

LOPPURAPORTTI

250 kN:n ja 300 kN:n AKSELIPAINOJEN

TEKNISISTÄ TUTKIMUKSISTA

- o **Matti Levomäki**
- o **Jarkko Valtonen**

LOPPURAPORTTI 250 kN:n ja 300 kN:n AKSELIPAINOJEN

TEKNISISTÄ TUTKIMUKSISTA

- o Matti Levomäki**
- o Jarkko Valtanen**

RHK
RATAHALLINTOKESKUS
KAIVOKATU 6, PL 185
00101 HELSINKI

PUH. (09) 5840 5111
FAX. (09) 5840 5140
SÄHKÖPOSTI: info@rhk.fi

ISBN 952-445-051-8
ISSN 1455-2604

Levomäki, Matti ja Valtonen, Jarkko: Loppuraportti 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainojen ratateknisistä tutkimuksista. Ratahallintokeskus, Tekninen yksikkö. Helsinki 2001. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 5/2001. 48 sivua ja 1 liite. ISBN 952-445-051-8, ISSN 1455-2604.

Avainsanat: rautatieliikenne, akselipainot

TIIVISTELMÄ

Tämä on loppuraportti Ratahallintokeskuksen (RHK) 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainojen käyttöönottoon tähtäävästä tutkimusprojektista, joka aloitettiin kesällä 1998 ja saatiin loppuun vuonna 2000.

Tässä raportissa esitellään lyhyesti tehtyjen tutkimusten tuloksia. Lisäksi esitellään eri tutkimusten tuloksina syntyneitä jatkotutkimus- ja toimenpide-ehdotuksia ja listataan välttämättömiä toimenpiteitä, jotta akselipainoja voitaisiin nykyisestä korottaa. Raportti perustuu aiemmin julkaistuihin tutkimusraportteihin ja asiantuntijoiden haastatteluihin. Tutkimusten mukaan akselipainojen korotus 250 kN:iin on mahdollista tietyin edellytyksin. Tämän tutkimuksen perusteella ei kaikilta osin voida sanoa, onko 300 kN akselikuorma mahdollinen.

Seuraavassa referoidaan lyhyesti tärkeimpiä tutkimusten tuloksina syntyneitä väittämiä:

- Korotettujen akselipainojen käyttöönotto korostaa tarvetta käsitellä ratarakennetta kokonaisuutena, jossa alus- ja päällysrakenne ovat keskenään tasapainossa ja kunkin kerroksen materiaalit vastaavat korotettujen akselipainojen asettamia vaatimuksia.
- Radan stabiliteettilaskelmissa liikennekuorman metripainona käytetään 120 kN/raide-metri. Kuorman otaksutaan vaikuttavan pystysuuntaan ja siihen sisältyvät sysäyslisät. Olemassa olevan tiedon mukaan käytössä oleva metripaino kattaa 300 kN:n akselipainot kaksi- ja neliakselisilla vaunuilla. Metripainon kasvattaminen ei ole mahdollista nykyisillä raiteilla.
- Uuden sukupolven vaunujen teleillä akselipainoja voidaan korottaa nostamatta oleellisesti rataa kohdistuvia dynaamisia kuormia.
- Pyöräkuormat ja sallitut voimat jäävät vielä tässä tutkimuksessa selvittämättä. UIC:n uusi liikkuvan kaluston kulkuominaisuuksien mittaamista koskeva määrelehti 505 tulee sallimaan nykyisen 170 kN:n sijasta vähintään 200 kN pystysuuntaisen pyöräkuorman.
- Jos akselipainoja korotetaan, suurimmat ongelmat nykyisellä rataverkolla olisivat eristysjatkoksien vauriot, vaihteiden nopea kuluminen (risteykset, kielet ja kaareva välikisko), aluslevyjen painuminen havupuupölkkyihin, raidelevyden muutos vaihteissa, pehmeiden kiskolaatujen nopeutunut kuluminen, kaarreosuuksien lisääntyvä kunnossapitotarve, termiittihitsisaumojen murtumisten lisääntyminen ja ratapölkkyjen rikkoutuminen. Todennäköisesti myös UIC:n kiskovikaluokituksen mukaisen 113-vian esiintymistiheys kasvaisi.
- Akselipainot voidaan nostaa 250 kN:iin päällysrakenteella, jossa on 60 E 1 tai 54 E 1 -kiskot jatkuvakiskoraiteena, betoniratapölkkyt linjalla ja betoni- tai kovapuupölkkyt

vaihteissa, S-tyypin eristysjatkokset tai akselilaskentajärjestelmä ja vaihteet, joiden kaarresäde on suuri. Pölkyt ovat ongelmakohta ja sen takia nopeusrajoituksiin tulee kiinnittää huomiota. Havupuu-pölkyillä 250 kN:n akselipaino on mahdollinen vain jatkuvakiskoraiteella ja ilmeisesti korkeintaan 60 km/h nopeudella. Uudet betonirata-pölkyt tulee suunnitella uudella tavalla. Akselipainoja ei voida nostaa 250 kN:iin ratapihojen ulkopuolella, kun rataosuudella on 43 kg tai kevyempi kisko tai ns. lyhytkiskoraide. Kiinnikkeet, välilevyt tai sivueristimet eivät aseta esteitä akselipainojen nostolle. Ainoastaan pienillä kaarresäteillä voi olla huono vaikutus eristimiin.

- Rautatiesiltojen suunnitteluohjeen (RSO) mukaiset kuormat kattavat 250 kN:n akselipainot. Raskaampia akselipainoja varten kuormakaaviota on muutettava. Uusi kuormakaavio ($\alpha \cdot LM71$) on jo laadittu 300 kN:n akselipainoja varten. Kun huonokuntoiset sillat seulotaan siltojen päätarkastustoiminnassa, 250 kN:n akselipainon käyttöönotolle ei ole esteitä. Varautuminen esimerkiksi 30 % suurempiin akselipainoihin nostaa sillan rakennuskustannuksia vain noin 3 %.
- Akselipainon korottaminen 250 kN:iin ei lisää merkittävästi sepelin jauhautumista, jos kumulatiivinen liikennemäärä ei kasva ja sepeli on lujaa. Betoniratapölkkyraiteessa raidesepelin jauhautuminen on selvästi suurempaa kuin puuratapölkkyraiteessa. Rataosalle valittavan raidesepelin lujuusluokka tulisi valita sepelitarjousten elinkaarikustannusvertailun pohjalta.
- Soraradoilla akselipainoa ei voida korottaa.
- Asfalttisilla rakenteilla on useita hyviä ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää rata-rakenteissa.
- Kaikki rummut ovat yksilöitä, vaikka samantyyppisten rumpujen kohdalla onkin havaittavissa selvää säännönmukaisuutta. Erityisesti betoniputkilla jatkettujen kivirumpujen kuntoa on vaikea määrittää. Akselipainon noston vaikutusta jopa hyvin tunnetun ja dokumentoidun rumpun käyttäytymiseen on erittäin hankala arvioida.
- Raskaan tavaraliikenteen vaikutus tärinän aiheuttajana on kiistaton. Yleisesti ollaan sitä mieltä, että akselipainojen kasvattaminen lisää tärinää. Kaiken tärinän eliminoiminen on sekä taloudellisesti että teknisesti käytännössä mahdotonta.
- Ratarakenteesta otettujen routalevynäytteiden perusteella voitiin todeta, että levyt olivat kestäneet rasituksia kohtuullisen toivotusti lukuunottamatta jo aiemmin heikkolaatuisiksi todettua tuotantoerää. Näin ollen nykytuotannon mukaisten routalevyjen ominaisuudet nykyisillä akselipainoilla ja asennustavoilla ovat riittävät.
- Luodun laskentamallin perusteella akselipainon korottamisesta 225 kN:sta 250 kN:iin aiheutuva routalevyn vaurioitumisen lisäys on 22 – 35 % sen mukaan, miten suuri varmuuskerroin levyyn kohdistuvalle kuormitukselle valitaan esim. puutteellisen asennussyvyyden ja dynaamisen kuormituksen takia.
- Akselipainon korottamisesta 250 kN:iin aiheutuva routalevyjen vaurioitumisen lisääntyminen voidaan estää kiristämällä levyn puristuslujuusvaatimusta 450 kPa:sta 500 kPa:iin.

- Pohjoismaisia olosuhteita vastaava routamitoitus takaa riittävän alusrakennekerrosten paksuuden kaikkien ajateltavissa olevien akselipainojen kannalta.
- Lineaariseen kerrosrakennemalliin perustuva kvasistaattinen ratapenkereen pystysuuntaisen jäykkyyden mallinnus vastaa hyvin instrumentointikohteessa mitattua todellisen ratapenkereen käyttäytymistä. Rakennekerrosten materiaalien ja pohjamaan mekaaninen käyttäytyminen tulee tällöin kuvata jännitystason vaikutuksen huomioon ottavalla materiaalimallilla, jonka parametrit on määritetty todellista kuormitus-tilannetta vastaavalla jännitys- ja muodonmuutostasolla tehtyjen laboratoriomääritysten perusteella.
- Radan kunnossapitokustannukset nousevat alle 5 %, jos suurinta sallittua akselipainoa nostetaan 225 kN:sta 250 kN:iin. Teoriassa kustannukset nousisivat 5 %, mutta todellisuudessa kaikki akselipainot eivät kuitenkaan ole 225 kN kaikilla akseleilla, eivätkä ne kaikki myöskään nousisi 250 kN:iin. Lopullinen luku vaihtelee rataosan liikennemäärän ja akselipainojakauman mukaan.

Levomäki, Matti and Valtonen, Jarkko: Final Report, 250 kN and 300 kN axle loads. Finnish Rail Administration, Technical Unit. Helsinki 2001. Publications of the Finnish Rail Administration A 5/2001. 48 pages and 1 appendix. ISBN 952-445-051-8, ISSN 1455-2604.

Key words: rail traffic, axle loads

SUMMARY

This is the final report of the Finnish Rail Administration's (RHK) research work which is aimed at introducing 250 kN and 300 kN axle loads. The study began in the summer of 1998 and was completed by the end of 2000.

The results of the research work are briefly presented in this report, as well as suggestions for further research and actions resulting from the different investigations. Actions necessary for raising the present axle loads are also listed in this report. The report is based on the previously published research reports and interviews with experts. According to the investigations, it is possible to raise axle loads to 250 kN on certain conditions. On the basis of this investigation it cannot be said with certainty whether an axle load of 300 kN is possible.

The most important statements arising from the investigations are briefly summarised as follows:

- The introduction of higher axle loads emphasises the need to treat the railway track as a common entity, where the permanent way and substructure are in balance. In addition, the material of each layer should have the strength and grading properties corresponding to the requirements arising from the increased axle loads.
- A load of 120 kN/rail metre is used as a traffic load in track stability calculations. The load is expected to affect the track vertically and impulses are included. According to the existing information, the metre load used covers the 300 kN axle loads with two- and four-axle-wagons. It is not possible to increase the metre load on the present tracks.
- It is possible to increase axle loads with the new bogies of new generation wagons without essentially increasing dynamic loads on the track.
- Wheel loads and admissible forces were not included in this investigation. The new UIC leaflet no. 505 regarding the measurement of rolling stock running behaviour will allow at least a 200 kN vertical wheel load instead of the present 170 kN.
- If axle loads are increased, the most serious problems on the present railway network would be damage to insulated joints, the rapid wear of switches (crossings, tongues and curved middle area rail), base plates sinking into wooden sleepers made of softwood, a change of track gauge in switches, more rapid wear of grade 220 (700) rail materials, an increasing need for maintenance in curve sections, an increasing number of breakages in aluminothermic welds and the breaking of sleepers. The incidence of 113-failure according to UIC rail defect catalogue would probably increase.

- It is possible to raise axle loads to 250 kN on a superstructure with 60 E 1 or 54 E 1 continuous welded rails, concrete sleepers on the line and concrete or hardwood sleepers in switches, S-type insulated joints or an axle-counter system and switches with a large radius of curvature. Sleepers are the most problematic aspect and hence attention should be paid to speed limits. The 250 kN axle load is possible with softwood sleepers only with continuous welded rails and apparently at a maximum speed of 60 km/h. New concrete sleepers would have to be designed in a new way. It is not possible to raise axle loads to 250 kN outside railway yards when the rail is 43 kg or less or jointed track. Fastenings, pads or side insulators do not hinder the raising of axle loads. Only small radii of curvature may have a poor impact on insulators.
- Loads according to Rautatiesiltojen suunnitteluohje (Design Instructions for Railway Bridges), abbreviated to RSO, cover the 250 kN axle loads. Where heavier axle loads are concerned, the load model has to be changed. A new load model (α *LM71) has already been made for 300 kN axle loads. When bridges in poor condition are detected during the main inspection of bridges, there will be no hindrance to the use of 250 kN axle loads. Provision for e.g. 30 % heavier axle loads increases the construction costs of a bridge by only 3 %.
- The raising of axle loads to 250 kN does not significantly affect the degradation of ballast, if the cumulative traffic amount does not grow and the ballast is firm. The degradation of railway ballast in a track with concrete sleepers is markedly higher than in a track with wooden sleepers. The strength category for the track section should be chosen by comparing life cycle costs.
- Raising the axle load is not possible on a gravel ballasted track
- Asphalt structures in tracks have many advantages which can be utilised in track construction.
- All culverts are different from each other, although a marked regularity among the same type of culverts can be noted. In particular, it is difficult to specify the condition of stone culverts lengthened by concrete pipes. It is very difficult to estimate the impact of raising the axle load on the behaviour of even a well-known and documented culvert.
- Heavy freight traffic without doubt causes vibration. The general opinion is that the raising of axle loads increases vibration. In practice it is impossible, both economically and technically, to eliminate vibration completely.
- On the basis of samples taken from the frost insulation plates it could be seen that the plates had borne stresses rather well, with the exception of the production lot which had previously been noticed to be of inferior quality. Thus, the characteristics of the frost insulation plates presently produced are sufficient with the present axle loads and mounting procedures.

- On the basis of the calculation model created the increase of damage caused by the raising of axle loads from 225 kN to 250 kN is 22 – 35 %, depending on the magnitude of the safety coefficient which is chosen for the load directed at the plate e.g. due to a defective mounting depth and dynamic loading.
- The increase of the damage to frost insulation plates due to the raising of axle loads to 250 kN can be prevented by tightening the compression strength property of the plate from 450 kPa to 500 kPa.
- The dimensioning of frost insulation to correspond to Nordic conditions guarantees a sufficient thickness of substructure layers for all conceivable axle loads.
- The quasi-static modelling of the vertical stiffness of a railway embankment based on the linear elastic layer model corresponds well to the behaviour of the actual railway embankment measured in the instrumented track. The mechanical behaviour of layer materials and subsoil should be described by a model taking the effects of the stress level into account. The parameters of the model should be determined in the laboratory at the stress and deformation level corresponding to the real loading conditions.
- Track maintenance costs will increase by less than 5 % if the highest permitted axle load is raised from 225 kN to 250 kN. In theory the costs will increase by 5 %, but in reality all axle loads will not be 225 kN in all axles, and they would not all increase to 250 kN. The final rate will vary depending on the amount of traffic and the distribution of axle loads on each track section.

ESIPUHE

Tutkimusprojekti 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainojen mahdollisen käyttöönoton edellyttämistä muutostarpeista ja toimenpiteistä aloitettiin Ratahallintokeskuksen (RHK) teknisessä yksikössä kesällä 1998 ja saatiin päätökseen vuoden 2000 lopulla. Tutkimuskokonaisuuteen kuuluu 19 RHK:n julkaisua sekä kaksi VTT:n julkaisua.

Tutkimusprojektia on ohjannut johtoryhmä, jonka jäseninä ovat olleet Markku Nummelin, Pasi Leimi ja Kari Ojanperä RHK:n teknisestä yksiköstä, Olli-Pekka Hartikainen, Jarkko Valtonen, Iikka Järvenpää ja Matti Levomäki Teknillisestä Korkeakoulusta (TKK), Raimo Uusinoka ja Pauli Kolisoja Tampereen teknillisestä korkeakoulusta (TTKK) ja Seppo Kähkönen ANSERI-Konsultit Oy:stä. Lisäksi asiantuntijoina ja tutkijoina eri tutkimuksissa ovat olleet Harry Harjula, Juha Heinonen ja Vilho Roos Oy VR-Rata Ab:stä, Esko Sandelin RHK:sta, Pasi Niskanen, Erkki Mäkelä ja Antti Nurmikolu TTKK:sta, Pekka Haakana, Lauri Salokangas, Jouko Lehtomäki, Joni Harju, Petri Ketonen, Jani Meriläinen ja Mikael Fröberg TKK:sta, Matti Hakulinen Geomatti Oy:stä ja Wladimir Segercrantz VTT:ltä. Edelleen lukuisaa joukkoa ulkomaalaisia ja kotimaisia asiantuntijoita on haastateltu tutkimusten yhteydessä toteutetuilla tutustumis- ja tiedonhakumatkoilla.

