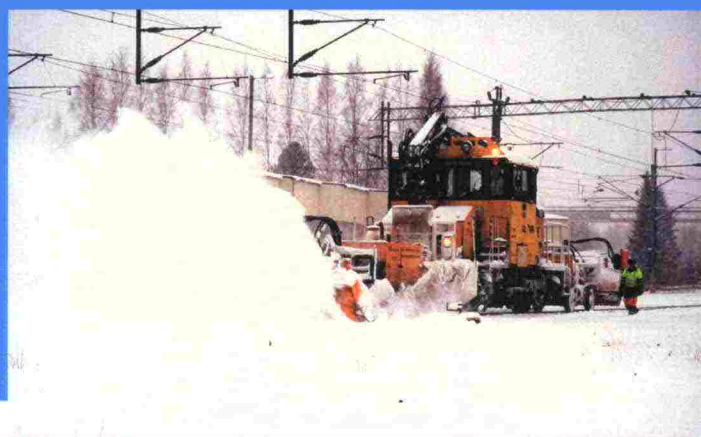


# Ilmastonmuutokseen sopeutuminen radanpidossa

## Esiselvitys



Seppo Saarelainen – Lasse Makkonen



Ratahallintokeskuksen  
julkaisu A 16/2008

## Ilmastonmuutokseen sopeutuminen radanpidossa

### Esiselvitys

Seppo Saarelainen  
Lasse Makkonen

Helsinki 2008

**Ratahallintokeskus**

Ratahallintokeskuksen julkaisu A 16/2008

ISSN 1455-2604

ISBN 978-952-445-261-8

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

ISSN 1797-6995

ISBN 978-952-445-262-5

Kannen ulkoasu: Proinno Design Oy, Sodankylä

Kansikuva: Soile Laaksonen

Paino: Kopijyvä Oy, Kuopio

Helsinki 2008

**Saarelainen Seppo – Makkonen Lasse: Ilmastonmuutokseen sopeutuminen radanpidossa, esiselvitys.** Ratahallintokeskus. Helsinki 2008. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 16/2008. 46 sivua ja 1 liite. ISBN 978-952-445-261-8, ISBN 978-952-445-262-5 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf).

## TIIVISTELMÄ

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen radanpidossa -esiselvitys on kuvaus ilmastonmuutoksen vaikutuksista radanpitoon sekä kuvaus toimenpiteistä, joihin olisi tarpeen ryhtyä haittojen ja häiriövaikutusten vähentämiseksi.

Saatavissa olleiden ilmastonmuutostietojen perusteella kuvattiin ilmaston päätekijöitä, joilla arvioitiin olevan merkitystä radanpidossa. Näitä olivat mm. ilman lämpötilan muuttuminen, sateisuuden muuttuminen, tuulisuuden ja myrskyjen muuttuminen sekä ukkosten, jäätymis-, sulamis- ja lumiolojen muuttuminen.

Selvityksessä tarkasteltiin ja arvioitiin ilmastovaikutusten aiheuttamien riskien luonnetta, merkitystä ja kohdistumista rataverkolla. Riskitarkastelun perusteella selvitettiin varautumistarpeita, mm. varoitusjärjestelmiä, pelastus- ja suojelutoimintaa, rakenteiden vahvistamistarvetta ja ohjeistuksen uusimistarvetta.

Edelleen tarkasteltiin suppeasti rautatiekuljetusten ilmastopäästöjä verrattuna muihin kuljetusmuotoihin. Koko liikennejärjestelmä on otettava tarkasteluun, jotta voidaan optimoida toimenpiteet energia-, päästö- ja kustannustehokkaasti. Rautateiden vahvuutena ovat mm. vähäiset ominaispäästöt ja alhainen energian kulutus, joten rautatieliikennettä tulisi suosia entistä enemmän liikenteen kokonaispäästöjen vähentämiseksi. Rautateiden kulkumuoto-osuuden lisäämiseksi tulee rautatieliikenteen kilpailukykyä parantaa matka-aikoja lyhentämällä ja akselipainoja korottamalla.

Rautatiekuljetusten suhteellisen osuuden lisäämisen sekä rataverkon kuljetuskapasiteetin ja palvelutason nostamisen arvioitiin edellyttävän merkittäviä investointeja kuten lisäraiteiden rakentamista, sähköistyksen laajentamista sekä liikenteen palvelutason parantamista.

Valtakunnallisten alueidenkäytön tavoitteiden uudistuksen edellyttämiin toimiin tulee valmistautua myös rautatiealalla, sillä maankäytön kehittäminen tukeutuen radanvarsiin on yksi tärkeä tavoite ilmastonmuutoksen hillinnässä. Radanpidon kannalta ilmastonmuutokseen sopeutumisen ja ilmastonmuutoksen hillinnän käytännön toimia tuleekin tarkastella samalla kertaa, jolloin saadaan tasapainoinen kokonaisnäkemys ilmastonmuutokseen vaikuttamisen eri keinoista.

Ilmastonmuutoksen ja ilmastoperäisten vaikutusten hallitsemiseksi tulee ryhtyä toimiin ilmastonmuutokseen varautumiseksi, rakenteiden toimivuuden varmistamiseksi, suunnitteluohjeistuksen kehittämiseksi, rautateiden kuljetuskapasiteetin lisäämiseksi sekä näitä palvelevien tutkimus- ja kehityshankkeiden käynnistämiseksi.

Ilmastonmuutokseen sopeutumisen edellytyksiä voidaan parantaa lisäämällä tietoa ilmastoilmiöiden luonteesta radanpidon kannalta sekä ratarakenteiden ja -laitteiden toiminnasta ja rasituskäyttäytymisestä.

**Saarelainen Seppo – Makkonen, Lasse: Anpassning för klimatförändringen inom banhållningen, förstudie.** Banförvaltningscentralen. Helsingfors 2008. Banförvaltningscentralens publikationer A 16/2008. 46 sidor och 1 bilaga. ISBN 978-952-445-261-8, ISBN 978-952-445-262-5 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf).

## SAMMANDRAG

Förstudien ”Anpassning för klimatförändringen inom banhållningen” är en beskrivning om klimatförändringens inverkan på banhållningen och de åtgärder, som borde vidtas för att minska störningar och skadeverkningar.

På grund av de klimatförändringsuppgifter, som var tillhanda, beskrevs de klimatiska huvudfaktorer, som uppskattades att ha betydelse för banhållningen. Dylika var t.ex. ändringar i lufttemperaturer, vindstyrkan, stormigheten och åskväder, samt ändringar i frysnings-, tinings- och snöförhållanden.

I förstudien betraktades och utvärderades karaktären, betydelsen och inriktningen hos klimatbaserade risker på järnvägsnätet. Pga. klimatförändringars riskevalueringar utreddes förberedningsbehov, liksom varningssystem, räddnings- och skyddsverksamhet, förstärkningar vid konstruktioner och förändringar i anvisningar.

Vidare uppskattades begränsat utsläpp från järnvägstransporter jämförda med andra transportmedel. Det hela trafiksystemet måste granskas för att kunna optimera utsläppsminskande åtgärder på ett energi-, utsläpps- och kostnadseffektivt sätt. Järnvägstrafikens styrka är t.ex. föga enhetsutsläpp och lågt energibruk, och järnvägstrafiken borde därför gynnas mera än tidigare för att minska trafikens helhetsutsläpp. För att öka järnvägarnas transportkvot bör tävlingsförmågan förbättras genom att förkorta resetider och förhöja axellaster.

Ökningen i järnvägstransporternas relativa kvot och förbättringen av servicenivån uppskattades att förutsätta betydande investeringar på byggandet av tilläggsspår, utvidgningen av elektrifieringen samt förbättringar i litligheten och noggrannheten i transporttjänster.

För de åtgärder, som förutses enligt förnyelsen av maranvändningens nationella ändamål, måste förberedas att vidta även inom järnvägsbranschen, för utveckling av samhällen vid järnvägar är ett viktigt ändamål inom dämpandet av klimatförändringen. Inom banhållningen måste de praktiska åtgärder för anpassningen och dämpningen för klimatförändringen betraktas samtidigt, så att man får en balanserad helhetsbild om olika sätt att inverka på klimatförändringen.

För att förbättra kontrollen vid klimatförändringar och klimatberoende inverkningsor borde man vidta åtgärder för att bereda sig för klimatförändringen, för att försäkra konstruktioners och systems verksamhet, för att förbättra anvisningar och byggnadssätt, för att öka järnvägars transportkapacitet och för att igångsätta nödvändig, stödande forsknings-, utvecklings- och planläggningsverksamhet.

Förutsättningar för att anpassa sig i klimatförändringen kan förbättras genom att öka kunskap om klimatförändringars karaktär med hänsyn till banhållningen samt om funktionella egenskaper och belastningsbeteende vid bankonstruktioner och utrustningar.

**Saarelainen Seppo – Makkonen Lasse: Adaptation of railway management to climate change, preliminary study.** Finnish Rail Administration. Helsinki 2008. Publications of the Finnish Rail Administration A 16/2008. 46 pages and 1 appendix. ISBN 978-952-445-261-8, ISBN 978-952-445-262-5 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf).

## SUMMARY

Prestudy on the adaptation to climate change in railway management is a description of the impacts of climate change in railway management and measures necessary to control and mitigate the resulting damage and disturbance

Main climatic components important for railway management were identified and described on the basis of available information on climate change. Such factors are eg. changes in air temperature and precipitation, changes in wind speed and storm occurrence, changes in thunder as well as in freezing, thawing and snow conditions.

The character, importance and direction of climate change affected risks were studied and evaluated. On the basis of risk evaluation, needs for proactive measures like warning systems, contingency planning, needs for structural strengthening and needs for changes in the codes of practice were studied and identified.

Further, atmospheric emissions caused by railway transports were studied and compared with other transport modes. The whole transport system should be encountered, in order to be able to optimise measures effectively considering energy, emission and cost aspects. The strength of railway system is eg. low unit emissions and low energy consumption, and, thus, railways should be favoured more than before to reduce the total emissions within the transport branch. To increase the relative share of railway transport, its competitiveness should be improved by shortening travel times and increasing axle loads.

Increases in the relative share as well as the transport capacity and service level of railway transport were estimated to require significant investments in the building of excess rails, widening the electrified railway net and actions to improve the service level for the traffic.

The railway branch also must prepare for actions due the renewed goals within national land use planning, because the land use planning along rail lines is an important goal for climate change mitigation. Within the railway branch, the practical measures for climate change adaptation and mitigation should be considered as a whole, to get a balanced, comprehensive view on different options in influencing on climate change.

For the control of climate change impacts and climate-borne effects in the railway management, measures should be taken to prepare to the climate change, to ensure the functional use of structures and facilities, to improve codes of practice, to increase the transport capacity of the railway system and to initiate supporting research and development activity.

The preparedness for the adaptation to climate change can be improved by increasing knowledge and awareness on the impacts of climatic phenomena considering railway management, railway structures and devices as well as their response to various distresses and loadings.

## ESIPUHE

Esiselvitys ”Ilmastonmuutokseen sopeutuminen radanpidossa” laadittiin Ratahallintokeskuksen toimeksiannosta sekä Liikenne- ja viestintäministeriön aloitteesta. Esiselvityksessä pyrittiin muodostamaan kuvaa ilmastonmuutoksen vaikutuksista sekä vaikutusten aiheuttamasta sopeutumistarpeesta radanpidon erityistarpeet huomioon ottaen. Selvitystä voidaan käyttää suunniteltaessa toimia rataverkon kehittämiseksi, sen kunnossapidämiseksi ja liikenteen toiminnan varmistamiseksi muuttuvissa ilmasto-oloissa. Jatkotyöskentelyssä on tarpeen tarkentaa edelleen valmiussuunnitelmia, selvittää rakenteiden ja järjestelmien parantamistarpeita, kehittää rakentamisstandardeja, uudistaa suunnitteluohjeita sekä käynnistää tutkimus- ja kehityshankkeita rataverkon toimivuuden ja välityskyvyn varmistamiseksi.

Selvityksen laativat Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa erikoistutkijat Seppo Saarelainen ja Lasse Makkonen. Työ aikana kuultiin VTT:n logistiikka-alan tutkijoita, mm. Mikko Malmivuota, Raine Hautalaa sekä Pekka Leviäkangasta. Ratahallintokeskuksesta työhön osallistui ohjausryhmä, jonka puheenjohtajana toimi ympäristöyksikön päällikkö Arto Hovi ja asiantuntijajäsenenä Arja Aalto, Pentti Haapala, Risto Heinonkoski, Aki Härkönen, Susanna Koivujärvi, Marita Luntinen, Miika Mäkitalo, Pekka Rautoja ja Juha-Matti Vilppo. Lisäksi kuultiin mm. ympäristöpäällikkö Otto Lehtipuuta VR-konsernista.

Helsingissä, joulukuussa 2008

Ratahallintokeskus  
Rataverkko-osasto

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
SAMMANDRAG.....	4
SUMMARY .....	5
ESIPUHE.....	6
1 JOHDANTO .....	9
2 ILMASTONMUUTOKSEN SKENAARIOT RADANPIDON KANNALTA.....	11
2.1 Tausta .....	11
2.2 Tärkeimmät ilmaston osatekijät ja vaikutukset.....	11
2.2.1 Yleistä.....	11
2.2.2 Sateet .....	13
2.2.3 Merenpinnan korkeus .....	14
2.2.4 Talviongelmät.....	15
2.3 Rakenteiden mitoitus.....	17
2.4 Suomen ilmaston merkittävät muutosarviot vuoteen 2100 mennessä .....	20
3 ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET RADANPITOON JA LIIKENTEeseen .....	22
3.1 Kuljetusjärjestelmät .....	22
3.2 Liikenteen kehitysnäkymät .....	22
3.3 Ratarakenteet.....	23
3.4 Kunnossapito ja liikenne.....	24
3.5 Ilmastomuutokseen sopeutumistarve .....	25
4 ILMASTOPERÄISTEN ÄÄRIVAIKUTUSTEN RISKITARKASTELU.....	26
4.1 Tausta .....	26
4.2 Merkittävimmät ilmastoperäiset riskit radanpidossa .....	26
4.3 Rankkasateet ja vesistötulvat .....	27
4.4 Lämpötilat .....	27
4.4.1 Kesälämpötilat ja hellekäyrät .....	27
4.4.2 Talvilämpötilat ja kiskonkatkokset.....	28
4.5 Jäätyminen .....	28
4.5.1 Radan laitteiden ja rakenteiden jäätyminen.....	28
4.5.2 Radan laitteiden lumiongelmät .....	28
4.6 Routa ja sulaminen.....	29
4.7 Myrskytuulet .....	30
4.8 Ukkonen .....	30
4.9 Merenpinnan nousu.....	33
4.10 Vaikutukset liikenteeseen .....	33
5 VARAUTUMINEN ILMASTONMUUTOKSEEN.....	34
5.1 Varoitusjärjestelmät .....	34
5.1.1 Säähavainnot.....	34
5.1.2 Kelitiedot ja -ennusteet.....	34



5.1.3	Tulvaennusteet.....	34
5.1.4	Rataverkon erityisseuranta .....	34
5.2	Varautuminen suojele- ja pelastustoimenpiteisiin .....	34
5.3	Rakenteellinen ja materiaalinen varautuminen .....	35
5.4	Rakenteiden mitoituksen tarkistaminen .....	35
5.4.1	Riskipuiden kaato ratalinjalla .....	35
5.4.2	Tulvien rakenteellinen torjunta.....	35
5.4.3	Sortumariskikohteet.....	35
5.4.4	Sähkönsyötön ja signaloinnin varmentaminen .....	35
6	LIIKENTEEN CO <sub>2</sub> -PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN RAUTATEIDEN KULJETUSOSUUTTA LISÄÄMÄLLÄ .....	36
6.1	Rautatieliikenteen rooli ilmastonmuutoksen torjunnassa .....	36
6.2	Kuljetussuoritteiden päästö määrät ja ominaispäästöt .....	36
6.3	Kysynnän kasvu ja kohdistuminen .....	38
6.4	Toimenpiteet palvelutason ja kuljetuskapasiteetin lisäämiseksi .....	38
7	JOHTOPÄÄTÖKSET ILMASTONMUUTOKSEEN SOPEUTUMISESTA RATAVERKOSSA.....	40
7.1	Varautuminen.....	40
7.1.1	Varoitusjärjestelmien kehittäminen .....	40
7.1.2	Onnettomuuksien ennaltaehkäisy ja riskienhallinta .....	40
7.1.3	Materiaalinen varautuminen vahinkojen estämiseksi ja rajoittamiseksi .....	40
7.2	Ohjeistus.....	41
7.3	Rautatieliikenteen kulkumuoto-osuuden lisääminen .....	41
7.4	Tutkimus ja kehitys .....	41
8	TYÖN JATKAMINEN RAUTATIESEKTORILLA .....	43
	KIRJALLISUUTTA.....	44
LIITE 1	Arvio ilmastoperäisistä vahinko- ja liikenneskeistä radan rakenteille ja laitteille	

## 1 JOHDANTO

Liikenne- ja viestintäministeriö on edellyttänyt, että sen alaiset virastot valmistelevat selvityksen ilmastonmuutokseen sopeutumisesta. Radanpidon kannalta ilmastonmuutokseen sopeutumista ja ilmastonmuutoksen hillintää tarkastellaan tässä raportissa rinnan, jotta voidaan arvioida kokonaisvaltaisesti radanpidon tulevia haasteita. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen tarpeita ja toimia kuljetusjärjestelmissä on käsitelty aiemmin myös muissa julkaisuissa, (mm. TRB 2008, Banverket 2007, Saarelainen & Makkonen 2007, Saarelainen et al. 2004).

Ilmastonmuutosta pyritään rajoittamaan kansainvälisin sopimuksin. Tärkein niistä on YK:n ilmastosopimus vuodelta 1992 ja sitä täydentävä Kioton pöytäkirja helmikuulta 2005. Kioton pöytäkirja ja Suomen kansallinen ilmastostrategia asettavat tavoitteet vain vuosille 2010 ja 2012. Kioton sopimus velvoittaa vähentämään päästöt vuoden 1990 tasolle. Jatkoneuvottelut päästöjen vähentämisestä käydään vuonna 2008. Euroopan neuvosto on maaliskuussa 2007 asettanut tavoitteeksi 20 prosentin päästövähennyksen vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi pyritään jopa 50 prosentin päästövähennykseen vuoteen 2050 mennessä. Sopimuksessa on sitouduttu lisäämään biopolttoaineiden osuutta 10 prosentilla ja uusiutuvien energialähteiden osuutta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä.

