



Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston ohjeita
22/2021

RATATEKNISET OHJEET (RATO) osa 2 Radan geometria



Kannen kuva: Pasi Hölttä

Verkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelin 0295 34 3000



Väylävirasto
Trafikledsverket

OHJE

27.5.2021

VÄYLÄ/4030/06.04.01/2021

Vastaanottaja

-

Säädösperusta

-

Korvaa

Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 2
(Liikennevirasto ohjeita 3/2010)

Raidegeometrian määrittely olemassa olevalle
radalle (Väyläviraston ohjeita 24/2020)

Kohdistuvuus

Voimassa

1.6.2021 alkaen toistaiseksi

Asiasanat

Radat, geometria, ohjeet

Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 2 Radan geometria

Väylävirasto on hyväksynyt Ratateknisten ohjeiden (RATO) osan 2 Radan geometria. Ohje on voimassa kaikissa Väyläviraston toimeksiannoissa ohjeen voimaantulosta alkaen. Väyläviraston toimeksiannoissa, jotka on tilattu ennen ohjeen voimaantuloa, on ohjeesta poikkeamisesta sovittava Väyläviraston kanssa erikseen.

Osastonjohtaja, tekniikka ja ympäristö

Minna Torkkeli

Rautatieliikennejohtaja

Markku Nummelin

Asiantuntija, radan päällysrakenne

Henri Seppälä

*Ohje on osa Väyläviraston turvallisuusjohtamisjärjestelmää
rautatietointojen osalta.*

LISÄTIETOJA

Henri Seppälä

Väylävirasto

etunimi.sukunimi(at)vayla.fi

Väylävirasto

PL 33

00521 HELSINKI

puh. 0295 34 3000

faksi 0295 34 3700

kirjaamo@vayla.fi

etunimi.sukunimi@vayla.fi

www.vayla.fi

Esipuhe

Raidegeometriaa käsittelevä ratateknisten ohjeiden osa on viimeksi päivitetty vuonna 2010. Tässä päivityksessä ohjeen sisältö on muutettu vastaamaan nykyisiä käytäntöjä, rakennetta on selkeytetty ja havaittuja virheitä on korjattu. Aukean tilan ulottuman levityksen määrittelemiseen on tuotu uusia työkaluja, ja rataosoitejärjestelmään liittyvää käsitteistöä on uudistettu. Ohjeeseen on siirretty rautatieliikennepaikkojen raidegeometriaa käsittelevät ohjeet ja sisällytetty aiemmin erilliset ohjeet kunnossapidon läpituentaa varten määritettävästä raidegeometriasta. Mittaustöihin liittyvät ohjeet on poistettu, sillä ne sisältyvät nykyisin muihin ohjeisiin. Laippauraa ja raidelevyden levittämistä käsittelevät kohdat liittyvät raiderakenteiden mitoitukseen ja toteuttamiseen, joten ne on siirretty radan päällysrakenneohjeisiin.

Väylävirastossa ohjeen päivitystyötä ovat ohjanneet Annika Salokangas, Henri Seppälä ja Jonna Vesala. Ohjeen on päivittänyt useista raidegeometrian asiantuntijoista koostunut työryhmä. Työskentelyyn ovat osallistuneet

Henri Seppälä, Väylävirasto
Tuija Myllymäki, Väylävirasto
Petri Niemi, Finnmap Infra Oy
Henri Lindholm, Proxion Plan Oy
Maunu Tast, Proxion Plan Oy
Juha-Pekka Martikainen, Ramboll Finland Oy
Markus Moilanen, Sitowise Oy
Antti Sipiläinen, Sitowise Oy
Pasi Hölttä, Sweco Infra & Rail Oy.

Työryhmän sihteerinä on toiminut Harri Mäkelä Sweco Infra & Rail Oy:stä.