Tämä raportti on tutkimusprojektin loppuraportti, jossa käydään lyhyesti läpi tehtyjen tutkimusten tuloksia. Lisäksi esitellään eri tutkimusten tuloksina syntyneitä jatkotutkimus- tai toimenpide-ehdotuksia ja listataan välttämättömät toimenpiteet, mikäli jollain rataosalla halutaan siirtyä nykyistä raskaampiin akselipainoihin. Loppuraportti perustuu aiemmin julkaistuihin tutkimusraportteihin ja asiantuntijoiden haastatteluihin. Raportin ovat tehneet tutkijat Matti Levomäki ja Jarkko Valtonen Teknillisen korkeakoulun tielaboratoriossa Ota-niemessä.

Helsingissä, huhtikuussa 2001

Ratahallintokeskus
Tekninen yksikkö

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|----|
| TIIVISTELMÄ..... | 3 |
| SUMMARY | 6 |
| ESIPUHE..... | 9 |
| SISÄLLYSLUETTELO | 10 |
| 1. JOHDANTO | 12 |
| 2. ESISELVITYS..... | 13 |
| 3. RAUTATIELIIKENTEEN AIHEUTTAMA TÄRINÄ | 14 |
| 4. SILLAT | 15 |
| 4.1 Yhteenveto..... | 15 |
| 4.2 Yleiset kriteerit, toimenpiteet ja havainnot..... | 15 |
| 4.3 Jatkotoimenpiteet..... | 17 |
| 5. LIIKKUVA KALUSTO..... | 18 |
| 6. TUKIKERROS JA ALUSRAKENNE | 19 |
| 7. RUMMUT..... | 21 |
| 7.1 Rumpujen maastoselvitys..... | 21 |
| 7.2 Rumpuja koskevat jatkotutkimukset | 22 |
| 8. INSTRUMENTOINTI JA MALLINNUS | 23 |
| 9. ROUTALEVYT..... | 25 |
| 9.1 Esiselvitys routalevyistä | 25 |
| 9.2 XPS-routalevyjen teknisiä toimitusehtoja koskeva tutkimus | 25 |
| 10. RAIDE..... | 28 |
| 10.1 Yleistä..... | 28 |
| 10.2 Kiskot, kiskohitsaukset ja jatkokset..... | 28 |
| 10.3 Kiskonkiinnittimet ym. | 29 |
| 10.4 Vaihteet..... | 30 |
| 10.5 Ratapölkkyt..... | 31 |
| 11. KUNNOSSAPITO | 32 |
| 12. MATKAT..... | 34 |
| 12.1 Venäjä..... | 34 |
| 12.2 Ruotsi..... | 35 |
| 13. TOIMENPITEET ENNEN AKSELIPAINOJEN NOSTOA..... | 37 |
| 13.1 250 kN:n akselipainot..... | 37 |
| 13.2 300 kN:n akselipainot..... | 39 |
| 14. LOPPUPÄÄTELMÄT | 41 |
| 14.1 Radan rakenteen kuormat | 41 |
| 14.2 Radan päällysrakenne | 41 |
| 14.3 Alusrakenne | 42 |
| 14.4 Sillat..... | 43 |

| | | |
|------|--|----|
| 14.5 | Stabiliteetti ja värinä..... | 44 |
| 14.6 | Rummut | 44 |
| 14.7 | Tutkimuksissa esille tulleet yleiset väittämät | 45 |
| 14.8 | Jatkotutkimusaiheet | 45 |
| 14.9 | Eri raiderakenteiden sallitut nopeudet ja akselipainot sekä ehdotus uusiksi rataluokiksi | 46 |

LIITTEET

Liite 1. Akselipainoprojektiin liittyvät Ratahallintokeskuksen julkaisut

1. JOHDANTO

Tässä loppuraportissa esitellään akselipainojen käyttöönottoon tähtäävän tutkimusprojektin eri osatutkimusten tuloksia, syntyneitä jatkotutkimus- tai toimenpide-ehdotuksia ja välttämättömiä toimenpiteitä, mikäli jollain rataosalla aiotaan siirtyä käyttämään nykyistä raskaampia akselipainoja. Loppuraportti perustuu aiemmin julkaistuihin tutkimusraportteihin ja asiantuntijoiden haastatteluihin.

Raportin luvuissa 2 – 11 kerrotaan lyhyesti kunkin tutkimusraportin keskeisimmistä havainnoista ja tuloksista. Luvussa 12 esitellään tutkimusprojektin yhteydessä toteutetut haastattelu- ja tutustumismatkat. Luvussa 13 kerrotaan toimenpiteistä, joita raskaampien akselipainojen käyttöönotto edellyttää. Viimeisessä luvussa on tiivistelmä koko tutkimusprojektin tuloksista.

Toteutettuihin akselipainojen korotukseen tähtääviin tutkimuksiin on yhteensä käytetty noin 0,7 milj. € (noin 4,1 milj. mk).

2. ESISELVITYS

Tutkimusprojekti aloitettiin vuonna 1998 esiselvityksellä olemassa olevasta kirjallisesta materiaalista. Aluksi toteutettiin kirjallisuushaku ja myöhemmin instrumentointia käsittelevä alustava kirjallisuustutkimus.

Tutkimusraportti ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 1/1999 (ISBN 952-445-014-3, ISSN 1455-2604, 73 sivua) nimellä: **Ratarakenteen instrumentoinnin kirjallisuustutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot.**

Tutkimuksessa löydetty materiaali jaoteltiin viiteentoista eri luokkaan akselipainojen mahdollista nostamista silmälläpitäen. Nämä luokat ovat:

Liikkuva kalusto, geometria, kiskot, kiskonkiinnityselimet, ratapölkyt, tukikerros, alusrakenne, pohjarakenteet, sillat, vaihteet, tärinä, kunnossapito, perusteokset ja instrumentointi.

Luetteloon otettiin mukaan periaatteessa kaikki vähänkin aihealueeseen kuuluvat julkaisut, muistiot, standardit, tutkimustulokset, seminaariraportit, lehtiartikkelit ja muut teokset. Luetteloituja teoksia on yhteensä yli tuhat.

Kaikista luetteloiduista teoksista on esitetty vähintään perustiedot tekijöistä ja teoksen kustantajasta tai painopaikasta, vuosiluku, mahdollinen ISBN- tai muu tunnistenumero, sivumäärä ja mahdollisesti soveliaat luvut (kappaleet) ja teoksen sijaintitiedot. Tämä kirjallisuushaku on kokonaisuutena lähdeosa jatkotutkimuksille.

Esiselvityksen kirjallisuustutkimusosuus on lähinnä lähdeosa suunniteltaessa ratarakenteen instrumentointia. Luetteloon on koottu instrumentointiin liittyviä tutkimusraportteja, muistioita ja muita teoksia, joista on hyötyä myöhemmin sekä instrumentointisuunnitelmaa että varsinaisia mittauksia tehtäessä.

3. RAUTATIELIIKENTEEN AIHEUTTAMA TÄRINÄ

Rautatieliikenteen aiheuttamaa tärinää on tutkittu useissa kohteissa rataverkolla. Olemassa olevalla rataverkolla tärinäasioiden käsittely jakaantuu maankäytön suunnittelua tukevaan tärinän riskikartoitukseen, tärinän vaikutusalueen laajuuden kartoittamiseen sekä tärinähaitan suuruuden mittauksiin. Rautatieliikenteen aiheuttamaa tärinää käsittelevässä kirjallisuustutkimuksessa esitetään lyhyesti tärinän syntymistä ja kulkeutumista. Tässä tutkimushankkeessa pääasiallinen mielenkiinnon kohde on kuitenkin ollut raskaampien akselipainojen vaikutus tärinän muodostumisessa ja tärinän vaimentamiseen käytettävät rakenteet ja menetelmät.

Tutkimusraportti ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 3/1999 (ISBN 952-445-019-4, ISSN 1455-2604, 37 sivua) nimellä: **Rautatieliikenteen aiheuttama tärinä, 250kN:n ja 300 kN:n akselipainot.**

Maankäytön suunnitteluun liittyvistä riskikartoituksista, tärinämittauksista ja tärinän paikkakuntakohtaisista tilannekartoituksista on laadittu useita raportteja, joita ei ole julkaistu RHK:n tutkimussarjajulkaisuina, mutta joita tässä referoidaan.

Tutkimusten päätelminä raskaiden akselipainojen vaikutuksesta tärinään ja tärinän vaimentamiseen käytettävistä menetelmistä voidaan todeta seuraavaa:

- Raskaan tavaraliikenteen vaikutus tärinän aiheuttajana on kiistaton, mikä on todettu Suomessa tehdyissä mittauksissa.
- Akselipainojen, pituusmassan ja junan pituuden kasvattaminen lisää tärinää. Paikallisten olojen vaihtelun takia kaikki tutkimustulokset eivät ole yhdenmukaisia.
- Tärinän suuruuden paikallisiin vaihteluihin vaikuttavat liikkuvan junakaluston ja ratapenkereen ominaisuuksien lisäksi muun muassa pohjaolosuhteet, rakennusten perustamistapa, kerrosten lukumäärä ja rakennusten sijainti.
- Rautatien perustaminen paaluille eliminoi tärinän lähes kokonaan.
- Tärinän vaimentaminen tai sen leviämisen estäminen on yleensä parasta tehdä mahdollisimman lähellä tärinän syntylähdettä.
- Tärinän vaimentamista suunniteltaessa on paikalliset olot tunnettava erittäin hyvin.
- Kaiken tärinän eliminoiminen on sekä taloudellisesti että teknisesti käytännössä mahdotonta.

RHK osallistuu yhteispohjoismaiseen ”Joint Nordic Railway Vibration Research Project – NORDVIB” tärinätutkimukseen. Rautatieliikenteen aiheuttamat ympäristötärinän tutkimukset jatkuvat rataverkolla.

4. SILLAT

4.1 Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa on alustavasti selvitetty Rautaruukki (Raahe) – Haaparanta -rataosuudella olevien siltojen (yht. 145 kpl) kantavuutta yleispiirustusten ja muutaman sillan laskelmien pohjalta. Tarkastelussa on käytetty kuormakaaviota α^*LM71 ja nykyisiä mitoitushjeiden kuorma- ja materiaaliosavarmuuskertoimia. Tutkimusraportissa esitetty kuormakaavio VR-98 on tutkimusraportin valmistumisen jälkeen muutettu sitä vastaavaan yleiseurooppalaiseen α^*LM71 kuormakaavioon. Tarkastelussa on selvitetty, onko sallittua akselipainoa mahdollista nostaa nykyisestä 225 kN:sta 250 kN:iin tai jopa 300 kN:iin.

Tutkimusraportti ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 7/1999 (ISBN 952-445-026-7, ISSN 1455-2604, 23 sivua) nimellä: **Rautatiesiltojen luokittelu ja inventointi rataosuudella Rautaruukki – Haaparanta akselipainojen korottamista varten.**

Kun huonokuntoiset sillat seulotaan siltojen päätarkastustoiminnassa, 250 kN:n akselipainon käyttönotolle ei ole esteitä. Tarkastelun tuloksena sillat on jaettu riskiluokkiin, joiden pohjalta silloille on löydetty kriteereitä eri asteisia korjaus-, kunnossapito- ja uusimistoimenpiteitä varten. Uusi kuormakaavio α^*LM71 olisi otettava käyttöön suunnittelussa mahdollisimman pian.

Kun tarkastellaan siltojen kapasiteettia α^*LM71 kuormakaaviolla nykyisillä mitoitushjeiden kuorma- ja materiaaliosavarmuuskertoimilla, työ osoittaa, että rataosuuden Rautaruukki – Haaparanta rautatiesilloista 44 % kuuluu sellaiseen riskiryhmään, jolle ei voida sallia akselipainojen korotusta 300 kN:iin, 27 % rautatiesilloista on tarkistettava ennen akselipainojen korotusta ja 29 % rautatiesilloista ei vaadi toimenpiteitä. Rataosuuden siltojen yhteenlasketun siltapituuden mukaan jaoteltuna prosenttiosuudet ovat vastaavasti 16 %, 49 % ja 35 %.

Jos olemassa olevan rakenteen kantavuuden tarkastelussa käytetään kuormina ominaisjunia kuormakaavioiden sijasta ja kuormalle pienempiä osavarmuuskertoimia, prosenttiosuudet muuttuvat seuraavasti: rautatiesilloista 20 % kuuluu sellaiseen riskiryhmään, jolle ei voida sallia akselipainojen korotusta 300 kN:iin, 55 % rautatiesilloista on tarkistettava ennen akselipainojen korotusta ja 25 % rautatiesilloista ei vaadi toimenpiteitä.

4.2 Yleiset kriteerit, toimenpiteet ja havainnot

Jos alusrakenteista eli perustuksista ei löydy laskelmia, sillalle on syytä tehdä erikoistarkastus, jolla rakenteen kunto ja mahdollisten puupaalujen kantavuus selvitetään tarkemmin. Rataosan siltojen väsytykspasiteettiin vaikuttaa rakenteen materiaalimittojen lisäksi bruttotonnimäärä, joka on kuormittanut rakenneosaa sen eliniän aikana. Rautatiesiltojen suunnitteluohjeessa jännityskertymän arvoa laskettaessa lähtöarvoksi on oletettu 100 vuoden kestoiälle liikennemääräksi 19 miljoonaa bruttotonnia/raide/vuosi vuosien 1975 – 2000 ominaisjunille. Rataosalla Rautaruukki – Haaparanta kertyneet bruttotonnimäärät ovat huomattavasti pienemmät. Lisäksi vuosisadan alkupuolen ominaisjunien pienempien akselipainojen vuoksi niiden väsyttävä vaikutus on pienempi kuin vuosisadan loppupuolen ominaisjunilla. [VTT:n raportti 1570 Terässiltojen käyttöikä, sivu 21]

Suunnittelukuorman ja kertyneen bruttotonnimäärän vaikutus voidaan ottaa huomioon *ENV 1993-2, Eurocode 3, Part 2* esitetyllä tavalla. Niillä rataosuuksilla, joilla 250 kN:n akselipaino on jo käytössä, kunnossapito- ja tarkastustoimenpiteitä on tehostettava silloilla, jotka on mitoitettu I-48 tai vanhemmalle kuormakaaviolle sillan kunnan ennenaikaisen heikkenemisen havaitsemiseksi. Jos sillan laskennallinen kantavuus on saavutettu suunnittelukuormilla, käyttökuorman kasvattaminen vaatii sillan vahvistamista tai uusimista.

Vanhojen siltojen korjaamisessa ja uusien siltojen suunnittelussa tulisi kuormakaavio α^*LM71 ottaa pikaisesti käyttöön. Korjaussuunnittelussa vanhojen siltojen kantavuus tulee tarkastaa kuormakaaviolle α^*LM71 . Akselipainot ovat aina olleet nousussa rautateiden olemassaolon aikana. Varautuminen esim. 30 % suurempiin akselipainoihin nostaa sillan rakennuskustannuksia vain noin 3 %. Jos vielä otetaan huomioon liikenteenhoitokustannukset rakennustyön aikana, kokonaiskustannusten nousu on tätäkin pienempi. Sillaston uusiminen ja korjaaminen vie aikaa, mikä on otettava huomioon päätettäessä 300 kN:n akselipainon sallimisesta rataverkolla liikennöivällä kalustolla.

Siltatyypit ja rakenneosat, jotka vaativat kantavuuden tarkempaa selvittämistä:

- Vanhojen teräksisten siltojen poikkipalkit ja sekundääriset pituuskannattimet, joille on pitkän eliniän aikana tullut suuri vaihtojännityskertymä.
- Vanha yksiaukkoinen laattakehäsilta; rakenteet saattavat vaatia vahvistamista.
- Vanhat laakerialustat tai laakerit, erityisesti lyhyissä silloissa.