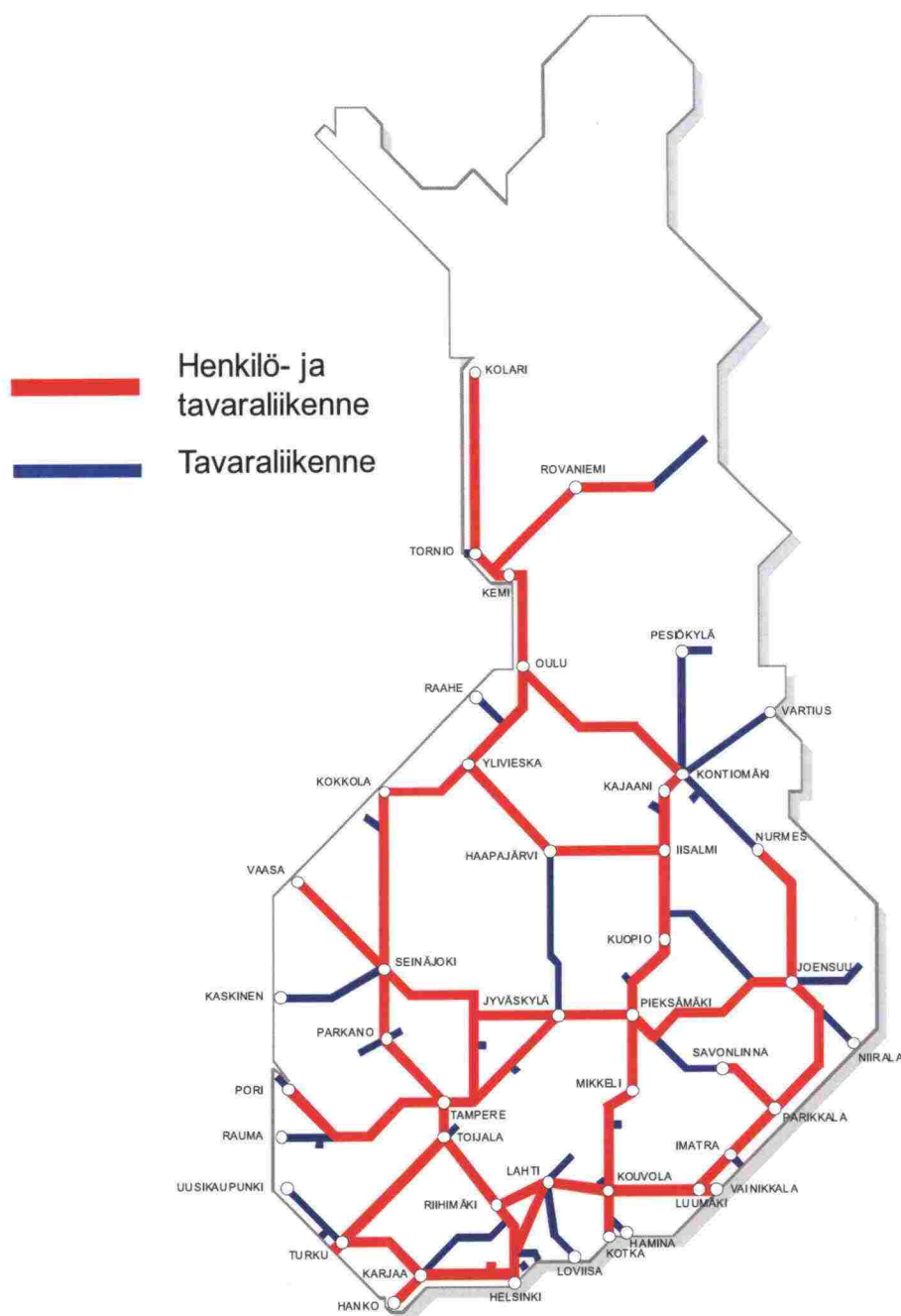
Komission 23.1.2008 julkaisemassa ilmasto- ja energiapaketissa asetettiin Suomelle tavoite vähentää liikenteen hiilidioksidipäästöjä 16 prosenttia vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Vuonna 2005 liikenteen CO<sub>2</sub>-päästöt olivat 13,0 milj. CO<sub>2</sub>-tonnia, josta määrästä tulisi leikata 16 prosenttia. Päästöt vuonna 2020 saisivat siten olla korkeintaan 10,9 milj. CO<sub>2</sub>-tonnia, kun nykyisellä liikenteen kasvuvauhdilla liikenteen CO<sub>2</sub>-päästöt olisivat vuonna 2020 noin 13,9 milj. CO<sub>2</sub>-tonnia. Tässä on jo otettu huomioon, että biopolttoaineiden osuus v. 2020 olisi 10 %. Näin ollen liikenteen CO<sub>2</sub>-päästöjä olisi 16 % vähennystavoitteen saavuttamiseksi leikattava lisäksi muilla toimilla nykytasoon verrattuna 2,1 milj. CO<sub>2</sub>-tonnia ja vuoden 2020 perustasosta 3 milj. CO<sub>2</sub>-tonnia.

Suomen rataverkko ulottuu etelästä Hangosta pohjoiseen Kolariin ja Kemijärvelle asti. Rataverkon laajuus erilaisine säätiloineen tuo haasteita jo nykyisellään radanpidon päivittäiseen hoitoon ja liikennöintiin. Ratojen perusparannus- ja kehittämishankkeet toteutetaan yleensä sellaiseen aikaan, kun maaperä ei ole roudassa.

Ilmastonmuutoksen kannalta rataverkon hoitoon liittyvät haasteet ovat osittain erityyppisiä maan eri osissa johtuen säätelijöiden vaihtelusta. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmenevät totutuista sääolosuhteista poikkeavina vaikutuksina, jolloin niihin on reagoitava kunnossapidollisin tai liikenteellisin toimenpitein. Niihin voidaan ennalta varautua tunnistamalla riskit ja suunnittelemalla toiminta häiriöiden ja vahinkojen minimoimiseksi poikkeusoloissa. Tämä edellyttää perehtymistä ja alan koulutusta, joka tulee suunnitella hyvin ja järjestää ennakoivasti.

Suomen rataverkkoa (kuva 1) hallinnoi Ratahallintokeskus. Ratojen ylläpito ja rakentaminen teetetään sopimuksilla ulkopuolisten toimijoiden työnä. Rautatie-liikennettä harjoittaa toistaiseksi ainoana liikennöitsijänä VR Osakeyhtiö.

Rautatieliikenteen kilpailu kotimaisessa tavaraliikenteessä avautui 1.1.2007. Uudet toimijat voivat siis tulla markkinoille ja liikennöidä Suomen rataverkolla. Kilpailun avautumisen on arveltu laskevan rautatiekuljetusten hintoja, mikä voi houkuttaa rautateille uutta kuljetettavaa. Toisaalta osa uusista rautatieyrityksistä voi käyttää dieselkalustoa, minkä vuoksi kilpailun avautumisen ilmastovaikutuksia on vaikea arvioida etukäteen.



Kuva 1. Suomen rataverkon liikennöinti vuonna 2007.

Ratahallintokeskus hankkii suunnittelun, rakentamisen ja kunnossapidon markkinoilla toimivilta yrityksiltä. Sekä rakentamisessa että kunnossapidossa toimijat ovat erikoistuneet omille radanpidon sektoreilleen, joita ovat mm. radan päällysrakenne, sähkörataverkko, asema-alueet ja laiturit, telematiikka, turvalaitteet ja radioverkon kunnossapito.

## 2 ILMASTONMUUTOKSEN SKENAARIOT RADANPIDON KANNALTA

### 2.1 Tausta

Ilmastonmuutoksen skenaarioita ilmaston erilaisista osatekijöistä on laadittu ilmastomallisimulointien avulla perustuen erilaisiin globaaleihin kasvihuonekaasujen päästöskenaarioihin. Nämä taas perustuivat erilaisiin yhteiskunnan kehittymisvaihtoehtoihin - markkinalähtöisiin, kestävään kehitykseen sekä säästöperusteisiin. Globaaleista ilmastonmuutosskenaarioista on laadittu Suomea koskevia ilmastonmuutosskenaarioita yhdistämällä eri globaalien ilmastomallien Suomen aluetta koskevia tuloksia (Carter et al. 2005, Ruosteenoja et al. 2006) tai käyttämällä tarkempaa alueellista ilmastomallia, jossa globaalien mallien tulokset olivat rajaehtoina (Räisänen et al. 2004).

Havaintojen mukaan viime vuosisadalla maapallon keskilämpötila nousi 0,8 °C. Pitämällä ajanjaksolla näyttää siltä, että viime vuosisata olisi ollut lämpimin tuhanteen vuoteen. Lämpötilan nousu oli erityisen nopeaa 1900-luvun viimeisinä vuosikymmeninä ollen 0,6 °C 1970-luvulta alkaen. Edellä mainitut ilmastomallit voivat selittää hyvin tämän nopean lämpenemisen, kuten muutkin vaihtelut meteorologisten mittauksen aikakaudella, jos niihin sisällytettiin ilmakehän sisältämien kasvihuonekaasujen konsentraation noususta johtuva vaikutus. Mallit eivät niitä selitä, jos tämä vaikutus jätetään malleista pois.

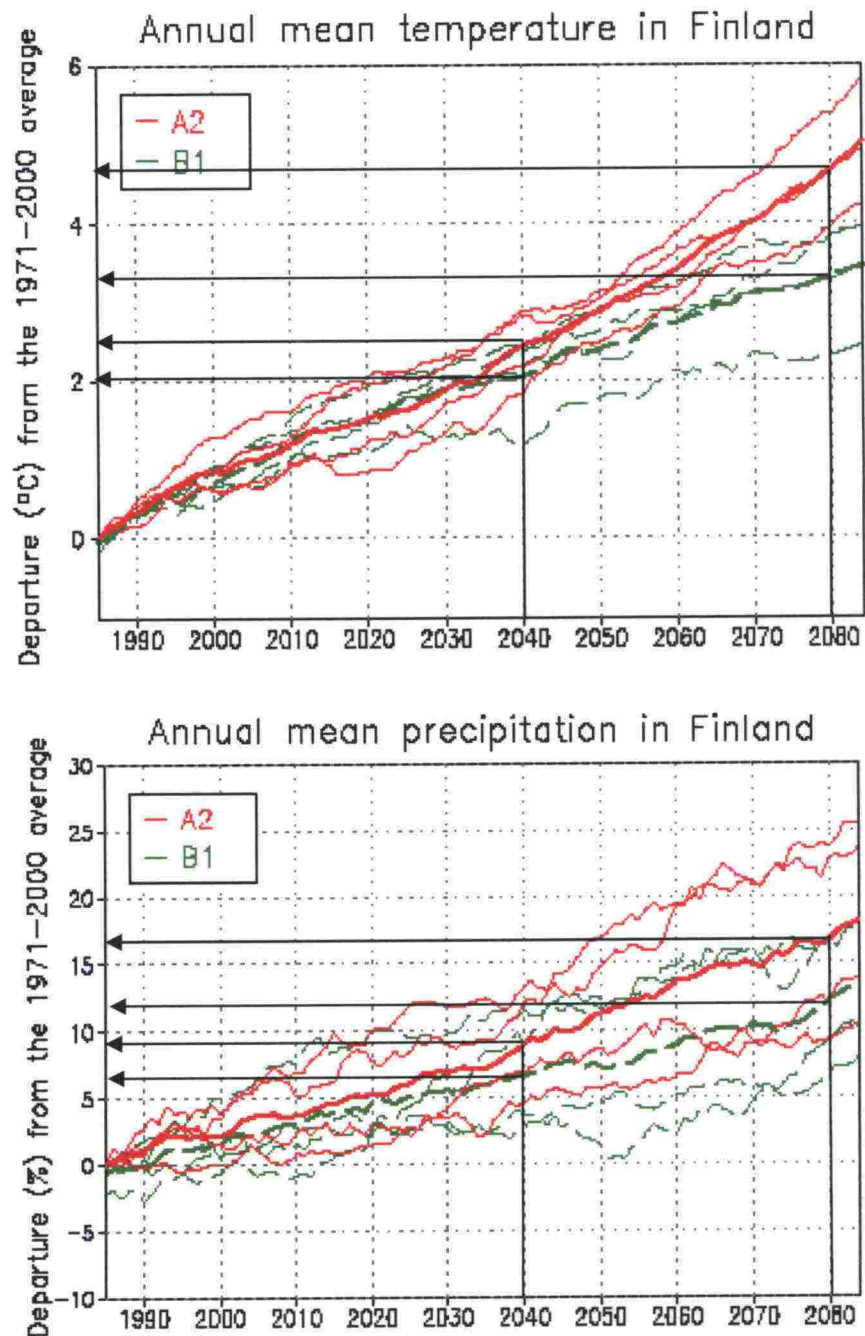
Vaihtelua kuvataan yleensä keskimääräisillä muutoksilla, mutta eräiden ilmastotekijöiden muuttumista on selvitetty mallisimuloinneista myös ääriarvojen toistuvuuden muuttumisena (Makkonen et al. 2007).

### 2.2 Tärkeimmät ilmaston osatekijät ja vaikutukset

#### 2.2.1 Yleistä

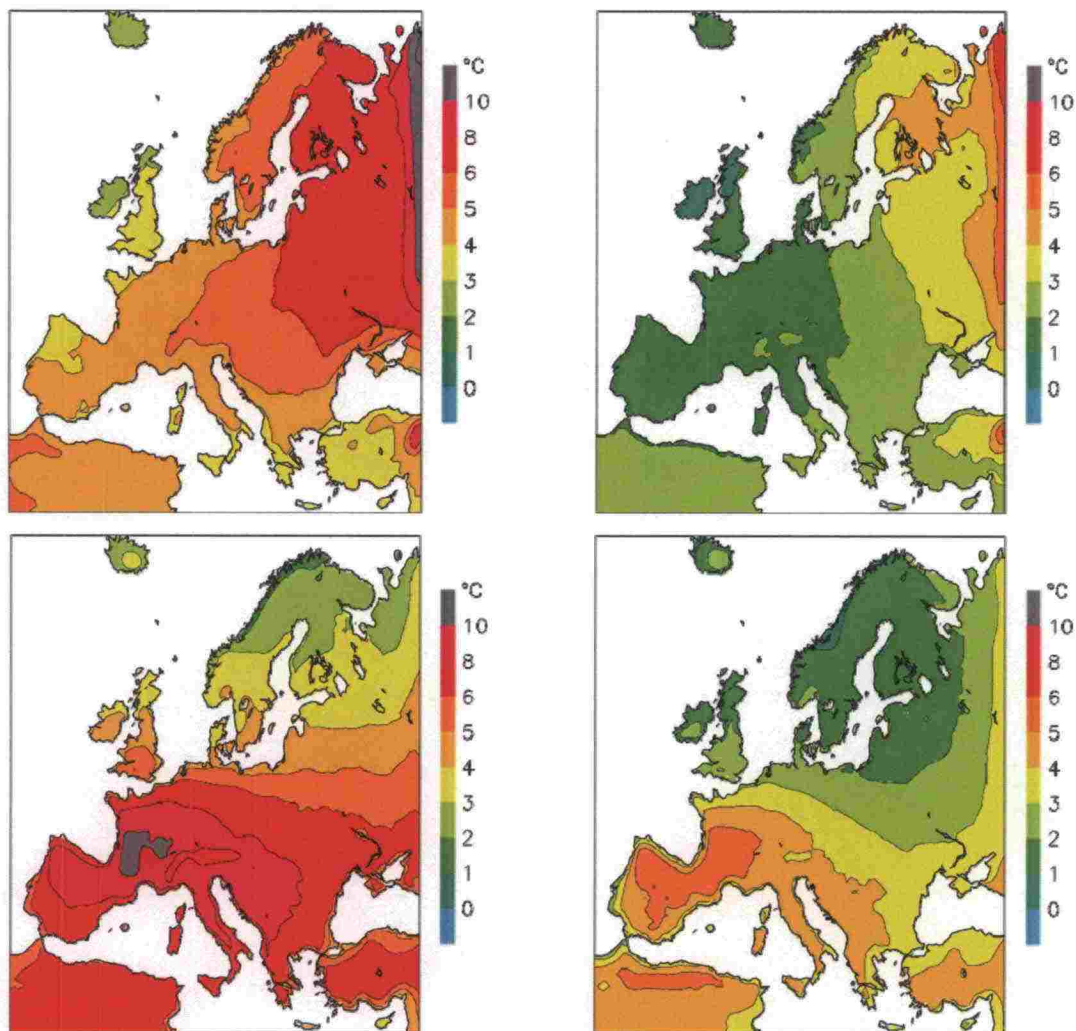
Maapallon ilmakehän lämpötilan nousu johtuen ilmakehän kasvihuonekaasujen (hiilidioksidi, metaani ym.) pitoisuuksien kasvusta on ollut huomion kohteena Finadapt-skenaarioissa (Carter et al. 2005). Ilman vuotuisen keskilämpötilan arvioitiin Suomessa nousevan vuoteen 2030 mennessä noin 2 °C, vuoteen 2060 mennessä 3–3,5 °C ja vuoteen 2080 mennessä 4–5 °C nykytasoon verrattuna. Tämä tarkoittaisi, että vuoteen 2030 mennessä Rovaniemen lämpötilaolot siirtyisivät Pohjois-Lappiin, ja että etelärannikon olosuhteet siirtyisivät Keski-Suomeen.

Suomea koskevan ilmastonmuutosskenaarion tuloksia on esitetty kuvassa 2. Samantapaisia tuloksia ovat esittäneet Ruosteenoja et al. (2006). Kuvassa 3 on vastaavia tuloksia esitetty karttana koko Euroopan alueelle. Arvioidut muutokset olivat suurempia talvella kuin kesällä: Arviolta sadan vuoden aikana keskilämpötilan nousu olisi kesällä noin 4 °C ja talvella noin 6 °C.



Kuva 2. Arvio ilman keskilämpötilan ja sadannan muuttumisesta vuoden 1985 tasoon verrattuna (Carter et al. 2005). A2 ja B1 ovat kaksi erilaista, Kansainvälisen ilmastopaneelin määrittelemää globaalia päästöskenaariota, joihin mallilaskelmat perustuvat. Paksut käyrät kuvaavat neljällä eri ilmastomallilla simuloitujen tulosten keskiarvoa.

Tulevassa, nykyistä lämpimämmässä ilmastossa odotetaan lumipeitteen levinneisyyden pienenevän ja lumisen kauden pituuden lyhenevän, lumipeitteen satavan myöhemmin syksyllä ja lumen sulavan keväällä aikaisemmin. Järvet ja meret jäätyvät myöhemmin, ja jäiden lähtö aikaistuu.



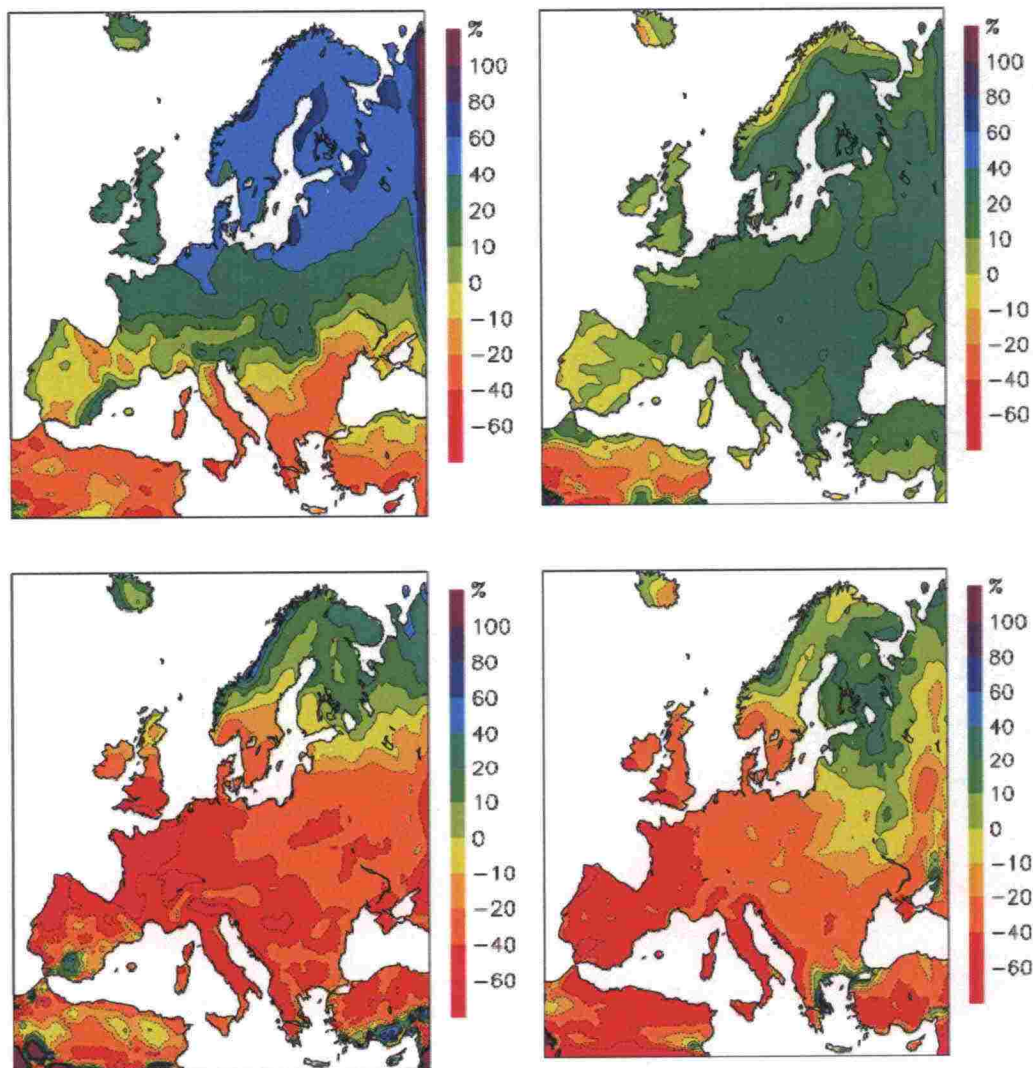
Kuva 3. Laskettu keskilämpötilan nousu 2 metrin korkeudella talvikuukausina (ylemmät kuvat) ja kesäkuukausina (alemmat kuvat). Vasemmalla esitetään Rossby Centren skenaariot suurimmalle muutokselle ja oikealla pienimmälle muutokselle (Carter et al. 2005).

