiskone Matisa B133. Kone ei ole enää rekisterissä.

Destia Rail Oy:llä myös toinen Matisan valmistama ja käytössä oleva vaihteen-tukemiskone Matisa B 66 UC (sarjatunnus Ttk5) (kuva 24). Kone on hankittu vuonna 2010, painoa koneella on 105 tonnia ja pituutta 36 metriä. Kone soveltuu raskaiden vaihteiden kuin linjankin tukemiseen. Koneen työsaavutus linjalla on noin 900 raidemetriä tunnissa. Koneessa on jatkuvatoimintainen tukemisyksikkö (tamping shuttle, ransk. navette), jonka ansiosta kone liikkuu koko ajan, eikä sen tarvitse erikseen pysähtyä joka pölkylle. Vaihteiden työsaavutusta on vaikea arvioida, mutta yleisesti voidaan ajatella, että yhden vaihteen tukemiseen kuluu aikaa tunnista kahteen tuntiin riippuen vaihteen tyypistä. Koneessa on myös harja, joka harjaa ylimääräiset sepelit pölkkyjen päältä tukemisen jälkeen pois. (33.)

Matisan, Plasser and Theurerin ALC:tä vastaava ohjaustietokone on nimeltään CATT (Computer Aided Track Treatment). Ohjelma on Windows-pohjainen. Ohjelmaan voi syöttää kaikki tarvittavat tiedot. Myös Matisan mittalangat poikkeavat muista tukemiskoneista niiden ollessa korvattu halogenpolttimoilla. Järjestelmä pystyy koneen keskiosaan sijoitetun CCD-kennolla (Charge-Coupled Device) ja siihen muodostuneeseen pisteeseen mittaamaan noston, sivuttaissiirron ja kallistuksen. Optinen mittausjärjestelmä tunnetaan nimellä NEMO. Matisan tukemissyvyyden ansiosta sillä on mahdollista tukea tiettyjä erikoisrakenteita kuten pyöravoimailmaisimia. (33.)



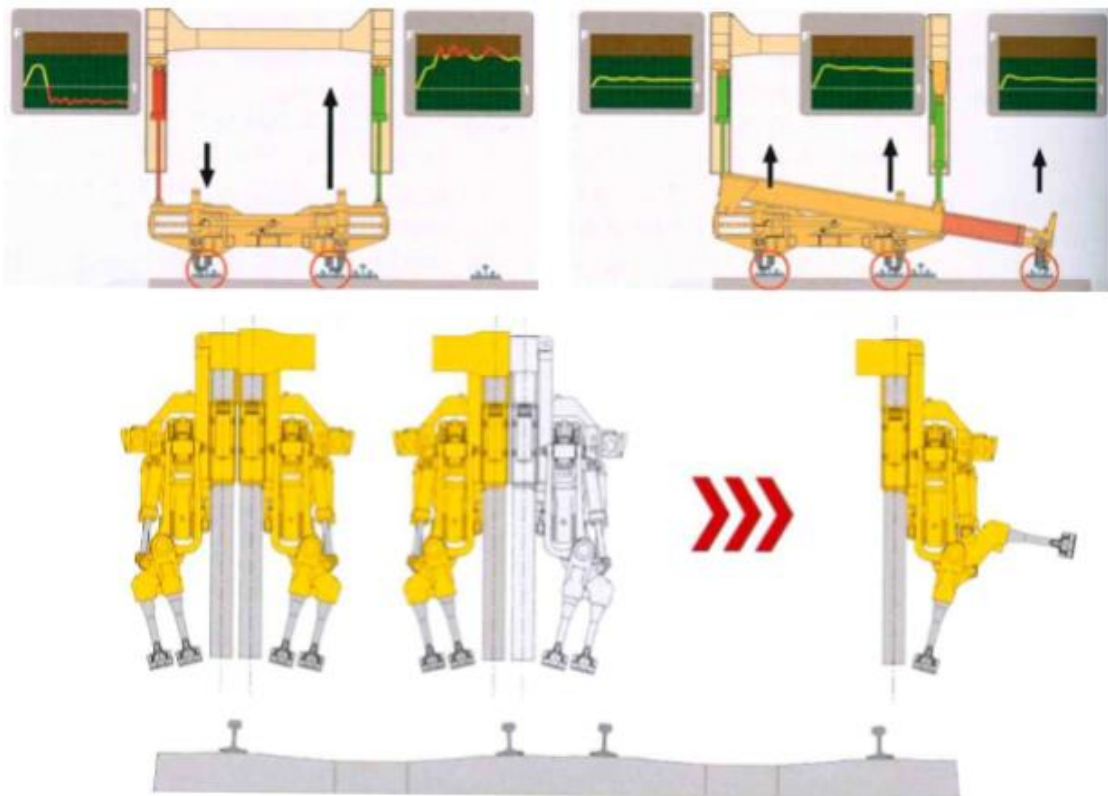
KUVA 24. Sveitsiläisvalmisteinen yhdistelmäkone Matisa.

Lisäksi Destia Rail Oy:llä on käytössä niin sanottu ”Lavettitukemiskone”, eli Plasser and Theurer 08-275 ZW (kuva 25). Kirjaimet Z ja W tulevat saksan kielien sanoista zwei eli kaksi ja weg eli tie. Kone on lavetin päällä siirrettävä yhdistelmätukemiskone. Kone on 10 metriä pitkä ja painaa 30 tonnia, joten se soveltuukin vain keveiden vaihteiden tukemiseen. Kone joutui kolariin vuonna 2014, ja se kunnostettiin Itävallassa vuonna 2015. Kone saapui takaisin Suomeen vuonna 2016 ja teki töitä koko työkauden. Koneessa oli ennen DOS-pohjainen ALC-ohjaustietokone, mutta korjauksen yhteydessä siihen asennettiin nykyaikainen ALC-järjestelmä sekä työjäljen tallennusohjelma DRP. Koneen siirrot tehdään maanteitse, joten sitä ei ole rekisteröity junaliikenteeseen. Kone on nopeasti laitettavissa työkuuntoon, joten lyhyemmätkin työraot junaliikenteessä on hyödynnettävissä. Koneeseen saadaan asennettua pidemmät tukemishakut, joten esimerkiksi pyörävoimailmaisimien tuenta on mahdollista. Koneen työsaavutus on noin 300 raidemetriä linjaa ja yksi vaihde tunnissa. Koneessa on mahdollista käyttää sivuttaissiirtolaseria. (10).



KUVA 25. P&T 08-275 ZW tukemiskone siirtolavetin päällä

Destia Rail Oy:n uusiin tukemiskone on Plasser and Theurerin valmistama UNIMAT 09-475/4S (sarjatunnus Ttk2). Kone on lähes 40 metriä pitkä ja painaa 144 tonnia. Kone tuli Suomeen 2016 toukokuussa ja ensimmäiset työt sillä tehtiin jo kesäkuun lopussa. Kone on yhden pölkyn jatkuvatoimintainen (continuous action) vaihteentukemiskone. Kone on spesioitu vaihteen tuentaan, koska siinä on niin sanottu kolmannen kiskon nostin (3-rail lifting) ja neljännen kiskon tukemishakut (4-rail tamping) (kuva 26). Kuvan nuolet refleктоivat voimia, joita tarvitaan raiteen nostamiseen vaiheen tuennassa. Ilman kolmannen kiskon nostinta, tukemiskoneen nostokyky ei riitä, ja noston suuruus saattaa jäädä vajaaksi. Myös kiskon kiinnikkeisiin kohdistuu huomattavat voimat kun ei käytetä kolmannen kiskon nostinta, ja suoran raiteen puoleinen sylinteri joutuu painamaan, jotta nosto olisi tasapainossa. Tukemiskoneiden nostokyvyt ovat konekohtaisia. (10.)



KUVA 26. Poikkeavan raiteen tuenta (22, s. 146)

Jos näitä ominaisuuksia ei olisi, tarvittaisiin tähän työhön apuryhmän ja mekaaniset nosto- ja tukemistyökalut. Kone (kuva 27) on varusteltu sepelihaarjalla ja keräävällä sepelisiilolla, joka pystyy keräämään sepeliä noin 4 m³. Siilosta voidaan jakaa sepeliä raiteessa tai vaihteessa olevan vajauksen kohdalle. Destia Rail Oy tekee aina ennen tuentaa sepelöinnin vetokalustolla ja sepelivaunuilla, joten tukikerroksen vajauksia ei pitäisi olla. Sepelisiilo onkin tarkoitettu lähinnä vaihteiden pienien ja pistemäisten vajauksien täydentämiseen. Harjan yhteydessä on erilliset harjakset kiskon kiinnikkeille, joten ylimääräisen sepelin saa niistä kohdin pois, jos harja ei ole niitä saanut. Tukemisessa on mahdollista käyttää nosto- ja sivusiirtolaseria. Koneen maksimi työsaatavuus linjatuennassa on noin 700-800 raidemetriä tunnissa ja vaihteessa noin tunti. Vaikka koneessa onkin jatkuvatoimintainen tukemisyksikkö, vaihteessa sitä ei voi käyttää. Vaihteessa jokainen tukemiskerta on tähdättävä tarkasti, jotta vaihteen komponentteja ei mene rikki. Vaihteentuenta onkin huomattavan paljon haasteellisempaa ja hitaampaa kuin pelkän linjan tukeminen. (10.)