Siltatyypit ja rakenneosat, jotka vaativat merkittäviä vahvistamistoimenpiteitä tai rakenteiden uusimista, jos akselipaino nostetaan 300 kN:iin (mitoitusteruste α^*LM71):

- 1-aukkoinen teräsbetonisilta, joka on mitoitettu I-48 tai vanhemmalle kuormakaaviolle ja jonka jännemitta on alle 15 m.
- 1-aukkoinen terässilta, joka on mitoitettu I-26 tai vanhemmalle kuormakaaviolle ja jonka jännemitta on alle 27,5 m.
- 1-aukkoinen terässilta, joka on mitoitettu I-48 –kuormakaaviolle ja jonka jännemitta on alle 17,5 m.
- 1-aukkoinen teräsbetoni- tai terässilta, joka on mitoitettu VR-74 –kuormakaaviolle ja jonka jännemitta on alle 5 m.
- Vanhat perustukset, usein ns. ”kallmur”, joista ei löydy laskelmia.
- Paalutetut maatukirakenteet, joissa paaluryhmässä on pääasiassa pystysuoria puupaaluja.

Siltatyypit ja rakenneosat, jotka saattavat vaatia merkittäviä vahvistamistoimenpiteitä tai rakenteiden uusimista akselipainon ollessa nykyinen 250 kN (mitoitusteruste VR-74):

- 1-aukkoinen teräsbetonisilta, joka on mitoitettu I-48 tai vanhemmalle kuormakaaviolle ja jonka jännemitta on alle 6 m.
- 1-aukkoinen terässilta, joka on mitoitettu I-26 tai vanhemmalle kuormakaaviolle ja jonka jännemitta on alle 22,5 m.
- 1-aukkoinen terässilta, joka on mitoitettu I-48 –kuormakaaviolle ja jonka jännemitta on alle 10 m.
- Vanhat perustukset, usein ns. ”kallmur”, joista ei löydy laskelmia.
- Paalutetut maatukirakenteet, joissa paaluryhmässä on pääasiassa pystysuoria puupaaluja.

4.3 Jatkotoimenpiteet

Tarkastelu osoittaa, että rataosan Rautaruukki (Raahe) – Haaparanta siltojen käyttökelpoisuus 250 kN:n akselipainoille on melko hyvä. Ennen kuin raskaampia akselipainoja siirrytään käyttämään, osalle silloista tulee tehdä kantavuuden laskennallinen tarkastelu sekä erikoistarkastus. Selvitysten tekemiseksi tarvitaan olemassa olevien rakenteiden kapasiteetin laskentaohjeet.

Kapasiteettiselvityksen tulee sisältää ainakin seuraavat kohdat:

- erikoistarkastukset
- materiaalikokeet kantavista rakenteista otetuista näytteistä
- rakenteen mittojen tarkistaminen
- kantavuuksien tarkemmat laskennalliset selvitykset
- väsymistarkastelut ja jäljellä olevan käyttöiän arviointi

Sysäyskertoimen vaikutuksen osuus on suuri mitoituskuormassa. Kaluston ominaisuuksia parantamalla voidaan pienentää sysäyslisää. Sysäyslisä on pienempi myös hyvässä kunnossa olevalla raiteella. Vanhojen tukikerroksettömien terässiltojen osalta raiteen ominaisuuksia voidaan parantaa teräsrakenteen ja pölkyn väliin laitettavalla vaimennuksella. Vanhoissa terässilloissa erityisesti sekundäärirakenteiden kapasiteettia voitaisiin nostaa tällä keinolla. Tätä tekniikkaa tulee kehittää.

5. LIIKKUVA KALUSTO

Liikkuvaa kalustoa käsittelevässä kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin akselipainojen mahdollisen noston vaikutuksia liikkuvan kaluston aiheuttamiin dynaamisiin kuormituksiin sekä itse liikkuvaan kalustoon.

Raportti ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 3/2000 (ISBN 952-445-031-3, ISSN 1455-2604, 62 sivua) nimellä: **Liikkuvan kaluston kirjallisuustutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot.**

Juna aiheuttaa sekä pysty- että vaakasuuntaisia dynaamisia voimia, jotka kaikki välittyvät rataa noin peukalonpään kokoisten kosketuspinta-alojen kautta. Pystysuunnassa dynaamista kuormitusta aiheuttavat kiskon ja pyörän virheet sekä radan jäykkyyden vaihtelu pituussuunnassa. Pyörä-kisko -kosketuskuormalla on kaksi dynaamista päätyyppiä. Matalataajuinen (alle 10 Hz) kuormitus johtuu kosketuspisteen siirtymisestä eteenpäin junan nopeudella. Korkeataajuinen kuormitus johtuu kiskon ja pyörän epäsäännöllisyyksistä, joista merkittävin on pyörässä oleva lovi. Loven voimavaikutus on likipitään suoraan verrannollinen ja karkeasti arvioiden 2...4 -kertainen staattiseen kuormaan nähden. Akselipainon noustessa on suhtauduttava erittäin kriittisesti lovipyörien esiintymiseen.

Tutkimuksen tuloksina voidaan esittää mm. seuraavaa:

- Loven vaikutuksen suuruus riippuu loven pituudesta, pyöräkuormasta, jousittamattomasta massasta, ajonopeudesta ja radan joustosta.
- Kiskon kestävyys junakuorman aiheuttaman taivutusväsytyksen suhteen voidaan laskea, mutta vaikuttavia parametrejä on paljon ja niitä on vaikea määritellä tarkasti.
- 250 kN:n ja 300 kN:n akselipaino edellyttää uutta kalustoa, jonka aiheuttama dynaaminen kuormitus tulee selvittää kalustoa tyyppihyväksyttäessä, jolloin määritetään myös suurimmat sallitut nopeudet.
- Pyörän ja kiskon lujittaminen erikoispinnoitteella on ruotsalaisten kokemusten mukaan osoittautunut hyväksi menetelmäksi.

Kehittyneiden telityyppien vaikutukset kulkuvastuksiin ja veturin energiankulutukseen tulee selvittää. Myös junan kulkuominaisuuksien tarkastelu simuloinnin avulla voisi olla hyödyllinen jatkotutkimusaihe. Erityisesti pyrittäisiin hankkimaan tietoa pyörä/kisko-kosketuksessa vaikuttavista voimista. Työ olisi sopivinta aloittaa tutustumalla ulkomaisiin simulointitutkimuksiin.

6. TUKIKERROS JA ALUSRAKENNE

Kirjallisuusselvityksen tavoitteena oli tehdä yhteenveto sallittujen akselipainojen noston vaikutuksista radan tukikerrokseen ja sen alla olevaan alusrakenteeseen. Sepelitutkimuksen tarkoituksena oli kirjallisuuden ja omien testitulosten perusteella arvioida edullisimman raidesepelilaadun valintaa, kun erilaiset kestoajat ja hankintakustannukset otetaan huomioon.

Tutkimusraportti ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 6/1999 (ISBN 952-445-025-9, ISSN 1455-2604, 135 sivua) nimellä: **Radan tukikerroksen ja alusrakenteen kirjallisuustutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot.**

Lisäksi sepelitutkimus ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 4/2000 (ISBN 952-445-032-1, ISSN 1445-2604, 93 sivua) nimellä: **Raidesepelin lujuuden vaikutus tukikerroksen kestoikään.**

Tukikerroksen osalta keskeisiä tutkimusaiheita olivat raidesepelin jauhautuminen ja siihen vaikuttavat seikat sekä elinkaaritiloudellisesti edullisimman sepelilaadun valinta eri liikennemäärillä. Alusrakenteessa selvitys painottui rakennekerrosten materiaalien laatuvaatimukseen, rakennekerrosten dimensioille asetettaviin vaatimukseen sekä rakennekerrosten materiaalien mekaanista käyttäytymistä kuvaavien mallien ja niiden tyypillisten parametrien kartoittamiseen. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin ratarakenteissa käytettävien routalevyjen laatuvaatimuksia sekä asfaltin käyttömahdollisuuksia ratarakenteissa.

Molempien tutkimusten päätelminä voidaan todeta, että

- Raidesepelin jauhautumista voidaan vähentää seuraavilla toimenpiteillä:
 - Minimoidaan tukikerrokseen kohdistuva iskevä rasitus, jota syntyy kisko-jatkoksissa, huonoissa hitsiliitoksissa, epätasaisella raiteella, vioittuneissa raiteen kohdissa sekä kuluneista pyöristä.
 - Minimoidaan raiteen tukeminen. Minimoidaan ratapenkereen ja pohjamaan painuminen ja siten syntyvä tukemistarve.
 - Minimoidaan rata-asennusvaiheessa joutuvan sepelin sisältämän hienoaineksen määrä ja varmistetaan, että rakeisuusjakauma tarjoaa riittävän huokos-tilan.
 - Käytetään jäykkää kiskoa.
 - Käytetään kovaa ja sitkeää kiviainesta, joka ei ole altis rapautumiselle.
 - Käytetään muodoltaan kuutiomaista kiviainesta.
 - Minimoidaan pääasiassa avovaunuista kulkeutuva hienoaines.
 - Varmistetaan riittävällä tukikerrospaksuudella ja välikerroksen rakeisuudella, ettei alusrakenne pääse tunkeutumaan tukikerrokseen.
 - Varmistetaan tukikerroksen hyvä kuivatus.
- Raidesepelin jauhautuminen nopeutuu, jos puuratapölkyistä siirrytään betoni-pölkyihin.
- Rataosan kumulatiivisella liikennemäärällä on todettu olevan suurin vaikutus raidesepelin jauhautumiseen ja siten tukikerroksen kestoikään.

- Korkealaatuisella sepelillä saavutetaan tukikerrokselle pidempi kestoikä, mutta yleensä hankintakustannuskin kasvaa. Rataosalle valittavan raideseppelin lujuusluokka tulisi valita sepelitarjoustun elinkaarikustannusvertailun pohjalta.
- Raideseppelin kuljettaminen kaukaakin saattaa olla elinkaaren kokonaiskustannusten kannalta järkevin ratkaisu, jos rataosalla on suuri vuotuinen liikennemäärä. Vähän liikennöidyillä rataosilla hankintakustannuksiltaan halvin sepeli on usein myös kokonaistaloudellisin.
- Yhdysvaltalaisien ja ruotsalaisten tutkimusten perusteella akselipainon korottaminen 250 kN:sta 300 kN:iin ja edelleen 350 kN:iin ei lisää merkittävästi sepelin jauhautumista, jos kumulatiivinen liikennemäärä ei kasva ja sepeli on lujaa, kuten Suomessa yleensä on.
- Korotettujen akselipainojen käyttöönotto korostaa tarvetta käsitellä rata-rakennetta kokonaisuutena, jossa alus- ja päällysrakenne ovat keskenään tasapainossa ja jossa kunkin kerroksen materiaalit vastaavat lujuudeltaan ja rakeisuudeltaan korotettujen akselipainojen asettamia vaatimuksia.
- Akselipainon noston vaikutus alusrakennekerrokseen on merkittävin välikerroksessa ja eristyskerroksen yläosassa. Tästä syystä olisi syytä harkita välikerroksen paksuuden kasvattamista nykyisestä 150 mm:stä. Niin ikään tulee välttää rakeisuusjakautumaltaan hyvin tasarakeisten, kuormituskestävyydeltään heikkojen sekä rapautumisalttiiden kiviainesten käyttöä eristyskerroksen yläosassa.
- Pohjoismaisia olosuhteita vastaava routamitoitus takaa riittävän alusrakennekerrosten paksuuden kaikkia ajateltavissa olevia akselipainoja varten.
- Radan pengerveveys tulee muuttaa Ratateknisten määräysten ja ohjeiden (RAMO) osan 3 ”Radan rakenne” mukaiseksi ennen akselipainojen korottamista 250 kN:iin. Pengerlevyyden riittävyyttä yli 250 kN:n akselipainoille tulisi tutkia tarkemmin.
- Asfalttisilla rakenteilla on useita hyviä ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää rata-rakenteissa. Asfalttisten ratarakenteiden käyttäytymistä Suomen oloissa on kuitenkin vielä tutkittava lisää. Erityisesti talven vaikutuksista ei ole riittävästi tietoa.
- Ratapenkereen pystysuuntaista jäykkyyttä (’track modulus’) voidaan mallintaa suhteellisen yksinkertaista lineaarista kerrosrakennemallia käyttäen. Rakennekerrosten mekaanista käyttäytymistä kuvaavat materiaaliparametrit tulee tällöin kuitenkin tuntea jännitystasosta riippuvina.
- Ratapenkereen leveyden vaikutuksen mallintaminen edellyttää sen sijaan kehittyneempien laskentamenetelmien – lähinnä elementtimenetelmän eli FEM:n – käyttöä. Tällöinkin mallinnuksen tulos tulee kalibroida todellisten rakenteiden käyttäytymisestä ja mahdollisesti myös nimenomaan tähän tarkoitukseen suunniteltujen instrumentointikohteiden toiminnasta tehtävien havaintojen avulla.

7. RUMMUT

7.1 Rumpujen maast selvitys

Tutkimusraportti ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 8/1999 (ISBN 952-445-027-5, ISSN 1455-2604, 27 sivua) nimellä: **Ratarumpujen maast selvitys, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot.**

Tämä tutkimuksen ensimmäinen vaihe toteutettiin siten, että Oulun ja Kemin rata-alueiden rummut luetteloitiin rumpukortistojen perusteella. Alustavan selvitystyön jälkeen rumpuihin käytiin tutustumassa Rautaruukki Oyj:n Raahen ratapihan ja Tornion välisellä rataosuudella.

Tutkimuksen ensimmäisen vaiheen perusteella voidaan raskaiden akselipainojen vaikutusta arvioida seuraavasti:

- Kaikki rummut ovat yksilöitä, vaikka selvää säännönmukaisuutta samantyyppisillä rummuilla onkin havaittavissa.
- Vanhoista rummuista on vaikea tai jopa mahdoton sanoa mitään perusteellisia kommentteja. Erityisesti betoniputkilla jatkettujen kivirumpujen sisäosien kuntoa on hankala määrittää.
- Kivirummut tuntuivat olevan pääsääntöisesti hyvässä kunnossa. Ruotsalaisella malminradalla myös kivirumpujen kivet ovat liikkuneet raskaiden akselipainojen vaikutuksesta ja aiheuttaneet muun muassa sepelin valumista rumpuun.
- Betonirakenteet olivat paikoin melko huonossa kunnossa.
- Rumpujen perustamisratkaisuja ei voida yleensä arvioida silmämääräisesti. Useimmiten perustaminen on ilmeisesti tehty soralle.
- Rumpukortistojen tiedot eivät välttämättä ole täsmälleen oikeita. On jopa mahdollista, että joitain rumpuja ei ole luetteloitu lainkaan.
- Akselipainon noston vaikutusta jopa hyvin tunnetun ja dokumentoidun rummun käyttäytymiseen on erittäin hankala arvioida.

Rautaruukki – Tornio -rataosuuden osalta voidaan todeta seuraavaa:

- Jos Rautaruukki – Tornio -rataosuudella aiotaan joskus ajaa nykyistä raskaammilla akselipainoilla, kaikki rummut on syytä tutkia. Käytännössä tärkeintä on toteuttaa kävelytarkastus erityisen huolellisesti. Kävelytarkastusten perusteella huomataan vaurioituvat rummut ja voidaan varautua korjauksiin.
- Kävelytarkastus ei ole yksin riittävä rumpujen kunnan seuraamiseksi. Rummuille tulee siltatarkastusten tapaan tehdä päätarkastus noin 10 vuoden välein. Tarkastuksen raportointia on tarpeen tehostaa. Rumpujen tarkastusjärjestelmää ja rumpurekisteriä tulee kehittää.

- Rumpujen korjaussuunnittelun ohjeistusta tulee kehittää. Rumpujen rakenteellisiin laskelmiin ja mallinnukseen perustuvan tutkimuksen tulee varmistaa rakenteiden kantavuus myös nykyistä raskaammille akselipainoille.

7.2 Rumpuja koskevat jatkotutkimukset

Rumpujen maastaselvityksen jälkeen tutkimusta jatkettiin yhteistyönä Banverketin (BV), Jernbaneverketin (JBV) ja RHK:n kesken. Tätä yhteistyötä varten laadittiin selvitys yleisimmistä suomalaisista ratarumpputyypeistä, rakenteista ja materiaaleista.

Raportti ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 2/2000 (ISBN 952-445-030-5, ISSN 1455-2604, 36 sivua) nimellä: **Bantrummor**.

Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa rumpurakenteet ovat hyvin samantyyppisiä, kuten myös rumpujen rakentamiseen ja kunnossapitoon liittyvät ongelmat. Mahdollisimman kattavan kokemuspohjan keräämiseksi kustakin maasta kootaan rumpujen mitoittamiseen, rakenteeseen, korjaamiseen ja kunnossapitoon liittyvä tietous, jonka pohjalta todetaan mahdolliset tutkimustarpeet. Tavoitteena on lopulta tuottaa yhteispohjoismaisia ohjeita rumpujen mitoittamisesta, rakentamisesta ja kunnossapidosta tai ainakin hyödyntää ohjeiden tuottamisessa paras mahdollinen pohjoismaainen kokemus ja ehkäistä mahdollisesti samojen virheiden tekeminen uudestaan. Yhteistyön myötä kussakin maassa saatavilla oleva rumputietous jo valmiista tai meneillään olevista tutkimushankkeista tarjotaan yhteiseen käyttöön. Tuotettujen selvitysten perusteella arvioidaan mahdollisten täydentävien tutkimusten tai koerakentamisen tarvetta.

Esiselvityksen perusteella Suomessa on käynnistetty jatkotutkimus. Tutkimuksen tavoitteena on betoniputkirummusta tehtävien muodonmuutosmittausten ja mittaustulosten matemaattisen mallinnuksen avulla selvittää erisuuruista junakuormista erilaisissa asennusolosuhteissa rumpurakenteelle aiheutuvia rasituksia. Tämän perusteella arvioidaan ratarumpujen rakenteellista kestävyyttä niiden todellisissa kuormitusolosuhteissa.

Tutkimuksessa on tähän mennessä tehty kenttämittauksia Viialassa sijaitsevalla koe-kohteella, jossa mitattavina suureina ovat betonirummun muodonmuutosten lisäksi olleet penkereen sisällä vallitsevat maanpaineet ja venymät, kiskoihin kohdistuvat pystyvoimat sekä yhden ratapölkyn pystysuuntaiset liikkeet. Mittaustuloksia analysoidaan elementti-menetelmään perustuvia tietokonesimulaatioita apuna käyttäen sekä nykyisin sallituissa että 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainoja vastaavissa kuormitustapauksissa. Ruotsissa on vastaavasti meneillään pienimuotoisempi selvitys malmiradan kivirumpujen muodonmuutoksista 300 kN:n suuruisten akselipainojen alaisina.

Suomessa parhaillaan toteutettavasta rumpututkimuksesta sekä yhteispohjoismaisesta selvityksestä saatujen tietojen perusteella laaditaan myöhemmin yleiset työselitykset rumpujen rakentamisesta, korjaamisesta (esim. jatkamistekniikoista), kunnossapidosta sekä tarkastamisesta.

8. INSTRUMENTOINTI JA MALLINNUS

Instrumentointisuunnitelmassa selvitettiin Kouvolan ja Korian väliselle rataosuudelle km 187+580 kohdalle kesällä 1999 tehdyn ratarakenteen instrumentoinnin menetelmiä, työvaiheita, kustannuksia ja tulosten käsittelyä.

Tutkimusraportti ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 4/1999 (ISBN 952-445-020-8, ISSN 1455-2604, 30 sivua) nimellä: **Ratarakenteen instrumentointi- ja mallinnus-suunnitelma, 250kN:n ja 300 kN:n akselipainot.**

Suunnitelman mukaisen instrumentoinnin tavoitteena oli saada tietoa erisuuruisten juna-kuormien ratarakenteelle aiheuttamista rasituksista ja niiden jakautumisesta ratapenkereessä. Mittausten perusteella testataan raiteen ja ratapenkereen mallinnuksen toimivuutta ja oikeellisuutta ja myöhemmin arvioidaan mahdollisuuksia ottaa käyttöön 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot.

Tutkimusraportti ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 5/2000 (ISBN 952-445-033x, ISSN 1455-2604, 137 sivua) nimellä: **Ratarakenteen instrumentointi ja mallinnus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot.** Tästä raportista tehtiin myös suurelta osin käännös englanniksi. Se ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 10/2000 (ISBN 952-445-042-9, ISSN 1455-2604, 99 sivua) nimellä: **Instrumentation and modelling of Track Structure, 250 kN and 300 kN axle loads.**

Päätelmät

Yleisesti ottaen Korian instrumentointikohteessa tehtyjen mittausten tulosten ja niiden tähänastisten analysointien voidaan katsoa vahvistavan tukikerrosta ja alusrakennetta käsitelleen kirjallisuusselvityksen yhteydessä tehtyjä päätelmiä. Niinpä koekohteen instrumentoinnin ja alustavan mallinnuksen perusteella voidaan todeta seuraavaa:

- Lineaariseen kerrosrakennemalliin perustuva kvasistaattinen ratapenkereen pystysuuntaisen jäykkyyden mallinnus vastaa hyvin instrumentointikohteessa mitattua todellisen ratapenkereen käyttäytymistä. Rakennekerrosten materiaalien ja pohjamaan mekaaninen käyttäytyminen tulee tällöin kuvata jännitystason vaikutuksen huomioon ottavalla materiaalimallilla, jonka parametrit on määritetty todellista kuormitustilannetta vastaavalla jännitys- ja muodonmuutostasolla tehtyjen laboratoriomäärityksien perusteella.
- Pitkäaikaisessa toistokuormituksessa stabiliteetiltaan riittävän pengerleveyden määrittäminen erisuuruisia akselipainoja varten on selvästi vaativampi tehtävä kuin ratapenkereen pystysuuntaisen jäykkyyden mallintaminen. Vaikka ongelmaan ei tähän mennessä tehtyjen mallinnustarkastelujen perusteella olekaan esitettävissä suoraviivaista ratkaisumallia, instrumentointikohteesta saadut mittaustulokset antavat kuitenkin selvää viitettä siitä, että suurilla akselipainoilla tiettyihin osiin ratapengertä kehittyy vaakasuuntaisia syklisiä vetomuodonmuutoksia. Mitä suurempina nämä vetomuodonmuutokset toistuvat, sitä suurempi osa niistä jää väistämättä myös palautumattomiksi. Se näkyy ratapenkereen vähittäisenä latistumisena.

Jatkotutkimustarpeet

Ratapenkereen mekaanista toimintaa kuvaavien mallinnustarkastelujen soveltamiskohteista ja näihin liittyvistä jatkotutkimustarpeista voidaan vastaavasti todeta seuraavaa: .

- Tähänastisten mallinnustarkastelujen perusteella näyttäisi siltä, että ratapenkereen pystysuuntaisen jäykkyyden kuvaamiseen olisi mahdollista rakentaa mallinnusympäristö, jonka avulla rakenteeltaan tunnettujen ratapenkereiden pystysuuntaista jäykkyyttä ja sen vaikutusta muun muassa raiteen rakenneosiin kohdistuviin rasituksiin on mahdollista ennakoida laskennallisesti. Likimääräisen tuloksen saamiseksi tulee ratapenkereestä tuntea tällöin vähintään rakennekerrosten paksuudet ja rakeisuusjakautumat sekä pohjamaan maalaji ja tiiviys. Tarvittaessa arviota voidaan tarkentaa rakennekerrosten materiaaleille ja pohjamaalle tehtävin laboratoriokelein. Mallinnusympäristön käytännön toteuttamisessa tulisi ensisijaisesti selvittää mahdollisuudet hyödyntää ratarakenteen nykyisiä mallinnusohjelmistoja (esim. GEOTRACK), jotta hankkeeseen liittyvät ohjelmistokehitystyöt eivät muodostuisi laajuudeltaan kohtuuttomiksi.
- Pengerleveyden riittävyteen liittyviä tarkasteluja ehdotetaan ensi vaiheessa jatkettaviksi kehittyneempien mallinnustyökalujen – lähinnä elementtimenetelmän – käyttöön perustuvalla teoreettisella tarkastelulla. Tämän avulla pyritään muodostamaan selkeä käsitys toistokuormitetun ratapenkereen fysikaalisesta toimintatavasta ja ratapenkereen stabiliteetin kannalta kriittisten kohtien sijainnista. Tämän jälkeen teoreettisen mallinnuksen tuloksia voitaisiin soveltaa nimenomaan pengerleveyden vaikutukseen liittyvien tarkastelujen verifiointia palvelevan erillisen instrumentointikohteen yksityiskohtaiseen suunnitteluun.
- Toinen mittausjakso ehdotetaan toteutettavaksi Korian instrumenttikohteessa kesällä 1999 tehtyjen mittausten täydennykseksi. Mittausten aikana ratapenkereen tulisi olla pääosin jäässä. Tällöin tulosten perusteella olisi mahdollista arvioida, kuinka radan rakennekerrosten jäätymisestä aiheutuva jäykkyyden kasvu vaikuttaa mm. raiteen rakenneosiin kohdistuviin rasituksiin ja radan ympäristöön leviävän tärinän voimakkuuteen. Talvimittaukset antaisivat myös luotettavamman perustan erotella pohjamaassa tapahtuvien muodonmuutosten osuutta kesän 1999 mittauksissa havaituista ratapenkereen kokonaisuudonmuutoksista. Jotta uusi mittausjakso voidaan toteuttaa, penkereen sisään asennettujen mittausinstrumenttien on luonnollisesti pitänyt säilyä toimintakuntoisina uuden mittausjakson toteutusajankohtaan asti. Instrumentointi on raiteen osalta rakennettava uutta mittausjaksoa varten uudelleen.

9. ROUTALEVYT

9.1 Esiselvitys routalevyistä

Tutkimus toteutettiin siten, että routalevy- ja raidesepelinäytteitä kaivettiin esille Turengin ratapihalta. Lisäksi radassa olevien routalevyjen sijaintipaikkoja kartoitettiin yhteistyössä Oy VR-Rata Ab:n kanssa. Routalevyistä ei julkaistu esiselvitysraporttia.

Routalevyistä ja mahdollisten raskaiden akselipainojen vaikutuksesta voidaan routalevytutkimuksen perusteella todeta seuraavaa:

- Kaikki käytössä olevat routalevyt eivät kestä nykyisiääkään akselipainoja rikkoutumatta ja kostumatta, sillä asennettuna on myös tuotanto-ongelmista kärsineitä levyjä.
- Routalevyn asennustapa, -syvyys ja suojaus vaikuttavat ilmeisen paljon levyn pinnan kestävyYTEEN. Raskaammat akselipainot saattavat nopeuttaa levyn pintarakenteen rikkoutumista.
- Raidesepelin hienontuminen kerää kosteutta levyjen pintaan.

Routalevytutkimusta jatkettiin ottamalla näytteitä Siilinjärvellä ja Inkeröisissä. Jatko-tutkimus raportoitiin esiselvityksen liitteessä. Seuraavassa jatkotutkimuksen huomioita:

- Syvimmällä ratarakenteessa sijainneet levyt olivat säilyneet ehjimpinä.
- Huomattavaa oli, että jo yhdessä vuodessa levyjen pinta rikkoontuu ja vesi pääsee tunkeutumaan levyyn, minkä seurauksena levyn lämmöneristyskyky heikkenee imeytyvän vesimäärän suhteessa.
- 19 vuotta vanhat levyt eivät toisaalta olleet ollenkaan niin huonossa kunnossa kuin pelättiin vaan pikemminkin päinvastoin. Kaksikerrosrakenne ja hiekkasuojaus ylläpitävät eristeen toimintakykyä hyvin. Toisaalta myöhemmän tutkimuksen perusteella todettiin kahden päällekkäisen levyn vettyvän enemmän kuin yhden, paksuudeltaan kahta levyä vastaavan levyn.

Routalevyjen nykytilasta ei saada varmaa tietoa pienen näyttemäärän avulla, koska asennettuna on usean valmistajan levyjä ja eri tuotantomenetelmillä valmistettuja levyjä. Routalevyjen kunnan kartoittamista jatketaan tutkimalla eri ikäisiä ja eri valmistajien routalevyjä.

9.2 XPS-routalevyjen teknisiä toimitusehtoja koskeva tutkimus

Routalevytutkimusta jatkettiin XPS-routalevyjen teknisiä toimitusehtoja koskevalla tutkimuksella. Tutkimus keskittyi uusille routalevyille asetettavien teknisten toimitusehtojen edellyttämiin teoreettisiin ja kokeellisiin tutkimuksiin.

Tutkimusraportti ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 2/2001 (ISBN 952-445-047-x, ISSN 1455-2604, 97 sivua) nimellä: **XPS-routaeristelevyt ratarakenteessa, 250kN:n ja 300 kN:n akselipainot.**

Kirjallisuustutkimuksen, radasta otettujen levynäytteiden ja niille sekä käyttämättömille näytelevyille tehtyjen laboratoriotutkimusten tuloksena voidaan esittää seuraavat päätelmät:

- Valmisteilla oleva tuotenormi, joka koskee rakentamiskäyttöön soveltuvia XPS-levyjä, tulee yksikäsitteisesti määräämään levyistä tutkittavat ominaisuudet ja tutkimusmenetelmät. Valmistaja on myöhemmässä vaiheessa vastuussa tuotteensa saattamisesta normin mukaiseksi ja siten CE-merkintään oikeutetuksi.
- Voidaan arvioida, että nykyvaatimukset täyttävään XPS-routalevyyn kertyy ratarakenteessa 0,25–0,30 tilavuusprosenttia kosteutta vuodessa. Tämän nojalla routalevyiltä edellytetyn 40 vuoden käyttöiän aikana saavutetaan 10–12 tilavuusprosentin kosteuspitoisuus. Nykyisiä ponnekaasuja käytettäessä routalevyn lämmönjohtavuuden mitoitusarvo tulee kosteuden imeytymisen myötä ylittymään käyttöiän aikana selvästi. Tämä johtuu siitä, että nykyiset ponnekaasut diffusoituvat ulos levyn soluista huomattavasti nopeammin kuin aiemmin käytetyt, otsonikatoa ja kasvihuoneilmiötä kiihdyttävät raskasmolekyylikaasut, jotka ilmaa alhaisemman lämmönjohtavuutensa ansiosta aikaansaivat alhaisemman lämmönjohtavuuden myös itse levyille
- Ratarakenteessa 3–10 vuotta olleista levyistä otettujen näytteiden perusteella voidaan todeta, että routalevyt ovat kestäneen rasituksen kohtuullisen toivotusti lukuunottamatta neljää poikkeuksellisen heikkokuntoista näytettä, jotka mitä ilmeisimmin kuuluivat jo aiemmin heikkolaatuiseksi todettuun tuotantoerään. Muiden levyjen kosteuspitoisuus vaihteli 0,9–3,4 tilavuusprosentin välillä ja niistä valituista neljästä levystä 10 °C keskilämpötilassa mitatut lämmönjohtavuudet olivat alle 0,036 W/Km. Näin voidaan todeta, että levyjen ominaisuudet ovat riittävät nykyisillä akselikuormilla.
- Tukikerroksesta levyyn tunkeutuvat raidesepelirakeet aiheuttavat painaumia routalevyjen yläpintaan. Painaumien vaikutus routalevyn toimintaan otetaan huomioon routamitoituksessa vähentämällä levypaksuudesta 10 mm. Näin ollen sepelirakeiden painaumat aiheuttavat etenkin ohuemmilla levyillä huomattavan kustannuslisän. Esim. 60 mm levyn hankintakustannuksista 17 % kuluu sepelirakeiden painaumien kompensointiin levyn ”ylimääräisenä” paksuutena. Painaumien vähentämiseksi olisi syytä ideoida tuotantokustannuksiltaan edullinen tapa pinnoittaa routalevy jäykällä suodatinkankaalla tai vahvisteverkolla.
- Levyjen asennusalustan tasaisuus ja kantavuus vaikuttavat huomattavasti levyyn muodostuvien painaumien ja halkeamien syntyyn sekä sitä kautta myös kosteuspitoisuuteen ja edelleen lämmönjohtavuuteen. Routalevyn alapuolisilta rakennekerroksilta vaaditut kantavuudet on tarpeen selvittää, jotta niihin ei toistuvan syklisen kuormituksen alaisena synny routalevyn taivutusrasitusta kasvattavia epätasaisia painaumia. Ne lisäävät nimittäin radan tukemistarvetta ja siten kustannuksia.
- Kuormitustason korottaminen routalevyyn kohdistuvaa syklistä rasitusta simuloivassa väsymiskokeessa lisäsi kokeessa muodostuvaa pysyvää kokoonpuristumaa eksponentiaalisesti. Levyn puristuslujuuden ja väsymiskokeessa muodostuvan kokoon-

puristuman välillä on suuntaa antava korrelaatio. Puristuskokeella ei kuitenkaan kokonaan voida korvata väsymiskoetta.