Edellä mainitut tutkimukset viittasivat siihen, että kesällä poutajaksot lämpenevät ja pitenevät, jolloin pohjaveden pinta alenee.

### 2.2.2 Sateet

Lisääntyvät sateet, joita koskevia mallituloksia on esitetty kuvassa 4, aiheuttavat enemmän tulvia vesistöissä ja vesiuomissa. Tulviminen saattaa ylittää kuivatusrakenteiden nykyisen mitoitustason, jolloin tulvien aiheuttamat vahingot yleistyvät ja kasvavat.

Vedenpinnan korkeudet vesialtaissa saattavat muuttua. Jos sadanta kasvaa, vesiuoman virtauskapasiteetti saattaa ylittyä erityisesti säännöstelemättömissä joki-järvi-vesistöissä. Ongelmia voi syntyä myös säännöstellyissä vesialtaissa, jos purku-uoman kapasiteetti merkittävästi ylittyy. Ennakoitu sademäärän kasvu ei kuitenkaan kohdistu kevääseen, joten - kun lumen vesi-arvokin pienenee - kevättulvat eivät ilmeisesti tule pahenemaan.

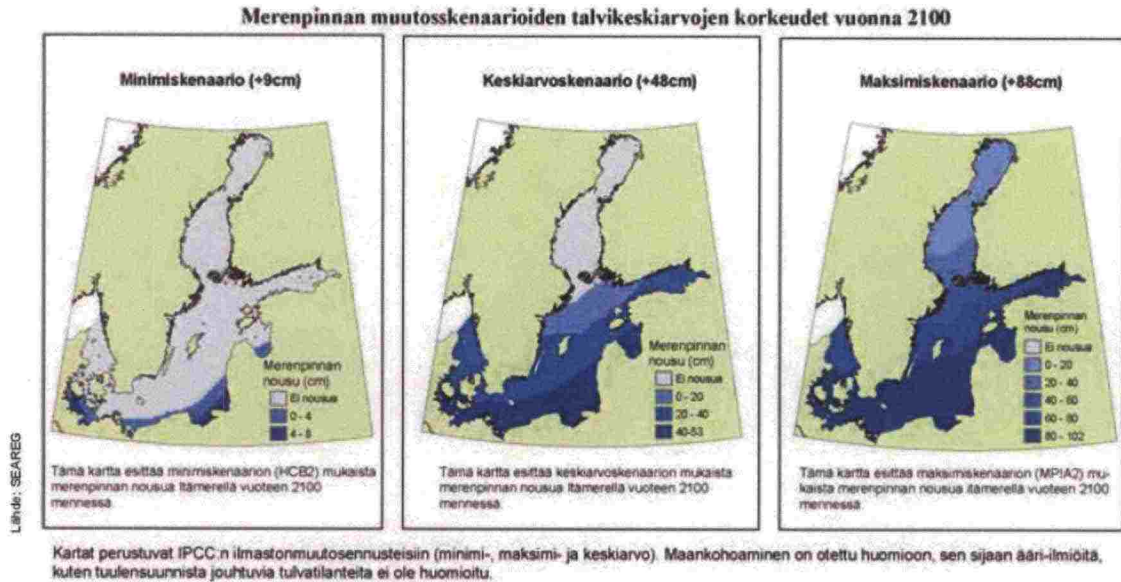


Kuva 4. Laskettu sadannan muutos talvikuukausina (ylemmät) ja kesäkuukausina (alemmat). Vasemmalla Rossby Centren suurimman muutoksen ja oikealla pienimmän muutoksen skenaariot (Carter et al. 2007).

### 2.2.3 Merenpinnan korkeus

Itämeren pinta seuraa valtameren vedenpinnan kehitystä. Keskimääräiseen vedensyvyyteen suhteessa maanpintaan vaikuttaa kuitenkin maanpinnan nousu, joka on suurinta Pohjanlahdella (max 10 mm/a) ja pienenee etelään ja itään päin, ollen Helsingissä noin 3 mm/a ja Haminassa 1–2 mm/a. Maannousun vuoksi Suomen rannikoilla keskivedenkorkeuden muutosten arvioitiin jäävän lähimmän vuosisadan aikana vähäisiksi (vrt. kuva 5).

Hetkellinen Itämeren vedenkorkeus määräytyy keskivedenkorkeuden, ilmanpaineen ja tuulen sekä aallonkorkeuden perusteella. Ilmanpaineen aleneminen millibaarilla aiheuttaa tyypillisesti noin 10 mm vedenpinnan nousun. Pitkäaikainen myrskytuuli painaa pintavettä mukanaan, ja nostaa vedenpintaa, kun virtaus kohtaa rannan tai vesisyvyys pienenee.



Kuva 5. Itämeren korkeus vuonna 2100 erilaisten valtameren pinnan noususkenaarioiden mukaan (Heikkinen 2006).

### Case: Merenpinnan nousun aiheuttama myrskytulva v. 2005

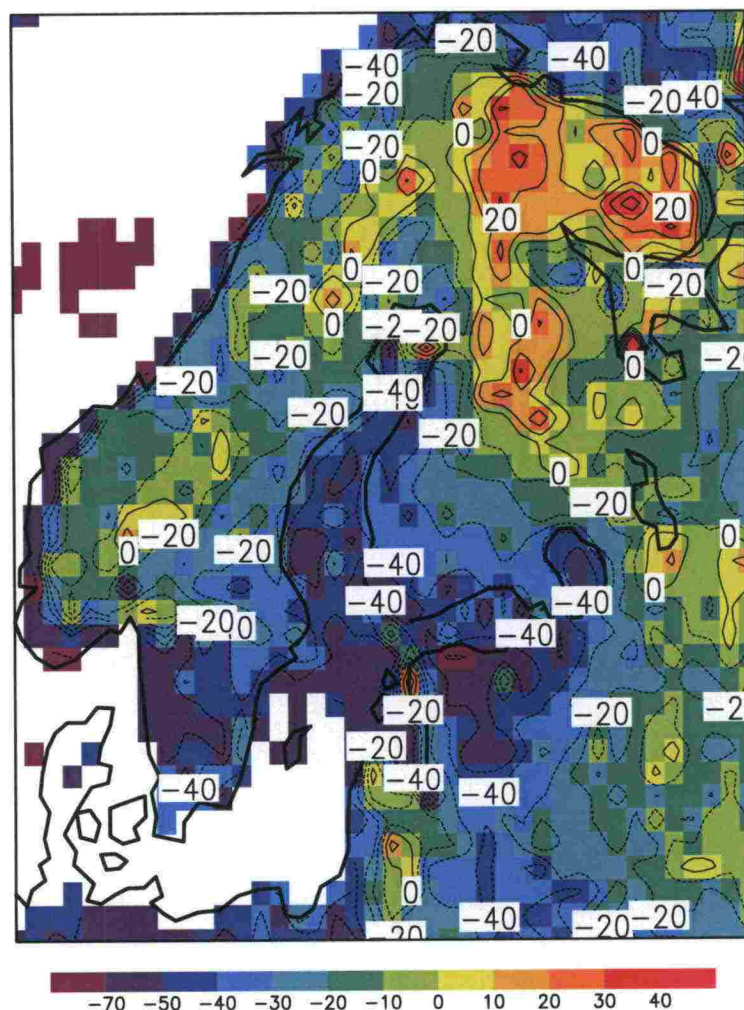
Vuoden 2005 tammikuun 9. päivän tulva etelärannikolla, Suomenlahdella, oli tällainen myrskytulva: myrskymatala, johon liittyi myrskyinen länsituuli. Seurauksena vedenpinta nousi Haminassa noin 1,95 metriä, Helsingissä noin 1,5 metriä ja Hangossa noin 1,3 metriä keskiveden yläpuolelle. Tulvahuipun kesto oli muutaman tunnin pituinen. Tämäntapaiset myrskytulvat voivat ilmastomuutoksen takia yleistyä, mutta asian varmistaminen edellyttää lisätutkimuksia. Ääritilanteisiin liittyvien tuulenopeuksien ei tämänhetkisten mallitulosten perusteella arvioitu Suomessa kasvavan merkittävästi (Makkonen et al. 2007).

#### 2.2.4 Talviongelmät

Leudompien talvien myötä jäätymis-sulamissykleihin liittyvä lämpötilavaihtelu 0 °C:n yli vähenisi Etelä-Suomessa, mutta lisääntyisi Pohjois-Suomessa, jossa siten lisääntyisi jäänmuodostuksesta johtuvan liukkaudentorjunnan määrällinen tarve (Venäläinen 2000). Etelä-Suomessa liukkauskauti lyhenee, mistä johtuen liukkaudentorjunta määrällisesti vähenisi. Tätä koskeva alustava mallitulos on esitetty kuvassa 6.

Kovien tuulenopeuksien ennakoidaan jonkin verran yleistyvän. Kun puiden juuristoa tukevan roudan esiintymisaika samalla lyhenee, tuulen aiheuttamat metsätuhot yleistyvät. Radanpidossa tästä seuraa ajojohtimille tai radalle kaatuneiden puiden aiheuttaman ongelman paheneminen. Lappia lukuun ottamatta roudattomana aikana esiintyvien kovien (yli 10,5 m/s) tuulien esiintymisaika pitenee tämän vuosisadan aikana noin viisinkertaiseksi (Martikainen et al., 2007).



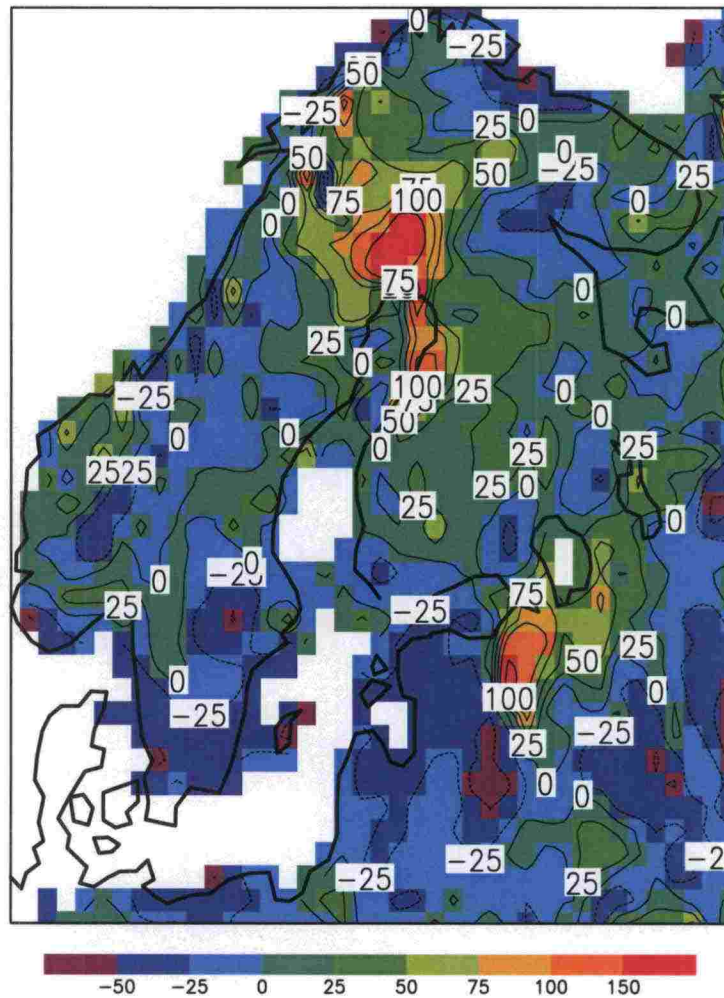


Kuva 6. *Esimerkki alueilmastomallilla simuloidusta muutoksesta. Lämpötilan 0 °C ylitys/alituskertojen muutos (%) tämän vuosisadan aikana.*

Ilmasto ei kuvata vain keskiarvoilla, vaan myös poikkeamilla näistä. Yksittäiset sää-tapahtumat, kuten myrskyt ja rankkasateet, ovat esimerkkejä suurista poikkeamista.

Infrastruktuurin rakenteiden mitoitus perustuu tällaisten poikkeavien ilmiöiden esiintymisen toistuvuuksien arviointiin. Tätä kuvataan esim. rakennusnormeissa yleensä siten, että arvioidaan sellaisen mitoittavan luonnonilmiön voimakkuus, jonka toistuvuus aika on 50 vuotta. Myös nämä mitoitusarvot muuttuvat – ja mahdollisesti eri tavoin kuin keskiarvot.

Lumenpoiston tarve puolestaan vähenee etelässä ja säilyy nykyisellään tai kasvaa Keski- ja Pohjois-Suomessa (kuva 7). Kuvassa esiintyvä voimakas maksimiarvo Perämeren pohjoispuolella on simulointimallin epävarmuutta kuvastava, ei edustava mallinnustulos.



Kuva 7. Esimerkki alueilmastomallilla lasketusta 50 vuoden toistuvuusajalla esiintyvistä kuuden tunnin aikana sataneen lumen vesiarvon prosentuaalisesta muutoksesta tämän vuosisadan aikana.

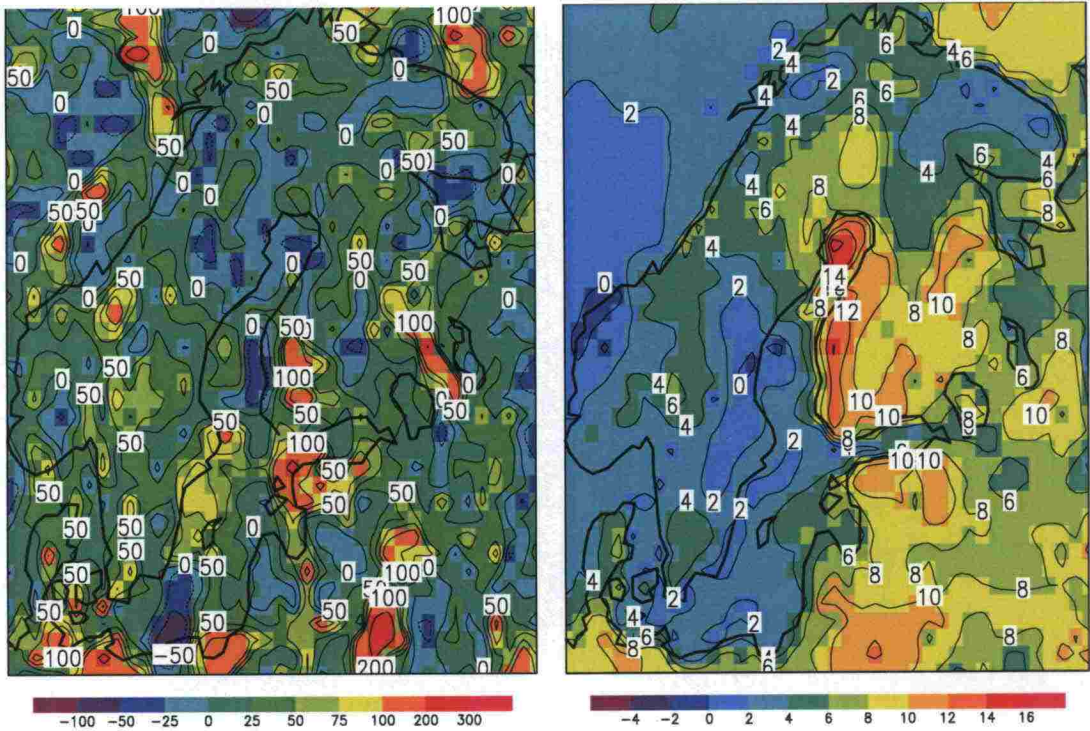
### 2.3 Rakenteiden mitoitus

Mitoitukseen liittyvien hetkellisten ääriarvojen lisäksi pitkät jaksot, jolloin ei ilmene ääri-ilmiötä, voivat myös muodostua poikkeaviksi ja aiheuttaa ääri-ilmiön, kuten kuivuuden. Ilmastonmuutosta kuvattaessa on siis myös huomioitava, miten erilaisten kumulatiivisten ilmiöiden esiintyminen muuttuu.

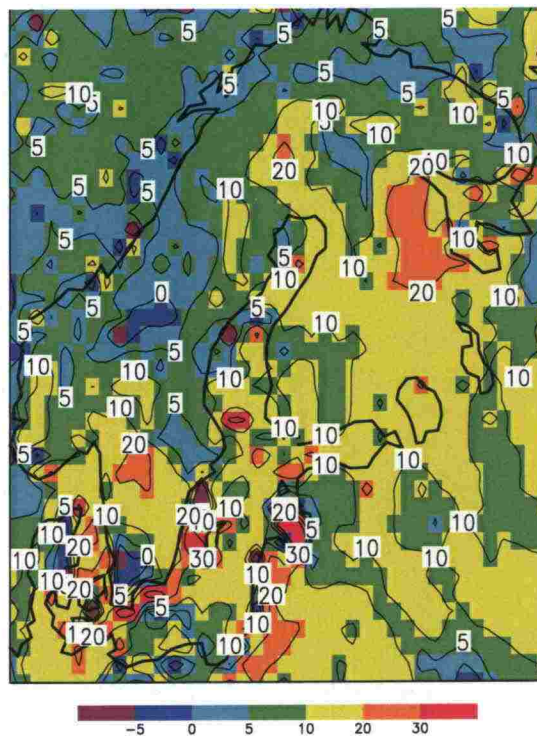
Mitoittavien ääri-ilmiöiden ennakoitua muuttumista Suomessa on esitetty kuvissa 8 ja 9.

Lyhytaikaisten äärisateiden voimakkuus kasvaa selvästi. Maksimilämpötilojen nousu (+4...+14 °C, kuva 8) ja varsinkin minimilämpötilojen nousu (+5...+20 °C, kuva 9) on huomattavaa.

Alueellisen ilmastomallinnuksen tulokset viittaavat siihen, että rakenteita mitoittavat tuulennopeudet eivät kasvaisi (Makkonen et al., 2007).



