

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka, Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Ympäristörakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Olli-Pekka Helaja

# **ROUTIMISEN EHKÄISY RATARAKENTEES- SA KUIVATUSTA PARANTAMALLA**

Opinnäytetyö 2010

## TIIVISTELMÄ

Olli-Pekka Helaja

Routimisen ehkäisy ratarakenteessa kuivatusta parantamalla, 48 sivua, 3 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikan yksikkö, Rakennustekniikan koulutusohjelma

Ympäristörakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Ohjaajat: Lehtori Matti Hakulinen, Saimaan ammattikorkeakoulu

Ratasuunnittelija Jarno Viljakainen, Oy VR-Rata Ab

Tämä opinnäytetyö tehtiin Liikenneviraston tilauksesta. Työn tavoitteena on tutkia kuivatuksen parantamisen vaikutuksia routimisen ehkäisyyn.

Routimista ja sen ehkäisyä on tutkittu paljon viimeisten vuosien aikana. Tutkimukset ovat osoittaneet rataverkolla olevan routivaa materiaalia radan rakenteissa ja routimattoman rakennekerroksen paksuus on osin riittämätön. Alusrakenteen routiessa on todennäköistä, että routahaittoja voidaan ehkäistä kuivatusta parantamalla.

Työn alkuosassa käydään läpi radan rakennetta ja sen kuivatuksen periaatteita sekä kuinka rataosa arvioidaan sille tehtyjen tarkastusten pohjalta. Esitetään eri kunnossapitotasojen kriteerejä raiteen tasaisuusvaatimukseen ja käydään läpi uusien ja parannettavien ratojen routamitoituksen periaatteita. Lisäksi käsitellään routimista ja siihen läheisesti liittyviä tekijöitä sekä rataverkolla ilmenneiden routavaurioiden syitä ja seurauksia.

Tutkimusosassa tarkastellaan kolmea rataosaa ja seurataan niiden routavaurioiden kehittymistä eri aikaväleillä. Tutkimukseen valitut rataosat ovat Huutokoski - Savonlinna, Varkaus - Heinävesi ja Luumäki - Lappeenranta. Rataosilla kuivatusta on parannettu perusparannusten yhteydessä lähivuosien aikana. Tietoa routavaurioista saadaan EMMA-radantarkastusvaunun mittaustuloksista. Huomioitavia asioita olivat talvien ankaruudet, routivan pohjamaan taso, tukikerroksen laatu ja radan profiili.

Tutkimukset osoittivat kuivatuksen parantamisen vähentäneen routavaurioiden syntyä. Jatkossa toimenpidettä voidaan suositella käytettäväksi vähäliikenteisillä radoilla, jossa raiteen tasaisuusvaatimukset ovat väljemmät. Pääradoilla, joissa raiteen tasaisuusvaatimukset ovat hyvin tiukat, ei riittäviin tuloksiin todennäköisesti päästä.

Avainsanat: kuivatuksen parantaminen, routiminen, radan rakenne

## **ABSTRACT**

Olli-Pekka Helaja

Prevention of frost action in track structure by improving drainage, 48 pages, 3 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Unit of Technology, Civil and Construction Engineering

Spezialization in Community Infrastructure Engineering

Instructors: Lecturer Matti Hakulinen, Saimaa University of Applied Sciences

Railway designer Jarno Viljakainen, Oy VR-Rata Ab

This work was done by the request of Finnish Transport Agency. The objective of this work was to study the effects of drainage improvement for frost actions prevention.

Frost action and its prevention have been studied much in recent years. Studies have shown rail network to contain frost-susceptible construction materials in track structures and the thickness of the non-frost-susceptible track structure is sometimes inadequate. When frost action occurs in substructure, it is likely that frost damages can be prevented by improving the drainage.

The first part of the work goes through the track structure and its drainage principles and how the railway sections are assessed on the basis of checks carried out. Different levels of criteria for track maintenance requirements of the rail smoothness and new and improved tracks frost dimensioning principles are presented. In addition, the first part of the work goes through frost action and closely related factors, as well as rail network encountered frost damage causes and consequences.

The research section views three different track sections and monitors their frost damage developments in different time periods. The selected track sections are Huutokoski - Savonlinna, Varkaus - Heinävesi and Luumäki - Lappeenranta. In the track sections drainage has been improved during the recent years. The needed information is obtained from the measuring drives of the EMMA-track inspection car. Things to consider were the severity of winters, the bottom level of the frost-susceptible subsoil, the quality of the support layer and track profile.

The studies pointed out that the drainage improvements have reduced frost damages. In the future, the measure can be recommended for use in low-traffic railroads where the rail smoothness requirements are less stringent. In high traffic railroads, where the rail smoothness requirements are very tight, it is likely that the results are not sufficient.

Keywords: drainage improvement, frost action, track structure

## TERMIT JA LYHENTEET

**EMMA-radantarkastusvaunulla** mitataan raiteen geometriaa ja ajolangan asemaa.

**Korkeusviivalla** tarkoitetaan viivaa, joka määrittelee raiteen korkeuden aluslevyn tai välilevyn alapinnan tasossa kiskon kulkureunan kohdalla.

**Kuivatuksella** tarkoitetaan kaikkia niitä toimenpiteitä yhdessä, millä vesi johdetaan pois päällyys- ja alusrakenteesta.

**Kunnossapitäjällä** tarkoitetaan organisaatiota tai sen edustajaa, joka pitää rataa tai sen osaa liikennöitävässä ja liikenneturvallisessa kunnossa radanpitäjän toimeksiannosta.

**Pohjamaa** on ratapenkereen alla oleva maa.

**Raide** koostuu ratapölkkyistä, ratakiskoista, ratakiskojen kiinnitys- ja jatkososista sekä vaihteista ym. raiteen erikoisrakenteista.

**Ratakilometri** kertoo etäisyyden Helsingin rautatieasemalle kyseessä olevaa rataa pitkin.

**Ratakuvapalvelu** on Liikenneviraston tarjoama palvelu yrityksille ja sidosryhmille.

**Rataosa** on virallisesti jaettu rataverkon osa.

**Rataosuus** on erikseen määritetty väli rataosalla.

**Routaeriste** lisää rakenteen lämmöneristävyyttä ja ehkäisee eristeen alla olevan maakerrosten routimista. Ratarakenteissa käytetään XPS-routalevyjä.

**Vähäliikenteinen rata** on rata jonka vuotuinen kuljetusmäärä on alle 500 000 bruttotonnia.

### LYHENNE

### SELITYS

**GKPT**

Geometrisen kunnan palvelutaso

**Kh**

Pakkasmäärä

**TQI**

Radan geometrian laatuindeksi

**VKPT**

Vaihteiden geometrisen kunnan palvelutaso

## SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	
ABSTRACT.....	
TERMIT JA LYHENTEET .....	
1 JOHDANTO .....	6
2 RADAN RAKENNE .....	7
2.1 Päälysrakenne.....	7
2.2 Alusrakenne .....	8
2.3 Ratapenger.....	9
2.4 Ratarakenteen kuivatus.....	9
3 RADAN KUNNOSSAPITO JA TARKASTUS .....	11
3.1 Kunnossapitotasot.....	11
3.2 Tarkastettavat suureet.....	12
3.3 Virheluokat ja raja-arvot.....	15
3.4 Tulosten raportointi ja arvostelevminen.....	15
4 ROUTA RATARAKENTEESSA .....	17
4.1 Yleistä roudasta.....	17
4.2 Routamitoitus .....	19
4.3 Routavaurioiden syyt ja aiheutuvat ongelmat.....	23
5 TARKASTELEVAVAT KOHTEET.....	25
5.1 Kohteiden valinta.....	25
5.2 Savonlinna - Huutokoski.....	26
5.2.1 Yleistä .....	26
5.2.3 Seurantatutkimus.....	27
5.3 Varkaus - Heinävesi .....	29
5.3.1 Yleistä.....	29
5.3.2 Seurantatutkimus.....	29
5.4 Luumäki - Lappeenranta.....	30
5.4.1 Yleistä.....	30
5.4.2 Seurantatutkimus.....	31
6 TULOKSET .....	32
6.1 Huutokoski - Savonlinna.....	32
6.2 Varkaus - Heinävesi .....	35
6.3 Luumäki - Lappeenranta.....	41
7 YHTEENVETO JA PÄÄTELEVÄT .....	43
KUVAT.....	45
TAULUKOT.....	46
LÄHTEET.....	47

## LIITTEET

Liite 1 Radan kunnossapitotasot

Liite 2 Suomen rataverkon kunnossapitoalueet

Liite 3 Kerran 50 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä

# 1 JOHDANTO

Suomen rataverkkoa on rakennettu 1850-luvulta saakka, jonka aikana on käytetty useita menetelmiä radan rakentamis-, kunnossapito- ja perusparannustöissä. Yleensä uudet rakenteet on rakennettu vanhojen päälle ja rakennekerroksissa käytetyille materiaaleille on ollut laatuvaatimuksia vasta 1960-luvulta lähtien. Näistä syistä johtuen rataverkolla on paljon routivaa materiaalia alusrakenteissa. Routimattomien rakennekerrosten paksuudet ovat osin riittämättömiä.

Routimisilmiöstä johtuva routanousu aiheuttaa raiteen asemassa pystysuuntaisia muodonmuutoksia. Routavauriot ovat Suomessa jokavuotinen ongelma ja niiden aiheuttamat haitat voivat olla mittavia radan liikennöitävyydelle. Pyrittäessä yhä suurempiin liikennöintinopeuksiin raiteen tasaisuusvaatimukset ovat myös selvästi tiukentuneet.

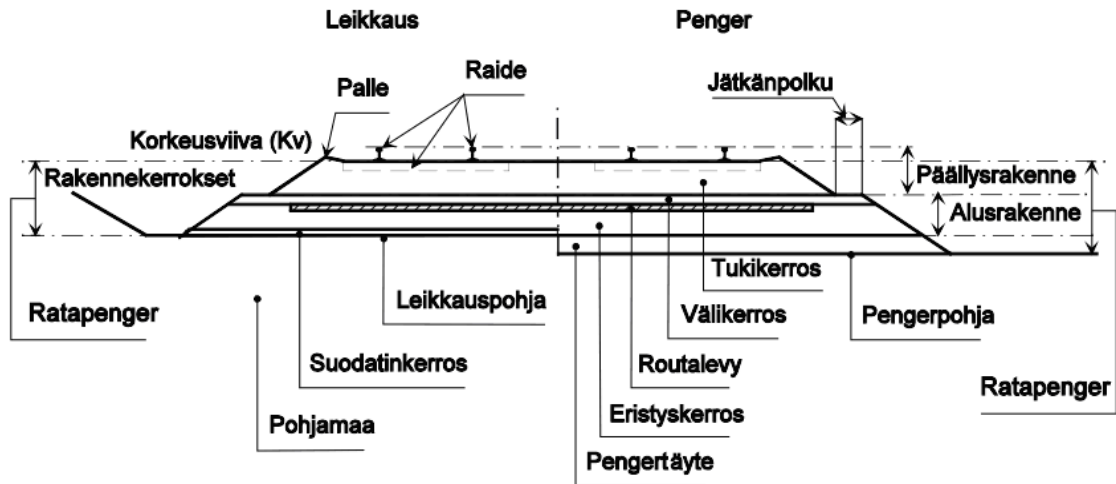
Ratarakenteen routimista on tutkittu paljon viime vuosien aikana. Viimeisimmässä tutkimuksessa, Saarinen 2008, todetaan Suomen rataverkolla olevan routivaa materiaalia alusrakenteessa monissa paikoissa, ja mikäli alusrakenne routii, routahaittoja voidaan todennäköisesti pienentää kuivatusta parantamalla.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, voidaanko ratarakenteen routimista ehkäistä tai sen todennäköisyyttä pienentää kuivatusta parantamalla. Tutkittavana on rataosuuksia, joissa kuivatusta on parannettu lähivuosien aikana. Yhteensä tarkasteltavia rataosuuksia on kolme. Näillä rataosilla esiintyviä routahaittoja verrataan eri talvien aikana. Routahaittoista saadaan tietoa EMMA-radantarkastusvaunun mittaustulosten perusteella.