- Luodun laskentamallin perusteella akselikuorman korottamisesta 225 kN:sta 250 kN:iin aiheutuva routalevyn vaurioitumisen lisäys on 22 – 35 % sen mukaan, miten suuri varmuuskerroin levyyn kohdistuvalle kuormitukselle esim. puutteellisen asennussyvyyden ja dynaamisen kuormituksen takia valitaan. Vastaavalla tavalla laskettuna vaurioitumisen lisäys siirryttäessä 225 kN:sta 300 kN:n akselikuormaan on 82 – 146 %. Vaurioitumisen lisääntyminen on mahdollista estää kiristämällä levyn puristuslujuusvaatimus 500 kPa:iin siirryttäessä 250 kN:n akselikuormiin ja 600 kPa:iin siirryttäessä 300 kN:n akselikuormiin.

10. RAIDE

10.1 Yleistä

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää mahdollisen akselipainojen noston vaikutus kiskoihin, kiskonkiinnityselimiin, vaihteisiin ja pölkkyihin. Tutkimuksen yhteydessä tehtiin työmaa- ja tehdasvierailuja ja asiantuntijoiden haastatteluja kirjallisuuteen tutustumisen lisäksi. Betonisten ratapölkkyjen arviointiin kehitettiin laskentaohjelma. Tutkimusraportin alkuun liitettiin raiteen rasiuksia koskeva teoriaosa.

Tutkimusraportti ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 3/2001 (ISBN 952-445-048-8, ISSN 1455-2604, 90 sivua) nimellä: **Raidetutkimus, 250kN:n ja 300 kN:n akselipainot.**

10.2 Kiskot, kiskohitsaukset ja jatkokset

Kiskot

Kiskotutkimuksen päätelminä voidaan todeta, että:

- Akselipainojen nosto 250 kN:iin tai (300 kN:iin) on mahdollista raiteilla, joilla on 60 E 1 tai 54 E 1-kisko ja
 - jatkuvakiskoraide
 - betoniratapölkkyt linjalla ja betoni- tai kovapuupölkkyt vaihteissa
 - S-tyypin eristysjatkokset tai akselilaskentajärjestelmä
 - vaihteet, joissa on suuri kaarresäde
- 60 E 1 -kisko tekee mahdolliseksi akselipainojen noston jopa 300 kN:iin, mutta 54 E 1 -kisko vain varauksin 250 kN:iin
- Akselipainojen nosto 250 kN:iin ei ole ratapihojen ulkopuolella mahdollista, kun rataosuudella on 43 kg/m tai kevyempi kisko tai ns. lyhytkiskoraiteet. Pehmeiden kiskolaatujen kuluminen nopeutuu ja kaarreosuuksien kunnossapitotarve lisääntyy akselipainojen kasvaessa.

Kiskohitsaukset

Hitsien murtolujuutta tutkittiin Kaipiaisten kiskohitsaamon keräämien ja Kouvola – Inkeroinen -rataosuudelta sekä Joutsenosta peräisin olleiden kiskojen jatkohitsien taivutuskokeilla. Hitsaussaumoista ei voida tämän tutkimuksen perusteella tehdä kovin pitkälle meneviä päätelmiä, sillä kaikki kolme hitsaustapaa (termiitti-, kaarijatkos- ja leimuhitsi) ovat jokseenkin luotettavia nykyisillä akselipainoilla. Päätelminä raskaiden akselipainojen vaikutuksesta voidaan kuitenkin todeta seuraavaa:

- Tutkimustulosten perusteella voidaan uskoa, että nykyiset kiskojen jatkohitsit tulisivat kestäämään ainakin 250 kN:n akselipainot. Erityyppisten hitsien kestävyys kannalta ehkä määrävintä on hitsaussuorituksen onnistuminen. Hitsin iällä ei ilmeisesti ole erityisen suurta merkitystä kestävyys. Junaliikenteestä aiheutuvan kuormituksen vaikutusta hitsaussaumoihin ei pystytty tämän koesarjan perusteella selvittämään.

- Termiittihitsit kestävät paremmin pehmeämmillä kuin kovemmillä kiskolaaduilla. Leimuhitsien kestävyys on parempi kovemmillä kiskolaaduilla.
- On oletettavaa, että raskaammilla akselipainoilla hitsien nykyisin varsin pieni vika-tiheys tulisi jonkin verran kasvamaan, koska pienimmätkin vauriot näkyisivät herkemmin raskaammalla kuormituksella.
- Sidekiskojatkosreiällä ei ole merkitystä hitsausseaman kestävyYTEEN. Hitseissä mahdollisesti olevat huokokset vaikuttavat sen kestävyYTEEN enemmän kiskonjalan alueella kuin kiskonselän alueella. Hitsejä tulisi tutkia lisää niin, että puristus tapahtuisi kiskon alta. Tällöin kiskon kulkupinnalle tulisi veto ja pintaviat näkyisivät paremmin. Oletettavaa on, että nyt saadut tulokset muuttuisivat.
- Uusille hitseille tulisi tehdä pitempiaikainen seurantatutkimus mieluiten alueella, jossa olisi tai voitaisiin järjestää raskaita kuormituksia. Hitsauksia pitäisi tehdä huonon sään aikana, jotta voitaisiin selvittää, mikä on hitsauksen aikaisen sään vaikutus hitsin taivutuskestävyYTEEN ja taipumaan.

Jatkokset

Jatkosovitus yhdistää kiskojen päät, pitää ne kohdakkain ja estää kulmien muodostumisen kiskojonoon vaaka- ja pystytasossa. Kiskon jatkoksiin eli niiden epäjatkuvuuskohtiin kohdistuu kova rasitus ja näissä kohdissa vaaditaan runsaasti kunnossapitotöitä. Sidekisko-jatkosten murtumat ovat verrattain yleisiä jo nykyisilläkin akselipainoilla ja akselipainojen nosto saattaa varovaistenkin arvioiden mukaan moninkertaistaa murtumien määrän.

Nykyisistä eristysjatkostyypeistä ainoastaan S-tyypin jatkos tulee kestäämään moitteetta akselipainojen noston aina 300 kN:iin asti. Ongelmana on tämän jatkoksen asennettavuus; työhuoneella liimattu S-jatkoselementti vaatii kaksi termiittihitsausta. Perinteisten jatkosten kestävyYTEttä voidaan kuitenkin parantaa sahaamalla kiskojen hamarat 30° kulmaan suoran kulman sijaan. Tällöin akselin aiheuttama rasitus jakaantuu tasaisemmin jatkososalalle ja sidekisko joutuu pienemmälle rasitukselle.

Varmin tapa poistaa jatkosmurtumat on siirtyä turvalaitetekniikkaan ns. akselinlaskenta-menetelmään, jolloin eristysjatkoksia ei tarvita.

10.3 Kiskonkiinnittimet ym.

Aluslevyjen painuminen havupuupölkkyihin saattaa osoittautua ongelmaksi. Puupölkky-vaihteessa pölkkyjen pintapaineenkesto on kriittisempi ominaisuus kuin kiinnittimien kestävyys. Akselipainojen nostossa kiskonkiinnittimillä ei ole mitoittavaa roolia, vaikka Rautaruukki Oyj:n Raahen terässulatolla käytettävillä suurilla akselipainoilla ongelmia onkin esiintynyt. Nyt käytössä olevien kumivälilevyjen mitoitus kestää hyvin akseli-painojen korotuksen. Myöskään betoniratapölkkyissä käytettävät sivueristimet eivät aivan pieniä kaarresäteitä lukuun ottamatta aseta esteitä akselipainojen nostolle.

10.4 Vaihteet

Vaihdetutkimuksessa mukana olleista Vainikkalan ja Rautaruukki Oyj:n Raahen ratapihan tutkimuskohteiden vaihteista voidaan tehdä seuraavat päätelmät:

- Yleisesti ottaen tutkimus on osoittanut, että vaihteet ovat vakaita kokonaisuuksia kestäämään koviakin kuormituksia ja vaativia olosuhteita. Varsinaisia mittatoleranssien ylityksiä kyllä syntyy, mutta kriittisiä ylityksiä syntyy yllättävän vähän. Kaikki vaihteet kuitenkin muokkaantuvat kovassa kuormituksessa, josta aiheutuu raidelevyyteen palautuvia muutoksia. Pysyviä mittamuutoksia aiheuttaa merkittävästi eri elementtien osien kuluminen, kuten kielen ja risteyksen kärjen sekä kaarevan välikiskon ja vastakiskon kuluminen. Tulosten todellista arviointia vaikeuttaa se, että vaihteita on saatettu mittauskertojen välillä korjata tai säätää, mikä on muuttanut mittoja suuntaan tai toiseen.
- Vaihteiden kriittiset kohdat ovat kielikisko, käyrä välikisko, risteys ja vastakisko. Betoni- ja kovapuupölkyillä varustettujen vaihteiden mittapoikkeamat ovat pääasiassa kiskon kulumisesta johtuvia muutoksia, kun havupuupölkyillä varustetuissa vaihteissa mittapoikkeamia aiheuttaa lisäksi aluslevyjen painuminen pölkkyyn.
- Oletettavaa kuitenkin on, että nopeus on vaihteiden kulumisen kannalta keskeinen asia nykyistä raskaammilla akselipainoilla. Lisäksi vaaka- ja pystygeometrian pysyvyyden vaikutus vaihteiden kestävyys on ilmeinen. Huonosti tuettu vaihde elää junaliikenteen alla enemmän ja eri elementtien kuluminen lisääntyy. Varsinkin kielikiskon kuluminen lisääntyy merkittävästi, kun pyörä ei kosketa kiskon kulkupintaa halutulla tavalla.

Vaihdetutkimuksen päätelminä voidaan todeta seuraavaa:

- Pitkät yksinkertaiset 60 E 1 -kiskoilla ja betonipölkyillä varustetut vaihteet tulisivat kestäämään ainakin 250 kN:n akselipainot.
- Lyhyet yksinkertaiset 60 E 1 -kiskoilla ja betonipölkyillä varustetut vaihteet tulisivat kestäämään todennäköisesti 250 kN:n akselipainot ainakin pienillä nopeuksilla.
- Pitkät yksinkertaiset 54 E 1 -kiskoilla ja kovapuu- tai betonipölkyillä varustetut vaihteet tulisivat kestäämään todennäköisesti 250 kN:n akselipainot.
- Lyhyet yksinkertaiset 54 E 1 -kiskoilla ja betonipölkyillä varustetut vaihteet tulisivat kestäämään todennäköisesti 250 kN:n akselipainot ainakin pienillä nopeuksilla.
- Kaikki tutkimuksessa olleet risteysvaihteet oli varustettu 54 E 1 -kiskoilla ja puupölkyillä. Risteysvaihteista voidaan todeta, että ne tulisivat todennäköisesti kestäämään ainakin 250 kN:n akselipainot hiljaisilla nopeuksilla.
- Vaihteen tuennan merkitys tulisi kasvamaan, koska huonosti tuettu vaihde elää junan alla ja se rasittaa mm. kielikiskoa huomattavasti.

- On oletettavaa, että raskaammilla akselipainoilla rasitukset kriittisiin kohtiin, kuten kielikiskoihin, käyrään välikiskoon, vastakiskoon ja risteyksen kärkeen kasvaisivat. Raskaammilla akselipainoilla myös vaihteiden vikatiheys tulisi kasvamaan, mikä nostaisi kunnossapitokustannuksia.
- Vaihteiden tarkastuskertoja tulisi lisätä, jotta alkavat viat saataisiin hyvissä ajoin poistettua.

Vaihteille tulisi tehdä lisätutkimuksia valitsemalla muutama vaihde, joita seurattaisiin pitemmän aikaa. Tutkimuksen aikana pitäisi kirjata kaikki vaihteelle tehtävät toimenpiteet, kuten esim. tuennat, mittaukset ja korjaukset. Ihannetilanne olisi silloin, kun tutkimukseen saataisiin uusia vaihteita alueelta, jossa kuormitus olisi maksimaalinen.

10.5 Ratapölkkyt

Ratapölkkytutkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta seuraavaa:

- Betoniratapölkkyjen mitoitusohjeet perustuvat saksalaisiin 1950-luvun normeihin. Ohjeissa otetaan huomioon vain pölkyn momenttikestävyys. Leikkauskestävyys on kuitenkin useissa tapauksissa pölkyn kestävyuden kannalta ratkaisevampi tekijä kuin momenttikestävyys. Mitoitusohjeet tulisi tarkistaa. Siinä yhteydessä tarvittaneen myös ulkomaisia näkemyksiä.
- Alustaluvuilla 0,3 ja 0,4 useimmat pölkkyt täyttävät 250 kN:n akselipainon edellyttämät vaatimukset. Alustaluvun ollessa 0,4 ja kiskon 54 E 1 nopeutta joudutaan useissa tapauksissa rajoittamaan alle 80 km/h. Kiskon ollessa 60 E 1 nopeusrajoituksia ei tarvita. Alustaluvun ollessa 0,5 mahdollisuudet akselipainojen nostoon ovat vähäisemmät.
- 300 kN:n akselipaino ei ole mahdollinen laskennassa käytetyllä varmuuskertoimella 2.
- Pölkyn momenttikestävyuden ylittyminen ei aiheuta välitöntä junaturvallisuusvaaraa, mutta leikkauskestävyuden ylittyminen saattaa sellaisen aiheuttaa. Siksi olisi syytä paneutua leikkauskestävyuden lisäämiseen uusia pölkkyjä suunniteltaessa.
- Havupuupölkkyillä 250 kN:n akselipaino on mahdollista toteuttaa vain jatkuvakiskoraiteella ja ilmeisesti korkeintaan 60 km/h nopeudella.
- Pölkkyt tuottavat joka tapauksessa ongelmia, minkä vuoksi nopeusrajoituksiin tulee kiinnittää huomiota.
- Uudet pölkkyt tulisi ilmeisesti suunnitella uudella tavalla.
- Asiantuntijoiden mielestä vuoden 1986 jälkeen tehdyt pölkkyt kestävät akselipainojen korotuksen ainakin 250 kN:iin asti.

11. KUNNOSSAPITO

Korotettujen akselipainojen vaikutusta kunnossapitoon ja kunnossapitokustannuksiin käsittelevä tutkimus tehtiin diplomityönä Teknillisen korkeakoulun tielaboratoriossa. Lähdeteoksina on käytetty koti- ja ulkomaisia teoksia, RHK:n aiemmin tilaamia tutkimusraportteja ja tässä yhteydessä tehtyjä haastatteluja. Lähtökohtana työssä oli RHK:n teettämän kirjallisuushaun yhteydessä koottu aineisto. Tutkimuksen tarkoituksena oli kirjallisuuden ja haastatteluiden perusteella arvioida vaikutuksia, joita akselipainon korottaminen 225 kN:sta 250 kN:iin aiheuttaa kunnossapitokustannuksiin.

Tutkimusraportti ilmestyi Ratahallintokeskuksen julkaisuna A 4/2001 (ISBN 952-445-050-x, ISSN 1455-2604) nimellä: **Radan kunnossapitokustannusten kirjallisuustutkimus, 250kN:n ja 300 kN:n akselipainot.**

Tässä tutkimuksessa keskityttiin radan päällysrakenteeseen, mikä sisältää tukikerroksen, pölkyt, kiskot kiinnityksineen ja jatkoksineen sekä vaihteet. Tuloksissa ovat mukana myös vaikutukset radan kunnossapitokustannuksiin kokonaisuudessaan.

Kirjallisuustutkimuksen ja haastattelujen päätelminä voidaan raskaiden akselipainojen vaikutuksista kunnossapitoon ja kunnossapitokustannuksiin todeta seuraavaa:

- Ruotsalaisten sekä yhdysvaltalaisen tutkimusten perusteella akselipainon korottaminen 250 kN:sta 300 kN:iin ja edelleen 350 kN:iin ei lisää merkittävästi sepelin jauhautumista, jos liikennemäärä ei kasva ja raidesepeli on lujaa. Suomalainen raidesepeli on yleensä lujaa. Akselipainon korotuksesta 225 kN:sta 250 kN:iin ei ole tukikerrokseen kohdistuvien vaikutusten osalta tutkimustuloksia, mutta e.m. 300–350 kN:n vaikutusten perusteella on oletettavaa, ettei korotus olennaisesti vaikuta raidesepelin jauhautumiseen. Tämän vuoksi myöskään tukikerroksen kunnossapitokustannuksiin ei ole tulossa mainittavia muutoksia. Epäjatkuvuuskohtissa, kuten eristysjatkoksissa ja siltojen päissä, suurempi tukikerrokseen kohdistuva iskevä voima kuitenkin lisää kunnossapitotarvetta.
- Kiskon kulumisen lisääntyminen akselipainon noston myötä. Muutenkin kisko vaikuttaa tarkastelluista raiteenosista eniten kunnossapitokustannuksiin. Sen osuus voi olla jopa 25 % kokonaiskustannuksista. Kovempi teräslaatu, raskaampi kisko tai kiskon sopiva pintakäsittely vastustavat kulumista paremmin. Korkeammat akselipainot nopeuttanevat lyhyiden aaltojen syntymistä kiskoon. Korkeille akselipainoille sopiva raidetyyppi on jatkuvakiskoraide. Pienet kaarresäteet (alle 600 m) nopeuttavat kiskojen kulumista.
- Vaihteiden kulutusosien korjaus- tai vaihtotarve nopeutuu, joten vaihteiden kunnossapitokustannukset lisääntyvät. Vaihteiden osuus kunnossapitokustannuksista on muutenkin merkittävä. Se voi kohota jopa 15 %:iin radan kunnossapidon kokonaiskustannuksista.
- Kaikista radan kunnossapitokustannuksista noin puolet riippuu liikenteestä. Toinen puoli kunnossapitokustannuksista syntyy mm. ratapihojen, sähkö- ja turvalaitteiden kunnossapidosta sekä lumitöistä. Viimeksi mainittujen suuruus vaihtelee eri talvina sään mukaisesti. Liikenteestä aiheutuvat kunnossapitokustannukset nousevat alle 10 %, jos suurinta sallittua akselipainoa nostetaan 225 kN:sta 250 kN:iin.