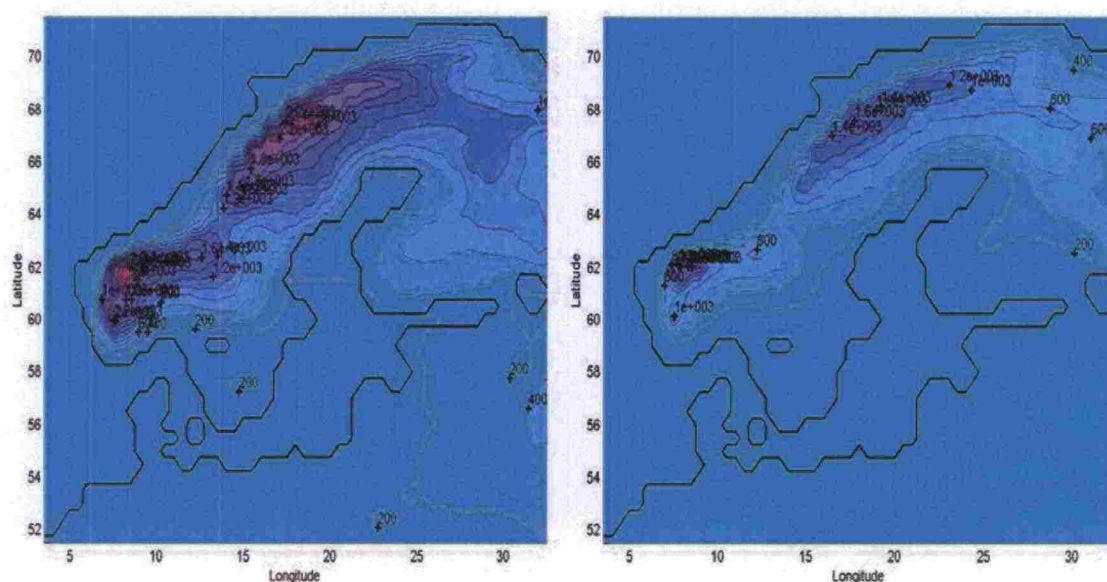
Kuva 8. Esimerkki alueilmastomallilla lasketusta 50 vuoden toistuvuusajalla esiintyvän kuuden tunnin sademäärän muutoksesta (%) (vasen kuva) sekä maksimilämpötilan muutoksesta ( $^{\circ}\text{C}$ ) (oikea kuva) tämän vuosisadan aikana.



Kuva 9. Esimerkki alueilmastomallilla lasketusta 50 vuoden toistuvuusajalla esiintyvän minimilämpötilan muutoksesta ( $^{\circ}\text{C}$ ) tämän vuosisadan aikana.

Virtajohtimien jääkuormien osalta voitaisiin tehdä yksityiskohtaisia analyysejä yhdistämällä eri jäätymistyyppjä simuloivat laskentamallit (Makkonen, 2000) alueellisen ilmastomallin laskentaan.

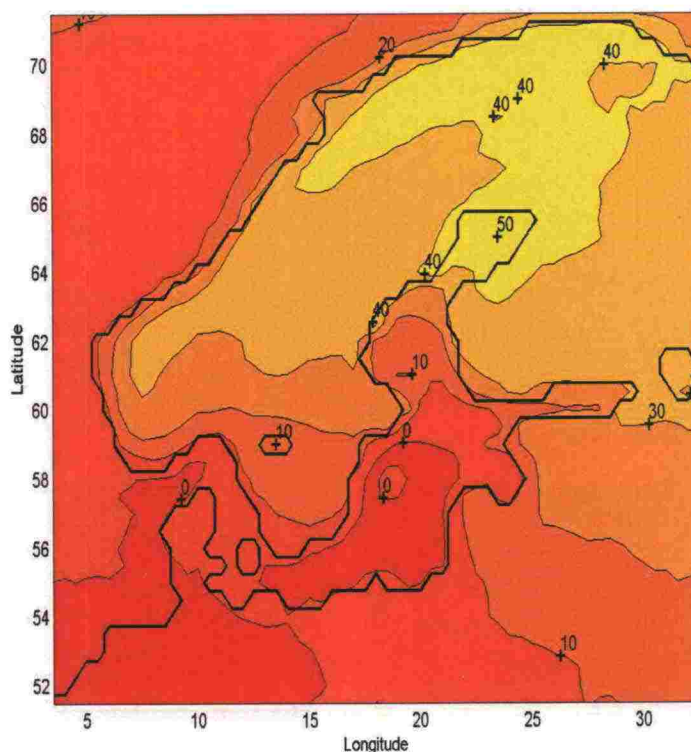
Tällä hetkellä on käytävissä ainoastaan jäätymisen kokonaisaikaan liittyviä analyysituloksia ilmastosimuloinneista (Laakso et al., 2006). Ne on laskettu noin 100 metrin korkeudelle maanpinnasta, mutta muutos lähempänä maanpintaa lienee samansuuntainen. Jäätymismallina on käytetty yksinkertaista empiiristä menetelmää (Makkonen & Ahti, 1995). Esimerkki näistä laskentatuloksista on esitetty kuvassa 10, jonka mukaan jäätymisen kokonaisajassa tapahtuu huomattava lyheneminen johtuen lähinnä keskilämpötilan kohoamisesta. Rakenteellisia vaurioita aiheuttavat äärijääkuormat voivat kuitenkin muuttua eri tavoin kuin kuvassa 11 – myös yleistyä.



Kuva 10. Esimerkki alueilmastomallilla lasketusta muutoksesta huurrejäätymisen kokonaisajassa (tunteja vuodessa) noin 100 metrin korkeudella maanpinnasta. Vasemmalla on tulos referenssimuloinnista RE vuosina 1961–2000 ja oikealla REA2 ennuste vuosille 2050–2100.

Radanpidossa rataiskun, ajojohtimien, niiden pylväiden ym. infrastruktuurin korroosio muuttuu, kun ilman kosteus ja lämpötilat muuttuvat. Toisaalta radanpidossa korroosio ei ole tähän mennessä aiheuttanut rakenteiden uusimis- tai kunnossapitotarvetta, vaikka vanhimmat rakenteet ovat iältään jopa 40 vuotta.

Kuvassa 11 on esitetty tätä koskeva ilmastomalliennuste. Korroosioajaksi on määritelty aika, jona ilman suhteellinen kosteus maanpinnan lähellä on yli 80 % ja ilman lämpötila on korkeampi kuin 0 °C. Kuvan 11 tulosten mukaan korroosioaika pitenee useita kymmeniä prosentteja tämän vuosisadan aikana.



Kuva 11. Esimerkki alueilmastomallilla (simulointi RHA2) simuloidusta korroosioajan muutoksesta (%) tämän vuosisadan aikana.

## 2.4 Suomen ilmaston merkittävät muutosarviot vuoteen 2100 mennessä

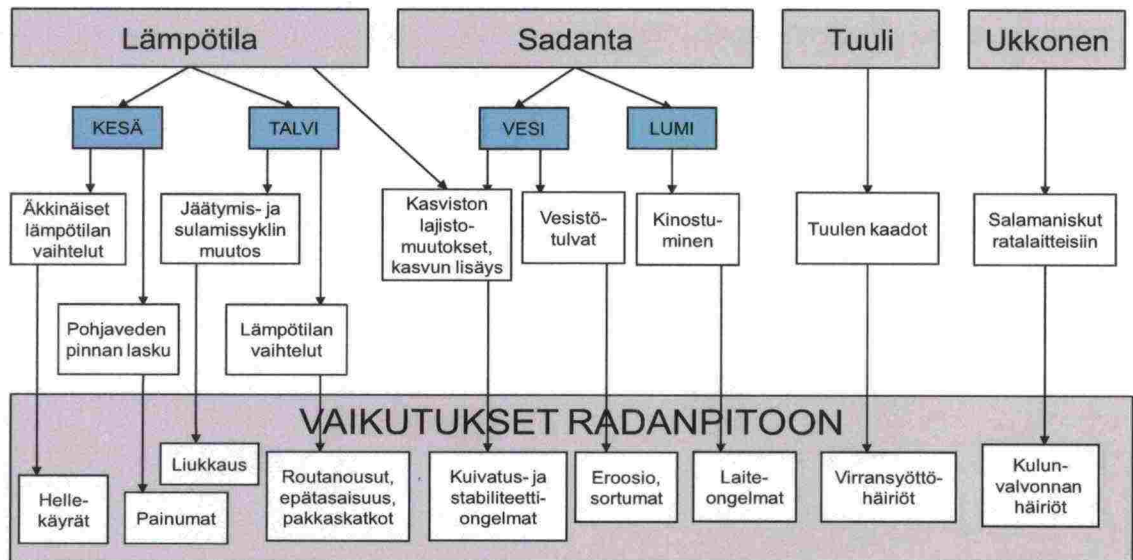
Tehtyjen selvitysten ja laadittujen skenaarioiden perusteella voidaan Suomen osalta tehdä seuraavia ilmaston muutosarvioita tulevalla vuosisadalla. Arviot ovat epävarmoja ennusteita. Suunnittelun ja mitoituksen pohjana käytettävät arvot on selvitettävä ja päätettävä erikseen.

### ILMASTON MUUTOSARVIOT

- Keskilämpötilat nousevat 3–5 °C.
- Kesien maksimilämpötilat nousevat noin 5 °C ja talvien minimilämpötilat n. 10 °C.
- Vuotuinen sademäärä kasvaa n. 15 %.
- Kuuden tunnin sekä viiden vuorokauden aikana kertyvät sademaksimit kasvavat keskimäärin 25 % ja joillakin alueilla yli 50 %. Tämän seurauksena erityisesti rankkasadetulvan riski kasvaa.
- Myös vesistöjen ja tekojärvien tulvimisriski kasvaa.
- Kevättulvat eivät merkittävästi voimistu.
- Kesät ovat kuitenkin kuivempia ja lämpimämpiä, jolloin pohjaveden pinta alenee.
- Merkittävää myrskyjen voimistumista ei tapahdu. Kovien tuulien yleisyys kuitenkin kasvaa, ja se yhdistettynä roudan syvyyden pienenemiseen johtaa runsaampaan puiden kaatumiseen talvella.

- Maksimilumikuormat vähenevät Etelä-Suomessa noin puoleen, mutta pysyvät Pohjois-Suomessa lähes ennallaan.
- Lumipeitteen keskimääräinen paksuus ja talven pituus vähenevät erityisesti Etelä-Suomessa.
- Lumisuuden vähenemisestä huolimatta liikennettä häiritsevien lyhytaikaisten lumisateiden voimakkuus kasvaa.
- Vuotuinen jäätymis-sulamissykliä kokonaismäärä vähenee merkittävästi Etelä-Suomessa, sillä talvikausi lyhenee. Liukkaudentorjunnan tarve kasvaa Pohjois-Suomessa, kun talvet leudontuvat.
- Korrosio nopeutuu.

Säättekijöiden vaikutusketjuja radanpitoon on jäsennetty kuvassa 12.



Kuva 12. Ilmastotekijäin vaikutus radanpitoon ja vaurioihin.

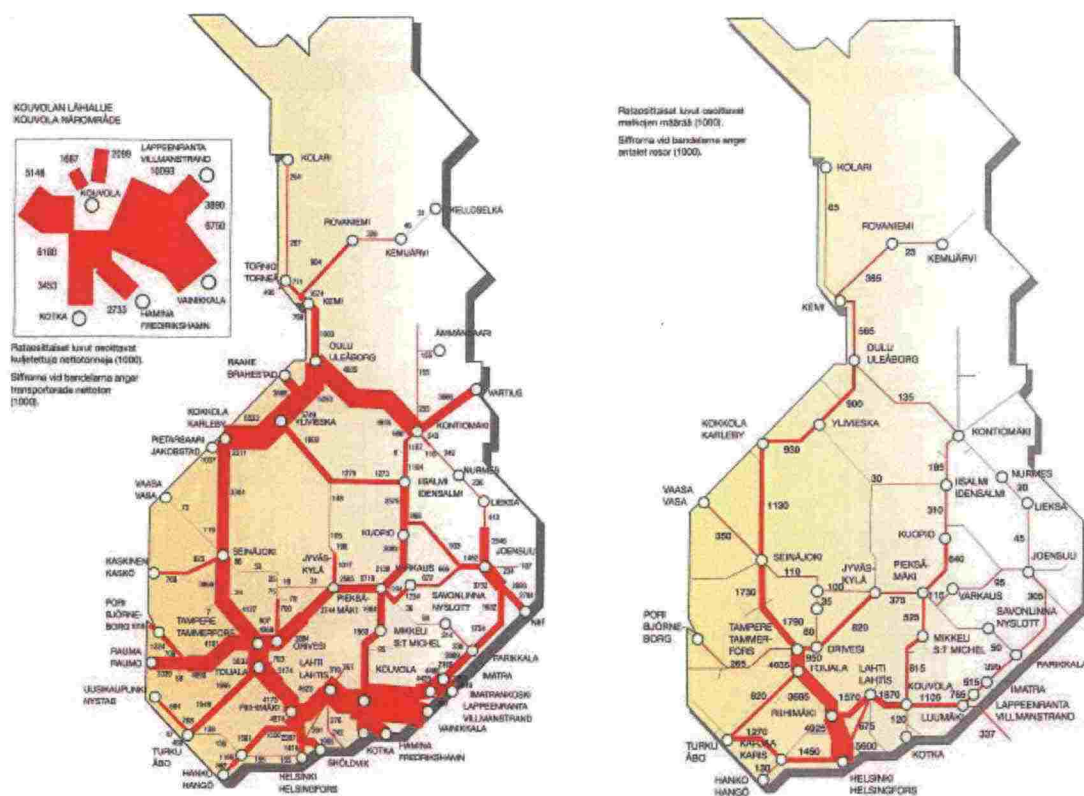
### 3 ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET RADANPITOON JA LIIKENTEeseen

#### 3.1 Kuljetusjärjestelmät

Suomessa oli v. 2005 rautateitä 5 732 km, 78 168 km maanteitä, 26 500 km katuja ja 350 000 km yksityisiä teitä. Liikenteen ennakoitiin kasvavan noin 24 % ajalla 2002–2030 (MMM, Julkaisu 1/2005). Suosituin kulkuneuvo oli yksityisauto (noin 74 % matkoista). Vuonna 2005 kuljetusten kokonaismäärä oli noin 41 mrd. tonnikipometriä, mistä tiekuljetusten osuus oli 29 mrd. tkm, rautateiden osuus 10 mrd. tkm, laivakuljetusten osuus 2,6 mrd. tkm ja uiton osuus 0,3 mrd. tkm. Suuri osa tieliikenteen tavarankuljetuksista oli puutavaran kuljetusta. Henkilöliikenne oli v. 2005 noin 75,2 mrd. henkilökilometriä, josta maantieliikenteen osuus oli noin 93 % ja rautatie-liikenteen noin 5 %.

#### 3.2 Liikenteen kehitysnäkymät

Merkittävä osa rataverkosta (kuva 13) on rakennettu alun perin ennen toista maailmansotaa nykyisiä pienemmille ajonopeuksille ja akselipainoille. Nykyisillä radoilla henkilöliikenteen nopeustavoite on 160–200 km/h ja suurin sallittu akselipainotavoite 25 tn nykyisen 20...22,5 tn sijasta.



Kuva 13. Rataverkon kuljetusvirrat (vasen) ja matkustajavirrat (oikea) vuonna 2006 (Ratahallintokeskus).

Rataverkko on Suomessa Euroopan laajin asukasta kohti laskettuna. Ratahallinto-keskuksen vastuulla on huolehtia rautatieliikenteen toimintaedellytyksistä koko rataverkolla. On tärkeää, että kaupunkikeskusten välillä ja pääkaupunkiseudulla on mahdollisimman toimivat henkilöliikenneyhteydet ja rataverkon kunto mahdollistaa kustannustehokkaat ja täsmälliset tavarakuljetukset. Tulevaisuuden rataverkko tukee maan eri osien kehittämistä sekä henkilö- että tavaraliikenteen välittäjänä. Rataverkkoa on tarkoitus kehittää niin, että se mahdollistaa junaliikenteen lisäämisen ja matka-aikojen lyhenemisen sekä tehokkaat, raskaan teollisuuden edellyttämät kuljetukset.

Suomen tavaraliikenteen kuljetusten arvioidaan kasvavan rataverkolla mm. puukuljetusten ja kaivostoimintaan liittyvien kuljetusten lisääntyessä. Henkilöliikenteessä kasvumahdollisuuksia nähdään erityisesti pääkaupunkiseudulla. Kotimaisen kaukoliikenteen kilpailukykyä lisää junaliikenteen nopeutuminen matka-aikojen lyhentyessä. Ympäristökysymyksistä johtuvat mahdolliset henkilöauto- tai lentoliikennettä koskevat hinnoittelu- tai muut toimet (esim. ruuhkamaksut ja lentoliikenteen päästökauppa) lisääisivät toteutuessaan merkittävästi junaliikenteen kysyntää. Matkakeskusten perustaminen eri puolelle Suomea luo liikennejärjestelmään solmukohtia, jotka edistävät eri liikennemuotojen välisiä matkaketjuja ja yhteen toimivuutta.

### 3.3 Ratarakenteet

Ilmastonmuutos vaikuttaa koko liikennejärjestelmään, ja vaikutus vaihtelee riippuen sen eri osien alttiudesta sään vaikutuksille. Ratarakenteet ja liikenne ovat alttiina tuulille, sateelle, jäätymiselle, tulville jne. Ääritilanteet voivat aiheuttaa ennakoimattomia yllätyksiä mm. ratarakenteisiin sekä liikennehäiriöitä ja turvallisuusongelmia.

Liikennöitsijän kannalta rataverkon keskeinen ongelma on häiriöherkkyys ja vaihtoehtoisten reittien puuttuminen, mikä johtaa usein häiriöketjuihin ja häiriötilanteiden pitkittymiseen. Yksittäinen häiriö, esimerkiksi puun kaatuminen ajolankojen päälle, saattaa vaikuttaa lukuisten junien kulkuun pitkänkin aikaa.

Rautatiesuunnittelussa otetaan ilmastovaikutukset jo nykyisin huomioon tiettyihin, sovittuihin raja-arvoihin ja rasiin asti. Tulevaisuudessa mitoitusperusteita on tarpeen muuttaa mitoitusluokkien raja-arvojen ja/tai sääilmiöiden toistuvuuden muuttuessa, jolloin myös mitoitus on päivitettävä vastaamaan muuttuneita oloja (taulukko 1).



Taulukko 1. Yhteenveto ilmastonmuutoksen ennakoituista vaikutuksista liikenteeseen Suomessa (Lähde: MMM, Julkaisu 1/2005).

Haitta	Vaikutuksen suunta epäselvä tai samanaikaisesti haitta ja etu	Etu
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ratapenkereiden ja teiden sortumisriski kasvaa</li> <li>– Tulvat ja rankkasateet vaurioittavat tie- ja rataverkon rakenteita</li> <li>– Nykymitoitukselle perustuva kuivatusjärjestelyjen toimivuus vaarantuu</li> <li>– Silta- ja rumpurakenteet on mitoitettu välittämään nykyisiä virtaamia</li> <li>– Poikkeukselliset keliolosuhteet lisääntyvät</li> <li>– Liikenteen häiriöalttius kasvaa</li> <li>– Toimivuushäiriöiden korjaaminen tuottaa lisäkustannuksia, samoin varautuminen häiriöihin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Talvikunnossapidon tarve toisaalla lisääntyy, toisaalla vähenee, joten kokonaiskustannus on epäselvä</li> <li>• Lumisuus voi vaihdella eri vuosina merkittävästi, vaikkakin lumimyrskyjen lukuisuus ja voimakkuus voivat lisääntyä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Lumipeitteen oheneminen ja lumitalven lyheneminen tuovat kustannussäästöjä talviajan kunnossapitoon Etelä-Suomessa</li> </ul>

Vaikutukset eivät ole yhteismitallisia eli lueteltujen etujen ja haittojen lukumääristä ei voi päätellä kummat ovat määrällisesti merkittävämpiä. Jotkut vaikutuksista ovat selkeitä etuja tai haittoja, mutta toisten vaikutusten suunta on vielä epäselvä tai vaikutuksen suunta riippuu ilmastonmuutoksen voimakkuudesta (MMM, Julkaisu 1/2005).