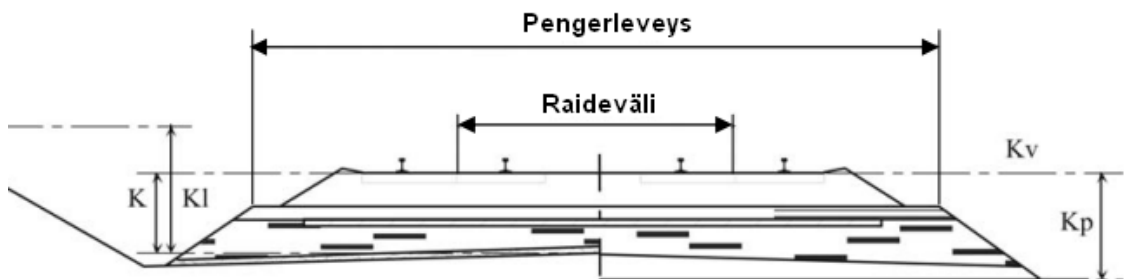
Työhön sisältyy teoriaosa, joka toimii pohjana tutkimusosassa tarvittavalle tiedolle.

## 2 RADAN RAKENNE

Radan rakennekerrokset jaetaan päällysrakenteeseen ja alusrakenteeseen. Ratapenger koostuu rakennekerroksista ja mahdollisesta pengertäytteestä. Radan rakenteeseen ja dimensioihin liittyviä nimityksiä on esitetty kuvissa 1 ja 2 (Ratahallintokeskus 2008).



Kuva 1 Radan rakenneosiin liittyviä nimityksiä



Kuva 2 Radan dimensioihin liittyviä nimityksiä

### 2.1 Päällysrakenne

Päällysrakenteeseen kuuluu tukikerros ja raide (Ratahallintokeskus 2008).

Tukikerroksen tehtävänä on pitää raide geometrisesti oikeassa asemassa ja asennossa, jakaa kuormia alusrakenteelle ja muodostaa raiteelle tasainen ja kantava alusta. Lisäksi tukikerroksen pitää turvata riittävä sähkönvastustuskyky raiteiden välillä ja järjestää radan tehokas kuivatus (Ratahallintokeskus 2008;

Kolisoja 2007). Tukikerroksen mitat määräytyvät sallitun nopeuden, kiskopituuden, tukikerrosmateriaalien ja ratapölkkytyypin perusteella. Betoniratapölkkyjen yhteydessä käytetään aina 550 mm tukikerrosta (Liikennevirasto 2002). Päätöksiä käyttää paksuudeltaan alle 550 mm tukikerroksia on tehty ratojen perusparannusten yhteydessä, vähäliikenteisimmillä radoilla. Tukikerroksen materiaalina käytetään raidesepeliä. Vähäliikenteisillä radoilla on käytetty myös raidesoraa, mutta sen käytön jatkamiselle ei ole perusteita (Kolisoja 2007).

## **2.2 Alusrakenne**

Alusrakenteeseen kuuluu välikerros, eristyskerros ja mahdollinen suodatinkerros (Ratahallintokeskus 2008). Alusrakenteeseen käytetyn materiaalin tulisi aina olla routimatonta (infraRYL 2010).

Välikerroksen tehtävänä on muodostaa tukikerrokselle tukeva, tasaisen ja vettä läpäisevä alusta sekä estää tukikerrosta sekoittumasta eristyskerrokseen (infraRYL 2010).

Eristyskerros jakaa kuormia pohjamaalle ja yhdessä muiden kerrosten kanssa pyrkii ehkäisemään pohjamaan routimisesta aiheutuvaa radan muodonmuutosta (Kolisoja 2007).

Suodatinkerros estää pohjamaan ja rakennekerrosten sekoittumista ja kasvat-  
taa routimatonta rakennepaksuutta. Sen tarve arvioidaan eristyskerroksen ja pohjamaan rakeisuuden suhteen perusteella (infraRYL 2010; Kolisoja 2007).

Radan alusrakenteen mitoituksen kannalta radat jaetaan viiteen alusrakenneluokkaan taulukon 1 mukaisesti (Ratahallintokeskus 2008).



Taulukko 1 Radan alusrakenneluokat (Ratahallintokeskus 2008)

Alusrakenneluok- kaluokka	Henkilöliikenteen suurin sallittu nope- us, V [km/h]	Tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus 225kN akselipainoilla, V [km/h]	Tavaraliiken- teen suurin sallittu nopeus 250kN akseli- painoilla, V [km/h]
0	≤ 50	≤ 40	≤ 30
1	≤ 120	≤ 100	≤ 60
2	≤ 200	≤ 100	≤ 80
3	≤ 250	≤ 120	≤ 100
4	> 250	> 120	> 100

Uuden radan alusrakenteen käyttöikävaatimus on 100 vuotta (Ratahallintokeskus 2008). Alusrakenteen paksuus määräytyy routamitoituksen mukaan. (luku 4.2)

### 2.3 Ratapenger

Ratapenger koostuu radan rakennekerroksista ja mahdollisesta pengertäytteestä (Ratahallintokeskus 2008).

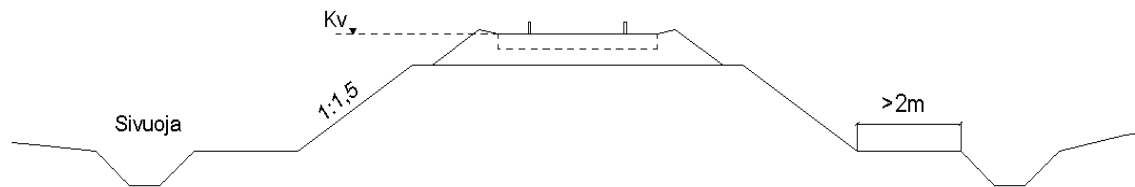
Pengertäytteen tehtävä on tasoittaa maanpinnan luonnollisia korkeusvaihteluita siten, että radan rakennekerrokset voidaan rakentaa sen päälle sekä tarjota tasalaatuinen ja ominaisuuksiltaan luonnonmaapohjaa vastaava alusta (Kolisoja 2007). Suomessa pengerkorkeudet ovat varsin suuria, koska rakennekerrokset joudutaan tekemään roudan takia hyvin paksuiksi (Brecciaroli & Kolisoja 2004). Pengerleveys suoralla on 5,4 - 6,8 metriä ja kaarteessa 5,4 - 7,2 metriä, riippuen alusrakenneluokasta (Ratahallintokeskus 2008).

### 2.4 Ratarakenteen kuivatus

Kuivatuksen periaatteena on pintavesien ohjaaminen pois rakennekerroksista.

Ratarakenteet kuivatetaan yleensä rakennekerrosten alapintaan ulotettavilla sivuojilla, jotka purkautuvat rataa risteäviin ojiin tai hulevesiviemäriin. Salaojia käytetään mm. leikkauksissa, jossa sivuojat eivät mahdu kulkemaan. Rautatie-tunneleissa ja asemalaitureilla kuivatusjärjestelmät ovat monimuotoisempia ja

vaativat enemmän suunnittelua. Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen ratapenkereen kuivatus sivuojilla (Oy VR-Rata Ab 2001).



Kuva 3 Ratapenkereen kuivatus sivuojilla (infraRYL 2010).

Sivuojen tulee koota rata-alueelta ja sen ulkopuolelta tulevat pintavedet ja johdtaa ne sellaisiin maastokohtiin, joista vesi voidaan ohjata pois rata-alueelta. Sivuoja tarvitaan, jos kyseessä on matala ratapenger. Myös korkeilla penge-ro-suuksilla, jossa ympäröivä maasto viettää radalle päin tai sivuoja on esimerkiksi osa pellon kuivatusjärjestelmää, ovat sivuojat tarpeelliset (Oy VR-Rata Ab 2001). Sivuojan pohjan taso tulee yleensä olla 2,2 m syvyydellä, korkeusviivasta mitattuna tai vähintään 100 mm rakennekerrosten alapuolella (InfraRYL 2010). Vesiuoman syvyys ja sivuojan pohjan leveys tulee olla vähintään 0,5 m. Sivuojan pituuskaltevuuden tulisi olla vähintään 0,4 % ja poikkeustapauksissa vähintään 0,1 %. Jos joudutaan käyttämään alle 0,4 %:n kaltevuutta, on suositeltavaa syventää ojaa, jolloin oja saa lisää liettymis- ja umpeen kasvuvaraa (Oy VR-Rata Ab 2001; infraRYL 2010).

Leikkausojien tehtävä on sama kuin sivuojilla mutta ne sijaitsevat maa- tai kalliioleikkauksissa. Leikkausojia ei kuitenkaan tarvita, jos rakenteessa on toimiva salaoja. Kalliioleikkauksessa leikkausojan pienin sallittu pituuskaltevuus on 0,3 % (InfraRYL 2010).

Niskaojilla estetään leikkauksen ulkopuolelta tulevien pintavesien virtaaminen leikkausluiskaan. Niskaoja sijoitetaan siten, että ojan sisäluiskan ja leikkausluiskan yläreunan väliin jää vähintään 3 metriä. Niskaojan tarpeellisuus riippuu maanpinnan kaltevuudesta, valuvien vesien määrästä, luiskan verhouksen laadusta ja perusmaan eroosioherkkyydestä. Tarpeellisuutta arvioidaan myös rin-

teen jatkuvuuden mukaan, jos rinne jatkuu 10...20 m leikkauksen jälkeen radan poikittaissuunnassa, on niskaaja yleisimmin tarpeellinen (Oy VR-Rata Ab 2001).

Laskuojilla johdetaan rata-alueelta tulevat kuivatusvedet olemassa oleviin vesiuomiin, vesistöön tai maastonkohtaan jossa ne eivät aiheuta haittaa ympäristölle (Oy VR-Rata Ab 2001).

### **3 RADAN KUNNOSSAPITO JA TARKASTUS**

Radan kunnossapidon tärkein tavoite on varmistaa raideliikenteen turvallisuus ja radan käytettävyys. Radan liikenteellinen palvelutaso pyritään pitämään sille asetettujen tavoitteiden mukaisena. Tarkistuksista tulee saada riittävästi tietoa ohjaamaan radan kunnossapitoa (Ratahallintokeskus 2004).

#### **3.1 Kunnossapitotasot**

Ratahallintokeskus, nyk. Liikennevirasto, määrittää ratojen kunnossapitotasot (Ratahallintokeskus 2004). Rataosalla kunnossapitotaso määräytyy radan liikenteellisten tarpeiden, päällysrakenteen ja maksiminopeuden mukaan (liite 1). Varsinkin vuosittaiset kuljetettavat bruttonnit ja henkilöliikenteen määrä huomioidaan kunnossapitotason määrittämisessä. Kunnossapitotasot ovat 1AA, 1A, 1, 2, 3, 4, 5 ja 6 (Ratahallintokeskus 2004).

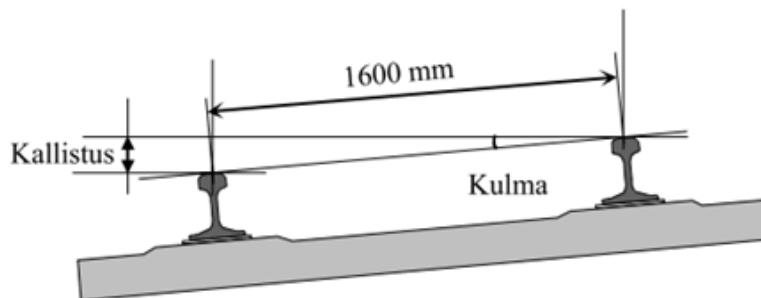
Kunnossapitotasoille on määritetty, kuinka usein ja millä menetelmällä tarkastus suoritetaan: radantarkastusvaunulla, liikkuvalla kalustolla tai kävellen. Radantarkastusvaunu mittaa sekä vertaa mittaustuloksia virheiden raja-arvoihin raiteen ja ajolangan asemasta. Liikkuvalla kalustolla radantarkastus tehdään junasta tai muusta raiteella liikkuvasta kalustosta käsin. Tällöin virheiden arviointi on aistienvaraista ja rataosan yleiskunnosta saadaan hyvä kuva (Ratahallintokeskus 2004).