- Radan kunnossapitokustannukset nousevat alle 5 %, jos suurinta sallittua akselipainoa nostetaan 225 kN:sta 250 kN:iin. Teoriassa kustannukset nousisivat 5 %, mutta todellisuudessa kaikki akselipainot eivät kuitenkaan ole 225 kN kaikilla akseleilla, eivätkä ne kaikki myöskään nousisi 250 kN:iin. Lopullinen luku vaihtelee rataosan ja akselipainojakauman mukaan.

12. MATKAT

12.1 Venäjä

Moskova

Tutkimusprojektin yhteydessä tutustuttiin Venäjän rautateillä käytettäviin akselipainoihin ja Venäjän rautateiden tulevaisuuden suunnitelmiin Venäjän Rautateiden tutkimusinstituutissa Moskovassa. Matkaraportti ilmestyi VTT Yhdyskuntatekniikan julkaisuna (Tutkimusraportti 501/1999) nimellä: **Selvitys 25–30 tonnin akselipainon vaikutuksesta radan mitoitusparametreihin ja radan kunnossapitoon Venäjän rautateillä.**

Neuvostoliiton aikana rautateiden kapasiteetista oli pula. Ongelmaa yritettiin ensin ratkaista ylipitkillä junilla. Seuraavaksi otettiin käyttöön 257,5 kN:n akselipaino, jonka mukainen liikenne sallittiin vuosina 1985–1991. Kaluston asiantuntijat pitivät kokeilua tyydyttävänä, vaikka telien varaosien tarve kasvoikin merkittävästi. Myös radan päällysrakenne kesti kokeilun hyvin. Kiskon kiinnitystarvikkeita tosin kului kunnossapidossa merkittävästi aiempaa enemmän. Alusrakenteen osalta kokeilu oli erityisesti yli 3 m korkeiden penkereiden osuuksilla paikoin jopa katastrofaalinen. Myös sillat aiheuttivat ongelmia.

Vuonna 1999 suurin sallittu akselipaino tavaravaunuilla oli 235 kN ja vetureilla 250 kN. Tulevaisuudessa Venäjän rautateillä on tavoitteena nostaa akselipainoa tärkeillä pääreiteillä. Tätä varten käynnistettiin laaja, sekä kalustoa että rataverkkoa koskeva tutkimus- ja kehittämisohjelma. Tavoitteena on sallia 250 kN:n akselipaino 120 km/h nopeudella vuonna 2005. Tärkeimmät ja taloudellisesti kalleimmat toimenpiteet kohdistuvat sekä alusrakenteen ja siltojen parantamiseen että kaluston kehittämiseen.

Diagnostinen juna

Tutkimusprojektin yhteydessä tutustuttiin diagnostiseen junaan Scherbinkan koeasemalla. Tutkimusraportti ilmestyi VTT Yhdyskuntatekniikan julkaisuna (Tutkimusraportti 571/2000) nimellä: **Diagnostinen juna.**

Diagnostisen junan yksittäisen mittauksen tarkkuus on vaatimaton, vasta kymmenen mittauksen keskiarvo kertoo jotain. Varsinaisessa analysoinnissa puhutaan jo sadan metrin matkalta saatujen mittaustulosten keskiarvosta, jotta tulosten hajonnan vaikutus pienenee. Mittakaavaero Suomen ja Venäjän välillä onkin ilmeinen. Venäjällä tällä menetelmällä saadaan selkeästi uutta informaatiota pitkiltä mittaustuloksilta, mutta Suomessa saman suuntaiseen tulokseen voidaan päästä jo peruskartan tutkimisella. Yksittäiset ongelma-kohtat taas jäävät tällä mittaustarkkuudella havaitsematta. Toinen ongelma diagnostisella junalla saatavien mittaustulosten tulkintaan liittyy pohjamaahan, jonka ominaisuuksia ei venäläisessä tulkintatavassa oteta lainkaan huomioon, vaan pohjamaalle käytetään aina samaa kimmomodulia kuin ratapenkereellekin. Jos junaa käytettäisiin Suomessa, ainakin laskentamenettely täytyisi tältä osin muuttaa.

Tällä hetkellä näyttää siltä, että diagnostista junaa ei kannata vuokrata Suomeen. Isoimmat ongelmat ovat pohjamaan puutteellinen käsittely koetulosten tulkinnassa, puuttuva tietämys suomalaisiin olosuhteisiin soveltuvista sallittujen muodonmuutosten raja-arvoista sekä matkalla havaittu laitteen rajallinen mittaustarkkuus.

12.2 Ruotsi

Luulaja

Tutkimusprojektin yhteydessä toteutettiin tutustumismatka Luulajaan. Luleå Tekniska Universitetin (LTU) tutkimukset ja Banverketin malmirata olivat ensisijaisesti kiinnostuksen kohteina kontaktien luomisen ohessa. Matkaraporttia ei ole julkaistu. Seuraavassa luetellaan joitain matkaraportista poimittuja huomioita:

Malmiradalla on yhteensä noin 800 rumpua. Näistä 5 hajosi heti ensimmäisen raskaan (300 kN) junan testiajossa. Tällä hetkellä 100 rumpua on jo korjattu. Yhteensä korjataan tai uusitaan 60 % kaikista rummuista. Tämä maksaa noin 100 milj. kruunua.

Siltojen aukot kannattaa sijoittaa veden virtauksen suuntaisesti, jolloin säästetään betoni-raudoituksessa. Suomessa siltojen aukot on perinteisesti tehty rataa nähden kohtisuorasti, jolloin yleensä joudutaan rakentamaan pidempi silta.

Sepelikiviaines on paikallista ja laadultaan melko hyvää, mutta hieman vaihtelevaa (silmämääräinen arvio vastaa suomalaista luokitusta R2–R3, sprödhetsal <50). Sepelin puhdistus pitäisi tehdä koko alusrakenteen leveydeltä (ruotsalaisilla on tätä tehtävää varten uusi kone), jotta veden kerääntyminen radan alle voidaan estää. Jos sepeli puhdistetaan pelkästään raiteen alta, reunat padottavat helposti vettä.

Malmiradalla oli pieniä malmipellettejä pitkin matkaa sepelin joukossa. Jos pelletit ovat riittävän kestäviä, ne tukevat tukikerrosta, mutta hajotessaan ne muuttavat sepelin vedenläpäisevyysominaisuuksia (pelletit todennäköisesti jauhautuvat). Pellettien vaikutus tukikerrokseen on tutkimuksen alla. Pellettejä on yritetty poistaa imuroimalla, koska pelletit eivät ole magneettisia (hematiittia). Vaunujen pohjaluukkujen mekanismia on parannettu pitävämmäksi.

Venäläisen 245 kN:n ja ruotsalaisen 300 kN:n akselipainoisten vaunujen jousittamaton massa on ilmeisesti sama. Ruotsalaiset vaunut pidetään kuitenkin hyvässä kunnossa, joten on aihetta olettaa, että vaunut rasittavat rataa lähes samalla tavalla, vaikka venäläinen akselipaino onkin pienempi.

Ruotsalaisen rautatien pengeri on huomattavasti suomalaista leveämpi. Tällä saattaa olla vaikutusta radan vakavuuteen. Leveämmästä penkereestä huolimatta ajojohtimen pylväät olivat tasaisesti kallistuneet radasta ulospäin. Näytti ilmeiseltä, että raskaat junat ovat aiheuttaneet tukikerrokseen painetta sivuille.

Ruotsissa alkoi 300 kN:n akselipainoprojekti vuonna 1995. Banverket on sijoittanut 140 milj. kruunua vuodessa malmiradan ylläpitoon. Tästä 30 milj. kruunua on mennyt kiskoihin. MTAB (malmyhtiö) on sijoittanut 40 milj. kruunua vuodessa vaunujen kunnossapitoon. Tästä puolet on kulunut pyöriin. Ruotsalaisessa projektissa on hyödynnetty Kanadassa tehtyjä tutkimuksia (sama ilmasto). Mukana on pienessä määrin Ruotsin muitakin yliopistoja. Lähtökohtina tutkimuksessa olivat paino, liikenne, kylmyys ja ilmasto. T2K2 (Tunga Transporten Kallt Klimat).

Koska rautatiealalla ei ollut mitään keskitettyä tutkimustoimintaa ja malmirata selvästi kaipasi sellaista, perustettiin JvtC (Järnvägstekniskt Centrum). Tutkittu 300 kN:n akselipaino on suurin Euroopassa. Kylmä ilmasto, sekaliikenne ja aiemmin tehdyt vain kevyeen liikenteeseen keskittyvät tutkimukset lisäsivät tutkimuksen mielenkiintoa. Tutkimuksen tuloksina kuljetuskustannukset pienenevät 15 %, jos käytetään normaalia (250 kN:n akselit /52 vaunua) pidempää malmijunaa. Vaikutus on 30 %, jos lisäksi akselipainot kasvatetaan 300 kN:iin. Radan kunnossapitokustannukset kasvavat kuitenkin alle 10 %. Suurempi akselipaino pienentää bruttokuormitusta, eli vaunujen suhteellinen osuus massasta pienenee.

Tukholma, Göteborg ja Borlänge

Tutkimusprojektin yhteydessä toteutettiin myös haastattelumatka Tukholmaan, Kungl Tekniska Högskolan (KTH), Jord- och Bergmekanik -osastolle. Matkan tarkoituksena oli haastatella KTH:n tärinäasiantuntijoita ja saada tietoa tärinään ja sen vähentämiseen vaikuttavista asioista.

Lisäksi tehtiin matka Göteborgiin Chalmersin teknillisen korkeakoulun Solid Mechanics -osastolle tutustumaan paikallisiin asiantuntijoihin. Göteborgissa järjestetyn miniseminaarin aiheena oli radan staattinen ja dynaaminen käyttäytyminen.

Kunnossapitotutkimuksen yhteydessä toteutettiin haastattelumatka Borlängeen. Matkan tarkoituksena oli haastatella Banverketin asiantuntijoita ja saada tietoa kunnossapidosta ja erityisesti raskaampien akselipainojen vaikutuksista kunnossapitokustannuksiin.

13. TOIMENPITEET ENNEN AKSELIPAINOJEN NOSTOA

13.1 250 kN:n akselipainot

Tämän tutkimusprojektin perusteella akselipainojen korottaminen 250 kN:iin on mahdollista tässä esitetyin edellytyksin:

Kuormat

- Suurin dynaaminen pystysuuntainen pyöräkuorma on enintään 170 kN ja poikittais-suuntainen pyöräkuorma enintään 70 kN.

Turvalaitteet

- Kulunvalvontajärjestelmään on oltava ohjelmoitu nopeusrajoitukset yli 225 kN vaunuille.
- Sivuraiteita koskeva nopeus- ja kulkurajoitusluettelo on oltava luotu.

Päällysrakenne

- Liikennepaikkojen välisillä rataosuuksilla
 - on oltava joko 54 E 1 tai 60 E 1 -kiskot
 - raide on oltava jatkuvaksi hitsattu
 - on oltava betoniratapölkkyt, puuratapölkkyt vain harkinnan mukaan
 - eristysjatkosten tulisi olla S-tyyppiä
 - akselilaskentajärjestelmää tulisi suosia turvalaitetekniikassa
 - RAMOn osan 3 ”Radan rakenne” mukainen sepelitukikerros
 - RAMOn osan 13 ”Radan tarkastus” mukainen kunnossapitotaso vähintään 3.
- Liikennepaikoilla
 - vaihteiden tulisi olla betoni- tai kovapuupölkyillä
 - tulisi suosia pitkiä vaihteita
 - on oltava vähintään 43 kg/m kisko
 - ei ratanaulakiinnityksiä eikä pienikokoisia aluslevyjä
 - voi olla lyhytkiskoraiteita, kun jatkokset on tehty RAMOn osan 3 ”Radan rakenne” mukaisesti.
 - tulisi olla RAMOn osan 3 ”Radan rakenne” mukainen sepelitukikerros, myöskin vaihteissa.
 - soratukikerroksella erityisrajoituksia

Alusrakenne

- Radan pengerleveys mukaan lukien vaihteiden alueet on muutettu ja täydennetty RAMOn osan 3 ”Radan rakenne” mukaiseksi

Sillat

- Sillat, joiden kantavissa rakenteissa on päätarkastuksessa havaittu puutteita, on korjattu.
- Siltatyypit ja rakenneosat, joille on tehtävä kantavuustarkastelu, merkittäviä vahvistamistoimenpiteitä tai rakenteiden uusimista:
 - 1-aukkoinen teräsbetonisilta, joka on mitoitettu I-48 tai vanhemmalle kuormakaavioille ja jonka jännemitta on alle 6 m.
 - 1-aukkoinen terässilta, joka on mitoitettu I-26 tai vanhemmalle kuormakaavioille ja jonka jännemitta on alle 22,5 m.
 - 1-aukkoinen terässilta, joka on mitoitettu I-48 –kuormakaavioille ja jonka jännemitta on alle 10 m.
 - Vanhat perustukset, usein ns. "kallmur", joista ei löydy laskelmia.
 - Paalutetut maatumkirakenteet, joissa paaluryhmässä on pääasiassa pystysuoria puupaaluja.
- Korjattujen siltojen on täytettävä kuormakaavion VR-74 vaatimukset.

Stabiliteetti ja värinä

- Rataosuuden pohjarakenteet on inventoitu olemassa olevaa pohjatutkimustietoa apuna käyttäen. Pohjatutkimustietoa tulee tarpeen vaatiessa täydentää pohjatutkimuksin ja laskelmin.
- Olemassa olevilla radoilla kokonaisvarmuus on vähintään 1,2 kuormituksella 120 kN/raidemetri. Tarvittavista kohdin rakenteet on korjattu. Kokonaisvarmuus 1,2 sallii akselipainojen korottamisen 250 kN:iin.
- Radan parannettujen pohjarakenteiden kokonaisvarmuuden on oltava vähintään 1,5.
- Uusilla radoilla kokonaisvarmuuden on oltava vähintään 1,8.
- Tärinälle alttiit rataosuudet on otettu huomioon. On varmistettu, että tärinän raja-arvot eivät ylitä jo tiedossa olevilla ongelma-alueilla ja olemassa olevaan pohjatutkimustietoon perustuvilla pehmeikköalueilla. Tärinän raja-arvot on esitetty RHK:n tärinämittausohjeessa. Tarvittaessa rakennetta on vahvistettava tai liikennettä on rajoitettava

Rummut

- Kaikkien rumpujen on oltava tarkistettuja. Vaurioituneet ja rakenteeltaan vajaakuntoiset rummut on korjattu.

Tutkimukset

- Rummuille on siltatarkastusten tapaan tehtävä päätarkastus noin 10 vuoden välein. Rumpujen kunnan seuraamiseksi ei edes huolellinen, perusteellisesti raportoitu kävely-tarkastus ole riittävä.

- Rakenteiden kantavuus myös nykyistä raskaammille akselipainoille on varmistettava rumpujen rakenteellisiin laskelmiin ja mallinnukseen perustuvalla tutkimuksella.
- Rumpurekisteriä ja rumpujen korjaussuunnittelun ohjeistusta tulee kehittää.
- Routalevyille on tehtävä muutama pitkäkestoinen väsymiskoe 300 miljoonan bruttonnin kumulatiivista junakuormitusta vastaavaan kuormituskertamäärään saakka, jotta akselipainon korottamisen vaikutusta ennakoiva routalevyjen vaurioitumismalli saadaan varmennettua.
- Yhteispohjoismaisesta värinäytutkimuksesta ”Joint Nordic Railway Vibration Research Project – NORDVIB” saatavia kokemuksia ja tietoa on syytä hyödyntää.