KUVA 27. Destia Rail Oy:n uusi tukemiskone Plasser and Theurerin valmistama UNIMAT 09-475/4S "UKKO"

5.1.2 Linjatukemiskoneet

Destia Rail Oy:llä on käytössään kaksi tukemiskonetta, jotka soveltuvat vain linjan tukemiseen. Vanhin niistä on Plasser and Theurerin valmistama UNOMATIK 08-16 ZZ (sarjatunnus Ttk1) (kuva 28). Kone on valmistunut vuonna 1983 ja ollut Suomessa käytössä vuodesta 2005 alkaen. Kone on 24 metriä pitkä ja painaa 49 tonnia. Koneessa on mahdollista sivuttaissiirtolaserin käyttö, ja sen työsaatavuus on noin 600 raidemetriä tunnissa. Kone on edelleen kovassa käytössä ja vuonna 2016 sillä tuettiin yli 250000 raidemetriä. (10.)



KUVA 28. Plasser and Theurer UNOMATIK 08-16 ZZ

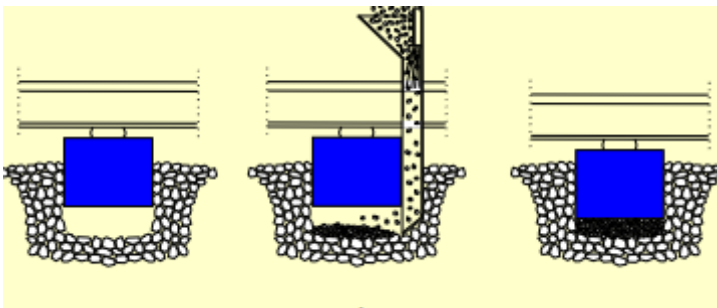
Uusin linjatukemiskone on Plasser and Theurerin valmistama 08-32 C (sarjattunnus Ttk1). Pituutta koneella on 26 metriä ja painoa 75 tonnia. Kone on varusteltu kahden pölkyn tukemisyksiköllä, eli se voi tukea kaksi pölkkyä kerralla. Pölkkyjaon on oltava oikea, koska tukemisyksikköä ei voida siirtää pituussuunnassa. Kone on varusteltu sepeliharjalla ja nosto- ja sivuttaissiirtolaserilla. Koneen DRP-ohjelmalla on mahdollista mitata raideleveyttä (gauge). Koneen työsaavutus on noin 800 raidemetriä tunnissa. Kone hankittiin Destia Rail Oy:lle vuonna 2013. Konetta käytetään suuren työsaavutuksen vuoksi lähinnä läpituennassa, mutta tarpeen mukaan myös radan rakentamistöissä. (10.)

5.2 Tukemiskoneet maailmalla

Suurimpia tukemiskoneiden valmistajina voidaan pitää itävaltalaista Plasser and Theureria ja sveitsiläistä Matisaa. Suomessa on yksi Matisan valmistama kone ja muut ovat Plasser and Theurer valmistamia. (33.) Yhdysvaltalainen Harsco Rail valmistaa myös tukemiskoneita, mutta niiden käytöstä Suomessa tai pohjoismaissa ei ole tietoa. Harsco Railin käyttämä tukemistaajuus on 50 Hz, Matisan 40 – 45 Hz ja Plasserin 35 Hz (17, s. 42). Tukemistaajuudella on merkittävä vaikutus tuennan onnistumiseen ja tukemishakkujen tunkeutumiseen tukikerrokseen. Mitä isompi tukemistaajuus on, sitä helpommin tunkeutuminen tapahtuu. Toisaalta, liian isolla taajuudella voidaan aiheuttaa sepelin ”valumista”

mikä heikentää tuennan laatua (33). Matisa lupaa 42 Hz:n saavan tukikerrokseen ”semi viscous” -tilan, joka olisi suoraan suomennettuna puolittain viskoosinen tila. Tila edustaisi tasarakenteista ja yhteneväistä tukikerrosta. (35, s. 2.)

Harsco Railin kalustosta löytyy Multipurpose Stoneblower, jonka toimintaperiaate etäisesti muistuttaa tukemisen periaatetta. Stoneblower muodostaa pölkyn alle tyhjätilan, mutta tämä täytetään injektoimalla pienirakeista tukikerrosmateriaalia pölkyn alle (kuva 29). Yleisesti voidaan sanoa, että konetta voidaan käyttää vain huonokuntoisella radalla. Stoneblower-menetelmä on British Railways yhtiön kehittämä. (23, s. 479.) Suomessa tätä menetelmää ei ole tietyvästi käytetty (10).



KUVA 29. Stoneblower – menetelmä. (26, s. 409)

Raiteentukemiskoneisiin voidaan liittää erilaisia lisätoimintoja ja laitteita, joista yleisin on stabilisaattori. Stabilisaattorin yksi tärkeimmistä tehtävistä on kunnossapidossa tuennan nopean painumisen pienentävä vaikutus. (23, s. 490.) Plasser and Theurerin tukemiskoneista stabilisaattori löytyy monista malleista, ja yksi uusimmista malleista Unimat 09-32/4S Dynamic E³ sisältää tämän ominaisuuden. Konetta voidaan pitää nykypäivän kehittyneempänä mallina. Se on hybridimalli, eli koneessa on valittavissa joko diesel- ja sähkömoottorin käyttö. Sähkömoottori ottaa energiansa sähköradan virroittimesta. Molemmat moottorit tuottavat järjestelmille tarvittavan hydraulikkapaineen. Plasser mainostaa konetta tittelillä: ”Hybrid E³ – Economic, Ecologic, Erconomic”. Tämä malli vähentää fossiilisten polttoaineiden kulutusta ja pienentää melusaastetta, joka mahdollistaa työskentelyn kaupunkialueella yöaikaan. Kone on jatkuvatoimintainen kahden pölkyn yhdistelmäkonetta varustettuna stabilisaattorilla. Koneessa on muista poiketen yhden harjan sijasta kaksi harjaa. Hybridimallista on myös

saatavilla 09-4X E³ Dynamic (kuva 30), joka on neljän pölkyn pysähtymätön linjakone stabilisaattorilla varustettuna. (36.)



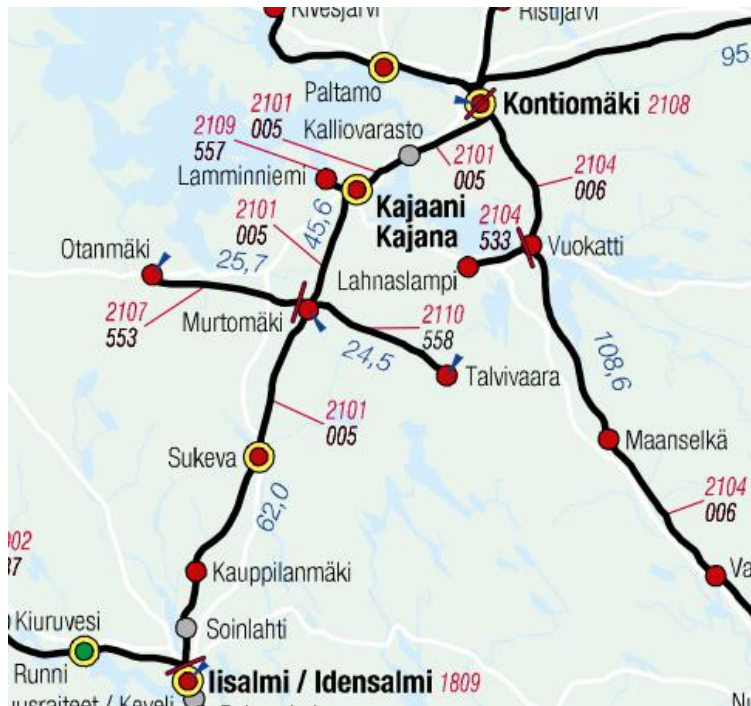
KUVA 30. Plasser and Theurer 09-4X E³ hybriditoimintainen tukemiskone (36)

6 (MURTOMÄKI) – TALVIVAARA LASERTUENTA

Selvittäessä Destia Rail Oy:n aikaisempia kokeiluja laserin käytöstä ilmeni, että ainoastaan sivuttaissiirtolaserin käyttöä on käytetty, mutta dokumentointia ja tulosten arviointia siitä ei ole. Oli siis tärkeää, että tämä opinnäytetyö tehtiin lasersertuennasta, joka sisälsi myös nostolaserin käytön. (10.)