Suomen rataverkko on jaettu 12:een eri kunnossapitoalueeseen (liite 2), joiden kunnossapidosta vastaavat eri toimijat. Kunnossapitotyön toimittaja on vastuus-

sa kunnossapitosopimuksen mukaisiin laatuvaatimuksiin. Yksi velvollisuus on palveluvalmius, jolla tarkoitetaan sitä, että toimittaja sitoutuu ylläpitämään vuoden jokaisena päivänä menettelytavan, joka vastaanottaa vikailmoituksia käyttökeseukselta tai mahdollisesti myös muualta, ja reagoi niihin välittömästi. Toimittajan tulee käydä paikalla palveluvasteajan puitteissa ja aloittaa kohteessa tarpeen mukainen menettely. Yleensä routanousujen takia radalle asetetaan nopeusrajoitus tai raide kiillataan sellaiseen asemaan, että rataosan normaalilla nopeudella liikennöinti on sallittua. Kiilausta käytetään silloin, kun normaaleja korjaustoimenpiteitä ei voida suorittaa, esimerkiksi tukikerroksen ollessa jäässä. Ellei kunnossapitotoimenpiteitä tehdä, aiheutuu radalle yleensä nuolikorkeusvirheitä, joiden korjaus siirtyy tukikerroksen sulamisen jälkeiseen aikaan. Tällöin nopeusrajoituksia joudutaan asettamaan pitkäksi aikaa ja korjaustoimenpiteet ovat mittavimmat. Nopeusrajoituksen voi poistaa vasta sen jälkeen, kun virhe on korjattu ja tarkistettu hyväksytyllä mittalaitteella (Ratahallintokeskus 2004).

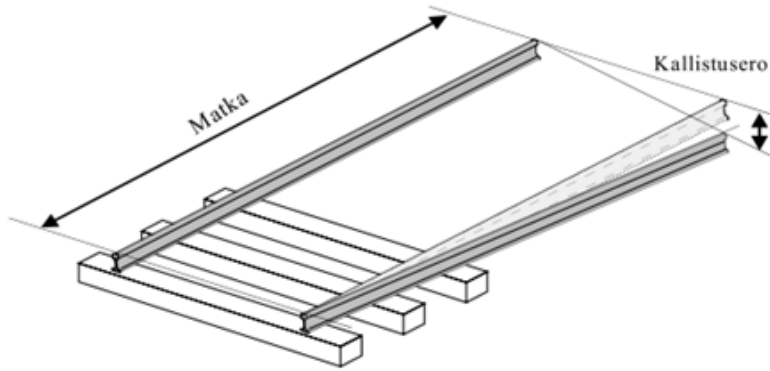
### 3.2 Tarkastettavat suureet

Raiteen geometriasta tarkastettavia suureita ovat kallistus, kierous, korkeus- ja nuolikorkeuspoikkeama sekä raideleveys (Ratahallintokeskus 2004). Suureet ovat esitetty kuvissa 4 - 6 ja 8 - 9. Kuvassa 7 on esitetty raiteen nuolikorkeus.



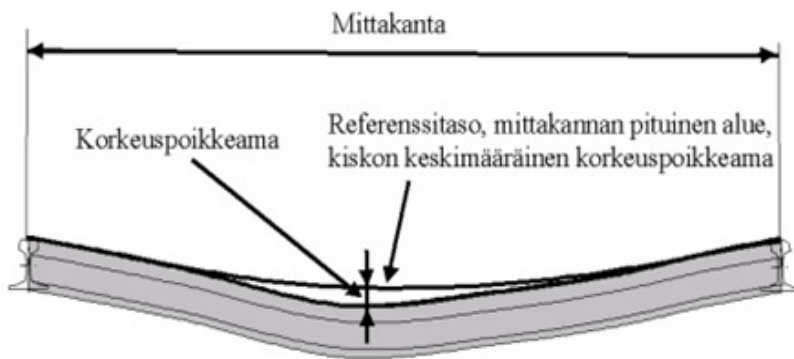
Kuva 4 Raiteen kallistus

Raiteen kallistuksella tarkoitetaan kiskojen kulkupintojen ja vaakasuoran horisontin välistä kulmaa (Ratahallintokeskus 2004).



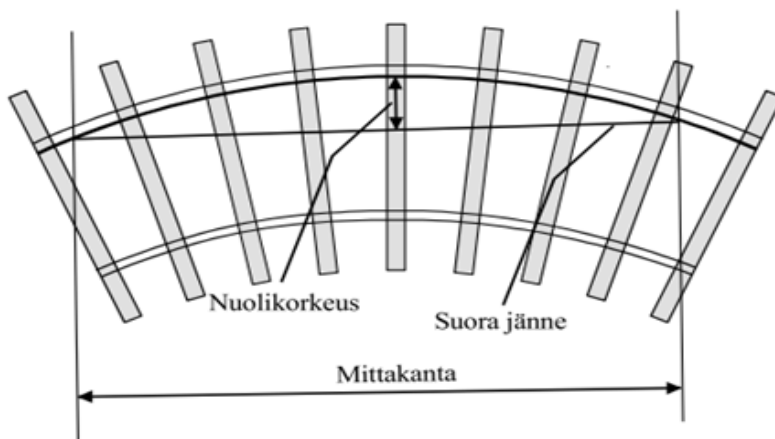
Kuva 5 Raiteen kierous

Raiteen kieroudella eli ns. ristiheitolla tarkoitetaan vierekkäisten kiskojen kallistuseroa. Kierous voidaan laskea kallistuksen arvoista (Ratahallintokeskus 2004).



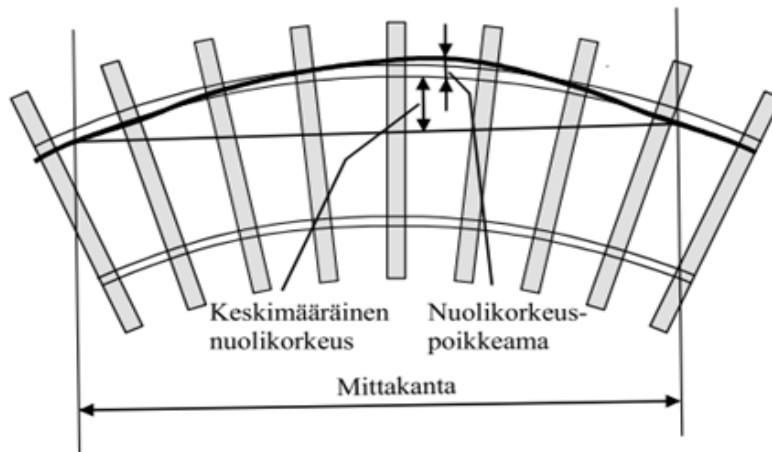
Kuva 6 Raiteen korkeuspoikkeama

Korkeuspoikkeama on kiskon kulkupinnan korkeussuuntainen poikkeama verrattuna keskimääräiseen raiteen korkeustasoon (Ratahallintokeskus 2004).



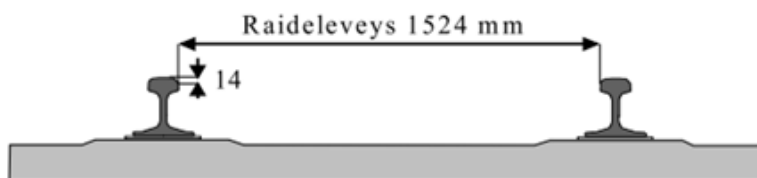
Kuva 7 Raiteen nuolikorkeus (Ratahallintokeskus 2004)

Raiteen nuolikorkeus on kiskon suurin sivupoikkeama suorasta mittakannan pituisesta jänteestä.



Kuva 8 Raiteen nuolikorkeuspoikkeama (Ratahallintokeskus 2004)

Raiteen nuolikorkeuspoikkeama on poikkeama raiteen poikittaissuunnassa kummassa tahansa kiskossa verrattuna keskimääräiseen nuolikorkeuteen.



Kuva 9 Raideleveys (Ratahallintokeskus 2004)

Raideleveys tarkoittaa lyhintä etäisyyttä kiskojen kulkureunojen välillä (Ratahallintokeskus 2004).

Yleisesti routanousun aiheuttama raiteen aseman muutos ilmenee raiteessa joko korkeuspoikkeamana, nuolikorkeusvirheenä, kallistumana tai kieroutena. Raiteen kapenemis- ja loittonemisvirheet johtuvat useimmiten raiteen kiinnityksen ongelmista (Viljakainen 2010).

### 3.3 Virheluokat ja raja-arvot

Virheluokkia on kolme ja ne kuvaavat virheen vakavuutta. Välittömästi korjattava virhe on tutkittava heti ja määrättävä paikalle tarvittaessa nopeusrajoitus. Virheluokat on esitetty alla olevassa taulukossa 2.

Taulukko 2 Virheluokat ja niiden selitykset (Ratahallintokeskus 2004).

Virheluokka	Selitys
C	Alkava virhe
D	Sisällytettävä kunnossapitosuunnitelmaan ja korjattava lähitulevaisuudessa
★	Välittömästi korjattava virhe

Taulukossa 3 on esimerkkinä nuolikorkeuden raja-arvot eri kunnossapitotasoilla.

Taulukko 3 Raiteen nuolikorkeuspoikkeamien raja-arvot millimetreinä, mittakanavana 20 metriä (Ratahallintokeskus 2004).

Virheluokka	Kunnossapitotasot							
	1AA	1A	1	2	3	4	5	6
C	4	4	5	7	8	10	13	17
D	6	6	7	9	10	14	21	28
★	9	9	10	12	14	19	25	36

Taulukosta 3 voidaan huomioida, että kunnossapitotasolla 1AA ja 1A välittömästi korjattavan virheen raja-arvo on kunnossapitotasolla 3 vain alkava virhe ja kunnossapitotasoilla 4 - 6 jää virhe huomioimatta kokonaan.

### 3.4 Tulosten raportointi ja arvosteleminen

Tarkastusvaunumittauksen tuloksista tuotetaan erilaisia raportteja ja radan kuntoa arvostellaan niiden mukaan. Niin sanottuja vakioraportteja ovat tarkastuskäyrä, virhelistaus, kilometriyhteenveto ja kokonaisyhteenveto (Ratahallintokeskus 2005; 2004). Vakioraportit on esitetty seuraavaksi.

Tarkastuskäyrätulosteessa esitetään graafisesti raiteesta mitattavien suureiden mittaustulokset ja tietojen paikantamista auttavat tiedot, kuten kilometripylväät ja vaihteet.

Virhelistaus on tuloste D ja ★-luokan virheistä, jossa esitetään:

- Kilometrikohtaisesti esiintyvät virhesuureet sekä erikoiskohteet
- Virheiden ja erikoiskohteiden sijainti sekä pituus
- Virheiden maksimiarvot
- Tarkastettava kunnossapitotaso
- Kunnossapitotaso, jolle havaittu virhe pudottaisi ko. kohdan
- Virheen virheluokka

Kilometriyhteenvedo on numeerinen yhteenvedo, jossa esitetään:

- Kilometrin todellinen pituus
- Kilometrin tunnistus
- Kilometrin arvosana
- Mitattavat suureteet
- Kokonaisvirhemetrimäärät
- C- ja D- luokan virhemetrimäärät mitattavilta suureilta
- Kilometrin jako 100 metrin osiin
- Kilometrin jako vaihteiden kohdalla vaihteen pituiseen osaan

Kokonaisyhteenvedo on numeerinen yhteenvedo koko tarkasteluosuudesta sisältäen osuuden saaman arvostelun ja luettelon osuuden kilometreistä. Näistä esitetään D-luokan virhepituus, vaihteen saama arvostelu ja virhesuure. Yhteenvevotaskelmissa esitetään kilometrin arvostelun lukumääräinen ja prosentuaalinen jakautuma sekä geometrisen kunnan palvelutaso.

Yksittäisen kilometrin arvostelu tapahtuu kokonaisyhteenvedon D-luokan virheiden metrimäärän perusteella, taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 4 Kilometriarvostelujen virherajat (Ratahallintokeskus 2005)

Arvostelu	D-luokan virhemetrimäärä/km
Kiitettävä (K)	= 0
Hyvä (H)	≤ 10
Tyydyttävä (T)	≤ 25
Epättydyttävä (ET)	> 25

Jos kilometrillä on yksikin ★ - luokan virhe, vaikuttaa se arvosteluun tiputtamalla kilometrin saamaa arvostelua yhdellä arvosteluasteikolla.



Päälysrakenteen geometrinen kunto kuvaamaan on kehitetty kuntoindeksi, jota kutsutaan geometrisen kunnan palvelutasoksi, GKPT. Sen ohjearvo on 100 %, mikä tarkoittaa, että tarkasteluvälillä päälysrakenne täyttää geometrisen kunnan osalta sille asetetut vaatimukset (Ratahallintokeskus 2005).