13.2 300 kN:n akselipainot

Tämän tutkimuksen perusteella ei ole kaikilta osin selvitetty, onko 300 kN akselikuorman käyttäminen mahdollista. Seuraavassa on esitetty toimenpiteitä, avoimeksi jääneitä kysymyksiä ja jatkotutkimustarpeita:

- Dynaamisen pyöräkuorman suureneminen käytettäessä 300 kN akselipainoa on selvitettävä.
- Betoniratapölkkyt on suunniteltava uudestaan
- Siltojen kantavuustarkastelut on tehtävä.
- Uusien siltojen suunnittelussa on pikaisesti otettava käyttöön kuormakaavio α^*LM71 . Vanhojen siltojen korjaussuunnittelussa siltojen kantavuus tulee tarkastaa kuormakaaviole α^*LM71 .
- Vaihteille olisi hyvä tehdä lisätutkimuksia valitsemalla muutama vaihde, joita seurataan pitemmän aikaa. Tutkimuksen aikana kirjataan kaikki vaihteelle tehtävät toimenpiteet, kuten esim. tuennat, mittaukset ja korjaukset. Ihannetilanne olisi silloin, kun tutkimukseen saataisiin uusia vaihteita alueelta, jossa kuormitus olisi maksimaalinen nykyolosuhteissa.
- Kulkuvastus, kallistus (negatiivinen sivukiihtyvyyys) ja dynaamiset kuormat pitää selvittää liikennöitäessä 300 kN:n akselipainoilla.
- Rumpujen rakenteellisiin laskelmiin ja mallinnukseen perustuvan tutkimuksen tulee varmistaa rakenteiden kantavuus 300 kN:n akselipainolle.
- Pengerleveyyden riittävyttä yli 250 kN:n akselipainoja varten tulee tutkia tarkemmin.
- Tukikerroksen antaman sivuttaisvastuksen riittävyys raiteen pitämiseksi paikoillaan on selvitettävä vaakasuuntaisten voimien mahdollisesti kasvaessa.

- Ratapenkereen pystysuuntaisen jäykkyyden kuvaamiseen olisi hyödyllistä rakentaa mallinnusympäristö, jonka avulla rakenteeltaan tunnettujen ratapenkereiden pystysuuntaista jäykkyyttä ja sen vaikutusta muun muassa raiteen rakenneosiin kohdistuviin rasituksiin on mahdollista ennakoida laskennallisesti.
- Korian instrumentointikohteessa kesällä 1999 tehtyjä mittauksia tulee täydentää rakenteen ollessa jäätynyt. Tulosten perusteella olisi mahdollista arvioida mm. radan rakennekerrosten jäätymisestä aiheutuvan jäykkyyden kasvun vaikutusta raiteen rakenneosiin kohdistuviin rasituksiin ja radan ympäristöön leviävän värinän voimakkuuteen.
- Talvimittausten tekemiseen Viialan koerumpukohteella on varauduttava.
- Junan kulkuominaisuuksien tarkastelu simuloinnin avulla on hyödyllinen jatkotutkimusaihe. Erityisesti pitäisi pyrkiä hankkimaan tietoa pyöräkosketuksessa vaikuttavista voimista.

14. LOPPUPÄÄTELMÄT

Tämän tutkimusprojektin perusteella akselipainoja on mahdollista korottaa ainakin 250 kN:iin. Akselipainojen korottaminen 300 kN:iin vaatii huomattavasti enemmän lisätutkimuksia ja toimenpiteitä, joten se tulee luultavasti kyseeseen varsin rajatuilla rataverkon osilla myöhemmin tulevaisuudessa. Seuraavassa selvitetään tärkeimpiä tutkimusprojektin tuloksena syntyneitä väittämiä ja tutkimustarpeita.

14.1 Radan rakenteen kuormat

- Nykyisin suurin sallittu dynaaminen pystysuuntainen pyöräkuorma (Q) on 170 kN. Suurin sallittu dynaaminen poikittainen pyöräkuorma (Y) on 70 kN. Poikittais- ja pystyvoimien suhde eli ns. suistumiskriteeri saa olla enintään 0,8 ($Y/Q \leq 0,8$). 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainoista aiheutuvaa dynaamista pyöräkuormaa ei voida tarkasti tietää.
- Uuden sukupolven vaunujen teleillä on mahdollista korottaa akselipainoja nostamatta oleellisesti rataa kohdistuvia dynaamisia kuormia.
- Dynaaminen pyöräkuorma on riippuvainen vaunun ominaisuuksista. Telirakenteilla voidaan vaikuttaa dynaamisen pyöräkuorman suuruuteen. Ruotsissa sallitaan 250 kN:n akselipaino, jos suurin sallittu dynaaminen pystypyöräkuorma on enintään 170 kN. Suomessa voitaneen noudattaa samaa käytäntöä. Poikittaispyöräkuorman ei oleteta oleellisesti kasvavan akselipainon kasvaessa 250 kN:iin. On todennäköistä, että 300 kN:n akselipainoilla dynaaminen pyöräkuorma ei pysy sallituissa 170 kN:ssa (Q) ja 70 kN:ssa (Y).
- Nykyisellä ratarakenteella vaunujen metripainon kasvattaminen ei onnistu. Nykyisin on sallittu 80 kN/raidemetri.
- UIC:n uusi liikkuvan kaluston kulkuominaisuuksia koskeva määrelehti tulee sallimaan vähintään 200 kN nykyisen 170 kN:n tilalle.

14.2 Radan päällysrakenne

- Akselipainojen nosto 250 kN:iin on mahdollista päällysrakenteella, jossa on sekä 60 E 1 tai 54 E 1 -kisko että jatkuvakiskoraide, betoniratapölkkyt linjalla ja betoni- tai kovapuu-pölkkyt vaihteissa, S-tyypin eristysjatkokset tai akselinlaskentajärjestelmä ja vaihteet, joissa on suuri kaarresäde.
- Akselipainojen nosto 250 kN:iin on rajoitetusti mahdollista rataosuuksilla, joilla on 54 E 1 -kiskot ja havupuupölkkyt.
- Akselipainojen nosto 250 kN:iin ei ole ratapihojen ulkopuolella mahdollista, kun rataosuudella on 43 kg tai kevyempi kisko tai ns. lyhytkiskoraiteet.

- Kiinnikkeet, välilevyt tai sivueristimet eivät aseta esteitä akselipainojen nostolle. Ainoastaan pienillä kaarresäteillä voi olla huono vaikutus eristimiin.
- Pölkkyt ovat ongelmakohta, ja sen takia nopeurajoituksiin tulee kiinnittää huomiota. Uudet pölkkyt tulisi ilmeisesti suunnitella uudella tavalla.
- Nykyisellä rataverkolla suurimmat ongelmat esiintyisivät jo 250 kN:in akselipainolla eristysjatkoksien murtumisina (esim. Exel), vaihteiden nopeana kulumisena (risteykset, kielet ja käyrä välikisko), aluslevyjen painumisena havupuupölkkyihin, raidelevyden muutoksena vaihteissa, pehmeiden kiskolaatujen nopeutuneena kulumisena, kaarrosuuksien lisääntyvänä kunnossapitotarpeena, termiittihitsisaumojen murtumisten lisääntymisenä ja pölkkyjen rikkoutumisena.
- Lisääntyvän liikennemäärän on havaittu lisäävän sepelin jauhautumista. Jauhautumisen kasvu kiihtyy erityisesti huonolaatuisessa sepelissä. Akselipainon noston osuutta kokonaisuudessa ei vielä yksiselitteisesti tunneta.
- Betoniratapölkkyraiteessa raidesepelin jauhautuminen on selvästi suurempaa kuin puuratapölkkyraiteessa.
- Korkealaatuisella sepelillä saavutetaan tukikerrokselle pidempi kestoikä, mutta yleensä hankintakustannuskin kasvaa. Rataosalle valittavan raidesepelin lujuusluokka tulisi valita sepelitarjousten elinkaarikustannusvertailun pohjalta.
- Akselipainon korottaminen 250 kN:iin ja edelleen 300 kN:iin ei lisää merkittävästi sepelin jauhautumista, jos kumulatiivinen liikennemäärä ei kasva ja sepeli on lujaa.
- Akselipainojen nosto 300 kN:iin on todennäköisesti mahdollista päällysrakenteella, jossa on sekä 60 E 1 -kisko että jatkuvakiskoraide, betoniratapölkkyt linjalla ja betoni- tai kovapuupölkkyt vaihteissa, S-tyypin eristysjatkokset tai akselinlaskentajärjestelmä ja vaihteet, joissa on suuri kaarresäde.
- Tukikerroksen antaman sivuttaisvastuksen riittävyys raiteen pitämiseksi paikoillaan on selvitettävä vaakasuuntaisten voimien mahdollisesti kasvaessa.

14.3 Alusrakenne

- Vaihteen alueet, radan pengerleveys mukaan lukien, tulee muuttaa RAMOn osan 3 ”Radan rakenne” mukaisiksi ennen akselipainojen korottamista 250 kN:iin.
- Luodun laskentamallin perusteella akselikuorman korottamisesta 225 kN:sta 250 kN:iin aiheutuva routalevyn vaurioitumisen lisäys on 22 – 35 % sen mukaan, miten suuri varmuuskerroin levyyn kohdistuvalle kuormitukselle valitaan esim. puutteellisen asennussyvyyden ja dynaamisen kuormituksen takia. Vaurioitumisen lisääntyminen on mahdollista estää kiristämällä levyn puristuslujuusvaatimus 500 kPa:iin siirryttäessä 250 kN:n akselikuormiin.

- Pohjoismaisia olosuhteita vastaava routamitoitus takaa riittävän alusrakennekerrosten paksuuden kaikkia ajateltavissa olevia akselipainoja silmällä pitäen.
- Luodun laskentamallin perusteella akselipainon korottamisesta 225 kN:sta 300 kN:iin aiheutuva routalevyn vaurioitumisen lisäys on 82 – 146 % sen mukaan, miten suuri varmuuskerroin levyyn kohdistuvalle kuormitukselle valitaan esim. puutteellisen asennussyvyyden ja dynaamisen kuormituksen takia. Vaurioitumisen lisääntyminen on mahdollista estää kiristämällä levyn puristuslujuusvaatimus 600 kPa:iin siirryttäessä 300 kN:n akselipainoihin.
- Nykyisen tiedon mukaan pohjarakenteita mitoitettaessa käytettävä metripaino (120 kN/raidemetri) kattaa 300 kN:n akselipainot kaksi- ja neliakselisilla vaunuilla. Metripainon kasvattaminen ei onnistu nykyisellä ratarakenteella.
- Ratapenkereen leveyden riittävyys tulee tutkia 300 kN:n akselipainon osalta.

14.4 Sillat

- Rautatiesiltojen ja siltamaisten erikoisrakenteiden kuormat on esitetty Rautatiesiltojen suunnitteluohjeessa (RSO). RSO:n mukaisia kuormia käytetään myös rakenteiden mitoituksessa silloin, kun paalulaatan, rummun tai muun vastaavan rakenteen yläpinnan etäisyys radan korkeusviivasta on pienempi kuin 1,4 m. RSO:n mukaiset kuormat kattavat 250 kN:n akselipainot. Raskaampia akselipainoja varten kuormakaaviota on muutettava. Uusi kuormakaavio (α^*LM71) on jo laadittu 300 kN:n akselipainoille ja se on otettava pikaisesti käyttöön uusien siltojen suunnittelussa.
- Kun huonokuntoiset sillat seulotaan siltojen päätarkastustoiminnassa, 250 kN:n akselipainon käyttöönotolle ei ole esteitä.
- Kun tarkastellaan siltojen kapasiteettia α^*LM71 kuormakaaviolla nykyisillä mitoitushjeiden kuorma- ja materiaaliosavarmuuskertoimilla, Rautaruukki – Haaparanta – rataosuuden rautatiesilloista 44 % kuuluu sellaiseen riskiryhmään, jolle ei voida sallia akselipainojen korotusta 300 kN:iin, 27 % rautatiesilloista on tarkistettava ennen akselipainojen korotusta ja 29 % rautatiesilloista ei vaadi toimenpiteitä. Rataosuuden siltojen yhteenlasketun siltapituuden mukaan jaoteltuina prosenttiosuudet ovat vastaavasti 16 %, 49 % ja 35 %.
- Sillaston uusiminen ja korjaaminen vie aikaa, mikä on otettava huomioon päätettäessä 300 kN:n akselipainon sallimisesta rataverkolla liikennöivällä kalustolla.
- Akselipainot ovat rautateiden olemassaolon aikana aina olleet nousussa. Varautuminen esimerkiksi 30 % suurempiin akselipainoihin nostaa sillan rakennuskustannuksia vain 3 %. Jos vielä liikenteenhoitokustannukset otetaan huomioon rakennustyön aikana, kokonaiskustannusten nousu on tätäkin pienempi.

14.5 Stabiliateetti ja tärinä

- Radan stabiliateetilaskelmien yhteydessä liikennekuormana käytetään metripainoa 120 kN/raidemetri. Kuorman otaksutaan vaikuttavan pystysuuntaan ja siihen sisältyvät sysäyslisät. Olemassa olevan tiedon mukaan käytössä oleva metripaino kattaa 300 kN:n akselipainot kaksi- ja neliakselisille vaunuille. Uuden sukupolven vaunujen teleillä on mahdollista korottaa akselipainoja nostamatta oleellisesti rataa kohdistuvia dynaamisia kuormia.
- Raskaan tavaraliikenteen vaikutus tärinän aiheuttajana on kiistaton. Asia on todettu Suomessa tehdyissä mittauksissa.
- Akselipainojen, pituusmassan ja junan pituuden kasvattaminen lisää tärinää. Paikallisten olojen vaihtelun takia kaikki tutkimustulokset eivät ole yhdenmukaisia.
- Tärinän suuruuden paikallisiin vaihteluihin vaikuttavat liikkuvan junakaluston ja rata-penkereen ominaisuuksien lisäksi mm. pohjaolosuhteet, rakennusten perustamistapa, kerrosten lukumäärä ja rakennusten sijainti.
- Rautatien perustaminen paaluille eliminoi tärinän lähes kokonaan
- Tärinän vaimentaminen tai sen leviämisen estäminen on yleensä parasta tehdä mahdollisimman lähellä tärinän syntylähdettä.
- Tärinän vaimentamista suunniteltaessa paikalliset olot on tunnettava erittäin hyvin.
- Kaiken tärinän eliminoiminen on sekä taloudellisesti että teknisesti käytännössä mahdotonta.

14.6 Rummut

- Kaikki rummut ovat yksilöitä, vaikka samantyyppisillä rummuilla onkin havaittavissa selvää säännönmukaisuutta.
- Vanhoista rummuista on vaikea tai jopa mahdoton sanoa mitään perusteellisia kommentteja. Erityisesti betoniputkilla jatkettujen kivrumpujen kuntoa on vaikea määrittää.
- Rumpujen kunnon seuraamiseksi ei edes huolellinen, perusteellisesti raportoitu kävely-tarkastus ole yksin riittävä.
- Rummuille tulee siltatarkastusten tapaan tehdä päätarkastus noin 10 vuoden välein.
- Rumpurekisteriä ja rumpujen korjaussuunnittelun ohjeistusta tulee kehittää.
- Rumpujen rakenteellisiin laskelmiin ja mallinnukseen perustuvan tutkimuksen tulee varmistaa rakenteiden kantavuus myös nykyistä raskaammille akselipainoille.

- Akselipainon noston vaikutusta jopa hyvin tunnetun ja dokumentoidun rummun käyttäytymiseen on erittäin hankala arvioida.