Helsingissä toukokuussa 2021

Väylävirasto
Tekniikka ja ympäristö -osasto

Sisältö

| | | |
|--------|---|----|
| 2 | RADAN GEOMETRIA..... | 7 |
| 2.1 | Määritelmät ja tunnukset..... | 7 |
| 2.2 | Raideleveys | 9 |
| 2.3 | Raiteen asema ja asento..... | 9 |
| 2.3.1 | Raiteen suunniteltu ja todellinen asema..... | 9 |
| 2.3.2 | Raiteen suunniteltu ja todellinen asento | 13 |
| 2.4 | Radan geometrian suunnittelu | 15 |
| 2.4.1 | Suunnittelun pääperiaatteet | 15 |
| 2.4.2 | Suunnitteluparametrit..... | 16 |
| 2.5 | Pystygeometria..... | 17 |
| 2.5.1 | Pystygeometria ja pituuskaltevuus..... | 17 |
| 2.5.2 | Kaltevuustaitteen pyöristys | 18 |
| 2.5.3 | Pystygeometrian suunnittelu..... | 19 |
| 2.5.4 | Pystygeometria linjaraiteilla | 20 |
| 2.5.5 | Pystygeometria rautatieliikennepaikalla | 21 |
| 2.6 | Vaakageometria..... | 23 |
| 2.6.1 | Yleistä raiteen vaakageometriasta | 23 |
| 2.6.2 | Mitoitusperiaatteet..... | 23 |
| 2.6.3 | Raideväli | 23 |
| 2.6.4 | Ympyräkaaret | 24 |
| 2.6.5 | Raiteen kallistus | 26 |
| 2.6.6 | Siirtymäkaari ja kallistusviiste..... | 30 |
| 2.6.7 | Kaarreyhdistelmät | 36 |
| 2.6.8 | Elementtien minimipituudet..... | 40 |
| 2.6.9 | Sallitun nopeuden pyörityssäännöt..... | 40 |
| 2.6.10 | Suurnopeusradat ≥ 250 km/h | 41 |
| 2.6.11 | Mitoitus poikittaiskiihtyvyydellä..... | 41 |
| 2.7 | Raidegeometria vaihtealueella | 45 |
| 2.7.1 | Vaihteen pystygeometria | 45 |
| 2.7.2 | Vaihteen etujatkosalue..... | 45 |
| 2.7.3 | Vaihteen takajatkosalue | 46 |
| 2.7.4 | Vaihteiden välialue..... | 50 |
| 2.8 | Raidegeometrian määrittely olemassa olevalle radalle..... | 51 |
| 2.8.1 | Suunnitteluohjeet..... | 51 |
| 2.8.2 | Suunnittelun lopputulos ja luovutusaineisto..... | 53 |
| 2.8.3 | Maastomerkinnot ja rekisteripäivitykset | 53 |
| 2.9 | Ulottumat..... | 54 |
| 2.9.1 | Aukean tilan ulottuma (ATU) | 54 |
| 2.9.2 | Suurkuljetusraiteen ulottuma | 59 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.10 | Junan ajodynaaminen käyttäytyminen | 60 |
| 2.10.1 | Junan vastusvoimat..... | 60 |
| 2.10.2 | Radan ja liikkuvan kaluston vuorovaikutus | 62 |
| 2.10.3 | Raidevällys ja tehollinen kartiokkuus | 63 |
| 2.11 | Rataosoitejärjestelmä | 67 |
| 2.11.1 | Ratakilometri | 67 |
| 2.11.2 | Pituusmittausraide | 68 |
| 2.11.3 | Ratakilometrisijainti | 68 |
| 2.11.4 | Radan lyhentyminen ja pidentyminen..... | 69 |

| | |
|---------------|----|
| VIITTEET..... | 71 |
|---------------|----|

LIITTEET

| | |
|---------|---|
| Liite 1 | Kallistuvakorisen kaluston Sm3 ja Sm6 (Pendolino ja Allegro) nopeus |
| Liite 2 | Vaihteiden välialueen mitoittaminen |
| Liite 3 | Aukean tilan ulottuma (ATU) |
| Liite 4 | ATUn levitys kaarteessa |
| Liite 5 | ATUn levitys vaihteissa |
| Liite 6 | Suurkuljetusraiteen ulottuma |

2 Radan geometria

Ratateknisten ohjeiden (RATO) osa "Radan geometria" sisältää perusteet Suomen valtion omistaman rataverkon raiteiden geometrian suunnittelua varten. RATO 2 sisältää radan pysty- ja vaakageometriaa, raideleveyttä sekä aukean tilan ulottumaa (ATU) koskevat ohjeet.