Muita arvostelumenetelmiä ovat radan geometrian laatuindeksi TQI ja vaihteiden geometrisen kunnan palvelutaso VKPT (Ratahallintokeskus 2005).

## **4 ROUTA RATARAKENTEESSA**

### **4.1 Yleistä roudasta**

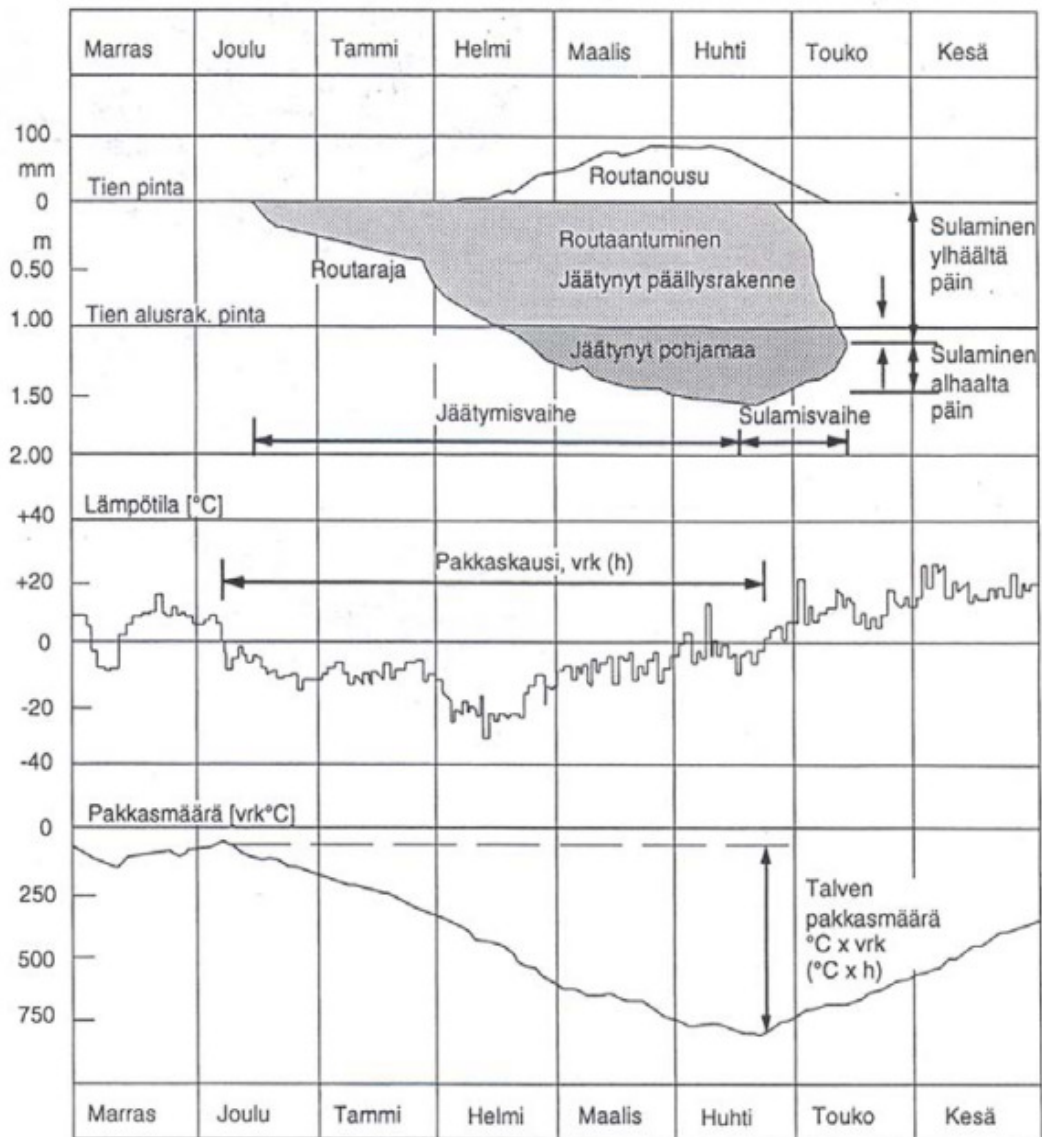
Routa tarkoittaa maassa olevan veden jäätyminen johdosta kovettunutta maakerrosta. Roudan muodostuminen alkaa kun maan lämpötila laskee alle 0 °C. Tällöin maassa oleva vesi alkaa jäätymään. Tätä roudan muodostumista sanotaan routaantumiseksi (Rantamäki 2009).

Routaantumisen yhteydessä maan geotekniset ominaisuudet muuttuvat ja erityisen merkittävää on maan lujuuden kasvu. Jos routaantumisen yhteydessä maaperän vesipitoisuus ja tilavuus kasvavat sekä syntyy pinnan kohoilua, puhutaan routimisesta. Tämä ilmenee maanpinnan kohoamisena, jota nimitetään routanousuksi. Jäätyneen maakerroksen paksuutta nimitetään roudan syvyydeksi ja mainitun kerroksen alarajapintaa routarajaksi. Pakkasolosuhteissa siis kaikki maalajit routaantuvat, mutta vain eräät maalajit routivat (Rantamäki 2009).

Pääsääntöisesti routiminen edellyttää kolmea tekijää:

1. lämpötila alle 0 °C
2. veden saatavuus jäätymisvyöhykkeeseen
3. routiva maa-aines

Kuvassa 10 on esitetty routaan ja routimiseen liittyviä käsitteitä.



Kuva 10 Routaan ja routimiseen liittyviä käsitteitä (Erhola 1996).

Pakkasmäärällä tarkoitetaan pakkasajan vuorokausien keskilämpötilojen summaa. Pakkasaika on ajanjakso siitä ajankohdasta alkaen, kun ilman vuorokausikeskilämpötila laskee ensimmäisen kerran alle 0 °C, siihen asti kunnes lämpötila nousee pysyvästi yli 0 °C. Pakkasaikaa ja pakkasmäärää käytetään muun muassa talven ankaruuden ja pituuden arviointiin (Erhola 1996).

Roudan sulamisen aikaan liittyy ilmiö, jota nimitetään routapehmenemiseksi. Kun roudan sulaminen alkaa routakerroksen yläosasta, vielä sulamaton routakerros estää sulaneen veden poistumisen alaspäin. Sulanut maakerros muuttuu vedellä kyllästyneeksi ja sen kantavuus alkaa heiketä. Ratapenkereessä routapehmenemistä tapahtuu yleensä alusrakenteessa, johon hienorakeisia maa-

aineksia kulkeutuu lisää sade- ja sulamisvesien mukana yläpuolella olevasta sepelikerroksesta. Kun kerrokseen kohdistuu junasta pölkkyjen välityksellä paine, joka ei pääse purkautumaan jäätyneen maakerroksen läpi, ylikosteaa maakerros häiriintyy ja muuttuu juoksevaksi (Liikennevirasto 2010; Rantamäki 2001).

Maakerroksen routivuutta arvioidaan yleisimmin rakeisuuden ja kapilaarisen nousukorkeuden mukaan. Muita routivuuteen ja roudan syvyyteen vaikuttavia ominaisuuksia Roudan hallintaraportin 2010 mukaan ovat:

- Huokostilavuus
- Hienoustekijä
- Ominaispinta-ala
- Mineralogia
- Vedenpidätyskyky
- Vedenläpäisevyys
- Jäätymättömän veden määrä alle 0 °C

Roudan syvyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

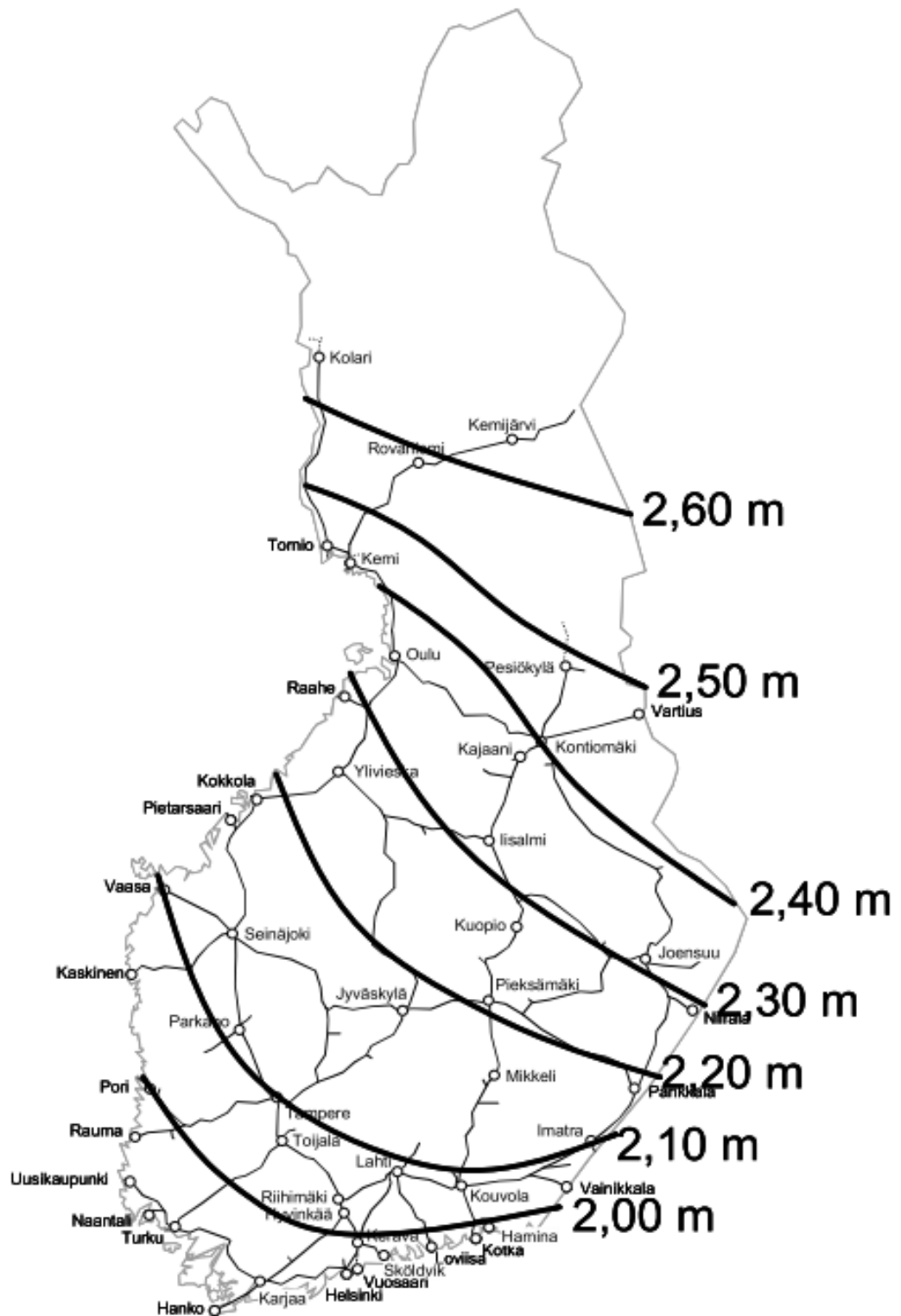
- Pakkasmäärä
- Pakkasjakson pituus
- Maaperän lämmönjohtokyky
- Maaperän vesipitoisuus ja sateet ennen pakkaskautta
- Lumipeitteen paksuus ja vaikutusaika
- Maaperää suojaavan kasvillisuuden määrä
- Maaperän muodot

## **4.2 Routamitoitus**

Ratarakenteen routimattomuus on radan tasaisuuden ja siten turvallisuuden sekä liikennöitävyyden kannalta erittäin tärkeää. Suomessa ratarakenteen routamitoituksen perustana on yhdistetty Watzingerin, Kindemin, Michelsenin ja Beskowin menetelmä, joka on esitetty routamitoitusta käsittelevässä tutkimuksessa Ratarakenteen routasuojaus (Nurmikolu & Kolisoja 2001).

Lähtökohtana routamitoituksessa on, että mitoittavana talvena roudan ei sallita tunkeutuvan routivaan pohjamaahan. Tämä toteutetaan ensisijaisesti tarpeeksi paksulla eristyskerroksella (Ratahallintokeskus 2008). Tällöin saatetaan kuitenkin päätyä turhan suureen kokonaisrakennekerrospaksuuteen, jolloin on suositeltavaa korvata osa eristyskerrosta routaeristeellä ja mahdollisesti saavuttaa huomattavia kustannussäästöjä (Nurmikolu & Kolosoja 2001). Routaeristeinä käytetään XPS-routalevyjä (Ratahallintokeskus 2008).