6.1 Rataosa (Murtomäki) – Talvivaara

(Murtomäki) – Talvivaara rataosa kuuluu Liikenneviraston kunnossapitoalueeseen 11 Kainuu – (Oulu). Se on yksi Destia Rail Oy:n seitsemästä kunnossapitoalueesta. Rataosan omaisuusnumero on 2110 (Kuva 31) (taulukko 1). Rataosa alkaa Murtomäen liikennepaikan kolmioraiteen vaihteelta V527 ratakilometritä 614 + 518 ja päättyy Talvivaaran ratapihan raiteen R998 päätepuskimeen. Rataosuus kuuluu rataluokkaan C2 (liite 7) ja on kunnossapitotasoltaan 2. Rataosalla kuljetetaan ainoastaan Talvivaaran kaivoksen kuljetuksia. Matkustajaliikennettä rataosalla ei ole. Rataosa otettiin käyttöön 16.9.2009. Rataosa oli ensimmäiset kaksi vuotta yksityisraiteena ja se otettiin osaksi valtion rataverkkoa 1.9.2011. (37, s. 91 – 92.)



KUVA 31. (Murtomäki) – Talvivaara rataosa valtion rataverkolla (38)

Rataosa on uudehko, joten tukikerrosmateriaalina käytetty raidesepeleli on hyvä-kuntoista ja tuennalla voidaan aikaansaada pysyvä sepelin uudelleenjärjestäy-tyminen ja tiivistyminen ratapölkyn alle. Tukemisen pysyvyyttä heikentää huo-mattavasti raidesepelelin hienoainepitoisuuden kasvu ja pienentynyt raekoko. (17. s. 75.)

Tukikerrospaksuus on 550 mm ja sepelinä F-rakeisuusluokan raidesepeleliä, jonka lujuusvaatimus on LARB16. Betoniratapölkyt ovat tyypiltään B97 ja kisko-jen kiinnitys-jousena SKL14. Kiskotus on jatkuvaksihitsattua 54 E 1 – kiskoa. (37, s. 96.) Kiskon profiilin merkitsemisessä numeroluku kuvaa massaa metriä kohden, kirjain E kertoo, että kyseessä on EN- standardin mukainen profiili ja viimeinen numero kyseisen profiilin järjestysluku (39, s. 25).

Rataosan kiskotuksen valmistusvuosi on 2008. Kiskoille on tehty UÄ-tarkastus viimeisenä takuuvuotena, eli vuonna 2013. Profiilihionta, joka tehdään uusille kiskoille, on tehty vuosina 2012 ja 2013. (37, s. 96.) Juuri kiskon kulkupinnan tasalaatuisuudella on suuri merkitys tuennan onnistumiseen. (10.)

Rataosan sähköistys valmistui vuonna 2009. Sähköistys on mallia 2x25 kV ja siinä on sovellettu alumiinikäntöorsin toteutettua järjestelmää SR70 Y-köyde-tön. Pylväspäruusteet ovat elementtirakenteisia betoniperustoja. Rataosalle ra-kennettiin kolme täysin uudentyyppisiä logiikkaohjattuja tasoristeyslaitoksia sähköistuksen yhteydessä. (37, s. 93.)

TAULUKKO 1. (Murtomäki) – Talvivaara rataosan perustiedot (37, s. 92)

SUURE	MÄÄRÄ/YKSIKKÖ
radan pituus	23,71 rd-km
max. nopeus	80 km/h
akselipaino	250 kN
varoitustaitteilla varustettu- ja tasoristeyksiä	3 kpl
ilman varoitustaitteita ole- via tasoristeyksiä	5 kpl
vaihteita	6 kpl
siltoja	2 kpl
rumpuja	29 kpl
tunneleita	-
liikennepaikkoja	1 kpl
kunnossapitotaso	2

6.2 Tutkimuksen toteutus ja tulokset

Tutkimuksessa käytettiin Plasser and Theurer 09-475/4S tukemiskonetta, joka esiteltiin luvussa 5. Tutkimus toteutettiin osana (Murtomäki) – Talvivaara läpituentaa.

Rataosasta tehtiin vuonna 2015 suunnitelma, mitä alueita tuetaan minäkin vuonna, kuitenkin niin, että koko rataosa on kokonaisuudessaan tuettu kunnossapitosopimuksen viimeisenä vuonna 2019 (10).

Tutkittavaksi alueeksi valittiin ratakilometrit 621+ 360 – 622 + 350. Alue sijaitsee suoralla ja siinä pitkä kaltevuusjakso (liite 8). Laserlähettimen laittaminen kohtaan, jossa on pyörityssäde, olisi saattanut olla ongelmallista, joka pyrittiin tässä vaiheessa välttämään. Rataosalla tuettiin samana vuonna toisellakin tu-

kemiskoneella, joten tutkimuksessa saatiin tehtyä konekohtainen vertailu. Toinen kone oli Plasser and Theurer 08-32 C, eli kahden pölkyn pysähtyvä linjatukemiskone, joka esiteltiin luvussa 5.

Korkeuspoikkeaman keskihajonnan tulokset ovat liitteessä 9, josta voidaan nähdä, että korkeuspoikkeaman keskihajonta on P&T 09-475/4S-koneella parempilaatuista kuin P&T 08-32 koneella. Lasertuennalla sen sijaan ei ole näennäistä vaikutusta keskihajontaan. Puristusajalla ja -määrällä on vaikutusta laatuun. P&T 09-475/4S koneella tuettu 619 + 900 – 621 + 360 tuetussa alueessa käytettiin tuplapuristusta, eli hakut käytettiin kahdesti tukikerroksessa samantonoston aikana. Puristusaikana käytettiin ensimmäisellä kerralla 1,0 sekuntia ja toisella 0,8 sekuntia. 621 + 360 – 622 + 350 alueella puristusaikaa muutettiin sen ollen 1.0, 1.4 ja 1.6 sekuntia. UIC:n opas suosittelee puristusajan olevaksi välillä 1.2 – 1.5 sekuntia (30, s. 30), ja Plasser and Theurer suosittelee The Safe Tamping Process julkaisussa puristusajaksi 0.8 – 1.2 sekuntia (32, s. 6). Joten tässä tutkimuksessa tutkittiin molempia puristusaikasuosituksia.

Kun tarkasteltiin pitkän aallonpituuden käyrää (liite 10), voitiin havaita, että lasertuennalla saatiin erittäin tasokasta laatua. Tämä voidaan huomata sekä korkeuspoikkeaman ja nuolikorkeuden käyristä, jotka ovat lähes virheettömiä. Nuoteilla tehdystä tuennasta (liite 11) voidaan havaita, että korkeuspoikkeaman ja nuolikorkeuden käyriin on jäänyt hieman virhettä. Käyrissä on kuvattu korkeuspoikkeama ja nuolikorkeus 70:lle ja 25:lle metrille. Voitiin todeta, että lasertuennan käyttö on suositeltavaa käytettäväksi radoilla, joissa pitkän aallonpituuden virheet heikentävät matkustusmukavuutta.

Yleisesti voidaan todeta, että junan nopeuden ollessa 100 km/h, ja virheen pituuden ylittäessä 30 metriä on epätodennäköistä että siitä on haittaa liikenteelle. Yhtä lailla virheen pituuden ylittäessä 50 metriä ja nopeuden 200 km/h on epätodennäköistä, että siitä on merkittävää haittaa liikenteelle. (1, 15.6.) Radalla on taipumus tukemisen jälkeen hieman painua, ja sitä mukaa radan laatu alkaa heiketä (22, s. 3), mutta se, että vaikuttaako lasertuenta raiteen pysymiseen parantavasti, on tässä vaiheessa hankala sanoa. Tätä tullaan Destia Rail Oy:ssä seuraamaan aina kunnossapitosopimuksen loppuun vuoteen 2019 asti.

Tukemisen yhteydessä raiteen nostoista otettiin tarkkeita, eli mitattiin kuinka paljon tukemiskone on milloinkin nostanut. Kyseessä on eräänlainen tarkastus. Muutamissa kohdissa havaittiin, että nostoa on ollut 2 – 5 millimetriä enemmän kuin mitä on vaadittu. Tämä perustavalaatuinen asia johtui siitä, että laservas- taanotin sijaitsee tukemiskoneen etutelin vieressä ja on siis kuormitetussa ti- lassa.

Olemassa olevilla radoilla, jotka on perustettu maanvaraisesti, saa kuormitet- tuna olla tietyn suuruinen palautuva painuma (40, s. 18). Näitä painumia ei mit- tamiehen tekemissä nosto- ja siirtoarvoissa ole otettu huomioon. Lisäksi rata- verkolla esiintyy virheitä, jotka tulevat esiin vasta kuormitettuna, joskin nämä ovat suhteellisen harvinaisia. (10.)