Lisääntyvä sadanta aiheuttaa vedenpinnan ja pohjavedenpinnan nousua. Rankkasateet lisäävät pengerialueiden ja siltojen maatumien keulojen eroosiota. Ratarakenteiden vaurioriski kasvaa ja elinkaari lyhenee pohjaveden nousun aiheuttaman kantavuuden alenemisen myötä. Kuivatusojien, rumpujen ja silta-aukkojen kapasiteetti saattaa muodostua riittämättömäksi tulevilla, huomattavasti lisääntyvillä rankkasateilla (kuva 6). Eroosiosta ja vedenpaineen kasvusta johtuen ratapenkereiden ja luiskien sortumariski kasvaa rankkasateiden ja niistä aiheutuvien tulvien vaikutuksesta (Rydell et al. 2001).

On nähtävissä, että ilmaston ääri-ilmiöiden voimistuminen ja toistuvuuden lisääntyminen lisäävät ratarakenteiden ja laitteiden kunnossapito- ja korjaustarvetta (Saarelainen 2006).

### 3.4 Kunnossapito ja liikenne

Lumisen kauden pituuden lyheneminen, lumisateiden määrällinen muuttuminen samoin kuin lumipeitteen paksuuden muuttuminen tulevat vaikuttamaan mm. asemalaitureiden ja ratojen talvikunnossapitoon. Liukkaudentorjunnan tarve, joka liittyy jäänpoistoon ja suolaukseen pakkaslämpötiloissa lähellä 0 °C, muuttuu myös talvien leudontuessa (Laine et al. 2000).

Talvikauden nousevat lämpötilat ja lisääntyvät sateet tarkoittavat Etelä-Suomessa lyhyempää talvikunnossapitokautta ja harvempia jäätymisrajan 0 °C ylityksiä. Saman-

aikaisesti liukkaudentorjunnan tarve lisääntyy Pohjois-Suomessa (Venäläinen 2000). Äärilumisateiden yleisyyden kasvu koko maassa (kuva 7) on otettava huomioon sekä talvihoidon palvelusopimusten tilausmenettelyissä että laatutavoitteissa.

Nykyisen radanpidon lumitöitä tehdään lumitöiden hoitosuunnitelman mukaisesti. Äärilumisateiden lisääntyessä on tarpeen arvioida nykyisen kaltaisen lumitöiden hoitosuunnitelman riittävyys.

Liukkaudentorjunta edellyttää luotettavaa kelin ennakointia rataverkolla. Tämä tarve korostuu, jos liukkaustilanteiden lukumäärä kasvaa. Liukkauden ennakointia ja torjuntatoimien kohdentamista ja ajoitusta voidaan täsmentää paikallisia mittausten menetelmiä, liukkausmonitorointia ja olemassa olevan liikennesääsemaverkon palveluja edelleen kehittämällä.

Leudontuvat talvet aiheuttavat keskimäärin vähemmän routimista ja routavaurioita sekä lyhyemmän sulamiskauden (vrt. Tuomenvirta et al. 2000, Ala-Outinen et al. 2004). Rouda ja kelirikko ovat kuitenkin ongelmia myös tulevaisuudessa, ja niiden ottaminen huomioon radanpidossa on edelleen tarpeellista. Raiteen epätasaisuuden esiintyminen saattaa lisäntyä jäätymis-sulamistoistojen lisääntyessä.

### 3.5 Ilmastonmuutokseen sopeutumistarve

Tulevat toimenpidetarpeet koskettavat infrastruktuurin kestävyyttä ja häiriötilanteiden hallintaa sekä tiedottamista häiriöistä. Ilmastonmuutoksen vaatimiin toimenpiteisiin sopeuttaminen on syytä aloittaa varhaisessa vaiheessa. Ilmastonmuutos tulee edellyttämään liikenneinfrastruktuurin suunnittelunormien ja -ohjeiden arviointia ja tarkistamistarvetta. Väyläverkoston yleisenä suunnitteluperiaatteena on jo nykyisinkin mahdollisuuksien mukaan välttää tulvaherkkiä alueita. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen mahdollisesti aikaansaama tulvien yleistymisen ja suurten tulvien riskin kasvu johtaa liikenneväylillä nykyisten kuivatusjärjestelyjen mitoituksen tarkistamiseen ja mahdollisiin muutoksiin silta-aukkoja ja rumpuja koskevissa ohjeissa sekä pengerkorkeuksissa. Suurtulvatyöryhmän tuottama raportti tulvaherkistä alueista otetaan lähtötiedoksi suunniteltaessa rakenteita riskialteilla alueilla.

Rakentamisen haitallisten vaikutusten ehkäisyssä sekä istutuksia ja rakenteita perustettaessa joudutaan ottamaan huomioon myös välilliset vaikutukset kuten kasvillisuuden ja eläinten elinympäristössä (levinneisyysvyöhykerajat ja esiintymisalueet muuttuvat, populaatioiden runsaussuhteet muuttuvat) tapahtuvat olosuhteiden muutokset. Valmiutta väylien huoltoon joudutaan tehostamaan, samoin varautumista äkillisiin korjaustoimenpiteisiin.

Rataverkkoa tulee suojata kestämaan ääreisiä sääolosuhteita. Lämpötilaolojen muutokset vaikuttavat käytettäviin materiaaleihin ja teknisiin ratkaisuihin. Mitoituksen tulee perustua uuteen tutkimustietoon ilmastonmuutoksen vaikutuksista. Siltarakenteita uusittaessa on otettava huomioon tulvien aiheuttama, kasvava eroosiovaikutus. Alikulkuja suunniteltaessa lisääntyvien tulvien mahdollisuus on otettava huomioon ja selvitettävä mahdollinen pumppaamojen tarve alikulkuihin ylivirtausten estämiseksi.

Ratapenkereet tulee suojata tulvilta ja eroosiolta. Penger materiaalien laatuvaatimukset tulee tarkistaa.

## 4 ILMASTOPERÄISTEN ÄÄRIVAIKUTUSTEN RISKITARKASTELU

### 4.1 Tausta

Riskianalyysi on jäsenmely prosessi, joka tunnistaa tarkasteltavasta toiminnasta, laitteistosta tai järjestelmästä johtuvien haitallisten seurausten todennäköisyyden ja laajuuden. Haitalliset seuraukset voivat kohdistua ihmisiin, omaisuuteen tai ympäristöön. Riskianalyysi on osa riskienhallinnan kokonaisuutta.

Riskinarvioinnin luotettavuus riippuu tarkasteltavien riskien, mm. toistuvuuden ja seurausten suuruuden luotettavuudesta. Näiden selvittämiseksi tarvitaan toteutumastietoja mm. sääilmiöistä ja vahinkotilanteissa selvitetystä seurauksista ja vahinkokustannuksista.

Vahinkojen ja haittojen todennäköisyyttä voidaan arvioida toistuvuuden avulla. Toistuvuutta voidaan kuvata joko vahingon tai haitan havaitun uusiutumisen avulla tai vahinkoon johtavan tapahtuman, esimerkiksi ääreisen säätapahtuman todennäköisyyden avulla. Vahingot ovat rakenteille ja laitteille aiheuttavia vaurioita, joista seuraa korjaus- tai uudelleenhankintatarve tai elinkaaren lyheneminen. Erityistilanteessa vahingot voivat olla fataaleja ja niitä on vaikea arvioida kuten esimerkiksi suuronnettomuudessa, jossa tapahtuu hengenmenetyksiä.

Vahinkoriskiä voidaan tarkastella vertaamalla eri tapahtumien aiheuttamaa vahinkoriskiä, joka on vahingon todennäköisyyden ja seurausten tulo.

### 4.2 Merkittävimmät ilmastoperäiset riskit radanpidossa

Radanpitoon vaikuttavia ilmastorasituksia käytiin läpi 11.12.2007 pidetyssä työpajassa, johon osallistui joukko asiantuntijoita Ratahallintokeskuksesta ja VTT:sta. Työn pohjana oli ilmastomuutoksen riskitarkastelulistaus (NVF 411, ks. liite 1). Riskitarkastelu tehtiin asiantuntijoiden yhteisen arvion ja keskustelun pohjalta: arvioinnin tulos ei sisällä laskutoimituksia riskin suuruudesta.

Tarkastelussa oli tavoitteena tunnistaa asioita, jotka tunnetaan herkiksi säävaikutuksille, ja joihin ilmastomuutoksen arvioidaan vaikuttavan merkittävästi. Keskusteluissa pyrittiin tunnistamaan ja arvottamaan vaikutuksia toisaalta rataverkon ja rakenteiden ylläpidon ja toisaalta liikenteen ja kuljetusten kannalta. Varsinainen riskianalyysi edellyttäisi vahinkotilanteiden toistuvuuden ja syntyneiden vahinkojen selvittämistä. Tämä on mahdollista sellaisten vaikutusten kohdalla, joista on tuoretta kokemusta, tai jotka toistuvat lähes vuosittain. Harvoin toistuvien, suurten vahinkojen (esimerkiksi tulvat, sortumat) kohdalla kuin myös hitaasti kehittyvien vaurioiden (esimerkiksi raiteen painuminen) kohdalla asiaa olisi selvitettävä perusteellisemmin.

Ratahallintokeskuksella ei ole kattavaa, yksityiskohtaista tietokantaa rataverkon häiriöistä, minkä perusteella voitaisiin tarkastella mm. ilmastoperäisten radanpidon häiriöiden esiintymistä pidemmällä aikavälillä. Ilmastoilmiöiden harvalukuisuuden ja satunnaisuuden vuoksi rataverkon häiriöiden esiintymisen muutoksia oli vaikea arvioida. Tämän perusteella tulisi riskiselvityksiä lisätä tulevaisuudessa sekä analysoimalla nykyisin saatavissa olevia tietoja että keräämällä uutta tietoa.

### 4.3 Rankkasateet ja vesistötulvat

*Tulvia voi syntyä voimakkaan rankkasateen, vesistötulvan tai merenpinnan nousun seurauksena. Rankkasateiden voimakkuus voi nousta jopa 30–50 % nykyisistä mitoitusarvoista. Vesistötulvia syntyy rankkasateiden, lumen sulamisen ja jääpatojen vaikutuksesta. Merenpinnan nousu rannikoilla aiheutuu valtameren pinnan, matalapaineen, tuulen aiheuttaman padotuksen sekä aaltoilun yhteisvaikutuksena. Rakentamisen suunnittelussa sovellettu tulvaveden korkeus vaihtelee rannikolla noin +2...+3 metriä nykyisen merenpinnan tason yläpuolella.*

Tulvan ei ole havaittu nousseen missään radalle, mutta tulvasta saattaa aiheutua padotusta penkereeseen kuivatuksen puutteiden, muun muassa rumpujen pienuuden ja/tai tukkeutumisen vuoksi. Ratapenkereen vettymisestä saattaa seurata penkeren painaamia ja sortumanvaaraa. Virtaava vesi voi aiheuttaa huuhtoutumista ja eroosio-aurioita radan rakenteissa.

Ratarakenteiden sijoittamista tulvanaroille alueille on syytä välttää. Tällaisissa kohteissa on selvitettävä toimenpiteet, joilla mahdollinen tulvan vaikutus voidaan rajata ja estää. Tulvainventointeja nykyisessä rataverkossa tulisi myös tehdä.

Voimakkaiden pitkäaikaisten sateiden seurauksena saattaa pilaantuneiden maa-alueiden haitta-aineiden huuhtoutumisriski kasvaa. Mm. aiemmin vuosikymmeniä vakaassa tilassa pysyneen vanhan kreosoottikyllästämön pohjaveden pilaantumisen arvioidaan levinneen Turussa syksyn 2006 pitkäaikaisten ja voimakkaiden sateiden vaikutuksesta.

### 4.4 Lämpötilat

#### 4.4.1 Kesälämpötilat ja hellekäyrät

*Arvioidaan, että kesän keskilämpötilat nousevat hieman Keski- ja Pohjois-Suomessa, noin 1–2 °C, mutta Etelä-Suomessa nousu on keskimäärin merkittävämpää (vrt. kuva 3).*

Hellekäyrän on todettu syntyvän, kun kiskon lämpötila nousee alkukesällä voimakkaasti mm. suuren yö- ja päivälämpötilan eron vaikutuksesta. Kiskojen käyristyminen on alkukesällä ongelma erityisesti, kun tukikerros on löyhtynyt esim. korjaustöiden aikana. Hellekäyrä aiheuttaa välittömästi korjattavan turvallisuusongelman ja nopeusrajoituksen. Hellekäyrä on vähemmän tavallinen radoilla, joilla kisko on kiinnitetty betonipölkkyyn.

Kuumina päivinä ongelmaksi voi kehittyä sähkönsyöttöjohtojen lämpövenyminen ja roikkuminen. Molempien ilmiöiden arvioidaan voimistuvan tulevaisuudessa, kun hellekausien kesto kasvaa ja helteen toistuvuus lisääntyy.

Turvalaitteiden laittilojen jäähdytystä voidaan joutua parantamaan hellekausien pidentyessä ja helteen voimistuessa, jotta laittilojen ylikuumentuminen ei aiheuta käytettävyysoongelmia ja laitteiden ennenaikaista vanhenemista korkeassa lämpötilassa. Ongelmat ovat nykyisin tiedossa, ennakoitavissa ja hallittavissa. Mitoituslämpötilojen nostotarvetta tulee kuitenkin selvittää.

#### 4.4.2 Talvilämpötilat ja kiskonkatkokset

*Nykyisten kylmimpien lämpötilojen toistuvuus vähenee ja talvet muuttuvat leudommiksi koko maassa, mutta enemmän pohjoisessa (noin +6–8 °C) kuin etelässä (+3–4 °C). Lämpötilojen vaihtelun arvioidaan säilyvän ennallaan.*

Lämpötilamuutoksiin, erityisesti nopeaan ja voimakkaaseen jäähtymiseen liittyvä kiskojen kutistuminen aiheuttaa pakkaskatkoja, onnettomuusriskejä ja liikennehäiriöitä. Katkoksia syntyy syksyllä, pakkasten alkaessa ja keväällä, kun päivä- ja yölämpötilojen ero on suuri. Katkos on vaikeasti heti havaittavissa, mutta ajan mittaan syntyy kiskoon katkoksen molemmille puolille painuma, joka aiheuttaa nopeusrajoituksen. Nykyisellään katkoksia on havaittu 10...50 kpl vuodessa ja korjauskustannukset ovat noin 100 000–300 000 euroa vuodessa. Katkoksia arvioidaan ilmenevän tulevaisuudessakin. Niiden syntymisajankohtaa, muttei paikkaa, on mahdollista ennakoita.

### 4.5 Jäätyminen

#### 4.5.1 Radan laitteiden ja rakenteiden jäätyminen

*Veden kondensoitumista rakenteisiin ja laitteisiin tapahtuu pakkasella, kun ilma on kostea. Jäätymistä voi ilmetä mm. alijäähtyneellä sateella. Varsinaiset jäämyrskyt ovat Suomessa harvinaisia. Jäätyminen edellyttää jäähtymistä ja veden saatavuutta kohteessa. Jäätymiselle ja sulamiselle alttiiden betonirakenteiden vaurioituminen lisääntyy, jos jäätympisteiden ylitysten määrä tulevaisuudessa lisääntyy. Tämä koskee ensi sijassa siltoja, laitureita ym. rakenteita.*

Sähkönsyöttöjohtojen jäätymistä ei pidetty merkittävänä ongelmana, sillä tiheä juna-liikenne ja toisaalta ajojohtojen lämpeneminen sähkövirran vaikutuksesta estävät voimakkaan jään kertymisen.

Liukkausongelmia on lähinnä ratapihojen jalankulku- ym. liikennealueilla. Liukkaus-ongelmien arvioidaan lisääntyvän jäätympisteiden ylitysten lisääntyessä talviaikaan. Liukkautta voi esiintyä myös kiskoilla erityisesti alijäähtyneellä vesisateella. Tällöin se voi aiheuttaa häiriöitä kiihdytys- ja jarrutustilanteissa.

Vaihteiden ja laiturien jäätyminen on ongelma, jota ilmenee leudolla pakkasilmalla, kun pinta jäätyy ja vettä on saatavilla, mm. lämpötilan vaihdellessa jäätympisteiden kahta puolta.

#### 4.5.2 Radan laitteiden lumiongelmat

*Lumisuuden vähenemisestä huolimatta liikennettä häiritsevien lyhytaikaisten lumisateiden ja lumimyrskyjen voimakkuus kasvaa.*

Lumimyrskyllä ongelmana on ensi sijassa ratapihojen ja erilaisten laitteiden tukkeutuminen ja toimintahäiriöt. Erityisesti vaihteiden jäätymisestä aiheutuu sulana pitämisen tarve, jota ei ole toistaiseksi tyydyttävästi ratkaistu.

Varsinaisilla ratalinjoilla lumi on poistettavissa normaalimenetelmin. Poikkeuksena saattavat olla maa- ja kallioleikkaukset, joihin voi kasaantua juoksulunta häiriötasolle asti.

Lumimyrskyjen ennakointia on tarpeen tehostaa. Samoin on tarpeen selvittää ja ottaa käyttöön menetelmiä, jotka mahdollistavat tehokkaamman lumen poiston, ja joilla voidaan estää ratapihalaitteiden toimintahäiriöt.

#### 4.6 Routa ja sulaminen

*Talvien lämmitessä radan pakkaskuormitus vähenee, roudan syvyys pienenee ja pohjamaan vaikutus routanousuun vähenee. Lämpeneminen ei kuitenkaan vähennä routaepätasaisuutta, joka aiheutuu penkereen ja rakennekerrosten jäätymisspaisumisesta ja sulamispehmenemisestä.*

Rataverkon palvelutason ja kuljetuskapasiteetin mahdollinen parantamistarve edellyttää myös tulevaisuudessa routaepätasaisuuksien vähentämistä.

Routaongelmien taustalla arvioidaan olevan mm. pohjamaan sekoittuminen, jauhaantuminen tukikerroksessa, tasoristeys/vaihderakenteisiin tai siltarumpuihin liittyvät epäjatkuvuuskohdat, riittämätön rakennekerrospaksuus, vanhat vettyneet routaeristeet, kuivatuksen ongelmat ja maaleikkausten/pengerten rajakohdat.

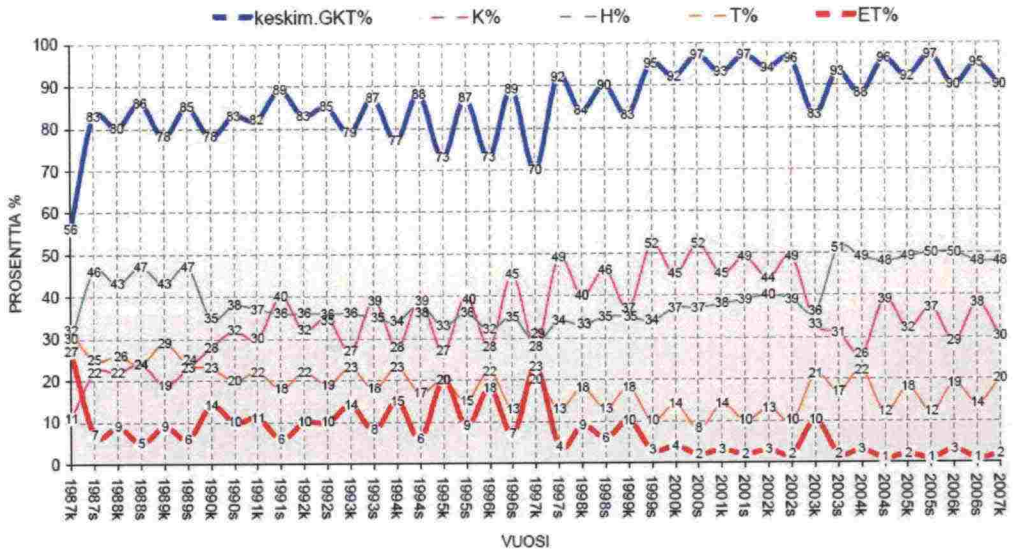
Routaoloja havainnoidaan kunnossapidon tarpeita varten rataverkossa. Routanousu ilmenee kasvavana epätasaisuutena, joka havaitaan pakkaskaudella. Routanousu ja siitä johtuva epätasaisuus on suurimmillaan keväällä. Tiedot routaepätasaisuuksista perustuvat Emma-radanmittausvaunulla tehtyihin mittauksiin. Emma-mittauksia tehdään ensi sijassa kunnossapidon laadun toteamiseksi ja operatiivisen kunnossapidon tarpeisiin, mm. kiilaustarpeen määrittämiseksi. Niiden perusteella ei voida määrittää tai mitoittaa korjausrakennetta.