Uusilla routaeristämättömillä radoilla routimattomien rakennekerrosten kokonaispaksuuden on oltava kuvan 11 mukainen alusrakenneluokan ollessa 2,3 tai 4. Alusrakenneluokan 1 radoilla routimattomien rakennekerrosten kokonaispaksuus saa olla 0,2 m ja alusrakenneluokan 0 radoilla 0,6 m kuvan 11 mukaisia arvoja pienempi. Jos väli- ja eristyskerroksen materiaalina käytetään murskattua kiviainesta, on kuvan 11 mukaisia routimattoman radan rakennepaksuuksia kasvatettava 15 % (Ratahallintokeskus 2008).



Kuva 11 Routimattoman radan rakennekerrosten kokonaispaksuus. Perustuu ilmastotilastoihin vuosilta 1987 - 2007 (Ratahallintokeskus 2008)

Parannettavat radat luokitellaan taulukon 5 mukaisesti joko routimattomaksi, harvoin routivaksi tai routivaksi, sen mukaan kuinka paljon radan routimattomi-

en rakennekerrosten paksuus poikkeaa kuvan 11 mukaisesta routimattoman radan rakennekerrospaksuudesta. (Ratahallintokeskus 2008).

Taulukko 5 Parannettavan radan luokitus routivuuden mukaan silloin, kun pohjamaa on routivaa.

Rakenteen routivuus	Kuvan 11 mukaisen rakennepaksuuden ja parannettavan radan rakennepaksuuden erotus, metriä
Routiva	>0,2
Harvoin routiva	≤0,2
Routimaton	Rakenteen paksuus kuvan 3 mukainen

Routasuojauksen parantaminen toteutetaan ensisijaisesti siten, että routivat materiaalit vaihdetaan routimattomiin ja toissijaisesti rakenne routasuojataan routaeristeitä käyttäen (Ratahallintokeskus 2008).

Routaeristettyjen ratojen routamitoitus tehdään määritettyjen routaeristeiden mitoituskäyrästä, mitoituspakkasmäärän sekä vuotuisen ilman keskilämpötilan perusteella. Mitoitettava pakkasmäärä valitaan alusrakenneluokan perusteella taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6 Routaeristetyn radan routamitoituksessa käytettävän mitoituspakkasmäärän toimitusjakson valinta radan alusrakenneluokan perusteella.

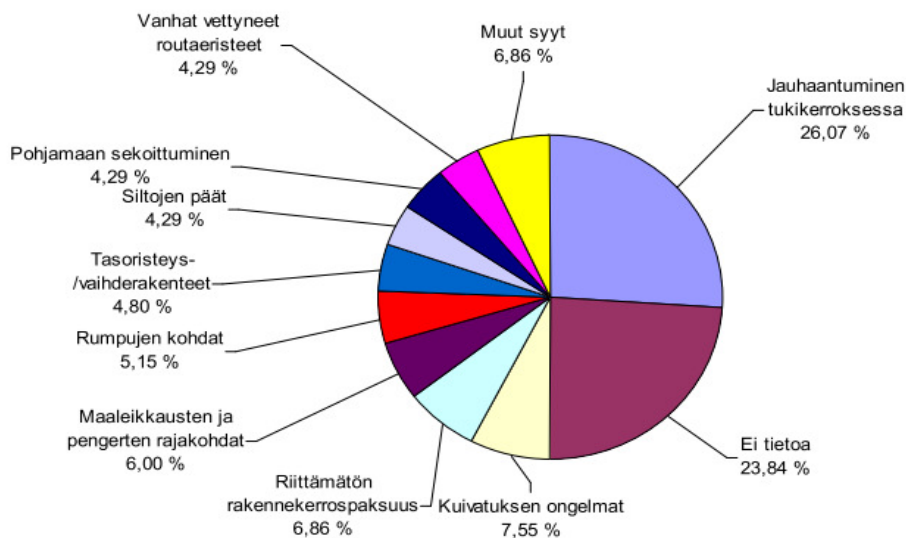
Radan alusrakenneluokka	Mitoituspakkasmäärän toimitusjakso, vuotta	
	Ratalinja	Vaihdealue
0	5	20
1	20	50
2	50	50
3	50	50
4	50	50

Alusrakenneluokan ollessa 2 - 4 käytetään mitoittavana pakkasmääränä aina kerran 50 vuodessa toistuvaa pakkasmäärää ratalinjalla. Liitteessä 3 on esitettyä kerran 50 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä.

### 4.3 Routavaurioiden syyt ja aiheutuvat ongelmat

Routavaurioiden syntyyn on monia syitä ja niiden oikea tunnistaminen on myös hankalaa. Yleisimmin routavaurioiden syynä on vanhojen ratojen perustamista pa, sillä 1960-luvulle saakka rakennekerrosmateriaaleille ei ole ollut laatuvaatimuksia. Ongelmat sijaitsevat usein myös maa- ja kallioleikkausten tai penkereiden ja leikkausten rajakohdissa sekä erikoisrakenteiden kuten siltojen päissä (Liikennevirasto 2009).

Yleisimpiä syitä routavaurioiden syntyyn Roudan hallintaraportti 2009 mukaan, ovat riittämätön rakennekerrospaksuus, maaleikkausten ja pengerten rajakohdat, routivan pohjamaan sekoittuminen rakennekerrokseen, epäpuhtaudet ja jauhaantuminen tukikerroksessa, vanhat vettyneet routaeristeet, vaihtelevat pohjasuhteet, pohjaveden pinnan vaihtelut ja kuivatuksen ongelmat (Oy VR-Rata Ab 2009). Kuvassa 12 on esitettyä vuosien 2003 - 2009 aikana ilmenneet routavaurioiden syiden jakauma (Ratahallintokeskus 2008).

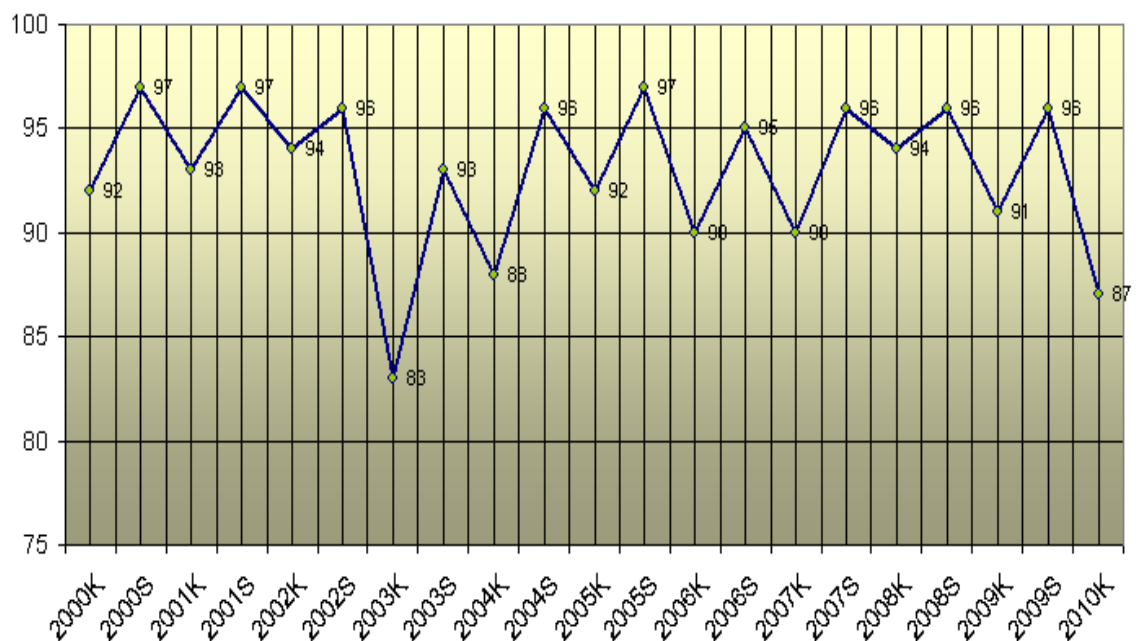


Kuva 12 Routavaurioiden syyjakauma vuosina 2003–2009.

Kuitenkin eri kunnossapitoalueilla on huomattavia eroja syiden lukumäärässä, joten niihin tulee suhtautua varauksella, sillä syy ei aina ole kunnossapitäjän ilmoittama (Saarinen 2008).

Maija Saarisen tekemän tutkimuksen "Ratojen alusrakenteissa käytettyjen materiaalien routimisherkkyys" mukaan ratojen alusrakenteissa on routimisherkkää materiaalia ja osa rataverkolla havaituista routahaitoista todennäköisesti johtuu alusrakenteen materiaalien routimisesta. Saarinen toteaa myös routaeristeiden voivan jopa lisätä ongelmia, mikäli alusrakenne on routivaa.

Tarkasteltaessa vuosia 2000–2010 ankarimmat talvet ovat olleet 2003, 2006 ja 2010. Vuonna 2003 keväällä nopeusrajoituksia jouduttiin asettamaan 250 km ja vuoden 2006 keväällä noin 80 km. Keväällä 2010 nopeusrajoituksia jouduttiin asettamaan peräti tuhannelle kilometrille (Liikennevirasto 2010). Muina keskimääräisinä ja leutoina talvina nopeusrajoituksia asetettiin nolasta viiteen kilometriä. Kuvassa 13 on kuvattu Geometrisen kunnan palvelutason vaihtelua 2000-luvulla koko rataverkolla.



Kuva 13 Geometrisen kunnan palvelutason vaihtelu 2000-luvulla (Oy VR-Rata Ab 2010)

Selvitettäessä talvien vaikutusta geometrisen kunnan palvelutasoon on keskenään verrattava peräkkäisien syksyn ja kevään tuloksia. Vertailemalla saman vuoden kevään ja syksyn tuloksia saadaan selville kesän kunnostustöiden vaikutus palvelutasoon. Kuvasta 13 voidaan huomioida talven ankaruuden vaikuttavan selvästi geometrisen kunnan palvelutason vaihteluun.



Yleisimmin routapaikoille joudutaan asettamaan nopeusrajoitus keväisen radan-tarkastusajon yhteydessä. Tämä vähentää radan liikennöitävyyttä ja aiheuttaa huomattavia lisäkustannuksia, junien myöhästymisten ja kunnostuspitotoimenpiteiden takia.

## 5 TARKASTELTAVAT KOHTEET

### 5.1 Kohteiden valinta

Tarkasteltavat kohteet valittiin siten, että ne soveltuivat parhaiten työhön asetettuihin tavoitteisiin: voiko routimista ehkäistä tai sen todennäköisyyttä pienentää kuivatusta parantamalla. Tutkittavissa kohteissa on parannettu kuivatusta viimeisten vuosien aikana; routivan materiaalin tiedetään osin olevan ylempänä kuin Ratatekniset ohjeet sallivat ja kohteiden routavaurioista on riittävästi luotettavaa tietoa. Kohteiden erilaisuuden ja mittaustietojen saatavuuden takia kohteisiin sovellettiin erilaisia tutkimustapoja.

Tutkimusten lähtötiedot perustuvat lähinnä Oy VR-Rata Ab:n tekemiin rakennussuunnitelmiin ja EMMA-radantarkastusvaunun keräämiin mittaustietoihin. Yhteensä tarkasteltavia kohteita on kolme, joista kaikki sijaitsevat Itä-Suomen alueella. Alla olevassa taulukossa 7 on esitetty valitut kohteet ja niiden sijainti ratakilometreittäin.

Taulukko 7 Tutkittavat kohteet ja sijainti rataverkolla, suluissa raidenumero (Oy VR-Rata Ab 2010)

Kohteet	Sijainti rataverkolla
Huutokoski - Savonlinna	Km 407+500 - 481+100 (014)
Varkaus - Heinävesi	Km 425+000 - 468+456 (024)
Luumäki - Lappeenranta, kallioleikkauskohdat	Km 255+430 - 269+240 (242)

Tutkittavat kohteet on esitetty Suomen rataverkolla kuvassa 14.