Liitteessä 12, joka on tukemiskoneen DRP-tiedosto, on esitetty seuraavat suu- reet (ylhäältä alas):

- nuolikorkeus vasen/oikea [mm]
- kallistus [mm]
- kierous [mm/1m]
- korkeuspoikkeama vasen/oikea [mm]
- nostoarvo vasen [mm]
- nostoarvo oikea [mm]
- korkeuspoikkeama vasen D1 aallonpituusalueella [mm]
- korkeuspoikkeama oikea D1 aallonpituusalueella [mm]
- nostoarvo oikea [mm]
- puristusaika [sek].

Tukemiskoneen DRP-tulosteessa (liite 12) on ratakilometrit 622 + 500 – 622 + 670. Tulostetta tarkastettaessa on ymmärrettävä edellä mainitut suureet ja puututtava mahdollisiin poikkeamiin. Käyrästä on havaittavissa perustavalaatui- nen ero kohdassa, jossa lasertuenta vaihtuu nuoteilla tehtäväksi tuennaksi.

Korkeuspoikkeama D1 vasemmalle ja oikealle kiskolle kuvastaa korkeuspoik- keamaa aallonpituusalueella $3\text{ m} < \lambda \leq 25\text{ m}$ (41, s. 5). Tämä suure on hyvin oleellinen, koska laserohjatulla tuennalla on nimenomaan tarkoitus parantaa

pidemmän aallonpituuden virheitä. DRP-tulosteesta on nähtävissä, että korkeuspoikkeaman laatu muuttuu hieman heikommaksi heti taitoskohdan jälkeen ratakilometrillä 622 + 610. Toinen merkittävä ero on nostoarvojen käyttäytyminen. Ero huomataan myös samassa taitoskohdassa, jossa laserohjattu tuenta vaihtuu nuoteilla tehtäväksi tuennaksi. Nuotit, jotka on mitattu 20 metrin välein käyttäytyvät suoraviivaisesti. Tässä tapauksessa nuottien väli muuttuu seuraavaan pisteeseen laskennallisesti. Laserohjauksessa johtokisko saa koko ajan oikean tiedon nosto- ja siirtoarvosta, joten vertailulinja AC säilyy koko ajan oikeassa geometriassa. Tämä on havaittavissa nostoarvoista, oikeasta kiskosta, joka on johtokisko.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia laserohjattua raiteen tuentaa ja analysoida siitä saatuja tuloksia. Työssä keskityttiin myös radan geometriaan, työmenetelmiin ja eri tukemiskoneisiin. Työssä tutkittiin myös kahden eri tukemiskoneen tuloksia sekä erilaisia tukemisparametreja. Tuloksista todettiin, että tuplapuristus antaa parhaimman tuloksen radantarkastusajon korkeuspoikkeaman keskihajontaan, joka mitataan viiden metrin mittakannalla. Laserohjattulla tuennalla saadaan paras laatu, kun raidetta mitataan tukemiskoneen omalla standardiin SFS-EN 13848 perustuvalla korkeuspoikkeaman D1 aallonpituusalueella. Laadukkain tulos syntyi myös laserohjattulla menetelmällä, kun arvosteltiin raidetta spc-käyrällä eli pitkällä aallonpituusalueilla. Opinnäytetyön tutkimuksia voidaan käyttää vuosienkin päästä, kun analysoidaan raiteen pysyvyyttä ja korkeuspoikkeaman keskihajonnan heikkenemistä. Tutkimuksessa otettiin myös huomioon tukemisajankohta ja tarkastusajon ajankohta. Näitä tietoja pyritään jatkossa hyödyntämään.

Tuloksia verrattiin sekä konekohtaisesti sekä menetelmäkohtaisesti. Tutkimuksessa selvisi, että tukemiskone P&T 09-475/4S tekee laadukkaampaa jälkeä kun tukemiskone P&T 08-32 C. Tätä tietoa voidaan hyödyntää tarvittaessa tulevissa Destia Rail Oy:n töissä.

Laserohjattu tuenta on jonkin verran hitaampaa kuin normaalilla tarkkuusmenetelmällä työskentely. Tämä ei kuitenkaan ole aivan yksiselitteistä, jos ottaa huomioon ratatyöluvan pituuden. Joissain työikkunoissa voidaan tehdä vain tietty määrä tuentaa, ja tässä ajassa sen voi joko tehdä laserohjausta tai perinteistä tarkkuusmenetelmää käyttäen. Laserlähettimen vieminen tietyn etäisyyden päähän tukemiskoneesta, vaaditus, kohdistaminen tukemiskoneen vastaanottimeen ja oikean geometrian syöttäminen, vievät aikaa noin viidestä kymmeneen minuuttiin.

Radan perusparannukseen tai uudisrakentamiseen liittyvissä työvaiheissa on otettava huomioon huolellisuus erityisesti radan komponentteja käsiteltäessä. Radan rakennuksen ensi hetket määrittelevät radan luontaisen laadun ja tämä

myös heijastuu kunnossapidon määränä tulevaisuudessa. Kiskojen käsittelyn on oltava erityisen tarkkaa, koska kiskon kulkupinnan tasalaatuisuudella on merkitsevä vaikutus korkeuspoikkeaman keskihajonnan laatuun.

Rataosan kunnolla on merkitsevä yhteiskunnallinen vaikutus, koska huonokuntoinen rata lisää kunnossapidon kustannuksia. Kunnan heikkeneminen näkyy liikenteessä erityisesti paino- ja nopeusrajoituksina. Ongelmana on, että investoinneille on vaikea saada riittävästi huomioarvoa ja rahoitusta. Rataverkon koostuessa monista eri-ikäisistä ja kunnoltaan erilaisista rataosaista, on yksittäisen rataosan kunnan kehittyminen koko rataverkon kokonaisuutena vaikeasti hahmoteltavissa.

LÄHTEET

1. Selig, Ernest T. – Waters, John M. 1994. Track geotechnology and substructure management. Thomas Telford Ltd: London.
2. Liikennevirasto. Rataverkko. Saatavissa:
<http://www.liikennevirasto.fi/rataverkko#.WMVNicuQqUk>. Hakupäivä 15.8.2016.
3. Destia. Saatavissa:
<https://destia.sharepoint.com/sites/desnet/uutiskeskus/uutiset/Sivut/Rata-kunnossapitoalue-9-sopimus.aspx>. Hakupäivä 16.12.2017.
4. Kunnossapitoalue 9 radan ja turvalaitteiden kunnossapito 2017 – 2020.
5. Liikennevirasto. Kunnossapito. Saatavissa:
<http://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/23405/Rataverkon+kunnossapito+ja+is%C3%A4nn%C3%B6inti/7dbbfc9b-b85f-4d2a-9475-d3b02e5d65ea>. Hakupäivä 16.12.2017.
6. Rautateiden verkkoselostus 2017. Liikennevirasto. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lv_2015-02_rautateiden_verkkoselostus_2017_lv.pdf. Hakupäivä 16.12.2017.
7. Ajankohtaista rataverkon kunnossapidosta. 2006. Rautatietekniikka nro. 1 S. 58.
8. Liikennevirasto. Palveluntuottajat. Saatavissa:
<http://www.liikennevirasto.fi/palveluntuottajat/hankinnat/rataurakat#.WNdnotdaUk>. Hakupäivä 5.2.2017.
9. Tarjouspyyntö. Radan ja turvalaitteiden kunnossapito 2015–2020 kunnossapitoalue 11 (Kainuu - (Oulu)) Liite 1.11, Raportointi ja dokumentointi. Liikennevirasto. 2014.
10. Hyry, Kalle 2017. Kalustopäällikkö, Destia Rail Oy. Haastattelu 18.1.2017.

11. Tarjouspyyntö. Radan ja turvalaitteiden kunnossapito 2015–2020 kunnossapitoalue 11 (Kainuu- (Oulu)) Liite 1.5, Kunnossapitotöiden tehtäväluettelo. Liikennevirasto. 2014.
12. Raiteentarkastustulokset ja niiden tulkinta. RHK. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_radantarkastusohjeita_raiteentarkastustulokset.pdf. Hakupäivä 16.12.2016.
13. Tarjouspyyntö. Radan ja turvalaitteiden kunnossapito 2015 - 2020 kunnossapitoalue 11 (Kainuu – (Oulu)) Liite 1.6, Kunnossapidon laatutavoitteet. Liikennevirasto. 2014.
14. VR Track Oy. Rataporttipalvelu. Saatavissa: www.rataportti.fi. Hakupäivä 19.1.2017.
15. SFS-EN 13848-6. 2014. Railway applications. Track. Track geometry quality. Part 6: Characterisation of track geometry quality.
16. Peltokangas, Ossi – Luomala, Heikki – Nurmikolu, Antti 2013. Radan pystysuuntainen jäykkyys ja sen mittaaminen. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-06_radan_pystysuuntainen_web.pdf. Hakupäivä 15.12.2016.
17. Peltokangas, Ossi – Nurmikolu, Antti 2015. Raidegeometrian kunnossapito tukemalla ja tukemiskalusto Suomen rataverkolla. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2015-23_raidegeometrian_kunnossapito_web.pdf. Hakupäivä 9.12.2016.
18. Partanen, Tuija 2017. Lehtori, OAMK. Haastattelu 16.2.2017.
19. Ellis, Iain 1998. The Hallade Training Manual. Saatavissa: <http://www.iainellis.com/hallade.pdf>. Hakupäivä 15.12.2017.
20. Liikennevirasto. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 4 Vaihteet. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-22_rato_4_web.pdf. Hakupäivä 16.12.2016.