14.7 Tutkimuksissa esille tulleet yleiset väittämät

- Ratarakennetta on käsiteltävä kokonaisuutena, jossa alus- ja päällysrakenne ovat tasapainossa keskenään ja jossa kunkin kerroksen materiaalit vastaavat lujuudeltaan ja rakeisuudeltaan korotettujen akselipainojen asettamia vaatimuksia.
- Radan kunnossapitokustannukset nousevat alle 5 %, jos suurinta sallittua akselipainoa nostetaan 225 kN:sta 250 kN:iin. Teoriassa kustannukset nousisivat 5 %, mutta todellisuudessa kaikki akselipainot eivät kuitenkaan ole 225 kN kaikilla akseleilla, eivätkä ne kaikki myöskään nousisi 250 kN:iin. Lopullinen luku vaihtelee rataosan ja akselipainojakauman mukaan.
- Lineaariseen kerrosrakennemalliin perustuva kvasistaattinen ratapenkereen pystysuuntaisen jäykkyyden mallinnus vastaa hyvin instrumentointikohteessa mitattua todellisen ratapenkereen käyttäytymistä. Rakennekerrosten materiaalien ja pohjamaan mekaaninen käyttäytyminen tulee tällöin kuvata jännitystason vaikutuksen huomioon ottavalla materiaalimallilla, jonka parametrit on määritetty todellista kuormitustilannetta vastaavalla jännitys- ja muodonmuutostasolla tehtyjen laboratoriomääritysten perusteella.
- Asfalttisilla rakenteilla on useita hyviä ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää ratarakenteissa. Asfalttisten ratarakenteiden käyttäytymistä Suomen oloissa on kuitenkin vielä tutkittava lisää.

14.8 Jatkotutkimusaiheet

- Ratapenkereen leveyden riittävyys tulee tutkia 300 kN:n akselipainon osalta.
- Junan kulkuominaisuuksien tarkastelu simuloinnin avulla olisi tarpeellinen jatkotutkimusaihe. Erityisesti pyrittäisiin hankkimaan tietoa pyörä/kisko-kosketuksessa vaikuttavista voimista.
- Dynaamisen pyöräkuorman suureneminen käytettäessä 300 kN:n akselipainoa on selvitettävä.
- Rumpujen rakenteellisiin laskelmiin ja mallinnukseen perustuvan tutkimuksen tulee varmistaa rakenteiden kantavuus myös nykyistä raskaammille akselipainoille.
- Korian instrumentointikohteessa ehdotetaan toteutettavaksi toinen mittausjakso talvella täydentämään kesällä 1999 tehtyjä mittauksia. Mittausajankohtana ratapenkereen tulisi olla pääosin jäässä, jolloin tulosten perusteella olisi mahdollista arvioida, miten mm. radan rakennekerrosten jäätymisestä aiheutuva jäykkyyden kasvu vaikuttaa raiteen rakenneosiin kohdistuviin rasituksiin ja radan ympäristöön leviävän tärinän voimakkuuteen. Talvimittausten tekemiseen Viialan koerumpukohteella on myös varauduttava.

- Ratapenkereen pystysuuntaisen jäykkyyden kuvaamiseen olisi hyödyllistä rakentaa mallinnympäristö, jonka avulla rakenteeltaan tunnettujen ratapenkereiden pystysuuntaista jäykkyyttä ja sen vaikutusta mm. raiteen rakenneosiin kohdistuviin rasituksiin on mahdollista ennakoida laskennallisesti.

14.9 Eri raiderakenteiden sallitut nopeudet ja akselipainot sekä ehdotus uusiksi rataluokiksi

Käytössä oleville raiderakenteille on arvioitu suurimmat sallitut nopeudet ja akselipainot. Arvio perustuu betoniratapölkkyjen kantavuuslaskelmiin ja toteutuneeseen käytäntöön. Alla olevassa taulukossa on esitetty nopeusrajoitukset myös sivuraiteille.

Taulukko 1. Eri raiderakenteiden sallitut nopeudet ja akselipainot

| Kisko | Pölkkyt | Kiskopituus | Tukikerros | Akselipaino kN / nopeus km/h | | |
|--------|--|---------------------|-------------|------------------------------|-----|-----|
| | | | | 250 | 225 | 200 |
| 60 E 1 | B88 / B97 / BP 89 / BP 99 | Jk-raide | Raidesepeli | 100 | 140 | 200 |
| 54 E 1 | B86 / B97 / BP 89 / BP 99 | Jk-raide | Raidesepeli | 80 | 120 | 160 |
| 54 E 1 | B86 / B97 / BP 89 / BP 99 | Lk- tai Pk-raide | Raidesepeli | 30 | 100 | 120 |
| 54 E 1 | B75 ja vanhemmat betoniratapölkkyt | Jk-raide | Raidesepeli | 60 | 100 | 120 |
| 54 E 1 | Puuratapölkkyt | Jk-raide | Raidesepeli | 60 | 100 | 120 |
| 54 E 1 | Puuratapölkkyt | Lk- tai Pk-raide | Raidesepeli | 30 | 100 | 120 |
| 54 E 1 | Puuratapölkkyt | Lk- tai Pk-raide | Raidesora | 20 | 60 | 80 |
| K43 | Kaikki pölkkyt | Lk- tai Pk-raide | Raidesepeli | 20 | 80 | 90 |
| K43 | Puuratapölkkyt | Lk- tai Pk-raide | Raidesora | 10 | 50 | 60 |

Näitä vastaavaksi esitetään uutta jakoa rataluokiksi taulukon 2 mukaisesti.

Ehdotus Jtt:n rataluokiksi

”Junaturvallisuusäntöön liittyvät tekniset määräykset ja ohjeet” (Jtt) -julkaisun rataluokkajako voisi 250 kN akselipainon käyttöönotton jälkeen olla taulukon 2 mukainen. Kuvassa 1 on kartta rataosien jakautumisesta eri rataluokkiin.

Päällysrakenteen mukaisesti rataluokkaan C₂ tai D kuuluvien rataosuuksien tulisi kuulua rataluokkaan C₁, kunnes 250 kN akselipaino on otettu käyttöön kyseisellä rataosuudella.

Taulukko 2. Ehdotus rataluokiksi

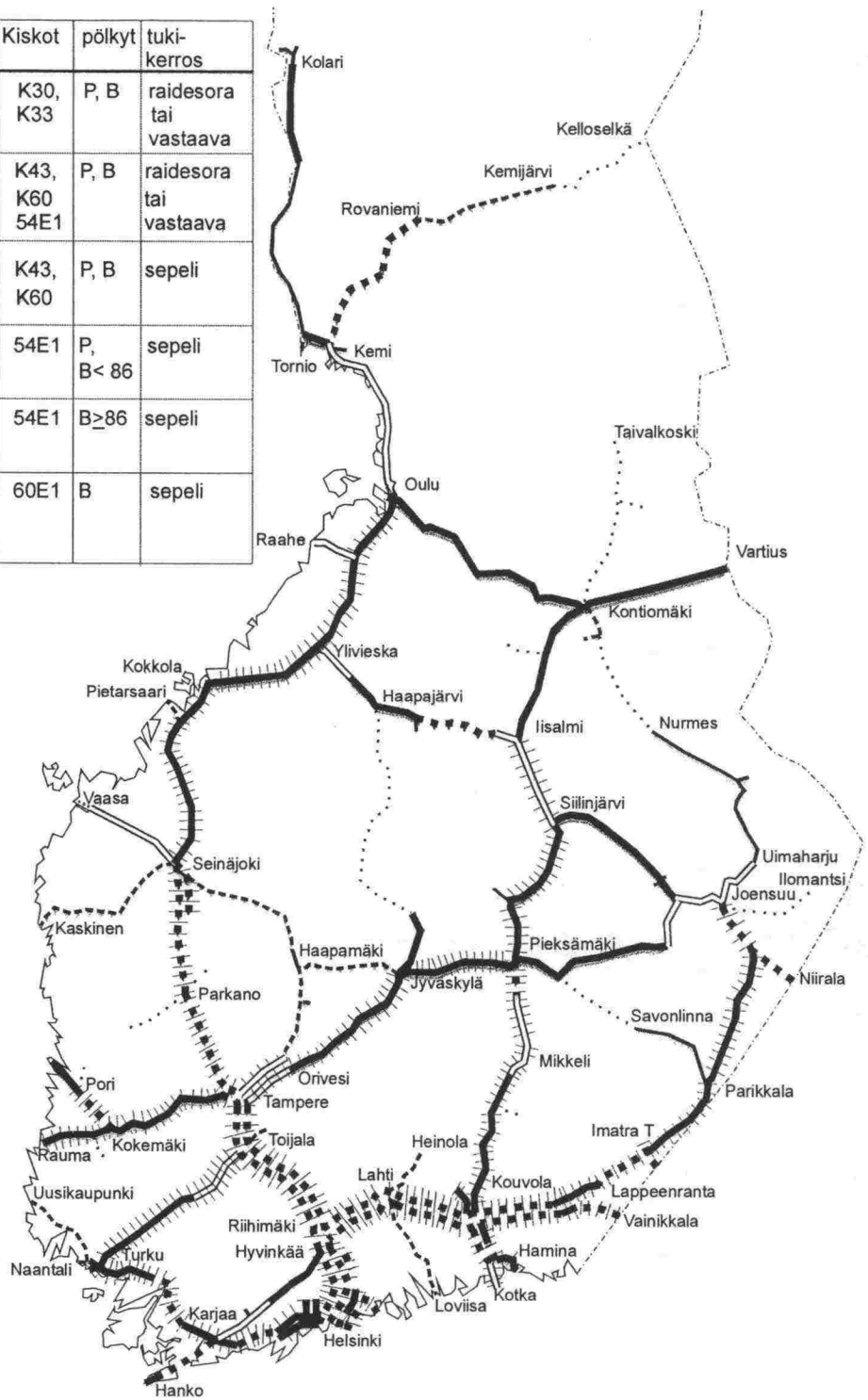
| Rataluokka | Kiskotus | Pölkkytys | Tukikerros | Nopeus [km/h] | Akselipaino ¹⁾ [kN] | Koskee |
|----------------|-----------------------|----------------------------|--------------|--|-----------------------------------|---|
| A | K30 | puu, betoni | sora, sepeli | (90) 70 50 40 | (100) 160 160 200 | henkilöjunat henkilöjunat tavarajunat tavarajunat |
| B ₁ | K43, K60 54 E 1 | puu, betoni | sora | 100 60 50 | 160 200 225 | kaikki junat tavarajunat tavarajunat |
| B ₂ | K43, K60 | puu, betoni | sepeli | 110 100 80 | 160 180 225 | kaikki junat tavarajunat tavarajunat |
| C ₁ | 54 E 1 | puu, betoni < B86 | sepeli | 160 ²⁾ 180 ³⁾ 120 100 60 | 160 160 200 225 250 | henkilöjunat henkilöjunat tavarajunat tavarajunat tavarajunat |
| C ₂ | 54 E 1 Jk-raide | betoni ≥ B86 kovapuu | sepeli | 200 160 120 80 | 160 200 225 250 | henkilöjunat tavarajunat tavarajunat tavarajunat tavarajunat |
| D | 60 E 1 Jk-raide | betoni | sepeli | 220 160 140 100 (60) | 180 200 225 250 (270) | henkilöjunat tavarajunat tavarajunat tavarajunat tavarajunat |

1) Ei koske vetureita junassa

2) Puuratapölkkyt, yli 120 km/h Jk-raide

3) Betoniratapölkkyt, yli 120 km/h Jk-raide

| Rata- luokka | ei sähk. | sähk. | Kiskot | pölyt | tuki- kerros |
|-----------------|----------|-------|---------------------|--------------|------------------------------|
| A | | | K30, K33 | P, B | raidesora tai vastaava |
| B ₁ | — — — — | | K43, K60 54E1 | P, B | raidesora tai vastaava |
| B ₂ | ———— | | K43, K60 | P, B | seveli |
| C ₁ | ———— | | 54E1 | P, B < 86 | seveli |
| C ₂ | ===== | | 54E1 | B ≥ 86 | seveli |
| D | ■ ■ ■ ■ | | 60E1 | B | seveli |



Tilanne n. 31.12.2000.

Kuva 1. Ehdotus uusiksi rataluokiksi 250 kN akselipainon käyttönoton yhteydessä

**AKSELIPAINOPROJEKTIIN LIITTYVÄT RATAHALLINTOKESKUKSEN
JULKAISUT**

- A 1/1999 Ratarakenteen instrumentoinnin kirjallisuustutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- A 3/1999 Rautatieliikenteen aiheuttama värinä, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- A 4/1999 Ratarakenteen instrumentointi- ja mallinnussuunnitelma, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- A 5/1999 Rautatietärinän mittauskäytäntö Pohjoismaissa
- A 6/1999 Radan tukikerroksen ja alusrakenteen kirjallisuustutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- A 7/1999 Rautatiesiltojen luokittelu ja inventointi rataosuudella Rautaruukki – Haaparanta akselipainojen korottamista varten
- A 8/1999 Ratarumpujen maast selvitys, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- A 2/2000 Bantrummor, 250 kN och 300 kN axellaster
- A 3/2000 Liikkuvan kaluston kirjallisuustutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- A 4/2000 Raidesepelin lujuuden vaikutus tukikerroksen kestoikään
- A 5/2000 Ratarakenteen instrumentointi ja mallinnus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- A 6/2000 Väliaportti 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainojen ratateknisistä tutkimuksista
- A 7/2000 Intermediate Report, 250 kN and 300 kN axle loads
- A 10/2000 Instrumentation and modelling of track structure, 250 kN and 300 kN axle loads
- A 2/2001 XPS-routaeristelevyt ratarakenteessa, 250kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- A 3/2001 Raidetutkimus, 250kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- A 4/2001 Radan kunnossapitokustannusten kirjallisuustutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- A 5/2001 Loppuraportti 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainojen ratateknisistä tutkimuksista
- A 6/2001 Final Report, 250 kN and 300 kN axle loads

- 1/1997 Railway Industry Structures and Capital Investment Financing
 2/1997 Nopean junaliikenteen aluekehitysvaikutukset
 3/1997 Rautateiden henkilöliikenteen ennustemalli (RALVI)
 4/1997 Kilpailuedellytykset ja niiden luominen Suomen rataverkolla
 5/1997 Rataverkon tavaraliikenne-ennuste 2020
 1/1998 Rataverkon jatkosähköistytksen yhteiskuntataloudellinen vaikutus selvitys
 2/1998 Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä (RAILI 96)
 3/1998 Rautateiden tavarakuljetusten laatutekijät
 4/1998 Ratahallintokeskuksen tutkimus- ja kehittämistoiminta 1997 - 99
 5/1998 Rataverkon kehittämisen yhdyskuntarakenteellisten vaikutusten ja menetelmien arviointi
 6/1998 Yksityisrahoituksen käyttömahdollisuudet Suomen ratahankkeissa
 1/1999 Ratarakenteen instrumentoinnin kirjallisuustutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 2/1999 Rautatieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamat ympäristökustannukset
 3/1999 Rautatieliikenteen aiheuttama tärinä, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 4/1999 Ratarakenteen instrumentointi- ja mallinnussuunnitelma, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 5/1999 Rautatietärinän mittauskäytäntö Pohjoismaissa
 6/1999 Radan tukikerroksen ja alusrakenteen kirjallisuustutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 7/1999 Rautatiesiltojen luokittelu ja inventointi rataosuudella Rautaruukki-Haaparanta akselipainojen korottamista varten
 8/1999 Ratarumpujen maastoseelvitys, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 1/2000 Rataverkko 2020 -ohjelman väliraportti. Kehittämisvaihtoehtojen vaikutustarkastelut
 2/2000 Bantrummor, 250 kN och 300 kN axellaster
 3/2000 Liikkuvan kaluston kirjallisuustutkimus
 4/2000 Raidesepelin lujuuden vaikutus tukikerroksen kestoikään
 5/2000 Ratarakenteen instrumentointi ja mallinnus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 6/2000 Väliraportti 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainojen ratateknisistä tutkimuksista
 7/2000 Intermediate Report, 250 kN and 300 kN axle loads
 8/2000 Ratatekniset määräykset ja ohjeet -julkaisun käytettävyydestä tutkimus
 9/2000 Ratakapasiteetin perusteet
 10/2000 Instrumentation and Modelling of Track Structure, 250 kN and 300 axle loads
 11/2000 Rautatieonnettomuuksien sisäiset ja ulkoiset kustannukset
 12/2000 Internal and External Costs of Railway Accidents
 1/2001 Rataverkko 2020 -suunnitelma
 2/2001 XPS-routaeristelevyt ratarakenteessa, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 3/2001 Raidetutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 4/2001 Radan kunnossapitokustannukset, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot

RATAHALLINTOKESKUS
 KAIVOKATU 6, PL 185
 00101 HELSINKI

TEKNINEN YKSIKKÖ

Lisätietoja: Kari Ojanperä, puh. (09) 5840 5183, sähköposti: kari.ojanpera@rhk.fi
 Jakelu: Sinikka Kiikka, puh. (09) 5840 5192, sähköposti: sinikka.kiikka@rhk.fi

ISBN 952-445-051-8
 ISSN 1455-2604