Kuva 14 Tutkittavat kohteet, Huutokoski - Savonlinna, Varkaus - Heinävesi ja Luumäki - Lappeenranta

## 5.2 Savonlinna - Huutokoski

### 5.2.1 Yleistä

Savonlinnan ja Huutokosken välinen rataosa sijaitsee Etelä-Savossa ja sen pituus on noin 75 km. Suurin sallittu nopeus rataosalla on 80 km/h.

Rataosalla suoritettiin perusparannus touko-syyskuussa 2008, jolloin radan kunnossapitotaso nousi kuudesta kahteen. Päällysrakenne uusittiin kokonaisuudessaan uusilla betonipölkkyillä, kierrätyskiskoilla ja raidesepelillä. Tukikerros rakennettiin poikkeuksellisesti 450 mm paksuiseksi. Pengerleveys täydennettiin tarpeen mukaan suorilla 5,4 metriin sekä kaarteissa 6 metriin. Rataosuudella ei ole käytetty routaeristeitä (Oy VR-Rata Ab 2007).

Perusparannuksen yhteydessä kuivatusta parannettiin kaivamalla uusia ja syventämällä vanhoja avo-ojia noin 20 km matkalla sekä perkaamalla ojia noin 39 km matkalla (Oy VR-Rata Ab 2007).

Rataosalla on 93 rumpua, joista 16 uusittiin ja 6 korjattiin. Uudet rummut olivat halkaisijaltaan 600–1200 mm ja niiden kohdalle tehtiin asennuksen yhteydessä kolmen metrin siirtymäkiilat. Korjatuista kuudesta kivrumpusta yksi ruiskubetonoiitiin, kaksi korotettiin kaapelielementeillä ja kolmeen kivrumpuun asennettiin sisälle muoviputki. Rumpujen tulo- ja laskuojat perattiin 20 m matkalla (Oy VR-Rata Ab 2007).

Salaojia asennettiin noin 3680 metriä. Materiaalina käytettiin SN8-luokan kerrosrakenteisia pituusjäykkiä muoviputkia, halkaisijaltaan 160 mm. Laskuputket olivat halkaisijaltaan 250 mm (Oy VR-Rata Ab 2008).

Rataosan geometrisen kunnan palvelutaso oli ennen perusparannusta 60 %. Perusparannuksen jälkeen GKPT nousi 100 prosenttiin ja talven 2010 jälkeen se tippui 88 prosenttiin. Keväällä 2010 rataosalle jouduttiin asettamaan myös nopeusrajoitus 35 kilometrin matkalle.

### **5.2.3 Seurantatutkimus**

Tutkimus aloitettiin selvittämällä rataosan kaikki ne kohdat, joissa perusparannuksen 2008 yhteydessä oli selvästi parannettu kuivatusta syventämällä tai perkaamalla sivuojia tai kuivatusta oli muuten kiitettävässä kunnossa. Sivuojen kaivu- ja perkauskohdat tarkastettiin ratakuvapalvelua apuna käyttäen ja kesän 2010 maastokäynnin perusteella. Tutkimukseen valittiin yhteensä 21 kohdetta, joiden pituudet vaihtelivat sadasta metristä kilometriin.

Kohteiden radan asemasta 2005 syksyn ja 2010 kevään välisenä aikana kerättyjä tietoja verrattiin keskenään. Tiedot radan asemasta saatiin EMMA-radantarkastusvaunun keväisin ja syksyisin tehdyistä mittausajoista.

Tarkastetuista suureista huomioitiin kaikki C-, D- ja ★-luokan virheet lukuun ottamatta raiteen kapenemis- ja loitonemisvirheitä. Ennen perusparannusta radan kunnossapitotaso oli 6 ja perusparannuksen jälkeen 2. Täten virheiden raja-arvot tiukkenivat huomattavasti perusparannuksen yhteydessä. Taulukossa 8 on esitetty virhetyyppien raja-arvot kunnossapitotasoilta 2 ja 6.

Taulukko 8 Kunnossapitotasojen 2 ja 6 korkeuspoikkeaman, kierouden, kallistuksen ja nuolikorkeuden virhetyyppien raja-arvot

KP	2			6		
Virhetyyppi	C	D	★	C	D	★
Korkeuspoikkeama	4	6	9	8	10	14
Kierous	585/6	390/9	290/12	350/10	220/16	165/21
Kallistus	5	7	11	10	15	21
Nuolikorkeus	7	9	12	17	28	36

Muita huomioitavia asioita olivat routivan pohjamaan syvyys ja talvien ankaruudet. Routivan pohjamaan syvyydestä saatiin tietoa keväällä 2008 tehdyistä maaperätutkimuksista. Talvien ankaruutta arvioitiin Ilmatieteenlaitokselta saatujen vuotuisten pakkasmäärien mukaan. Alla olevassa taulukossa 9 on pakkasmäärät Kuopion lentokentältä, joka sijaitsee noin 100 km päässä Huutokoskelta.

Taulukko 9 Pakkasmäärät, Kuopion lentokenttä (Ilmatieteenlaitos 2010)

Talvi	2006	2007	2008	2009	2010
Pakkasmäärä (Kh)	27186	17122	10284	16848	30950

Talvet 2006 ja 2010 olivat pakkasmääriltään kaksi ankarinta. Talven 2010 ennätysellisen pakkasjakson takia routa tunkeutui poikkeukselliseni syvälle suurimmassa osassa Suomea (Ilmatieteenlaitos 2010). Talvi 2008 oli selvästi leudoin.

## **5.3 Varkaus - Heinävesi**

### **5.3.1 Yleistä**

Varkauden ja Heinäveden välinen rataosuus on noin 43 km pitkä ja se sijaitsee Etelä-Savossa. Rataosan suurin sallittu nopeus on 120 km/h ja kunnossapitotaso on 2. Kunnossapitotaso ei muuttunut perusparannuksen yhteydessä.

Rataosuus perusparannettiin kesinä 2001 - 2002. Päälysrakenne uusittiin rata-pölkkyjen osalta ja korkeusviiva nousi noin 10 cm koko matkalla. Pengerleveys kasvatettiin suoralla vähintään kuuteen metriin ja tukikerrosta täydennettiin raide-sepelillä (Oy VR-Rata Ab 2001).

Perusparannuksen yhteydessä kuivatusta parannettiin perkaamalla ja syventämällä sivu- leikkaus- niska- ja laskuojia. Useimmiten ojat kaivettiin jo olleille paikoille, mutta uusiakin oja kaivettiin. Radalla pengerkorkeus vaihtelee laajalti ja korkea pengerosuus on paljon. Näillä korkeilla pengerosuuksilla sivuojia ei aina tarvita, jos ympäröivä maasto ei vietä radalle päin. Rumpuja rataosuudella on 58, joista 28:aa jatkettiin. Routaeristeitä ei ole asennettu rataosuudelle (Oy VR-Rata Ab 2001).

Rataosalla geometrisen kunnan palvelutaso on pysynyt keväisin noin 90 prosentissa perusparannuksen jälkeisenä aikana. Talven 2010 jälkeen rataosalle jouduttiin asettamaan nopeusrajoitus noin 22 kilometrin matkalle.

### **5.3.2 Seurantatutkimus**

Varkaus - Heinävesi-rataosuutta lähestyttiin tutkimuksessa toisella tavalla kuin Huutokoski- Savonlinna-rataosaa. Radan perusparannuksesta on kulunut lähes 10 vuotta ja EMMA-radantarkastustuloksia on saatavilla digitaalisena vasta vuodesta 2005 lähtien. Vuonna 2001 rataosuuden routivuutta on selvitetty pohjautuen radan routakiilaukseen talvena 1984 - 1985. Selvityksessä esitettiin routivuuden selvittämistä pohjatutkimuksin. Kyseisen välin routivuutta ei kuitenkaan

ole selvitetty. Pohjatutkimuksia on tehty vain liikennepaikkojen muutoksen suunnittelun yhteydessä.

Tutkimus aloitettiin kartoittamalla selvästi routivia kohteita kilometriyhteenvedon ja virhelistauksen perusteella. Tutkittavat mittaustiedot olivat vuosilta 2005 - 2010. Kartoitetuista kohteista selvitettiin, voisiko puutteellinen kuivatus olla osasyynä kohteiden routimiseen. Kuivatuksen puutteellisuutta arvioitiin maastokäynnin ja Ratakuvapalvelun avulla. Kohteista verrattiin eri vuosien kuvia keskenään ja huomioitiin, esimerkiksi olivatko ojat kasvaneet umpeen vuosien varrella. Rataosuudelta saatiin myös hyödyllistä tietoa suunnitelmapiiirustuksista. Tutkittavaksi valittiin viisi lähtötietojen perusteella routivinta kohdetta.

## **5.4 Luumäki - Lappeenranta**

### **5.4.1 Yleistä**

Kaakkois-Suomessa sijaitseva Luumäki - Lappeenranta-rataosuus on noin 27 kilometriä pitkä. Rataosan kunnossapitotaso on 1 ja suurin sallittu nopeus 140 km/h. Liikenne rataosalla on vilkasta.

Rataosuus perusparannettiin vuonna 2004. Raiteen korkeusviivaa nostettiin paikoittain 10 - 15 cm ja tukikerros seulottiin. Puupölkkyt vaihdettiin betonipölkkyihin ja kiskot vaihtuivat 60E1-kiskoihin. Pengerleveyttä täydennettiin siten, että suorilla leveys täytti 6,8 m ja kaarteissa 7,2 m.

Kuivatusta parannettiin kaivamalla uusia ja syventämällä vanhoja sivuojia. Rataosalla on paljon kallioleikkauksia, joiden kuivatusta parannettiin asentamalla salaojia. Salaojien ja sivuojien minimikaltevuus oli 0,2 %.

Yleisenä ongelmana rataosalla on ollut rakennekerrosten riittämätön paksuus. Maaperätutkimuksia rataosalla ei ole tehty. Alun perin routalevyt asennettiin rataosalle kiilaustietojen perusteella vuodelta 1984 - 1985. Routaeristeet uusit-

tiin ja uusia routaeristeitä asennettiin tukikerroksen seulonnan yhteydessä vuonna 2004.

#### 5.4.2 Seurantatutkimus

Tarkasteluun valittujen kohteiden kuivatusta oli parannettu kesän 2005 aikana. Kohteissa oli joko kaivettu sivuoja tai asennettu salaoja. Kohteet ja tehdyt toimenpiteet on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10 Luumäki - Lappeenranta, kuivatustoimenpiteet kesällä 2005 (Oy VR-Rata Ab 2004).

nro	Km + mm	Kuivatuksen toteutus	Kuivatussyvyys, m
1	255+600 - 255+700	sivuojat, salaoja alkaa km 255+660	1,9 - 2,0
2	255+700 - 255+800	salaoja/kallioleikkausojat	1 - 1,5
3	255+800 - 255+950	kallioleikkausojat	1 - 1,5
4	263+400 - 263+500	sivuojat	2,5
5	263+500 - 263+600	sivuojat	2,5
6	263+600 - 263+700	sivuojat	1,7 - 2,2
7	263+700 - 263+800	sivuojat	1,6 - 2,2
8	263+800 - 263+900	sivuojat/ei ojaa	2,0
9	266+350 - 266+450	salaoja/sivuoja	1,5
10	266+700 - 263+800	sivuojat	1,5 - 2,0
11	267+700 - 267+800	sivuojarumpu/ei ojaa	1,5 - 3,0
12	267+900 - 268+000	salaoja/sivuoja	1,3 - 1,7
13	268+200 - 268+300	salaoja/sivuoja	1 - 1,5

Lisäksi kaikissa kohteissa on routaeriste, poikkeuksena kohteet 1 ja 9.

Kohteiden virhemetrieni esiintymistä seurattiin vuosien 2005 syksyn ja 2010 kevään välisenä aikana.

## 6 TULOKSET

### 6.1 Huutokoski - Savonlinna

Taulukossa 11 on esitetty virhemetrimäärän muutos kohteittain talvina 2006 - 2008. Miinusmerkkinen muutos kertoo virhemetrimäärän pienentyneen ko. talven aikana. On todennäköistä, että syksyn mittausajon jälkeen huomattavat virheet on korjattu, jolloin ne näkyvät vasta kevään mittausajossa. Yleisin virhe oli korkeuspoikkeama, yli 85 % kaikista virheistä.