21. Liikennevirasto. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 2 Radan geometria. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2010-03_rato_2_radan_geometria_web.pdf. Hakupäivä 17.12.2017.
22. Zaayman, Leon. 2012. Mechanisation of Track Work in Developing Countries. Plasser.
23. Lichtberger, Bernhard. 2005. Track Compendium. Eurailpress Tetzleff-Hestra GmbH & Co. KG. Hamburg.
24. Ylinen, Teemu. Mittausvastaava, Destia Rail Oy. Haastattelu 2.3.2017.
25. Kautto, Aapo. Työnjohtaja, Destia Rail Oy. Haastattelu 19.2.2017.
26. Esveld, Coenraad. Digital Edition 2016, version 3.8. Modern Railway Track. MRT-Productions. The Netherlands.
27. Technical Description. Operator's manual. Plasser and Theurer. Issued May 2014.
28. Tukemistyön suunnittelu ja toteuttaminen. Liikennevirasto. 2011.
29. Ranua, Antti. Mittauspäällikkö, Destia Rail Oy. Haastattelu. 6.3.2017.
30. Best Practice Guide for Optimum Track Geometry Durability. International Union of Railways (UIC). Paris, 2008.
31. Paavilainen, Ossi – Mäkelä, Tommi – Saikonen, Riikka 2009. Rataverkon kunnan ja sen liikenteellisen vaikutusten visualisoinnin lähtökohdat. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_2009-a1_rataverkon_kunnan_web.pdf. Hakupäivä 15.2.2017.
32. The safe tamping process. Plasser and Theurer.
33. Väisänen, Heikki. Kalustovastaava, Destia Rail Oy. Haastattelu 7.3.2017.
34. Lemola, Timo. Työnjohtaja, Destia Rail Oy. Haastattelu 26.2.2017.

35. Matisa. Saatavissa:
http://www.matisa.ch/brochure/en/technologie_bourreuses_en.pdf. Hakupäivä 7.3.2017.
36. Plasser and Theurer. Saatavissa:
<https://www.plassertheurer.com/en/machines-systems/tamping-dynamic-tamping-express-09-4x-e3.html>. Hakupäivä 7.3.2017.
37. Tarjouspyyntö. Radan ja turvalaitteiden kunnossapito 2015–2020 kunnossapitoalue 11 (Kainuu- (Oulu)) Liite 1.3, Kunnossapitoalueen kuvaus. Liikennevirasto. 2014.
38. Liikennevirasto. Valtion rataverkko 1.7.2015. Saatavissa:
<http://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/23384/Rataverkkokartta+2015/f1800f35-d3f7-4723-bb6e-c0091a75cff3>. Hakupäivä 7.3.2017.
39. Kauppinen, Mikko. Liikennevirasto. 01/2011. Ratakiskon elinkaari. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-01_ratakiskon_elinkaari_web.pdf. Hakupäivä 3.2.2017.
40. Liikennevirasto. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3 Radan rakenne. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-17_rato3_web.pdf. Hakupäivä 26.2.2017.
41. SFS-EN 13848-5. 2010. Railway applications. Track. Track geometry quality. Part 5: Geometric quality levels. Plain line.

LIITTEET

Liite 1 Pääratojen kunnossapitotasot

Liite 2 Pää- ja sivuraiteiden kunnossapitotasot

Liite 3 Tarkastukset eri kunnossapitotasoilla

Liite 4 Ratakunnossapidon kilpailuttaminen

Liite 5 Tukemiskoneen mittapisteet

Liite 6 Tukemismetodiikka eri Euroopan maissa

Liite 7 Päälysrakenneluokat valtion rataverkolla

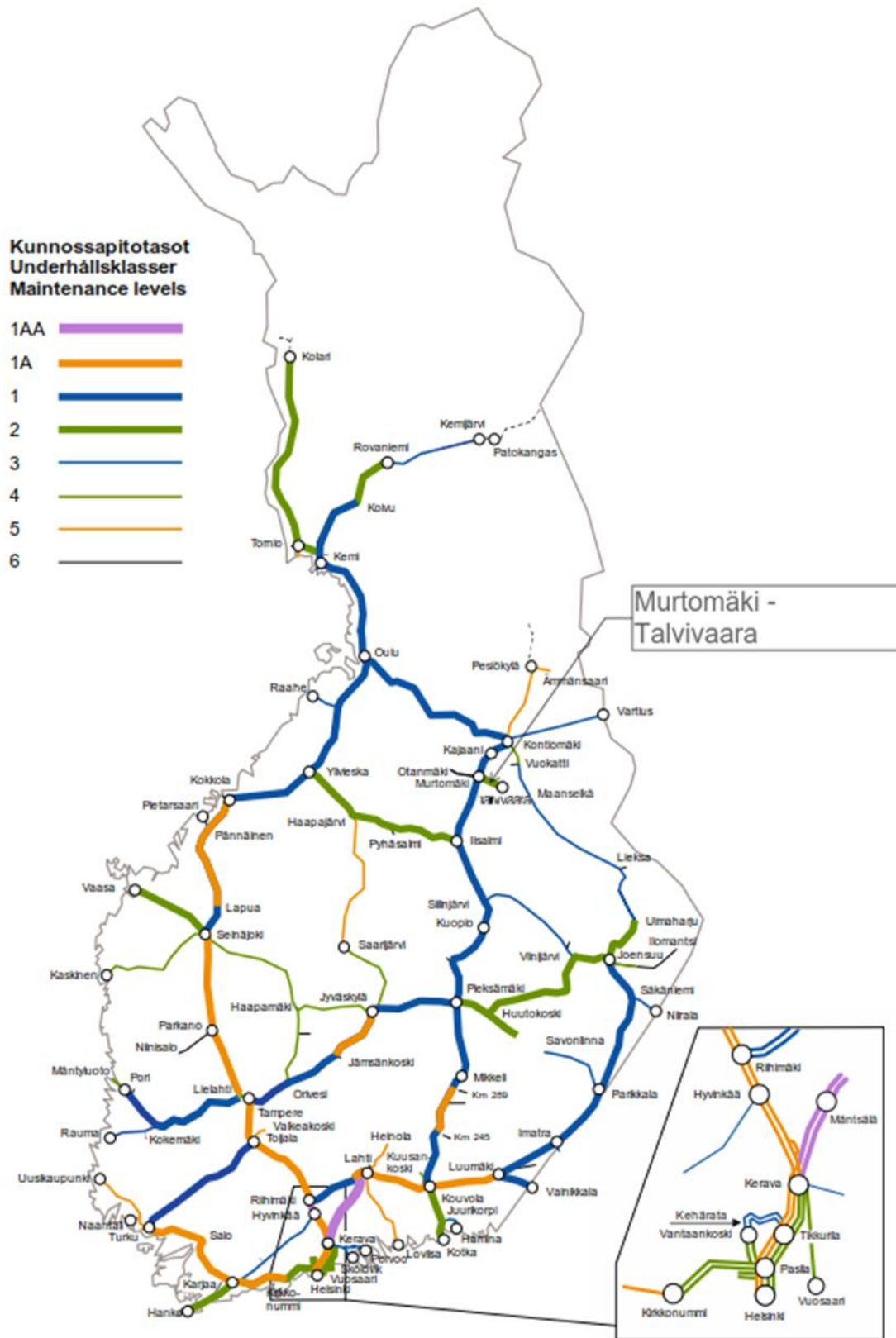
Liite 8 Pystygeometrian viisteet ja taitteet

Liite 9 Korkeuspoikkeaman keskihajonta

Liite 10 Spc-käyrä (laser)

Liite 11 Spc-käyrä (nuotit)

Liite 12 DRP-tuloste



Lähde: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lv_2015-02_rautateiden_verkkoselostus_2017_lv.pdf. liite 6