Mittauksissa, jotka keväällä tehdään huhti-toukokuussa, on havaittu, että epätasaisuus on voimakkaimmillaan koko rataverkossa vuosittain kevät sulamisen aikaan. Ratarakenteen ominaisuuksien määrittäminen tai roudan ja sulamisen tai radan painuman mittauksia ei tehdä.

Radan geometrisen kunnan kehittymistä ratamittausten avulla on esitetty kuvassa 14. Sen mukaan radan epätasaisuus on kevätmittauksissa merkittävästi voimakkaampaa koko rataverkossa kuin syysmittauksissa. Mittauksista ei voida päätellä, johtuuko epätasaisuus routimisesta vai sulamispehmenemisestä. Epätasaisuus johtaa junien nopeusrajoituksiin ja sopimuksenmukaisesti korvattavaan liikennehaittaan.

Deformaatioita on mahdollista pienentää rataa vahvistamalla ja routasuojaamalla (routimista vähentämällä). Kevätpehmenemistä voidaan ennakoita roudan ja sulamisen mittauksiin perustuvilla arviointimenetelmillä.

RATAVERKON PÄÄLLYSRAKENTEEN GEOMETRISEN KUNNON KEHITYMINEN  
Kevät 1987 - Kevät 2007



Kuva 14. Radan geometrisen kunnan kehittyminen (Koskinen et al. 2007). GKT – päällysrakenteen geometrisen kunnan palvelutaso, %. K – kiitettävien, H – hyvien, T – tyydyttävien ja ET – epätydyttävien kilometrien osuus tarkasteluvälillä, %.

Korjausratkaisujen mekaaninen mitoitus on mahdollista vain, jos raiteen alustan kanta-  
vuus on mitattu ja tiedossa. Tämä olisi mahdollista toteuttaa esimerkiksi Emma-vaunun  
vastemittauslaitteilla niitä edelleen kehittäen.

#### 4.7 Myrskytuulet

*Myrskytuulten voimistuessa ja yleistyessä samoin kuin sähköistyksen laajetessa puiden  
tuulenskaadot ja niiden aiheuttamat vahingot lisääntyvät erityisesti talvella, kun talvien  
lämmetessä routa ei estä puita kaatumasta.*

Myrskytuulet aiheuttavat nykytilassa pääasiassa puiden kaatumista ratalinjalle ja radan  
rakenteiden, mm. ajojohtojen ym. johtojen päälle. Radanpitäjän tulee pyrkiä kaatamaan  
riskipuut radan läheisyydestä.

#### 4.8 Ukkonen

*Ilmastonmuutoksen myötä ukkoskausi pitenee ja voimakkaista ukkosmyrskyjä voi  
esiintyä aiempaa useammin.*

Ukkospilvien esiintymistä ei pysty simuloimaan nykyisissä ilmastomalleissa. Ukkosten  
esiintymisessä tapahtuvia muutoksia voi kuitenkin arvioida epäsuorasti, koska niiden  
yleisyydellä on korrelaatio ilmaston muihin tekijöihin. Pohjois-Euroopassa tällainen  
korrelaatio näyttäisi olevan etenkin keskilämpötilan kanssa. Kun keskilämpötilan osalta  
ilmaston Etelä-Suomessa arvioidaan noin sadan vuoden kuluttua muistuttavan Tanskan  
ilmastoa, voidaan arvio ukkosten yleisyyden muuttumisesta tehdä vertaamalla niiden  
esiintymisen nykytilannetta näillä kahdella alueella. Niiden päivien lukumäärä

vuodessa, jolloin ukkosta kuullaan, on Etelä-Suomessa n. 15 päivää ja Tanskassa n. 20 päivää (kuva 15, British Defence Standard 00-35). Tämän perusteella likimäärin voidaan arvioida ukkospäivien Suomessa yleistyvän sadan vuoden aikana suuruusluokaltaan noin 30 %.

Ilmatieteen laitoksen havaintojen mukaan ukkosia esiintyy eniten (15–18 päivää vuodessa) Etelä- ja Keski-Suomessa ja vähiten (alle 10 päivää vuodessa) Lapissa (kuva 16).

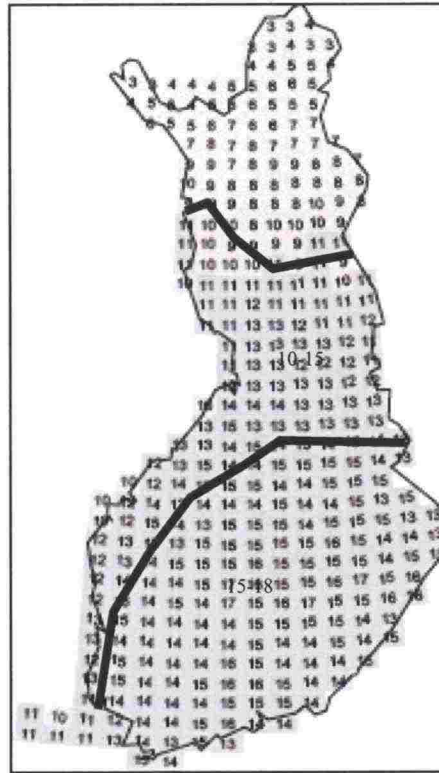
Salamien voimakkuutta voidaan kuvata virran voimakkuuden perusteella: heikot salamat (alle 5 kA), voimakkaat salamat (yli 200 kA). Mediaani lienee noin 10 kA (Tuomi, suull. tied. 2008). Voimakkaat johteet voivat ohjata salamaiskua noin 100 metrin levyiseltä alueelta.

Salamatiheys vaihtelee vuosittain. Vuosina 1998–2007 salamatiheys oli suurin Vaasa–Lappeenranta–Joensuu–Oulu-alueella (kuva 17). Rannikkoalueella ja Lapissa salamia oli vähemmän.

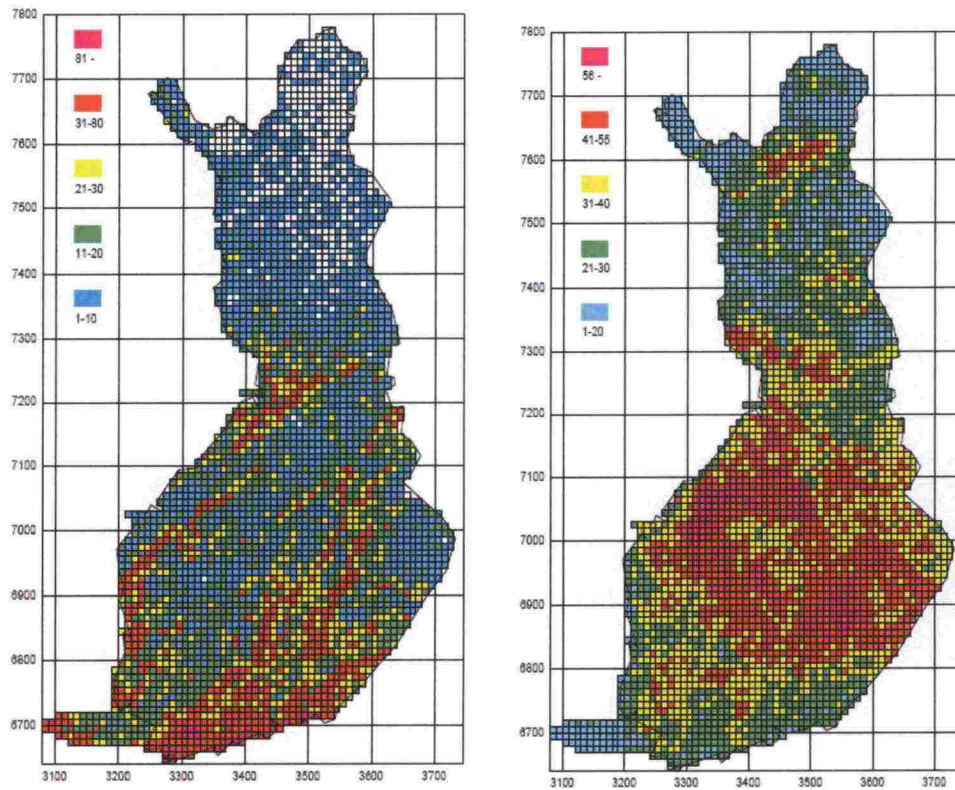


Kuva 15. Keskimääräinen ukkospäivien määrä maailmanlaajuisesti (*Environmental handbook for defence materiel, Part 4: Natural environments. Ministry of Defence, Defence Standard 00-35(Part 4)/Issue 3, 7 May 1999, p. 215*).





Kuva 16. Vuotuinen ukkospäivien määrä Suomessa vv. 1998–2007 (Tuomi & Mäkelä 2007).



Kuva 17. Vuotuiset salamet 10 km x 10 km ruuduilla vuonna 2007 (vasen kuva) ja vuosina 1998–2007 (oikea kuva). (Tuomi & Mäkelä 2007).

Ukkosten syntyminen liittyy voimakkaisiin säärintamiin. Ukkosta esiintyy myös helle-säillä paikallisesti. Ukkosilman tulo voidaan ennustaa jopa vuorokautta ennen. Ukkonen voi aiheuttaa vahinkoja sekä sähkönsyöttöön että liikenteenohjaus- ja turvalaitteisiin. Radanpidossa ukkossuojausta olisi siten syytä lisätä ennaltaehkäisevästi erityisesti liikenteenohjaus- ja turvalaitteissa.

Maadoitusratkaisuisissa ja ylijännitesuojauksissa tulee uudessa rakentamisessa huomioida parhaat ratkaisut ja arvioida investointitarvetta asennetun laitekannan ukkos-suojaukseen.

#### **4.9 Merenpinnan nousu**

*Maan nouseminen Suomen rannikoilla kompensoi pääosin ennakoidun valtameren pinnankorkeuden nousun lähimmän sadan vuoden aikana. Siten merenpinnan nousun aiheuttamat riskit kasvavat ainoastaan ääritilanteisiin liittyvien vedenkorkeuksien takia. Ne puolestaan liittyvät tuulisuuden muutoksiin.*

Merenpinnan nousu ei ole aiheuttanut tulvaongelmia radoilla. Rataverkon alimpien kohtien korkeutta suhteessa ympäristöviranomaisen suosittelemiin alimpiin, paikallisiin rakennekorkeuksiin tulisi tarkistaa, esimerkiksi Pääkaupunkiseudulla.

#### **4.10 Vaikutukset liikenteeseen**

*Ilmastonmuutoksen liikennevaikutusten laajuus, intensiteetti ja vaikutusten suunta on tällä hetkellä vielä epäselvää.*

Ilmastoperäisten vaikutusten aiheuttamat häiriöt ratalinjalla vaikuttavat nykyiselläänkin radan palvelutasoon ja kunnossapitotarpeeseen. Vaikutukset junaliikenteeseen ilmenevät ajonopeuksien hidastumisena, liikenteen keskeytymisenä ja painorajoituksina, ääritapauksissa vahinkoina ja onnettomuuksina. Häiriöt aiheuttavat välittömiä kustannuksia liikenteelle ja palvelun käyttäjille. Häiriöiden merkitys korostuu, kun radan liikennöinti lähenee sen välityskykyä ja kun nopeudet kasvavat.

Säätelijöiden muutosten oletetut vaikutukset liikenteeseen:

- Epätasaisuudesta johtuvana ajonopeuksien aleneminen; epätasaisuuden aiheuttajana on joko routiminen tai ratapenkereen pehmenemisestä aiheutuva deformaatio
- Pakkaskatkojen ja hellekäyrien aiheuttamina vahinkoriskeinä ja liikennehäiriöinä
- Lisääntyvän kunnossapidon aiheuttamina häiriöinä ja lisäkustannuksina
- Vaihteiden ja ohjauslaitteiden toimintahäiriöinä
- Sähkönsyötön häiriöinä
- Turvallisuuslaitteiden häiriöinä

## 5 VARAUTUMINEN ILMASTONMUUTOKSEEN

### 5.1 Varoitusjärjestelmät

Ääreisten ilmastovaikutusten hallinnassa on keskeisessä asemassa ilmastoilmion ennakointi ja siihen perustuva varoittaminen sekä suojautumistoiminnan käynnistäminen. Suojaustoiminnan menetelmät samoin kuin mahdollisuus vahinkojen estämiseen riippuvat käytettävissä olevasta ajasta ennen tilannetta. Ennakointiaika vaihtelee säätekijöiden välillä. Säämallintamisen luonteen mukaisesti arvio ilmiön voimakkuudesta, kulkureitistä ja vaikutusajasta tarkentuu ajan mittaan.

#### 5.1.1 Säähavainnot

Mallintamiseen ja havaintoihin perustuvaa tietoa saadaan Suomessa sääpalvelua tarjoavista laitoksista (Ilmatieteen laitos, Foreca ym.). Nämä palvelut kattavat mm. sateet, tuulet, myrskyt, ukkoset, lumisateet, alijäähtyneet vesisateet ym. Tulee määritellä se ilmiön riskitaso, jolloin käynnistetään varoitus, ja aloitetaan suojaustoimenpiteet. Em. palvelun tarjoajat hallinnoivat myös historiallista havaintoaineistoa, jonka perusteella on mahdollista arvioida poikkeavien ilmiöiden voimakkuutta ja toistuvuutta.

#### 5.1.2 Kelitiedot ja -ennusteet

Ilmatieteen laitoksen ja Destia Oy:n organisoima Kelikeskus tekee tieverkossa havaintoja säästä, tienpinnan tilasta ja roudasta tieverkon talvikunnossapidon ohjausta ja ennakoitua varten. Ennusteita tulevasta tehdään myös sääennusteita hyväksikäyttäen. Roudan havainnointi on tiesääasemaverkossa toistaiseksi vähäistä. Palvelujen kehittämistä myös rataverkon tarpeisiin tulee selvittää.

#### 5.1.3 Tulvaennusteet

Tulvien ennakoinnista ja varautumistoiminnasta vastaa Suomen ympäristökeskus (SYKE), jolla on vesistöjen virtaama- ja vedenkorkeusmittauksia merkittävässä vesistöissä. SYKE tekee havaintoja myös lumen vesiarvosta ja roudasta lumen peittämällä havaintopaikoilla. Edelleen SYKE laatii tulvaennusteita ja antaa tulva-varoituksia. Merialueilla vedenkorkeuksia seuraa Merentutkimuslaitos.

#### 5.1.4 Rataverkon erityisseuranta

Rataverkon häiriöiden ennakoimiseksi tarvitaan tietoa myös suureista, joita ei julkisen sääpalvelun toimesta käsitellä. Tällaisia ovat esimerkiksi hellekäyriä aiheuttavat kesälämpötilat ja pakkaskatkoriskin tunnistaminen ja ennakointi. Myös routaolojen kehittymisen arviointi ja ennakointi ratapenkereessä paikallisesti saattaa edellyttää erityishavaintoja.

### 5.2 Varautuminen suojele- ja pelastustoimenpiteisiin

Rataverkon kunnossapidossa ja liikennöinnissä varaudutaan ongelmatilanteisiin suojele- ja pelastussuunnittelulla, missä määritellään resurssit, toimenpiteet ja vastuutus vahinkojen minimoimiseksi ja rajoittamiseksi. Suojele- ja pelastusoperaatioita myös testataan harjoittelemalla. Suojele- ja pelastustoiminnan tulisi kattaa myös ääreisten sääilmiöiden aiheuttamat häiriövaikutukset.

Suunnittelussa ja harjoitustoiminnassa tulee huomioida yhteistyö pelastusviranomaisen kanssa.

### **5.3 Rakenteellinen ja materiaallinen varautuminen**

Vahinko- ja häiriötilanteessa tulee mahdollisuuksien mukaan osoittaa korvaavat reitit ja palvelut, joilla liikenne ja kuljetukset saadaan toimintaan uudessa tilanteessa. Korvaavia reittejä tulee selvittää valmiussuunnittelulla ennakolta.

Valmiussuunnittelussa määritellään ne laite- ja materiaalireservit, jotka ovat käytettävissä tilanteessa (pumput, varasillat, työkoneet, rakennusmateriaalit ym.). Valmiustilannetta on tarkistettava ajoittain.

### **5.4 Rakenteiden mitoituksen tarkistaminen**

#### **5.4.1 Riskipuiden kaato ratalinjalla**

Myrskyn aiheuttamia tuulenkaatoja voidaan vähentää lisäämällä rata-alueen leveyttä ja kaatamalla riskipuita. Oikeus tähän toimintaan on hankittava katselmuksella tai maanomistajan kanssa sopien.

#### **5.4.2 Tulvien rakenteellinen torjunta**

Kuivatuslaitteiden ja rumpujen toimivuutta ja ylipadotusta on seurattava ja tarvittaessa parannettava mm. perusparantamisen yhteydessä. Rumpumitointusohjeet on tarkistettava. Kuivatuksen suunnittelutapaa on mahdollista kehittää dokumentoitua koesuunnittelua käyttäen.

Voimakkaan pintaveden virtauksen aiheuttamia eroosioaurioita on inventoitava ja parannettava mm. kuivatuslaitteissa ja siltakeiloissa.

#### **5.4.3 Sortumariskikohteet**

Sortumariskiä ratalinjalla voidaan tunnistaa mm. jokiuomien alueilla vanhojen sortumarakkien perusteella ja ratapenkereen havaittujen painumavaurioiden perusteella.

#### **5.4.4 Sähkönsyötön ja signaloinnin varmentaminen**

Liikennehäiriöiden vähentämiseksi on tarpeen parantaa sähkönsyötön ja liikenteenohjauslaitteiden varmennustasoa mm. parantamalla suojauksia ja lisäämällä turvalaitteiden riippumattomuutta paikallisesta sähkönsyötöstä (mm. GSM-tukiasemat).

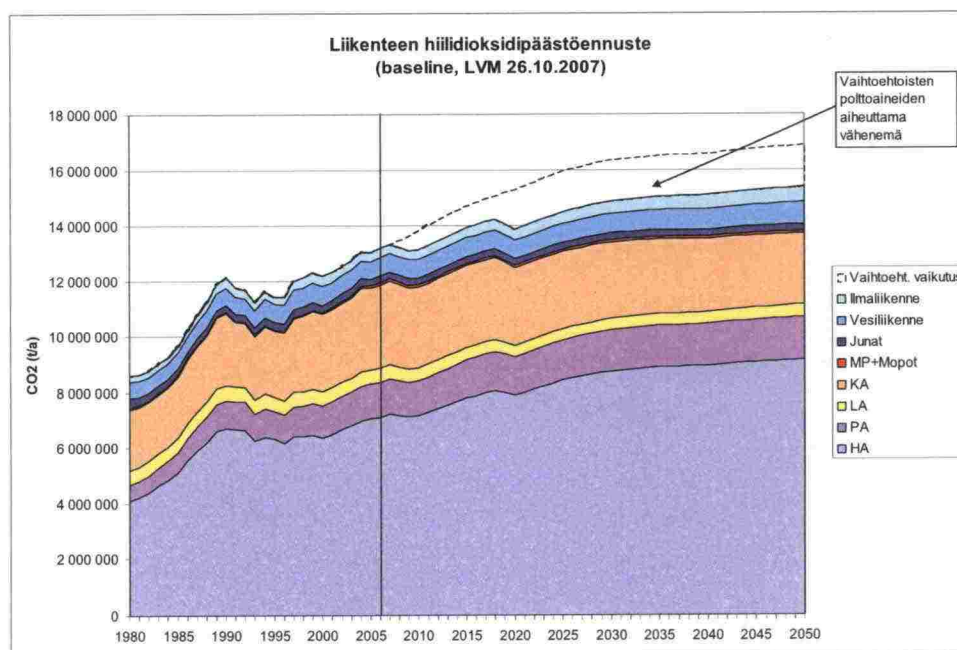
Ukkossuojaustarvetta on syytä selvittää ja suojausta tulee parantaa.