Ohjeet koskevat ratoja, joiden nopeus on alle 250 km/h. Vähintään 250 km/h nopeuden suurnopeusratojen lisävaatimukset on esitetty kohdassa 2.6.10.

Rataverkon haltija seuraa alan eurooppalaista standardisointia (CEN) ja ylläpitää ohjeita standardien mukaisina. RATO 2:ssa on otettu huomioon standardin SFS-EN 13803:2017 vaatimukset [1].

Liikenne- ja viestintävirasto (Traficom) antaa raidegeometriaan liittyvät määräykset.

2.1 Määritelmät ja tunnukset

Ratateknisten ohjeiden määritelmät on koottu RATO:n osan 1 Yleiset perusteet [2] jatkuvasti päivittyvään liitteeseen "Termit ja määritelmät". Liitteen ajantasainen versio on rataverkon haltijan rautatieohjeiden luettelossa.

Taulukossa 2.1:1 ovat RATO:n osassa 2 käytetyt tunnukset. Rautatiealan tunnukset ja yksiköt ovat kansainvälisten CEN-normien mukaisia. Matemaattisten suureiden yksiköt ja tunnukset ovat yleisesti käytössä olevia. Numero 20 suunta- kulma (t) on maanmittauksessa yleisesti käytetty tunnus, jonka yksikkö on gooni (gon).

Taulukko 2.1:1 Käytetyt tunnukset ja yksiköt.

| Nro | Tunnus | Selite (aiemmin käytetty tunnus) | Yksikkö |
|-----|-----------|--|------------------|
| 1 | a_q | poikittaiskiihtyvyys | m/s ² |
| 2 | D | raiteen kallistus (h) | mm |
| 3 | da_q/dt | nykäys eli kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutos aikayksikössä | m/s ³ |
| 4 | dD/ds | raiteen kallistuksen muutos kuljetun matkan suhteen | mm/m |
| 5 | dD/dt | raiteen kallistuksen muutos kulkuajan suhteen | mm/s |
| 6 | D_{EQ} | raiteen tasapainokallistus | mm |
| 7 | dl/dt | kallistuksen vajauksen muutos kulkuajan suhteen | mm/s |

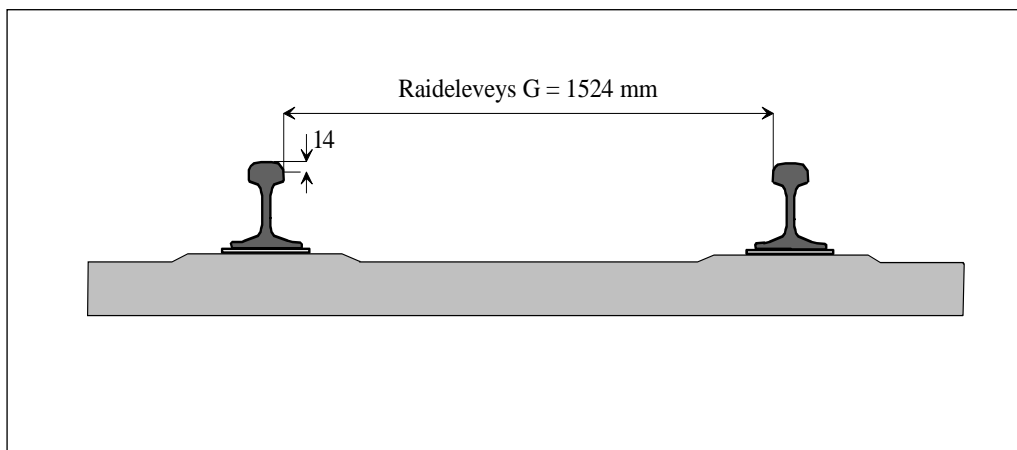
| Nro | Tunnus | Selite (aiemmin käytetty tunnus) | Yksikkö |
|------------|------------------------|---|------------------|
| 8 | <i>e</i> | pyörien kulkuympyröiden välinen etäisyys (1585 mm käytettäessä 1524 mm raideleveyttä) | mm |
| 9 | <i>E</i> | liikakallistus | mm |
| 10 | <i>g</i> | putoamiskiihtyvyyys 9,81 m/s ² | m/s ² |
| 11 | <i>G</i> | raideleveys | mm |
| 12 | <i>l</i> | kallistuksen vajoaus | mm |
| 13 | <i>L_D</i> | kallistusviisteen pituus | m |
| 14 | <i>L_K</i> | siirtymäkaaren pituus (<i>L</i>) | m |
| 15 | <i>n</i> | viistekerroin | |
| 16 | <i>p</i> | pituukskaltevuus (<i>s</i>) | |
| 17 | <i>R</i> | kaaren säde | m |
| 18 | <i>R_v</i> | pyöristyskaaren säde (<i>S</i>) | m |
| 19 | <i>t</i> | aika | s (h) |
| 20 | <i>t</i> | suuntakulma | gon |
| 21 | <i>v</i> | nopeus | m/s |
| 22 | <i>V</i> | nopeus | km/h |
| 23 | <i>V_{max}</i> | maksiminopeus | km/h |
| 24 | <i>w_r</i> | ominaiskaarrevastus | |