Kunnossapitotaso	Suurin nopeus V_{max} [km/h], sitä vastaava akselipaino P [kN] ¹⁾²⁾ , raiteet	Kiskopaino vähintään	Ratapölkkyt vähintään	Tukikerros vähintään
IAA	$V_{max} \leq 220, P \leq 185$	60E1	Betoni ³⁾	Raidesepeli
1A	$V_{max} \leq 200, P \leq 185$	54E1	Betoni 1987 tai uudempi ³⁾	Raidesepeli
	$V_{max} \leq 180, P \leq 185$	54E1	Betoni 1986 tai vanhempi ³⁾	Raidesepeli
	$V_{max} \leq 160, P \leq 185$	54E1	Betoni /puu	Raidesepeli
	Sn 160 raiteenvaihtopaikat	60E1	Betoni ³⁾	Raidesepeli
1	$V \leq 140, P \leq 185$	54E1	Betoni/puu	Raidesepeli
	Sn 140 raiteenvaihtopaikat			
2	$V \leq 120$	54E1	Betoni/puu	Raidesepeli
	Sn 110 raiteenvaihtopaikat			
3	$V \leq 110$	K43	Puu/betoni	Raidesepeli
4	$70 < V \leq 100$ pääraiteet	K43	Puu/betoni	Raidesora tai vastaava
	$70 < V \leq 100$ sivuraiteet			
	Sn 80 raiteenvaihtopaikat			
5	$50 < V \leq 70$ pääraiteet	K30	Puu	Raidesora tai vastaava
	$50 < V \leq 70$ sivuraiteet			
	Sn 35 raiteenvaihtopaikat			
6	$V \leq 50$ pääraiteet	K30	Puu	Raidesora tai vastaava
	$V \leq 50$ sivuraiteet			
	Kuormaus- ja seisontaraiteet			

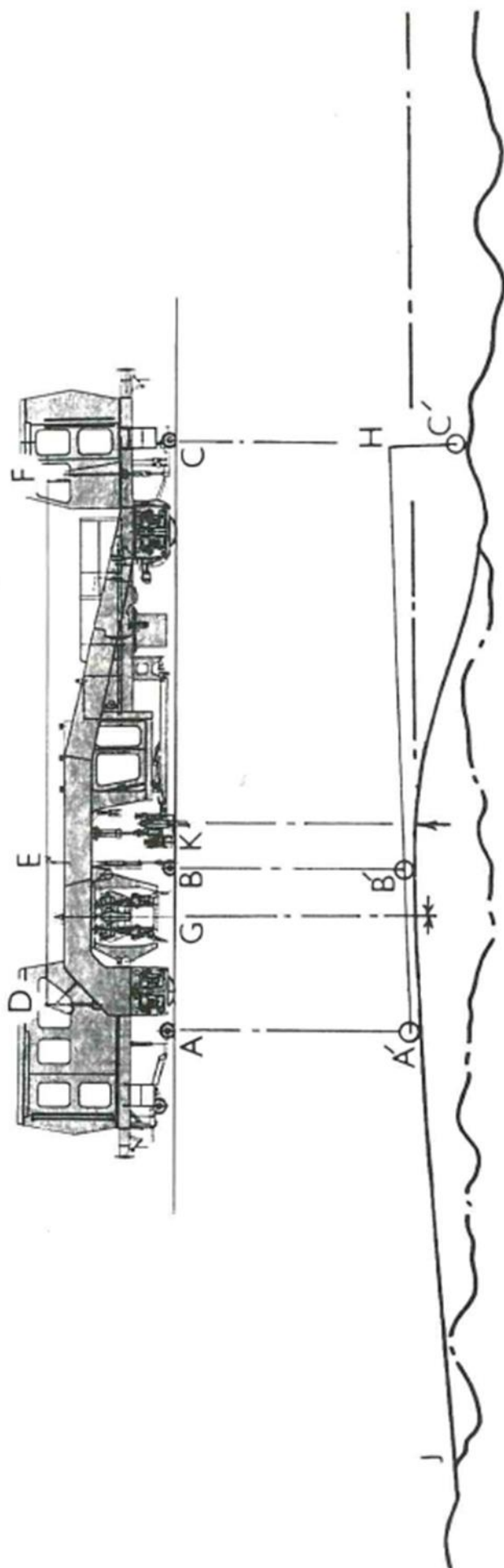
Kunnossa- pitotaso	Raiteet	Mittaus tarkastusvau- nalla kertaa / vuosi	Tarkastus liikku- vasta kalustosta kertaa / vuosi	Kävely- tarkastus kertaa / vuosi	Vaihte- tarkastus kertaa / vuosi
1AA		6 / v, väli \leq 3 kuukautta	6 / v, tarkastusvau- nuajojen puolivä- lissä	2-3 / v	4 / v
1A		6 / v, väli \leq 3 kuukautta	6 / v, tarkastusvau- nuajojen puolivä- lissä	2 / v	4 / v
1		3 / v	6 / v, tarkastusvau- nuajojen kolmas- osissa	1-2 / v	4 / v
2		2 / v	6 / v, väli \leq 2 kuu- kautta	1-2 / v	2-4 / v
3		2 / v	6 / v, väli \leq 2 kuu- kautta	1-2 / v	2-4 / v
4	Pääraiteet	2 / v	3 / v, vähintään 6 kuukauden välein veturista	1-2 / v	2-4 / v
	Sivuraiteet	1 / v	3 / v		
	Sn 80 raiteenvaihto paikat				
5	Pääraiteet	2 / v	2 / v, tarpeen mu- kaan, vähintään 6 kuukauden välein veturista	1-2 / v	1 / v
	Sivuraiteet	1 / 3 v	Mittaresiinalla tai vastaavalla 1 / v		
	Sn 35 raiteenvaihto paikat				
6	Pääraiteet	2 / v	2 / v, tarpeen mu- kaan, vähintään 6 kuukauden välein veturista	1-2 / v	1 / v
	Sivuraiteet	1 / 3 v	Mittaresiinalla tai vastaavalla 1 / v		
	Kuormaus- ja seisonta- raiteet	Sovitaan RHK:n kanssa			

Ratakunnossapidon kilpailuttaminen 2015 - 2020 (päällysrakenne ja turvalaitteet & sähkörata & asema- ja laiturialueet)



KOHDE	SOPIMUS PÄÄTTY	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020				
ALUE 1: Uusimaa	31.3.2018					KILPAILUTUS					KILPAILUTUS							
ALUE 2: Lounaisrannikko	31.3.2017		KILPAILUTUS							KILPAILUTUS								
ALUE 3: (Riihimäki) - Kokkola	31.12.2018			KILPAILUTUS								KILPAILUTUS						
ALUE 4: Rauma - (Pieksämäki)	30.11.2017			KILPAILUTUS			KILPAILUTUS											
ALUE 5: Haapamäen tåhti	31.1.2019		KILPAILUTUS															
ALUE 6: Savon rata	31.10.2016		KILPAILUTUS							KILPAILUTUS								
ALUE 7: Karjalain rata	30.9.2019		KILPAILUTUS															
ALUE 8: Yläsavon	31.10.2020			KILPAILUTUS						KILPAILUTUS								
ALUE 9: Pohjanmaan rata	30.4.2017		KILPAILUTUS															
ALUE 10: Keski-Suomi	30.4.2017		KILPAILUTUS															
ALUE 11: Kainuu - (Oulu)	30.4.2020		KILPAILUTUS							KILPAILUTUS								
ALUE 12: (Oulu) - Lappi	30.4.2020		KILPAILUTUS															
Sähkövirta-vahvavirta	31.12.2017		KILPAILUTUS															
Pohjois-Suomi																		
Sähkövirta-vahvavirta	31.12.2017					KILPAILUTUS												
E-S, I-S ja L-Suomi																		
Asema- ja laiturialueet kunnossapito	31.08.2017																	
Etelä-Suomi																		
<p>Radan kunnossapidon kilpailuttaminen alkautuu tåhtaan niin, ettå operatiiviset kt-tyt alkavat vuosittain loka- tai maaliskuussa (sähköteknikka voi alkaa muulloinkin): Kunnossapitystyy vaihtuu molemmissa tapauksissa uuden kunnossapitykauden vaihteessa</p>																		
keså	heinå	eloku	syys	loka	syys	loka	marras	joulu	tammikuu	heinå	maalis	huhti	touko	keså	heinå	eloku	syys	lokakuu
<p>astakirjojen valmistelu</p> <p>laskenta-aika</p> <p>sopimusneuvottelut</p> <p>vaimistautumisaika</p> <p>SOPIMUSKAUSI ALKAA -></p>																		
<p>Alkukatselmus / kohteen nåytö</p>																		
tammikuu	heinå	maalis	huhti	touko	keså	heinå	eloku	syys	loka	marras	joulu	tammikuu	heinå	maalis	huhti	touko	keså	lokakuu
<p>astakirjojen valmistelu</p> <p>laskenta-aika</p> <p>sopimusneuvottelut</p> <p>vaimistautumisaika</p> <p>SOPIMUSKAUSI ALKAA -></p>																		
<p>Alkukatselmus / kohteen nåytö</p>																		

Låhde: http://www.liikennevirasto.fi/palveluntuottajat/hankinnat/rataurakat#.WJeK_su7qUk