## 6 LIIKENTEEN CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN RAUTATEIDEN KULJETUSOSUUTTA LISÄÄMÄLLÄ

### 6.1 Rautatieliikenteen rooli ilmastonmuutoksen torjunnassa

Eri liikennemuotojen tulee yhdessä muodostaa tehokas ja toimiva liikennejärjestelmä. Rautatieliikenteen osuus on 5 % koko maan henkilöliikenteen ja 26 % tavaraliikenteen suoritteesta. Rautatieliikenne on ympäristöystävällinen ja turvallinen liikennemuoto.

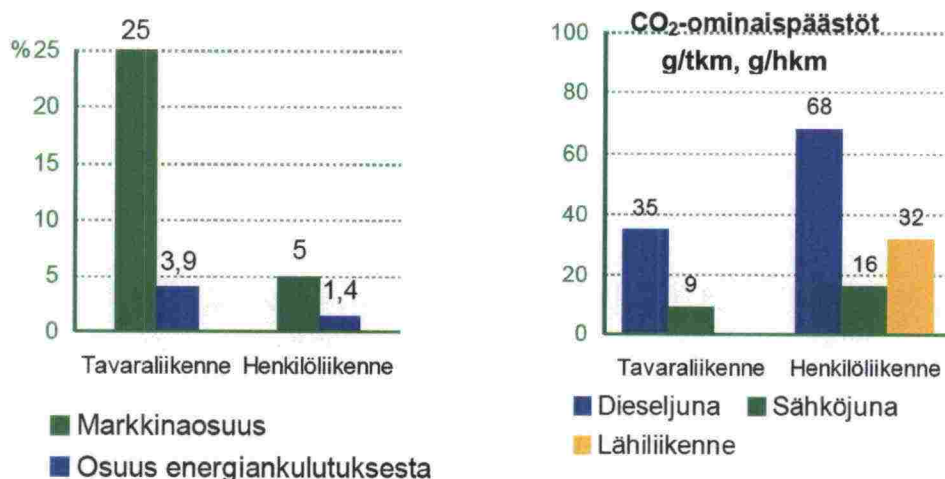
Ilmastotavoitteita on mahdotonta täyttää puuttumatta kulkumuotojen työnjakoon. Rautateiden rooli liikennesektorin hiilidioksidipäästöjen vähentäjänä on tärkeä. Suomen liikenteen hiilidioksidipäästöt olivat 13 miljoonaa tonnia v. 2005. Päästöjen vähentämisen tavoitteiden määrittely on parhaillaan käynnissä niin EU:n tasolla kuin kansallisestikin. Tämän hetken näkemys on, että liikenteen hiilidioksidipäästöjen määrää pitää vähentää 16 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Nykyisellä liikenteen kasvuvauhdilla tavoitetta ei voida saavuttaa, vaikka otetaan huomioon uusiutuvien energialähteiden 10 %:n osuus (kuva 18). Lisäksi liikenteen hiilidioksidipäästöjä pitää leikata muilla toimilla 2,1 miljoonaa tonnia nykytasoon verrattuna.



Kuva 18. Laskelma Suomen liikenteen hiilidioksidipäästöjen kehityksestä 1980–2025 (Lähde: Liikenne- ja viestintäministeriö, laskelmat tehty VTT:ssä).

### 6.2 Kuljetussuoritteiden päästömäärät ja ominaispäästöt

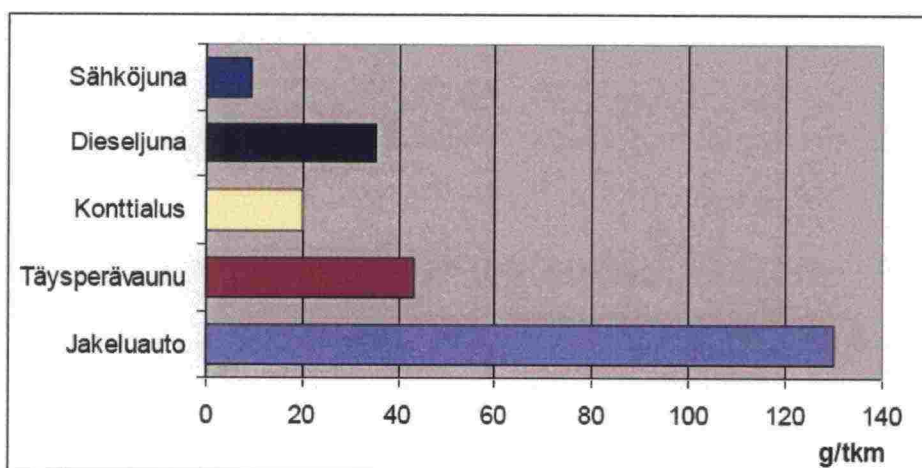
Raideliikenne on erittäin energiatehokasta suhteessa muihin kuljetusmuotoihin; myös CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt ovat pienet.



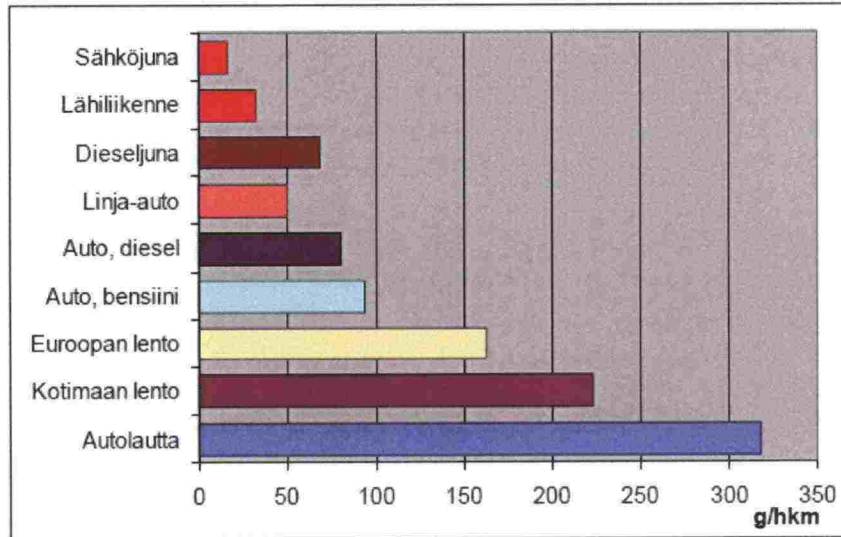
Kuva 19. Junan energiatehokkuus ja ominaispäästöt (Lähde: VR 2007).

Junakuljetukset ovat energiatehokkaita. Päästötaso on pienimmillään sähkövetoa käytettäessä (kuvat 19, 20 ja 21).

Junakuljetusten CO<sub>2</sub>-ominaispäästötaso on merkittävästi pienempi kuin maantiekuljetusten (kuvat 20–21). Erityisen vähän päästöjä arvioidaan aiheutuvan sähkövedosta, jonka päästötaso on noin kolmannes dieseljunan päästöistä ja 10–15 % maantieliikenteen päästöistä. Ominaispäästötasoon vaikuttaa energian tuottamisen ohella myös hyötykuorman suuruus, joka on junakuljetuksissa merkittävän suuri.



Kuva 20. Tavaraliikenteen ominaispäästöt (Lähde: VR 2007).



**Henkilöauton käyttäjä tuottaa hiilidioksidia  
3-5 kertaa niin paljon kuin junamatkustaja.**

Kuva 21. Eri kulkumuotojen CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt (Lähde: VR 2007).

### 6.3 Kysynnän kasvu ja kohdistuminen

Rautatieliikenteen rajoituksista johtuen voidaan arvioida, että kapasiteettia tarvitaan erityisesti pitkänmatkan tavara- ja henkilöliikenteessä. Tunnuslukujen perusteella noin 10 %:n kuljetussuoritteiden siirtyminen raiteille pienentää CO<sub>2</sub>-päästöjä noin 8–9 % kuljetusten päästöistä.

Rautatiekuljetusten kysynnän kasvu aiheuttaa tarpeen lisätä rataverkon kapasiteettia.

### 6.4 Toimenpiteet palvelutason ja kuljetuskapasiteetin lisäämiseksi

Seuraavat toimenpiteet arvioitiin tarpeellisiksi rataverkon kuljetuskapasiteetin ja palvelutason parantamiseksi:

#### *Matka-aikojen lyhentäminen*

- Nopeuksien lisäys henkilöliikenteessä parantaa palvelutasoa.

#### *Akselipainojen lisääminen*

- Junakuormien lisääminen akselipainoja korottamalla parantaa kuljetuskapasiteettia nykyisessä rataverkossa.

#### *Terminaalitoimintojen parantaminen*

- Kuormauksen sujuvuus on edellytys joustaville rautatiekuljetuksille yhdessä muiden kuljetusmuotojen kanssa. Kuormauksen on voitava tapahtua häiriöttä ympäri vuoden ja erilaisissa olosuhteissa.

***Lisäraiteiden rakentaminen***

- Kuljetuskapasiteetin lisäys edellyttää myös lisäraiteiden rakentamista, mm. nykyisten yksiraiteisten ratojen kahdentamista, jolloin ratakapasiteetti nelinkertaistuu. Tällöin säästetään energiaa ja vältetään tarpeettomia pysähtymisiä.

***Sähköistyksen lisääminen***

- Päästöjä voidaan vähentää myös lisäämällä ratojen sähköistystä ja vähentämällä dieselvetoisten junien käyttöä.

***Rautatieliikenteen sääperäisten häiriötekijöiden vähentäminen***

- Erityisesti sähkönsyötön ja liikenteenohjauksen järjestelmien vahvistaminen vähentää ukkosen, lumen ja jään aiheuttamia häiriövaikutuksia. Tämän lisäksi tulisi varmistaa ratapuhelinverkon gsm-järjestelmän tukiasemien sähkönsyöttö. Nykyinen kolmen tunnin varoaika on sama kuin yleisen matkapuhelin verkon tukiasemilla yleisesti käytössä oleva. Tukiasemapaikat ja tukiasemien tarvitsema sähkö ostetaan palveluna niitä tarjoavilta yrityksiltä ja sähkönsyötön varoajan kasvattaminen nykyisestä kaikilla tukiasemapaikoilla tulisi erittäin kalliiksi.

Edellä kuvattuja kehittämistoimenpiteitä sisältyy myös Ruotsissa (Banverket 2007) ja Saksassa (Kolke et al. 2003) julkaistuihin selvityksiin kuljetusten kehittämisestä ilmaston muuttuessa.



## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET ILMASTONMUUTOKSEEN SOPEUTUMISESTA RATAVERKOSSA

Rataverkko ja sillä tapahtuvat kuljetukset ovat alttiina erilaisille säävaikutuksille ympäri vuoden. Näihin säävaikutuksiin on pyritty varautumaan sekä suunnittelussa ja rakentamisessa että kunnossapidossa. Selvityksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että jos poikkeavia säätapauhtumia, kuten rankkasateita, myrskyjä, ukkosia, lumi-myrskyjä ym. esiintyy voimakkaampina ja useammin kuin nykyisin, on tarpeen selvittää niiden aiheuttama vahinkoriskin kasvu ja varautumistoimenpiteet.

Seuraavassa on esitetty listaus asioista ja tehtävistä, joihin tulee ryhtyä ilmastonmuutokseen sopeutumisen parantamiseksi radanpidossa.

### 7.1 Varautuminen

#### 7.1.1 Varoitusjärjestelmien kehittäminen

Tiedon saatavuus **poikkeavista ilmastotapahtumista** (lämpötila, sade, tuuli, myrskyt, ukkoset, lumisateet, jäätyminen) tulee varmistaa yhteistyössä sääpalvelun tuottajien ja muiden liikennealan toimijoiden (mm. Tiehallinto) kanssa sekä tarvittaessa käynnistää omaa seurantatoimintaa, joka palvelee rautateiden varautumistarpeita.

#### 7.1.2 Onnettomuuksien ennaltaehkäisy ja riskienhallinta

Äkillisiin tapahtumiin kuten onnettomuustilanteisiin tulee varautua **suojelu- ja pelastussuunnittelulla**, jossa määritetään valmiustoimenpiteet, toimintatapa ja yhteistyö pelastusviranomaisen kanssa vaaran tai vakavan häiriön uhatessa tai silloin, kun tilanne on päällä. Olemassa olevia suunnitelmia on ajoittain päivitettävä.

#### 7.1.3 Materiaalinen varautuminen vahinkojen estämiseksi ja rajoittamiseksi

Tulee varata ja osoittaa pelastussuunnittelussa tarpeellisiksi osoittautuneet laitteet ja varusteet sekä varmentaa rakenteiden toimivuus.

Tulee selvittää mm. vahinkoselvityksiin perustuen **rakenteiden ja laitteiden vahvistamis- ja suojaustarvetta**. Tällaisia kohteita ovat mm. kuivatusrakenteet sekä liikenteenohjaus- ja sähkönsyöttölaitteet.

Varautuminen edellyttää mm.

- rakenteiden ja laitteiden kestävyuden parantamista
- korvaavien yhteyksien suunnittelua kriittisillä rataosilla
- tuulenskaatohäiriöiden vähentämistä ennakoivalla raivauksella
- liikenteenohjausjärjestelmien varmennusta
- ukkossuojausten parantamista
- sortumarisikohteiden inventointia ja arviointia sekä monitorointia.

## 7.2 Ohjeistus

**Rautatiesuunnittelun ja rakentamisen teknistä ohjeistusta** tulee tarkistaa mm. rankkasateiden, roudan ja myrskyjen kannalta kestävyuden parantamiseksi ja häiriöiden vähentämiseksi.

Ohjeistuksen uudistamisella varmistetaan mm.:

- suunnitteluohjeiden vastaavuus uusiin rasisoloihin
- rataverkon ja liikenteen häiriöiden rekisteröinti ja analysointi
- radan kuivatuksen tarkistaminen ja parantaminen ottaen huomioon mm. rankkasaderiskit.

## 7.3 Rautatieliikenteen kulkumuoto-osuuden lisääminen

Rautatiekuljetusten ominaispäästöt ovat suhteellisen pieniä mm. maantiekuljetuksiin verrattuna. EU:n ja Suomen liikennepolitiikan tavoitteena on lisätä rautatiekuljetuksien osuutta kokonaiskuljetuksista. Tämä edellyttää, että rataverkon palvelutasoa parannetaan ja kuljetuskapasiteettia lisätään mm. lisäraiteita rakentamalla ja ohjausjärjestelmien häiriöherkkyyttä pienentämällä. Päästöjen vähentämistä edesauttaa myös rataverkon sähköistyksen lisääminen.

Kulkumuoto-osuuden lisäystä voidaan edistää rataverkon palvelutason parantamisella. Tällaisia kehittämistoimenpiteitä ovat mm.:

- lisäraiteiden rakentaminen
- akselipainojen korottaminen
- sähköistyksen lisääminen
- liikennejärjestelmätason ratkaisut, jotka tukevat rautatieliikennettä ja vähäpäästöistä energiankäyttöä
- alue- ja yhdyskuntarakenteen tiivistäminen, erityisesti pääkaupunkiseudulla
- joukkoliikenteen houkuttelevuuden lisääminen.

## 7.4 Tutkimus ja kehitys

Ilmastonmuutokseen sopeutumisen edellytyksiä voidaan parantaa lisäämällä **tietoa ilmastoilmiöiden luonteesta radanpidon kannalta** sekä ratarakenteiden ja -laitteiden toiminnasta ja rasisuskäyttytymisestä.

Koko liikennejärjestelmätaso on otettava tarkasteluun, jotta voidaan optimoida toimenpiteet energia-, päästö- ja kustannustehokkaasti. Liikenteen kokonaispäästöjen vähentämiseksi kulkumuotojakaamaa tulisi muuttaa. Rautatiekuljetusten suhteellisen osuuden lisäämisen sekä kuljetuskapasiteetin ja palvelutason nostamisen arvioitiin edellyttävän merkittäviä investointeja rataverkkoon. Valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden tarkistuksen edellyttämiin toimiin tulee valmistautua myös rautatie-sektorilla.

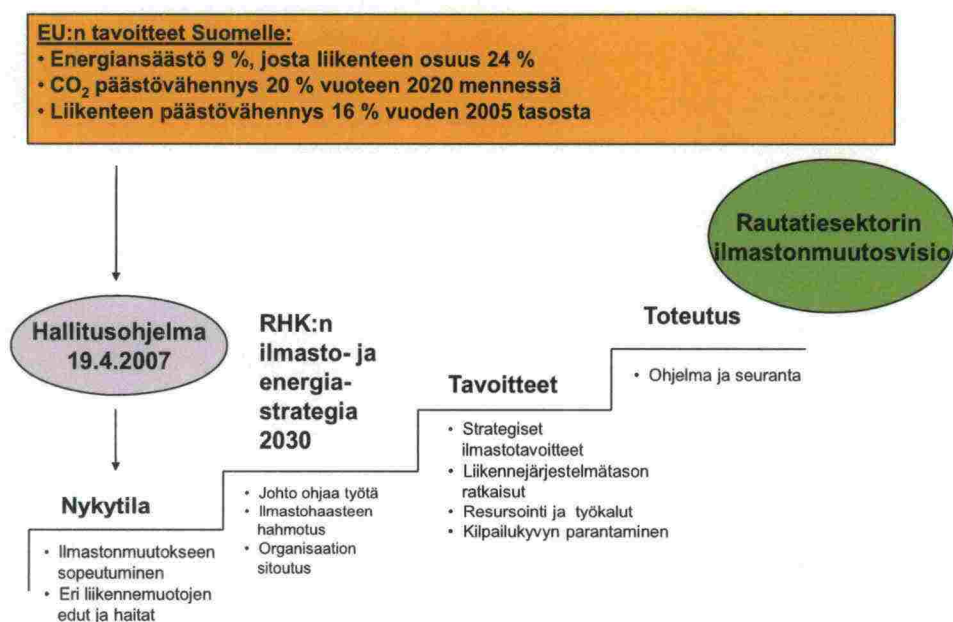
Seuraaviin asioihin tarvitaan lisäselvityksiä ilmastonmuutoksen sopeutumisen ja ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta:

- Selvitetään olemassa olevan rautatieinfran, rakentamisen ja kunnossapidon sekä liikenteen aiheuttamat CO<sub>2</sub>-kokonaispäästöt.
- Toimintamallien ja prosessien sekä tietojärjestelmien yhteentoimivuuden parantaminen suunnittelussa, varautumisessa ja häiriönhallinnassa.
- Vahinkojen lukuisuus ja aiheutuneet haitat nykytilanteessa; häiriötilanneanalyysi.
- Suunnittelu- ja rakentamiskäytäntöjen muutostarpeet.
- Laaja, yksilöity tarvittavien toimenpiteiden kustannustarkastelu.
- Riskiselvitykset ja vaikuttavuusarvioinnit (ml. hyöty-kustannusanalyysit) investointien ohjauksen pohjaksi.
- Ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset.
- Ilmastoperäisten vaikutusten voimakkuuden ja lukuisuuden muuttumisen arviointi.
- Ukkosten alueellinen esiintyminen, syntymisprosessi, mallintaminen varoitusta varten, suojautumistoimenpiteet.
- Virtajohtimien jääkuormien hallinta; laskentamallit.
- Ilmastonmuutoksen edellyttämät kehittämistoimet rautatieliikenteen häiriönhallinnassa sekä yhteistyön varmistaminen muiden toimijoiden kanssa (esim. tiedotus häiriötilanteissa, toimintamallit ja prosessit sekä tietojärjestelmien yhteentoimivuus eri toimijoiden kesken).
- Melu- ja värinävaikutusten tarkastelut osana maankäytön kehittämistä.
- Rautatieliikenteen kulkumuoto-osuuden kasvattamisen vaikutukset sekä henkilö- (lähi- ja kauko-) että tavaraliikenteen osalta: investointitarpeet vanhoihin ratoihin (erityisesti raakapuun kuljetukset) ja uusien ratojen rakentamistarve (erityisesti pääkaupunkiseudun henkilöliikennetarpeet).
- Yhdistettyjen kuljetusten kehittäminen tavaraliikenteessä.