Taulukko 11 Talvien 2006 - 2008 aikana ilmenneet virhemetrimäärät, kohteiden pituus, routivan maaperän syvyys ja arvio routivista kohteista

nro.	Kohde, km+m	Pituus, m	Routiva maaperä, m	2006	2007	2008	Arvioitu routivaksi
1	413+700-414+200	500	1	0	6	10	-
2	417+190-417+300	110	0,6	13	4	2	X
3	417+670-417+790	220	0,4	9	16	6	X
4	421+700-421+890	190	0,6	-3	0	0	-
5	431+000-431+500	500	1,1-1,7	0	0	0	-
6	433+460-433+900	340	1,2	1	7	11	X
7	435+950-436+230	280	1	25	1	28	X
8	438+000-438+250	250	1,2	2	1	0	-
9	440+010-440+135	125	1	4	5	-2	X
10	441+900-442+085	185	0,9	2	5	6	X
11	446+700-447+700	1000	1,1	2	8	6	-
12	449+000-449+250	250	1,2	2	3	1	-
13	460+100-460+800	700	1	1	1	11	-
14	462+455-462+845	390	1	1	3	2	-
15	463+885-464+100	225	1	4	5	10	X
16	464+300-464+600	300	1,1	8	0	0	-
17	464+700-465+150	450	1,2	1	2	1	-
18	466+300-466+480	180	0,7	-1	5	4	X
19	469+300-469+750	450	1,4	-4	-3	0	-
20	474+100-474+300	200	0,8	2	-1	5	-
21	475+500-475+800	300	0,9	10	17	17	X

Routivaksi kohde arvioitiin ilmenneiden virhemetrien mukaan suhteessa osuuden kokonaispituuteen ja virheiden toistuvuuden perusteella. Yhteensä näitä kohteita oli yhdeksän 21:stä. Leudoimpana talvena 2008, virhemetrejä syntyi runsaimmin. Tämä kertoo alusrakenteen ja tukikerroksen routimisesta, sillä routa ei todennäköisesti tunkeutunut pohjamaahan saakka.



Kuvassa 14 on esimerkki tutkimuksen valitusta kohteesta. Kuvassa sivuojat ovat hyvässä kunnossa.



Kuva 15 Huutokoski - Savonlinna 443+234, 23.7.2010 (Ratakuvapalvelu 2010)

Perusparannus tehtiin kesällä 2008. Syksyn 2008 radantarkastusajossa tämä näkyi täysin virheettömänä virhelistauksena, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Kunnossapitotaso nousi samalla kuudesta kahteen. Tällöin raiteen aseman muutoksessa sallitut virheluokkien raja-arvot pienenevät ja pienemmät virheet tulivat huomioiduksi. Perusparannuksen jälkeiset tulokset on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12 Talvina 2009 ja 2010 ilmenneet virhemetrimäärät, kohteiden pituus, routivan maaperän syvyys ja arvio routivista kohteista

nro.	Kohde ratakilometreinä	Pituus, m	Routiva maaperä, m	2008 - 2009	2009 - 2010	Arvioitu routivaksi
1	413+700-414+200	500	1	0	58	X
2	417+190-417+300	110	0,6	0	17	X
3	417+670-417+790	220	0,4	0	134	X
4	421+700-421+890	190	0,6	0	0	-
5	431+000-431+500	500	1,1-1,7	0	0	-
6	433+460-433+900	340	1,2	0	0	-
7	435+950-436+230	280	1	3	6	X
8	438+000-438+250	250	1,2	0	0	-
9	440+010-440+135	125	1	0	0	
10	441+900-442+085	185	0,9	0	0	-
11	446+700-447+700	1000	1,1	0	3	-
12	449+000-449+250	250	1,2	0	0	-
13	460+100-460+800	700	1	0	0	-
14	462+455-462+845	390	1	18	1	X
15	463+885-464+100	225	1	7	4	X
16	464+300-464+600	300	1,1	0	0	-
17	464+700-465+150	450	1,2	0	1	-
18	466+300-466+480	180	0,7	0	0	-
19	469+300-469+750	450	1,4	5	3	-
20	474+100-474+300	200	0,8	0	0	-
21	475+500-475+800	300	0,9	1	1	-

Routiviksi arvioitiin nyt kuusi kohdetta. Uusia kohteita oli yksi ja samoja kohteita viisi. Perusparannuksen jälkeisenä talvena 2009 virhemetrejä syntyi hyvin vähän. Talvena 2010 kolmessa kohteessa virheitä syntyi huomattavan paljon, mutta muuten virhemetriä syntymisen oli vähäistä. Näiden kahden talven perusteella routivat kohteet vähenivät yhdeksästä viiteen.

Talvena 2010 routa tunkeutui poikkeuksellisen syväälle. Kohteissa 1 - 3 virhemetrejä syntyi paljon ja yleisin virhe oli nuolikorkeuspoikkeama. Virhemetriä muodostumien on todennäköisesti johtunut pohjamaan routimisesta. Eniten virhemetrejä syntyi kohteessa kaksi, missä myös routivan pohjamaan taso on kaikista tutkimuksessa olleista kohteista lähimpänä korkeusviivaa. On todennäköistä, että routa on tunkeutunut muissakin kohteissa routivaan pohjamaan saakka. Kuitenkin talvena 2010 virhemetrejä syntyi huomattavasti vain kolmessa kohteessa.

Laskemalla talven 2010 D-luokan virhemetrioiden määrän kohteiden ja koko rataosan kanssa keskenään, tulokseksi saadaan, että tutkittavina olleissa kohteissa virhemetrejä on noin 60 % vähemmän.

## **6.2 Varkaus - Heinävesi**

Varkaus - Heinävesi rataosuudelta tarkasteluun valittiin kokonaisyhteenvedon, kilometriyhteenvedon ja virhelistauksen perusteella kaikkiaan viisi kohdetta. Kaikissa kohteissa oli ilmennyt ★-luokan virheitä vuosien 2005 ja 2010 välisenä aikana ainakin kahtena talvena ja D-luokan virhemetrimäärät olivat kasvaneet selvästi.

Seuraavissa luvuissa käydään läpi valittujen rataosuuksien rataprofiilia, ilmenneitä virheitä ja pyritään löytämään syitä routavaurioiden syntyyn.

### **Km 425+800...425+900**

Rata kulkee korkealla vesistöpenkereellä, jonka luiskat viettävät jyrkästi. Sen välittömässä läheisyydessä sijaitsee ratasilta, jonka pää on kilometrillä 425+790. Kasvillisuutta ei esiinny päällysrakenteen kohdalla. Kohde on esitetty kuvassa 16.

Kohteen yleisimmät virheet olivat korkeuspoikkeuma, kierous ja kalistus. D-luokan virhemetrejä oli 13 ja C-luokan virhemetrejä 24.



Kuva 16 Varkaus - Heinävesi Km 425+836 (Ratakuvapalvelu 2010)

Kohteessa kuivatuksen voisi olettaa toimivan hyvin, eikä sen parantamiselle ole juuri keinoja näin korkealla pengerosuudella. Kohteen virheille voi olla kolme syytä:

- Ongelmat päällysrakenteessa. Tukikerrosta täydennettiin, mutta sitä ei vaihdettu perusparannuksen yhteydessä.
- Ratapenkereen painuminen tai tiivistyminen.
- Alusrakenteen routiminen.

Ratapenkereen routiminen ei ole todennäköistä, koska havaitut korkeuspoikkeamat ovat alaspäin suuntautuneita. On todennäköistä, että ratapenger painuu tai tiivistyy hitaasti tai päällysrakenteen stabiliteetti ei ole riittävä. Johtopäätöksen tekeminen olisi helpompaa, jos havaitut virheet olisi korjattu kunnossapitotoimenpitein. Toimenpiteisiin ei todennäköisesti ole ryhdytty, koska ko. kohtaa on pidetty routavaurioalueena ja vaurion on oletettu poistuvan penkereen sulamisen myötä.

### **Km 426+243...426+297**

Rata kulkee korkealla penkereellä ja kasvillisuutta on runsaasti kiskojen välissä ja pengertuiskissa. Kohde on esitetty kuvassa 17.

Rataosalla esiintyi kierous-, nuolikorkeus- ja korkeuspoikkeamavirheitä. Kohteen yleisin virhe oli korkeuspoikkeama. Korkeuspoikkeamat olivat pääsääntöisesti alaspäin. C-luokan virhemetrejä oli 14 ja D-luokan virhemetrejä 6. Virheet sijaitsivat penkereen alueella.



Kuva 17 Varkaus - Heinävesi Km 426+255 (Ratakuvapalvelu 2010)

Kuivatus toimii hyvin korkeahkolla penkereellä. Todennäköisesti ratapenger ei ole routunut, vaan virhemetrit selittyvät penkereen painumisesta ja tiivistymisestä. Leutoina talvina routimista ei ole tapahtunut, joten tukikerros ei todennäköisesti roudi. Jos routiminen tapahtuu tukikerroksessa, runsas kasvillisuus mahdollisesti edesauttaa routimista.

### **Km 445+274...445+310**

Rata kulkee matalalla penkereellä, jolloin sen luiskat ovat myös hyvin loivat. Sivuoja ei ole kaivettu. Kasvillisuutta ei esiinny rakennekerrosten alueella. Kohde on esitetty kuvassa 18.

Rataosalla esiintyi kierous-, kallistus-, nuolikorkeus- ja korkeuspoikkeamavirheitä. Yhteensä C-luokan virhemetrejä oli 30 ja D-luokan virhemetrejä 13. Talvena 2010 virhemetrejä syntyi erityisen paljon ja ilmentyneet korkeuspoikkeamat olivat ylöspäin.



Kuva 18 Varkaus - Heinävesi Km 445+286 (Ratakuvapalvelu 2010)

Rataosa on selvästi routiva ja todennäköisin syy routimiselle on riittämätön routimaton rakennekerrospaksuus. Talvena 2010 routa tunkeutui poikkeuksellisen syvälle, jolloin pohjamaa on päässyt routimaan ja selittää täten virhemetriä runsaan synnyn. Rataosan puutteellinen kuivatus voi edesauttaa routimista.

### **Km 446+425...446+460**

Rata sijaitsee maaleikkauksessa, jossa ympäröivä maasto viettää radalle päin. Sivuojat ovat suhteellisen hyvässä kunnossa ja kasvillisuutta ei esiinny rakennekerrosten alueella. Kohde on esitetty kuvassa 19.

Kohteessa esiintyi lähinnä D-luokan nuolikorkeusvirheitä yhteensä 20 m matkalla. Myös korkeuspoikkeamia oli runsaasti, lähinnä ylöspäin.



Kuva 19 Varkaus - Heinävesi Km 446+431 (Ratakuvapalvelu 2010)

Virheiden esiintyminen viittaa alusrakenteen ja pohjamaan routimiseen. On todennäköistä, ettei kuivatuksen parantamisella voida tässä kohteessa estää rakenteen routimista ankarina talvina.

### **Km 452+400...452+500**

Rataosuuden pengerkorkeus on hyvin matala eikä vasemmanpuolista sivuoja ole lainkaan. Oikeanpuoleinen sivuoja on hyvässä kunnossa, mutta sen syvyys ei ole riittävä. Sivuoja on todennäköisesti suunniteltu vain tien kuivatuksen tarpeet huomioiden. Kohde on esitetty kuvassa 20.

Rataosuudella virheitä esiintyi todella paljon. Yhteensä C-luokan virheitä oli 50 m ja D-luokan virheitä 22 m. Yleisimmät virhetyypit olivat kallistus, nuolikorkeuspoikkeama ja korkeuspoikkeama.



Kuva 20 Varkaus - Heinävesi Km 452+479

Rataosan ongelmat viittaavat pohjamaan ja alusrakenteen routimiseen. Rataosuuden puutteellinen kuivatus voi myös edesauttaa rataosan routimista.



### 6.3 Luumäki - Lappeenranta

Alla olevassa taulukossa 13 on esitetty kaikkien virhetyyppien yhteenlasketut virhemetrit, kevään 2006 ja 2010 välisenä aikana. Vuoden 2005 syksyn virhelis-  
tauksessa ei ko. kohteissa ollut virhemetrejä, muutamaa pientä poikkeusta lu-  
kuun ottamatta. Taulukkoon on lisätty pakkasmäärät talvilta 2005 - 2010. Pak-  
kasmäärät on mitattu Lappeenrannan lentokentältä.