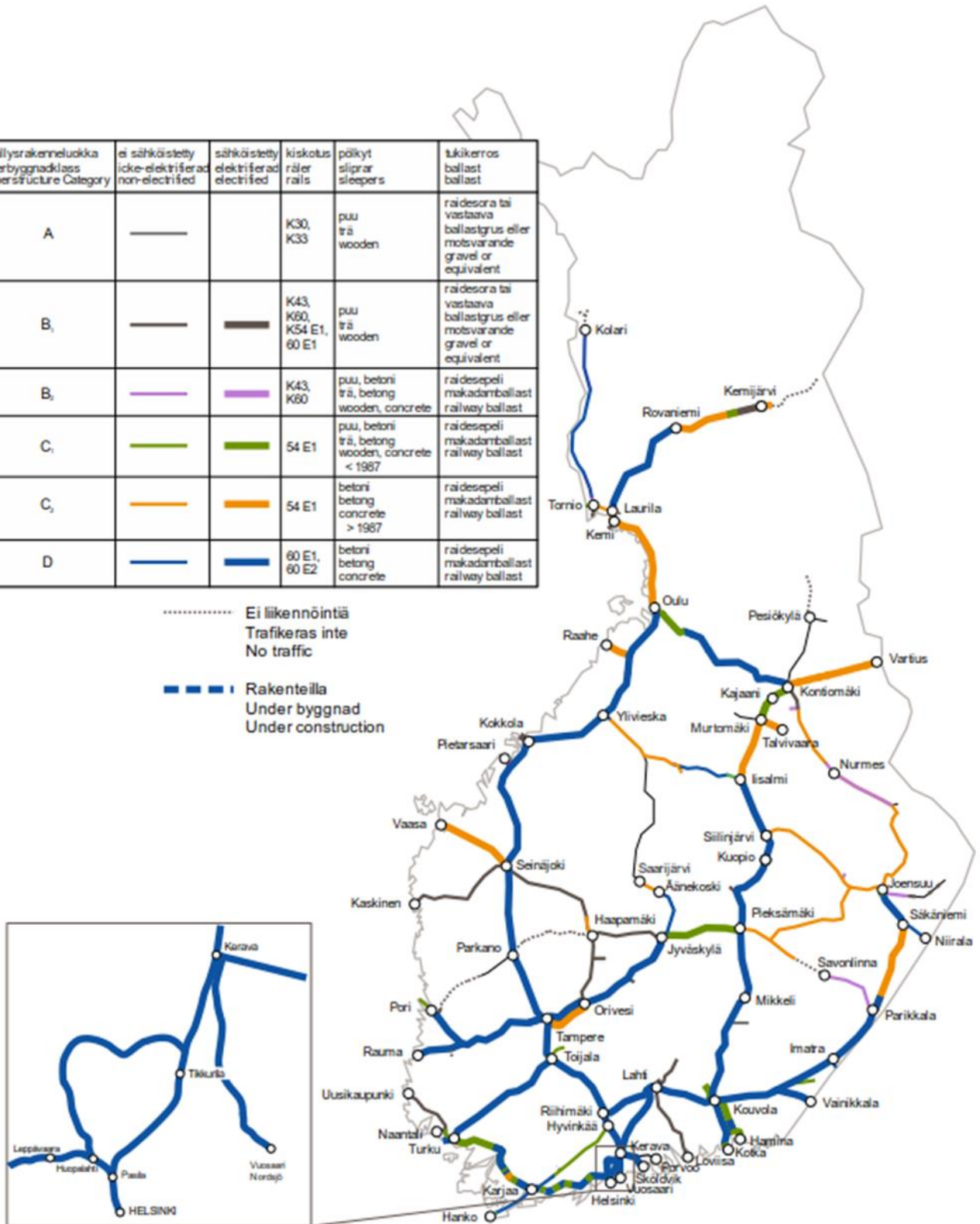
	SWITZERLAND	SPAIN	GERMANY	GREECE	HUNGARY	FRANCE	BRITAIN	AUSTRIA	BELGIUM	NORWAY
NORMAL METHOD OF TAMPING	ABSOLUTE	ABSOLUTE	RELATIVE	ABSOLUTE AND RELATIVE		Absolute and relative	Absolute and relative	Absolute	Absolute	Absolute
SINGLE / DOUBLE TAMP	DOUBLE	DOUBLE	DEPENDS ON LIFT	DOUBLE		SINGLE	SINGLE	SINGLE AND DOUBLE	SINGLE AND DOUBLE	DEPENDS ON LIFT
ABSOLUTE TAMP FOLLOWED BY SMOOTH TAMP	NO	NO	NO	NO		NO	Only on installation	NO	ONE POINT ABS	NO
MINIMUM TRACK LIFT	15 mm	20 mm	10 mm	10 mm		2 - 5 mm	10 mm	8 mm	2 - 5 mm	20 mm
MAXIMUM TRACK LIFT	50 mm	60 mm	25 mm	50 mm		50 mm	25 mm	60 mm	35 mm	50 mm
DTS USE	NO	AFTER	YES	AFTER TAMP		AFTER TAMPING	after plain line renewals	before renewals	after renewals	YES
DTS EFFECT ANALYSED?	NO	YES	YES	20,000 / 100,000 TONNES			YES	YES	NO	NO (~ 50 000 TONNES)
WHEN IS EXTRA BALLAST DROPPED	BEFORE TAMP	BEFORE TAMP	YES	BEFORE & AFTER TAMP		BEFORE TAMP	AFTER TAMP	BEFORE TAMP	BEFORE AND AFTER TAMP	BEFORE OR AFTER TAMP
SQUEEZE TIME	1sec	3sec		VARIABLE		1.2 - 1.6 sec	1 - 3 sec		0.8 - 1.2 sec	1 - 3 sec
SQUEEZE PRESSURE		175 bar		90 - 140 bar		LITTLE SIGNIFICANT	95 - 130 bar		110 bar	90 110 bar
TINE PENETRATION DEPTH	30 mm BELOW SLEEPER	280 - 310 mm	20 mm	10 - 15 mm BELOW SLEEPER		GREAT importance	350 mm "WOOD" 390 mm "concrete"	30 - 40 mm BELOW SLEEPER BOTTOM	70 mm + 10mm	~ 80 mm BELOW SLEEPER BOTTOM
TINE WEAR LIMITS		25% WEAR OF ORIGINAL TINE SURFACE				GREAT importance		Visual inspection	Visual inspection	Estimated (AFTER 20 % WEAR)
VIBRATION FREQUENCY	35 - 45 Hz	35 - 40 Hz				35 - 45 Hz	35 - 45 Hz	35 - 45 Hz	35 - 45 Hz	35 - 45 Hz

Lähde: Best practice guide. 2008. s. 71

Päällysrakenneluokka Überbyggnadklass Superstructure Category	ei sähköistetty icke-elektrifierad non-electrified	sähköistetty elektrifierad electrified	kiskotus räler rails	pölyyt sliprar sleepers	tukikerros ballast ballast
A	—		K30, K33	puu trä wooden	raidesora tai vastaava ballastgrus eller motsvarande gravel or equivalent
B ₁	—	—	K43, K60, K54 E1, 60 E1	puu trä wooden	raidesora tai vastaava ballastgrus eller motsvarande gravel or equivalent
B ₂	—	—	K43, K60	puu, betoni trä, betong wooden, concrete	raidesepeli makadamballast railway ballast
C ₁	—	—	54 E1	puu, betoni trä, betong wooden, concrete < 1987	raidesepeli makadamballast railway ballast
C ₂	—	—	54 E1	betoni betong concrete > 1987	raidesepeli makadamballast railway ballast
D	—	—	60 E1, 60 E2	betoni betong concrete	raidesepeli makadamballast railway ballast

..... Ei liikennöintiä
Trafikeras inte
No traffic

— — — — — Rakenteilla
Under byggnad
Under construction



Lähde: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lv_2015-02_rautateiden_verkkoselostus_2017_lv.pdf. liite 6

	KM	M	Pyörästysssäde
Pyörästyksen alku	620	867.571	
Taite	620	970.379	15 000
Pyörästyksen loppu	621	73.187	
<i>Kaltevuus jakso eteenp.</i>		-0.001902	1840 m
<i>Kaltevuus jakso taaksep.</i>		-0.001902	1840 m
Pyörästyksen alku	622	800.868	
Taite	622	810.379	10 000
Pyörästyksen loppu	622	819.890	
<i>Kaltevuus jakso eteenp.</i>		0.000000	600 m
<i>Kaltevuus jakso taaksep.</i>		0.000000	600 m
Pyörästyksen alku	623	405.319	
Taite	623	410.379	10 000
Pyörästyksen loppu	623	415.439	
<i>Kaltevuus jakso eteenp.</i>		-0.001012	840 m