## 8 TYÖN JATKAMINEN RAUTATIESEKTORILLA

Käsillä oleva raportti kuvaa ilmastonmuutoksen esille tuomia haasteita, joihin radanpidon ja liikenteen on sopeuduttava. Toisaalta tilanne luo myös haasteita kehittää koko rautatie-sektoria tulevaisuuden liikennemuotona hillittäessä kasvihuoneilmaston vaikutuksia ja välineenä vaikuttaa positiivisesti CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitykseen.

Ratahallintokeskuksessa ilmastonmuutoksen haasteeseen vastataan käynnistämällä vuoteen 2030 ulottuva energia- ja ilmastostrategian valmistelu (kuva 22) osana koko RHK:n ympäristöstrategian uudistusta. Strategiatyössä käydään perusteellisesti läpi nykyinen energiakulutus ja pyritään saamaan mahdollisimman kattava käsitys radanpidon CO<sub>2</sub>-päästöistä. Tarkastelussa tulee olemaan koko liikennejärjestelmä ja siinä käsitellään, kuinka rautatiet ja erityisesti RHK pystyy omalta osaltaan tuomaan työkaluja energiankulutuksen ja liikenteen kokonaispäästöjen vähentämiseen. Strategian valmistelussa määritellään tarkemmin myös ilmastonmuutosvision sisältö, johon RHK sitoutuu toiminnassaan.



Kuva 22. Ratahallintokeskuksen ilmasto- ja energiastrategian laatimisprosessin kuvaus.

Erityisesti kulkumuoto-osuuteen vaikuttaminen niin henkilö- kuin tavaraliikenteessä nousee vahvasti esille. Valtion alueidenkäyttötavoitteissa erityistä painoarvoa saanut raideliikenteen kehittäminen ja siihen kytkeytyvä maankäytön tiivistäminen ratojen varsille edellyttää pitkäjänteistä ja monitasoista tarkastelua yhdessä kuntien maankäytön suunnittelun kanssa.

## KIRJALLISUUTTA

- /1/ Ala-Outinen, T., Harmaajärvi, I., Kivikoski, H., Kouhia, I., Makkonen, L., Saarelainen, S., Tuhola, M., Törnqvist, J. 2004. Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. VTT Tiedotteita - Research Notes: 2227, Espoo, 83 pp. + liitt.
- /2/ Carter, T.R., Jylhä, K., Perrels, A., Fronzek, S. and Kankaanpää, S. 2005. FINADAPT scenarios for the 21st century: alternative futures for considering adaptation to climate change in Finland. FINADAPT Working Paper 2, Finnish Environment Institute Mimeographs 332, Helsinki, 42 pp.
- /3/ Environmental handbook for defence materiel, Part 4: Natural environments. Ministry of Defence, Defence Standard 00-35(Part 4)/Issue 3, 7 May 1999, p. 215.
- /4/ Finland's Third Report under the Framework Convention on Climate Change, 2001.
- /5/ Heikkinen S. (toim) 2006. Itämeri tulvii yli äyräiden. Geologian tutkimuskeskus, Geofoorumi 1:2006, ss. 16–17.
- /6/ Kolke R., Jäcker M., Rauterberg-Wulff A., Verron H, Zimmer W., Ostermeier A., Stinshoff K & Pech C. 2003. Reducing CO2 emissions in the transport sector. A status report by the Federal Environmental Agency - A description of measures and update of potentials - Umweltbundesanstalt Berlin. 68 s.
- /7/ Banverket 2007. Konsekvenser av klimatförändringar och extrema väderhändelser. Bilaga 2. Klimat- och sårbarhetsutredningen - påverkan på järnvägssystemet. <http://www.sweden.gov.se/content/1/c6/08/93/34/b2d1d441.pdf>
- /8/ Koskinen K., Astone S., Argillander U., Heikkinen P. & Lavola S. 2007. Raportti päärajojen ja vaihteiden kunnosta. Oy VR-Rata Ab, Kalusto- ja materiaalipalvelut, Radantarkastuspalvelut. 54 s. (ei julk).
- /9/ Laakso, T., Makkonen, L. & Holttinen, H., 2006. Climate change impact on icing of large wind turbines. European Conference on Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources, Reykjavik, 5.–9.6. 2006, 4 s.
- /10/ Laine V., Ehrola E. & Venäläinen A. 2000. Sää ja talvihoito. Tutkimus uuden sääindeksin tekemiseksi. Helsinki 2000. Tielaitoksen selvityksiä 22/2000. 106 s. + liitt 39 s.
- /11/ VR 2007. Junaliikenne osana tehokasta liikennejärjestelmää. Liikenneakatemia, Lehtipuu O., esitelmäreferaatti 8.11.2007.
- /12/ Liikennetietoa. Kuljetus ja logistiikka. Liikenne- ja viestintäministeriö 2007. <http://www.mintc.fi/scripts/cgiip.exe/WService=lvm/cm/pub/showdoc.p?docid=2032&menuid=118>
- /13/ Lipasto 2005. Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. <http://lipasto.vtt.fi/>

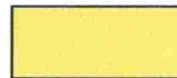
- /14/ Makkonen, L. 2000. Models for the growth of rime, glaze, icicles and wet snow on structures. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 358, 2913–2939
- /15/ Makkonen, L. & Ahti, K., 1995. Climatic mapping of ice loads based on airport weather observations. *Atmospheric Research* 36, 185–193.
- /16/ Martikainen, A., Pykälä, M-L. & Farin, J., 2007a. Recognizing climate change in electricity network design and construction. ILMUU2 projektin loppuraporttiluonnos, 82 s. + liitt., VTT.
- /17/ Makkonen, L., Ruokolainen, L., Räisänen, J. & Tikanmäki, M., 2007b. Regional climate model estimates for changes in Nordic extreme events. *Geophysica* 43(1-2), 19 - 42.
- /18/ Merenkululaitos. Tilastot. <http://www.fma.fi/palvelut/tilastot/>
- /19/ MMM, Julkaisu 1/2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. Vammala, MMM:n julkaisuja 1/2005. 272 s. [http://wwwb.mmm.fi/tiedoteliitteet/MMMjulkaisu2005\\_1.pdf](http://wwwb.mmm.fi/tiedoteliitteet/MMMjulkaisu2005_1.pdf)
- /20/ NVF 411/ 2007 Riskianalyysi ilmastonmuutoksen vaikutuksista tienpitoon. PTL, Jaosto 411, luonnos 17.10.2007.
- /21/ Publications of the Ministry of Transport and Communications 8/2004 (in Finnish): Strategy for the development and maintenance of Finland's transport infrastructure in 2004–2013. Background study.
- /22/ Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Tuomenvirta H., 2006. Climate scenarios for FINADAPT studies of climate change adaptation. FINADAPT Working Paper 15, SYKE moniste 345, 38 s.
- /23/ Rydell B, Fallsvik J., Lind B. & Ottosson E. 2001. Geotekniska konsekvenser av klimatförändringar. Statusrapport och kunskapsbehov. Linköping, SGI Varia 507. 32 s.
- /24/ Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L. P., Jones, C., Meier, M., Samuelsson, P. and Willén, U. 2004. European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics* 22, 13–31.
- /25/ Saarelainen, S & Makkonen, L 2007. Adaptation to Climate Change in Road Management. Prestudy (in Finnish with English abstract). Helsinki, Tiehallinto. 53 s. Tiehallinnon selvityksiä; 4/2007. ISBN 978-951-803-8. [http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3201029-v-Ilmastonmuutokseen\\_sopeutuminen\\_tienpidossa.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3201029-v-Ilmastonmuutokseen_sopeutuminen_tienpidossa.pdf)
- /26/ Saarelainen, S 2006. Adaptation to climate change in the transport sector. FINADAPT, Working paper 8. Finnish Environment Institute, Mimeographs 338, Helsinki. 29 p.

- /27/ Saarelainen, S; Rydell, B; Fallsvik, J 2004. Do climate changes give a new geotechnical world?! Klimatförändringar ger en ny geoteknisk värld?!. Nordiskt Geoteknikermöte NGM 2004. 20.–21.05.2004, Ystad, Sverige., Publikation, (2004), 13 p.
- /28/ Tilastokeskus. Suomen tilastollinen vuosikirja 2007. Helsinki 2007.
- /29/ TRB 2008. Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation. Committee on Climate Change and U.S. Transportation Transportation Research Board, Division on Earth and Life Studies. Special Report 290, Transportation Research Board, Washington, D.C. 2008. 234 p. [http://www.trb.org/news/blurb\\_detail.asp?id=8775](http://www.trb.org/news/blurb_detail.asp?id=8775)
- /30/ Tuomi T. J. & Mäkelä A., 2007. Salamahavainnot 2007. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2007:5. 47 s. ISBN 978-951-697-634-4. <http://katja.kumpula.helsinki.fi/dspace/bitstream/10138/1139/3/2007nro5.pdf>.
- /31/ Tuomenvirta H, Venäläinen A., Juottonen A. & Haapala J. 2000. The impact of climate change on the Baltic Sea ice and soil frost beneath snow-free surfaces in Finland. Helsinki. Publications of the Ministry of Transport and Communications, 13/2000. 56p.
- /32/ Venäläinen A. 2000. Tiesuolan käytön arviointi talvikuukausien lämpötilan avulla. Helsinki 2000. Tielaitoksen selvityksiä 9/2000. 24 s.

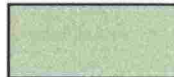
Ilmastonmuutoksen ja ilmaston ääri-ilmiöiden seuraukset	Vahinko-riski	Liikenne-riski	Muutosarvio
<b>LIIKENTEENOHJAUS- JA TURVALAITEET JA MATKUSTAJA-INFORMAATIOJÄRJESTELMÄT</b>			
Turvalaitteiden käytettävyyden varmistaminen lisääntyneissä ukkosoloissa ja helteillä sekä runsailla lumisateilla			
Matkustajainformaation kriisitiedotuksen valmius, lisääntyvissä ongelmissa matkustajainformaatio tärkeää.			
Tiedotuksen, varoitussjärjestelmien ja matkustajatiedotuksen ongelmat sekä niitä koskeva tiedonhankinta ja mittaus			
Liikenteenohjauksen valvonta			
<b>PILAANTUNEET MAAT</b>			
Pilaantuneiden maa-ainesten haitta-ainesten liikkeellelähtö sadannan muutostilanteissa			+
<b>MUUT VAIKUTUKSET</b>			
Tarpeet yhteistyön tehostamiseen mm. yhteiskunnan pelastusorganisaatioiden kanssa sekä varautuminen merkittäviin toimintahäiriöihin			
Ratojen kahdentaminen, kaksoisraiteet			
Näkemäraivaus			
Vuotuinen työskentelyajan muutos			

**Selite**Muutosarvio  
positiivinen +Erittäin  
suuri

Suuri



Vähäinen

Ei  
merkitystä



## ARVIO ILMASTOPERÄISISTÄ VAHINKO- JA LIIKENNERISKEISTÄ RADAN RAKENTEILLE JA LAITTEILLE

Ilmastonmuutoksen ja ilmaston ääri-ilmiöiden seuraukset	Vahinko-riski	Liikenne-riski	Muutosarvio
<b>RAITEET</b>			
Tulviminen ratalinjalla			+
Hellejaksojen vaikutukset hellekäyrien syntymisriskiin			++
Pakkaskatkojen syntyminen			
<b>RATARAKENNE</b>			
Pois huuhtoutunut pengeri			+
Suuret sortumat ja vieremät			+
Rakennekerrosten sisäinen ja ulkoinen eroosio sadannan vaikutuksesta			
Muutokset rakennekerrosten märkänä olon aikaan; kantavuusriskit sekä käyttöiän muutokset			+
Ratojen stabiiliteetin aleneminen sadannan sekä pohja- ja orsivesi-pintojen muutosten vaikutuksesta			+
Vastapenkereen eroosio			+
Pakkasmäärän muutosten vaikutukset ratapenkereiden ja pohjamaan routivuuteen			
Talvikunnossapito, liukkaus, jäätyminen			
Radan vauriot sulamisvaiheessa			
Routanousun ja epätasaisuuden muuttuminen			+
Tukikerroksen jäätymis/sulamiskertojen muutokset ja vaikutukset tukikerroksen pysyvyyteen, ominaisuuksiin ja kunnossapitotarpeisiin			
Kasvuston lisääntyminen ratapenkereen läheisyydessä ja lisääntynyt orgaanisen aineksen tuotto mm. lehtien tuoman humuksen kasvava määrä			+
<b>VAIHTEET</b>			
Vaihteiden sulanapitotarpeen muutos, paikoitellen lisääntyneen lumisateen vaatima lumensulatuksen tehonlisäys			+
Vaihteiden toiminta jäätymistoistuvuuden muuttuessa			

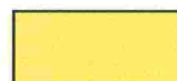
### Selite

Muutosarvio  
positiivinen +

Erittäin  
suuri



Suuri



Vähäinen



Ei  
merkitystä



Ilmastonmuutoksen ja ilmaston ääri-ilmiöiden seuraukset	Vahinko-riski	Liikenne-riski	Muutosarvio
<b>SILLAT JA TUKIMUURIT</b>			
Teräs- ja betonisiltojen käyttöiän alenema			+
Siltojen tukimuurien vauriot			+
Vesistösiltojen tukirakenteiden vahingot vesistön virtausten ja vedenpinnan muutoksissa			
Materiaalien turmeltuminen, korroosio			+
Siltoihin kohdistuvat äkilliset uhat liikenejärjestelyjen kannalta			
Matalan silta-aukon padotus			+
Pienten vesistöjen sillat			+
Siltakeilan eroosio			+
Lämpötilavaikutukset siltoihin			
Kuivien kesien ja sateisten syksyjen vaikutukset sulfidimaiden aikaansaamalle happamoitumiselle ja vaikutukset materiaalien pysyvyydelle sekä suojaustarpeille			
<b>TUNNELIT</b>			
Tunnelien jäätyminen ja tunnelitulvat			+
<b>KUIVATUSLAITTEET</b>			
Tulvat kuivatuksen puutteiden ja vedenpinnan nousun vaikutuksesta			+
Merenpinnan nousu			
<b>KAAPELIT, KAIVANNOT JA RUMMUT</b>			
Kuivatuksen ja kuivatusrumpujen häiriöt sadannan muutostilanteissa; liettyminen			+
<b>VOIMANSYÖTTÖ, ENERGIA</b>			
Sähköjohtojen jäätyminen			+
Tuulisuuden vaikutukset sähköistykseen ja pylväisiin			
Puiden kaatuminen johteille			
Paikalliset suuret lumisateet ja kinostumisen muutokset			
Muun energiankäytön vähentäminen			

**Selite**Muutosarvio  
positiivinen +Erittäin  
suuri

Vähäinen



Suuri

Ei  
merkitystä

## RATAHALLINTOKESKUKSEN JULKAISUJA A-SARJASSA

- 1/2005 Sähköratamaadoitusten perusteet – suojarakenteet, rakennukset ja laiturirakenteet
- 2/2005 Kerava–Lahti-oikoradan ennen–jälkeen vaikutusarviointi, ennen–vaiheen selvitys
- 3/2005 Ratatietojen kuvaaminen – ratatietokanta ja verkkoselostus
- 4/2005 Kaakkois-Suomen rataverkon tavaraliikenteen kehittäminen
- 1/2006 Ratahallintokeskuksen tutkimus- ja kehittämisstrategia
- 2/2006 Rautatie ja sen vaarat osana lasten ympäristöä
- 3/2006 Matkustajainformaatiojärjestelmien arviointi Tampereen, Toijalan ja Hämeenlinnan rautatieasemilla
- 4/2006 Radan välityskyvyn mittaamisen ja tunnuslukujen kehittäminen
- 5/2006 Deformation behaviour of railway embankment materials under repeated loading
- 6/2006 Research and Development Strategy of the Finnish Rail Administration
- 7/2006 Rautatieliikenne 2030 -suunnitelman lähtökohdat ja vaikutustarkastelut
- 8/2006 Vanhojen, paalutettujen ratapenkereiden korjaus
- 9/2006 Ratarakenteissa käytettävien kalliomurskeiden hienoneminen ja routimisherkyys
- 10/2006 Radan stabiliteetin laskenta, olemassa olevat penkereet  
Kirjallisuustutkimus ja laskennallinen tausta-aineisto
- 11/2006 Rautatieinfrastruktuurin kehitystarpeet suuryksikkökuljetusten yleistyessä
- 12/2006 Pasilan aseman esteettömyyskartoitus ja toimenpideohjelma
- 1/2007 Akselipainon noston tekniset edellytykset ja niiden soveltuminen Luumäki–Imatra-rataosuudelle
- 2/2007 Radan kulumisen rajakustannukset 1997–2005
- 3/2007 Marginal Rail Infrastructure Costs in Finland 1997–2005
- 4/2007 Ratarakenteen kuormituksen määrittäminen stabiliteettitarkasteluihin
- 5/2007 Pohjois-Suomen rataverkon tavaraliikenteen kehittäminen
- 6/2007 Suomen rataverkon tärinäselvitys  
Kirjallisuuskatsaus ja tärinäkohteet vuosina 2000–2006
- 7/2007 Luvattomien radanylytysten välttäminen
- 8/2007 Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnan arvioinnissa
- 9/2007 Markkinoilletulo ja rautatiemarkkinoiden muutos kotimaisen tavaraliikenteen avautuessa kilpailulle Suomessa
- 10/2007 Rautatieliikenne 2030 -suunnitelman liikenne-ennusteet
- 11/2007 Logistiikkakeskusten tie- ja ratayhteydet
- 1/2008 Aikataulusuunnittelu ja rautatieliikenteen täsmällisyys
- 2/2008 Rautatieliikenteen simuloinnin merkitys ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa
- 3/2008 Rautateiden liikkuvan kaluston kunnan valvonta runkoverkolla
- 4/2008 Raakapuukuljetusten tulevaisuuden haasteet
- 5/2008 Perussolmuratapihojen merkitys ja näkymät osana kuljetusjärjestelmää
- 6/2008 Tasoristeysten kansirakenteet
- 7/2008 Ratojen alusrakenteissa käytettyjen materiaalien routimisherkyys
- 8/2008 Kolarin seudun kaivos Hankkeet
- 9/2008 Rataverkon pohjavesialueiden riskienhallinnan kehittäminen
- 10/2008 Rautatieliikenteen pitkän aikavälin suunnitteluprosessin kehittäminen
- 11/2008 Rautatieliikenteen häiriöiden analysoinnin kehittäminen
- 12/2008 Junan pyörävikojen havainnointi raiteeseen asennetulla mittalaitteella
- 13/2008 A Collaborative Process of Product Lifecycle Management for Railway Signalling Infrastructure
- 14/2008 Rataverkon jatkosähköistyksen hankearvioinnin päivitys
- 15/2008 Rautatieliikenteen täsmällisyyden mittaaminen



**RATAHALLINTOKESKUS  
BANFÖRVALTNINGSCENTRALEN**

Julkaisija:  
Ratahallintokeskus  
Kaivokatu 8, PL 185, 00101 Helsinki  
puh. 020 751 5111, fax 020 751 5100  
[www.rhk.fi](http://www.rhk.fi)

ISSN 1455-2604  
ISBN 978-952-445-261-8