2.2 Raideleveys

Raideleveyden nimellismitta on 1524 mm kiskojen kulkureunojen välillä, 14 mm kiskon selän alapuolella (kuva 2.2:1). Raideleveys mitataan kiskon selän tason alapuolelta alueelta 0–15 mm.

Suorassa raiteessa ja kaarteissa, joiden säde $R \geq 200$ m raideleveyden nimellismittana käytetään arvoa 1524 mm. Tätä jyrkemmissä kaarteissa ja vaihteissa käytetään raideleveyden levitystä RATO:n osan 11 Radan päällysrakenne [3] ja RATO:n osan 4 Vaihteet [4] mukaisesti.

Raideleveyden sallitut poikkeamat kunnossapitotasoin on esitetty RATO:n osassa 13 Radan tarkastus [5].



Kuva 2.2:1 Raideleveys.

2.3 Raiteen asema ja asento

Raiteen asema määrittää raiteen sijainnin ja raiteen asento suunnan, kallistuksen ja pituuskaltevuuden. Kohdassa 2.3.1 on määritelty raiteen asema ja kohdassa 2.3.2 raiteen asento.

2.3.1 Raiteen suunniteltu ja todellinen asema

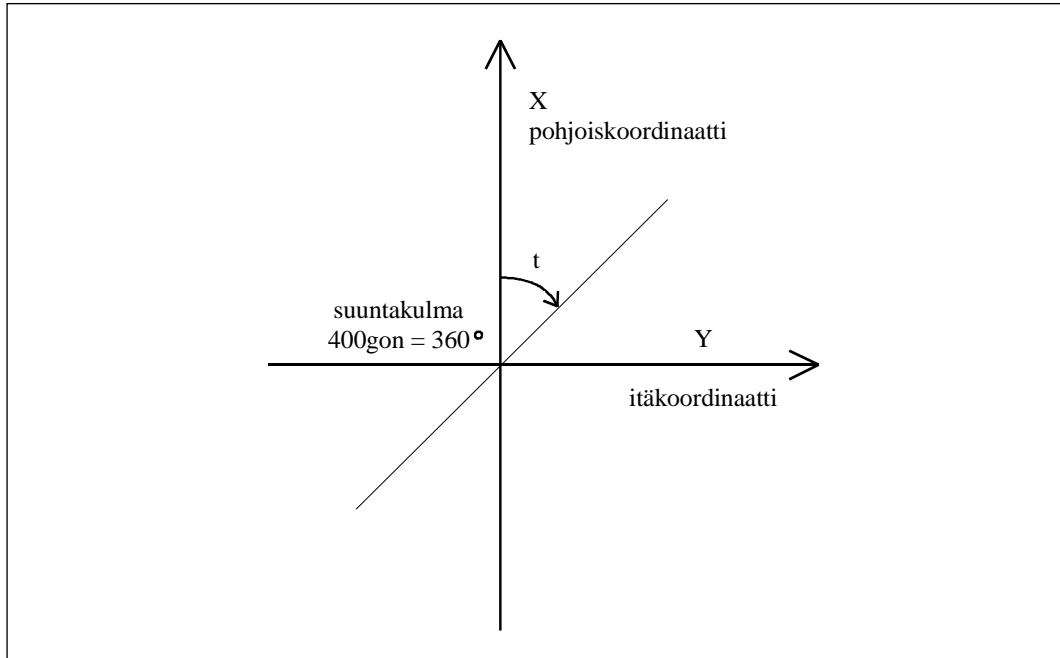
Raiteen asema kuvaa raiteen sijaintia ympäristöönsä ja muihin rakenteisiin nähden. Raiteen asema määritellään paikallisesti yleisesti käytetyssä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä.