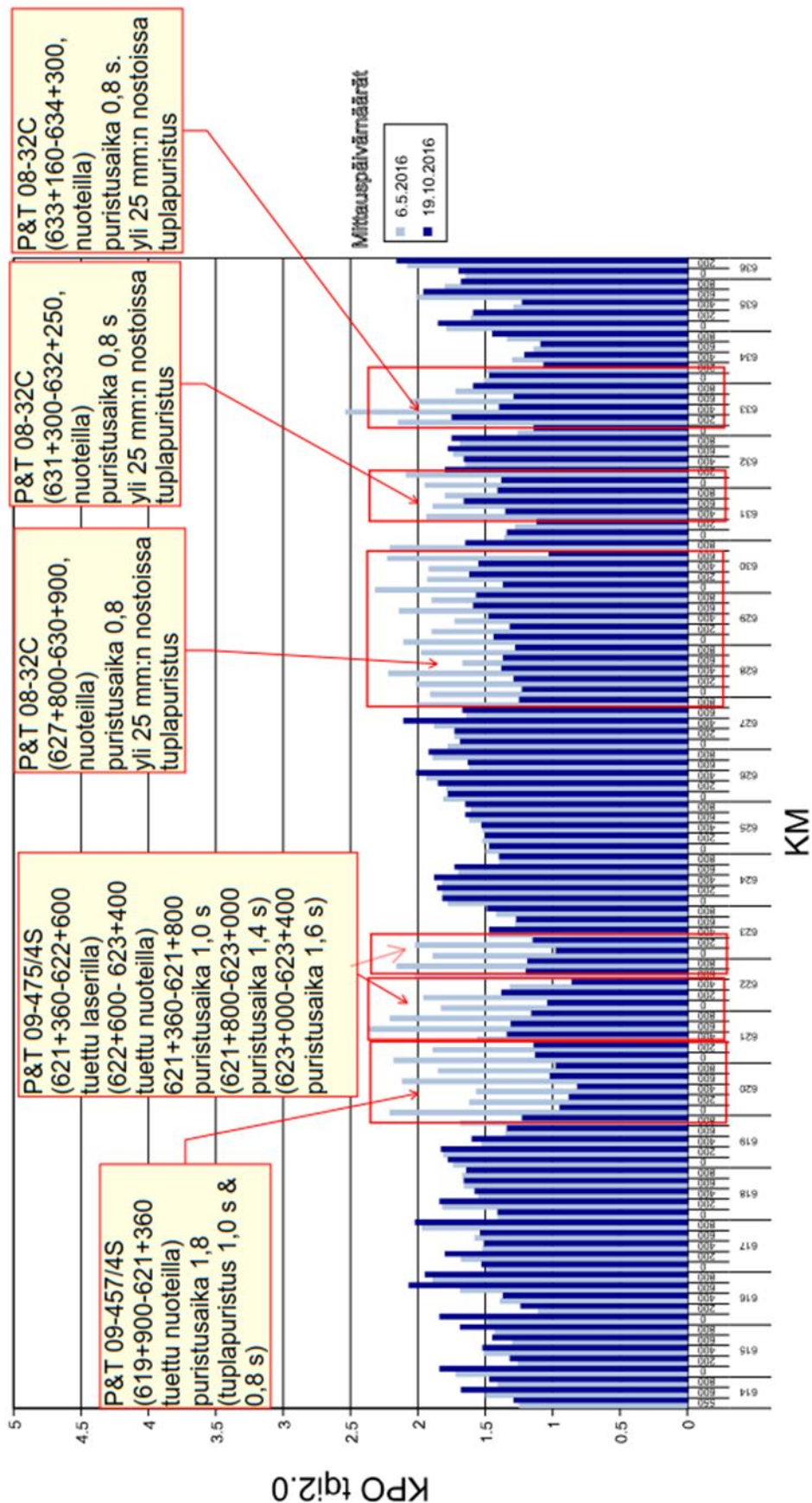


Koneet ja tukemispäivämäärät

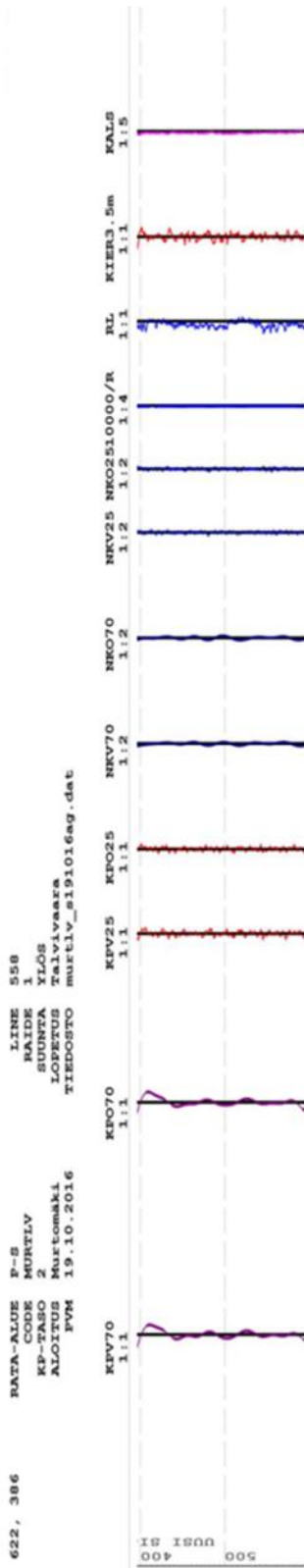
Plasser and Theurer 4S, 20.7-22.7-2016

Plasser and Theurer 08-32C, 16.6-17.6-2016

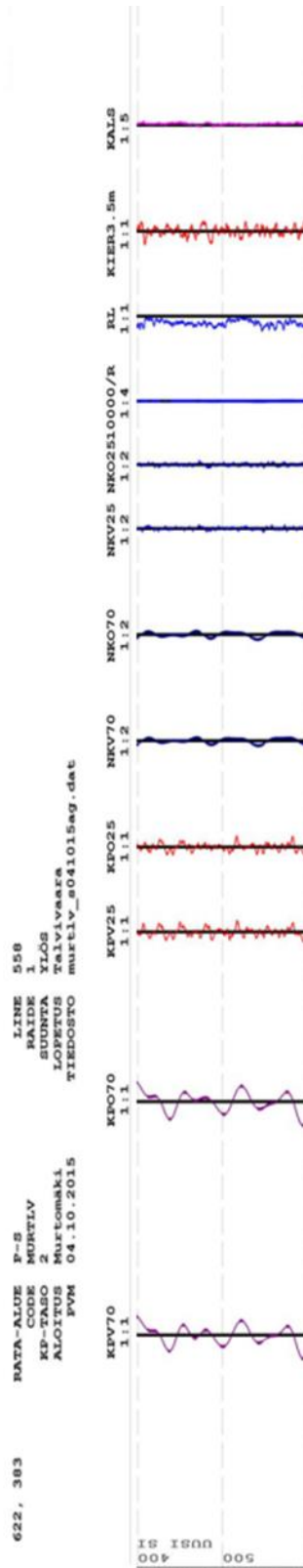
13. Korkeuspoikkeaman keskihajonta (MUR-TLV)



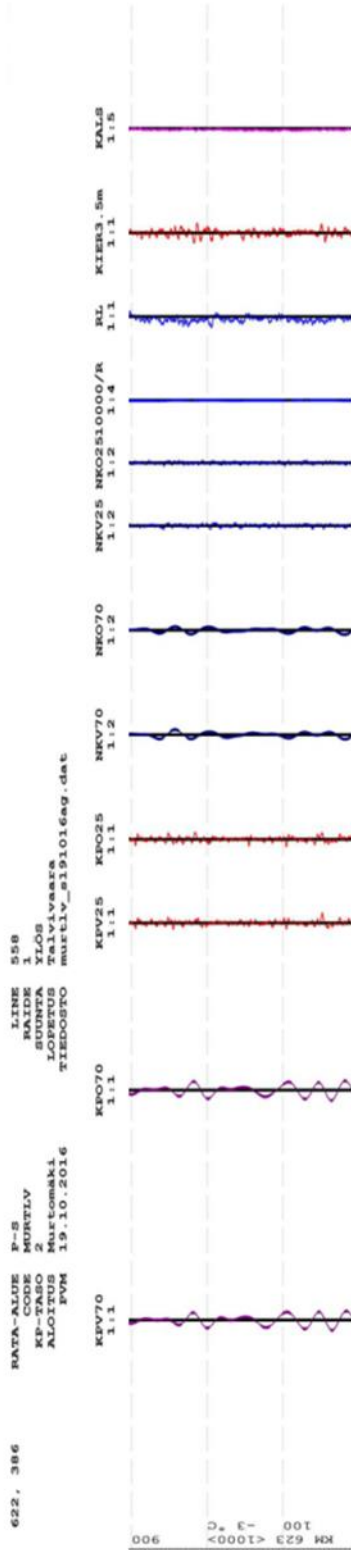
622+400-622+600 tuettu laserohjatulla menetelmällä



622+400-622+600 tilanne ennen tuentaa 4.10.2015



622+900-623+300 tuettu nuotellilla



622+900-623+200 tilanne ennen tuentaa 4.10.2015