Taulukko 13 Rataosan Luumäki - Lappeenranta virhemetriä esiintymisen ke-  
väisin ja syksyisin vuosina 2006 - 2010

Kohde	2006k	2006s	2007k	2007s	2008k	2008s	2009k	2009s	2010k
	23093	13385		7140		13085		27792	
1	14	1	17	9	9	11	13	0	35
2	0	1	34	6	19	33	40	0	1
3	0	4	46	7	20	30	40	0	2
4	0	0	0	4	0	1	1	2	3
5	0	0	0	0	1	0	0	1	0
6	0	0	0	0	8	19	27	23	0
7	1	1	6	1	5	10	14	13	0
8	0	0	1	0	3	4	4	4	4
9	18	1	1	1	1	1	2	1	18
10	0	1	2	2	2	2	4	4	10
11	1	3	3	5	28	19	30	27	0
12	0	2	1	2	2	2	3	3	4
13	1	2	5	0	0	0	3	3	4

Talvina 2006 ja 2010 on routa tunkeutunut muita talvia syvemmälle. Talvena  
2008 routa on tunkeutunut todennäköisesti tukikerrokseen ja alusrakenteen ylä-  
osan alueelle. Joissakin kohteissa virhemetrejä syntyi taulukon mukaan kesällä  
2008. On todennäköisintä, että virhemetrit ovat seurausta radan kunnostustöis-  
tä

Routaeristetyissä kohteissa ei virhemetrejä ole syntynyt lähes ollenkaan talvina  
2006 ja 2010. Osassa routaeristetyistä kohteista virhemetrejä syntyi runsaasti  
talvien 2007 - 2009 aikana, ja osassa virhemetriä esiintymisen oli hyvin vä-  
häistä kaikkina talvina.

Kohteissa 1 ja 9 virhemetrejä syntyi runsaasti talvina 2006 ja 2010. Kohteissa ei ole routaeristeitä. On hyvin todennäköistä virhemetrioiden ilmentymisen johtuneen pohjamaan routimisesta.

Kohteissa 2 ja 3 virhemetrioiden esiintyminen oli runsasta talvina 2007 - 2009. Routiminen johtuu todennäköisesti alusrakenteesta ja tukikerroksesta. Kohteet sijaitsevat kallioleikkauksissa, joissa niiden kuivatus on toteutettu sala- ja kallioleikkausojilla.

Kohteissa 4 - 8, 10, 11, 12 ja 13 on virhemetrejä esiintynyt vähän tai ei juuri lainkaan. Kohteet ovat pääsääntöisesti hyvässä kunnossa. Kohteiden kuivatussyvyydet vaihtelevat 1,5 - 3 metriin. Osassa kohteista virhemetrejä syntyi talvella 2008, mikä kertoo tukikerroksen routimisesta. Talvena 2010 virhemetrejä esiintyi ainoastaan kohteessa 10. Kohteet 12 - 13 sijaitsevat osittain kallioleikkauksissa, joissa kuivatus tapahtuu salaojilla.

Tulosten perusteella routaeriste suojaa hyvin pohjamaata routimiselta. Keskimääräisinä ja leutoina talvina virhemetrioiden syntyminen on todennäköisesti johtunut alusrakenteesta. Näissä kohteissa kuivatus on ollut välttävällä tasolla ja todennäköisesti kuivatuksen ongelmat ovat edesauttaneet alusrakenteen routimista.

## 7 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää kuivatuksen parantamisen vaikutusta routavaurioiden ehkäisemiseen. Kaikkiaan tarkastelussa oli kolme rataosaa, joihin käytettiin erilaisia tutkimustapoja. Seurantatutkimuksessa käytetty aikaväli oli lyhyt ja tutkimuksessa tarkasteltiin vain tiettyjä rataosuuksia, joten tutkimustuloksia ei voida suoranaisesti soveltaa koko rataverkolle.

Tutkimukset osoittivat, että kuivatuksen parantamisesta on hyötyä routavaurioiden synnyn ehkäisemisessä, mutta toimenpiteellä ei voida ehkäistä kokonaan ratarakenteen routimista. Seurantatutkimuksen tulokset Savonlinna - Huutokoski rataosalta osoittivat routavaurioiden synnyn vähenemisen kohteissa, joissa kuivatus oli hyvässä kunnossa. Koko rataosaan verrattaessa tutkimuksessa olleista kohteista D-luokan virhemetrejä syntyi 60 % vähemmän.

Ratarakenteen routimista käsiteltäessä on hyvin tärkeää tunnistaa johtuuko routiminen päällysrakenteesta, alusrakenteesta vai pohjamaasta. Tämän ollessa selvillä, voidaan routivaan kohteeseen valita oikea korjaustoimenpide.

Ongelmana korjaustoimenpiteiden ohjaamisessa ovat kunnossapitäjien ilmoittamat väärät syyt routimisen aiheuttajaksi. Ratapenkereen painumisen tai tiivistymisen aiheuttama raiteen aseman muutos saatetaan esimerkiksi tulkita routimisesta aiheutuvaksi.

Kohteissa, joissa routiminen tapahtuu pohjamaassa, ei routimisen ehkäisyyn ole muita keinoja kuin routimattoman rakennekerroksen kasvattaminen tai rautaristeiden asentaminen. Kohteissa, joissa routiminen tapahtuu alusrakenteessa, routavaurioiden syntyä voidaan ehkäistä kuivatusta parantamalla. Toinen vaihtoehto on alusrakennemateriaalien vaihtaminen routimattomaan, mutta mikäli riittäviin tuloksiin päästään pelkästään kuivatusta parantamalla, on taloudellinen hyöty huomattava. Jos routiminen tapahtuu päällysrakenteessa, tukikerros on puhdistettava tai vaihdettava.

Koska kuivatuksen parantaminen ei ehkäise routavaurioita kokonaan, voidaan toimenpidettä suositeltavan käytettäväksi vähäliikenteisillä radoilla, joissa vir-

heiden raja-arvot ovat väljemmät. Ankarina talvina routavaurioihin ei sillä kuitenkaan pystytä vaikuttamaan, koska routiminen tapahtuu pohjamaassa.

Yleensä routivalle rataosuudelle joudutaan asettamaan nopeusrajoitus, jolloin rataosan liikennöitävyys kärsii aiheuttaen lisäkustannuksia junien myöhästymisten ja korjaustoimenpiteiden takia.

Pääradoilla routimisen ehkäisy on oltava routamitoituksen mukaista, jolloin toimiva kuivatus on osana tukemassa routavaurioiden syntyä.

## KUVAT

Kuva 1. Radan rakenneosiin liittyviä nimityksiä. s.7

Kuva 2. Radan dimensioihin liittyviä nimityksiä. s.7

Kuva 3. Ratapenkereen kuivatus sivuojilla. s.10

Kuva 4. Raiteen kallistus. s.12

Kuva 5. Raiteen kierous. s.13

Kuva 6. Raiteen korkeuspoikkeama. s.13

Kuva 7. Raiteen nuolikorkeus. s.13

Kuva 8. Raiteen nuolikorkeuspoikkeama. s.14

Kuva 9. Raideleveys. s.14

Kuva 10. Routaan ja routimiseen liittyviä käsitteitä. s.18

Kuva 11. Routimattoman radan rakennekerrosten kokonaispaksuus. Perustuu ilmastotilastoihin vuosilta 1987 - 2007. s. 21

Kuva 12. Routavaurioiden syyjakauma vuosina 2003–2009. s.23

Kuva 13. Geometrisen kunnan palvelutason vaihtelu 2000-luvulla. s.24

Kuva 14. Tutkittavat kohteet, Huutokoski - Savonlinna, Varkaus - Heinävesi ja Luumäki - Lappeenranta. s.26

Kuva 15. Huutokoski - Savonlinna 443+234, 23.7.2010. s.33

Kuva 16. Varkaus - Heinävesi Km 425+836. s.36

Kuva17. Varkaus - Heinävesi Km 426+255. s.37

Kuva 18 Varkaus - Heinävesi Km 445+286. s.38

Kuva 19 Varkaus - Heinävesi Km 446+431. s.39

Kuva 20 Varkaus - Heinävesi Km 452+479. s.40

## TAULUKOT

Taulukko 1. Radan alusrakenneluokat. s.9

Taulukko 2. Virheluokat ja niiden selitykset. s.15

Taulukko 3. Raiteen nuolikorkeuspoikkeamien raja-arvot millimetreinä, mittakantana 20 metriä. s.15

Taulukko 4. Kilometriarvostelujen virherajat. s. 16

Taulukko 5. Parannettavan radan luokitus routivuuden mukaan silloin, kun pohjamaa on routivaa. s.22

Taulukko 6. Routaeristetyn radan routamitoituksessa käytettävän mitoituspakkasmäärän toimitusjakson valinta radan alusrakenneluokan perusteella. s.22

Taulukko 7. Tutkittavat kohteet ja sijainti rataverkolla, suluissa raidenumero. s.25

Taulukko 8. Kunnossapitotasojen 2 ja 6 korkeuspoikkeaman, kierouden, kallistuksen ja nuolikorkeuden virhetyyppien raja-arvot. s.28

Taulukko 9. Pakkasmäärät, Kuopion lentokenttä. s.28

Taulukko 10. Luumäki - Lappeenranta, kuivatustoimenpiteet kesällä 2005. s.31

Taulukko 11. Talvien 2006 - 2008 aikana ilmenneet virhemetrimäärät, kohteiden pituus, routivan maaperän syvyys ja arvio routivista kohteista. s.32

Taulukko 12. Talvina 2009 ja 2010 ilmenneet virhemetrimäärät, kohteiden pituus, routivan maaperän syvyys ja arvio routivista kohteista. s.34

Taulukko 13. Rataosan Luumäki - Lappeenranta virhemetriä esiintyminen keväisin ja syksyisin vuosina 2006 - 2010. s.41

## LÄHTEET

Brecciarolli, F. & Kolisoja P. 2004. A 9 Ratapenkereitten leveys ja luiskakaltevuus, esitutkimus. Ratahallintokeskus.

Erhola, E. 1996. Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Ilmatieteenlaitos. 2010.

<http://www.fmi.fi/uutiset/index.html?A=1&Id=1267438228.htm>. Luettu 27.5.2010.

InfraRYL. 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, osa 1 väylät ja alueet. 2010. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Kolisoja, P. 2007. RHK-Akatemia, opetusmateriaali.

Koskinen, K. Astone, S. Argillander U. Hautala, H. Raunio, M. & Lavola, S. 2010. Oy VR-Rata Ab. Raportti päätösten ja vaihteiden kunnosta kevät 2010.

Nurmikolu, A. & Kolisoja, P. 2001. Ratarakenteen routasuojaus. Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Oy VR-Rata Ab. 2008. Huutokoski - Savonlinna, työkohtainen työselitys. 18.4.2008. Ratahallintokeskus.

Oy VR-Rata Ab. 2004. Luumäki - Lappeenranta, työkohtainen työselitys, kallioleikkausten kuivatus. 18.5 2004. Ratahallintokeskus.

Oy VR-Rata Ab. 2001. Luumäki - Lappeenranta, työkohtainen työselitys. 21.12.2001. Ratahallintokeskus.

Oy VR-Rata Ab. 2001. Varkaus - Heinävesi, työkohtainen työselitys. Ratahallintokeskus.

Rantamäki, M. Jääskeläinen R. Tamminne M. 2009. Geotekniikka. Otatieto.

Ratahallintokeskus. 2005. Raiteentarakstustulokset ja niiden tulkinta. Helsinki.

Ratahallintokeskus. 2008. Ratatekniset ohjeet, osa 3 "Radan rakenne". Helsinki.

Ratahallintokeskus. 2004. Ratatekniset ohjeet osa 13 "Radan tarkastus". Helsinki.

Ratahallintokeskus. 2000. Ratatekniset ohjeet, osa 15 "Radan kunnossapito". Helsinki.

Ratakuvapalvelu. 2010. Liikennevirasto.

Rataverkon sähkörata- ja vahvavirtajärjestelmien kunnossapito. Oy VR-Rata Ab.

Roudan hallintaraportti. 2009. Ratahallintokeskus.

Saarinen M. 2008. Ratojen alusrakenteissa käytettyjen materiaalien routimisherkyys. Ratahallintokeskus. Helsinki.

Valkama, J. 2006. Routa, sen aiheuttamat pinnanmuodot ja ilmiöt sekä niiden merkitys ihmistoiminnan kannalta. Geologian tutkimuslaitos.

Viljakainen, J. Oy VR-Rata Ab. Haastattelu 21.6.2010.