2.3.1.1 Raiteen asema vaakatasossa

Raiteen asema vaakatasossa kuvataan esittämällä raiteen keskilinjan sijainti. Raiteen keskilinjalla tarkoitetaan linjaa, jonka etäisyys nimellismittaisessa rai-

teessa molempien kiskojen kulkureunasta on sama. Suoralla teoreettinen etäisyys on 762 mm. Kallistetussa raiteessa keskilinjan sijainti on kuvan 2.3:2 mukainen.

Tasossa koordinaatteina käytetään geodeettisia koordinaatteja (kuva 2.3:1).



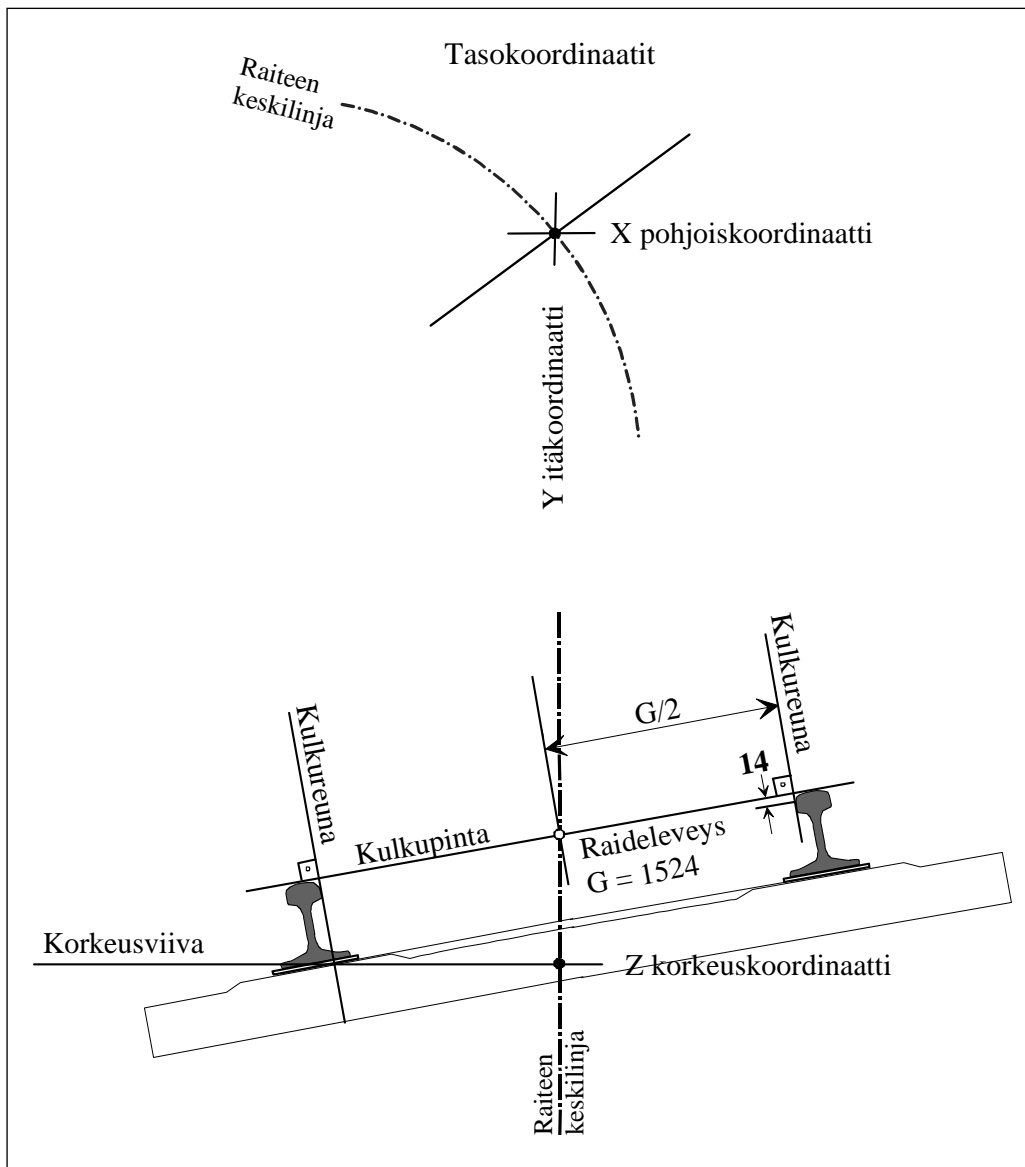
Kuva 2.3:1 Geodeettiset koordinaatit.

2.3.1.2 Raiteen asema pystysuunnassa

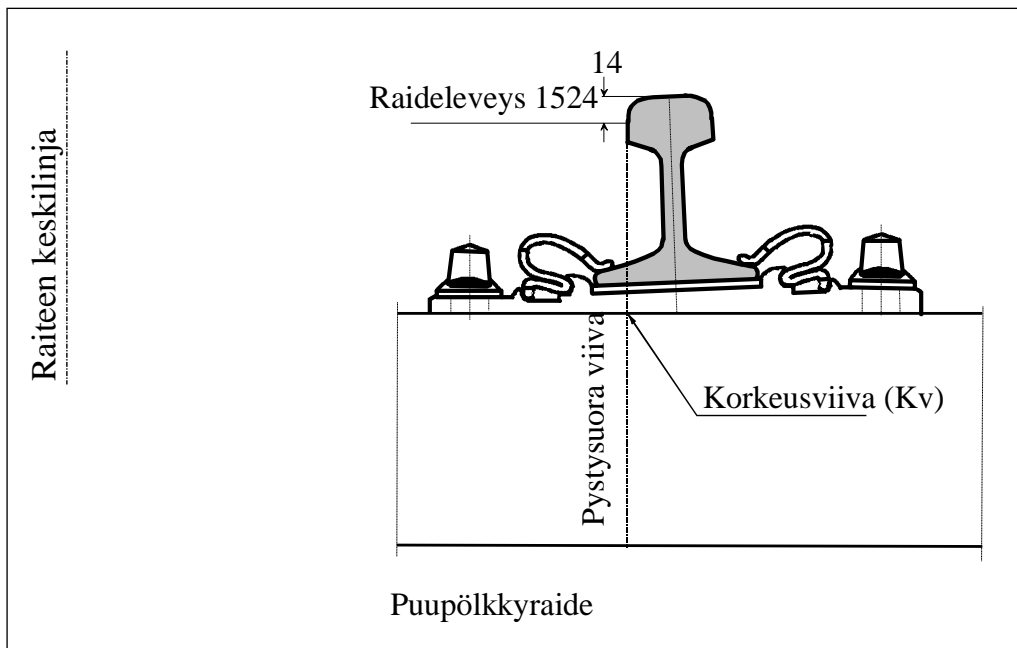
Raiteen pystysuuntainen asema kuvataan esittämällä raiteen korkeusviivan sijainti korkeusjärjestelmässä.

Raiteen korkeusviivalla (kv) tarkoitetaan viivaa, joka sijaitsee aluslevyn tai välilevyn alapinnan tasossa kiskon kulkureunan kohdalla. Suoralla ja kallistamattomassa kaarteessa määritellään korkeusviiva toisen kiskon kulkureunan kohdalla em. tasossa (kuvat 2.3:3 ja 2.3:4). Kallistetuissa kaarteissa korkeusviiva määritellään alemman kiskon kulkureunan kohdalla kuvan 2.3:2 mukaan.

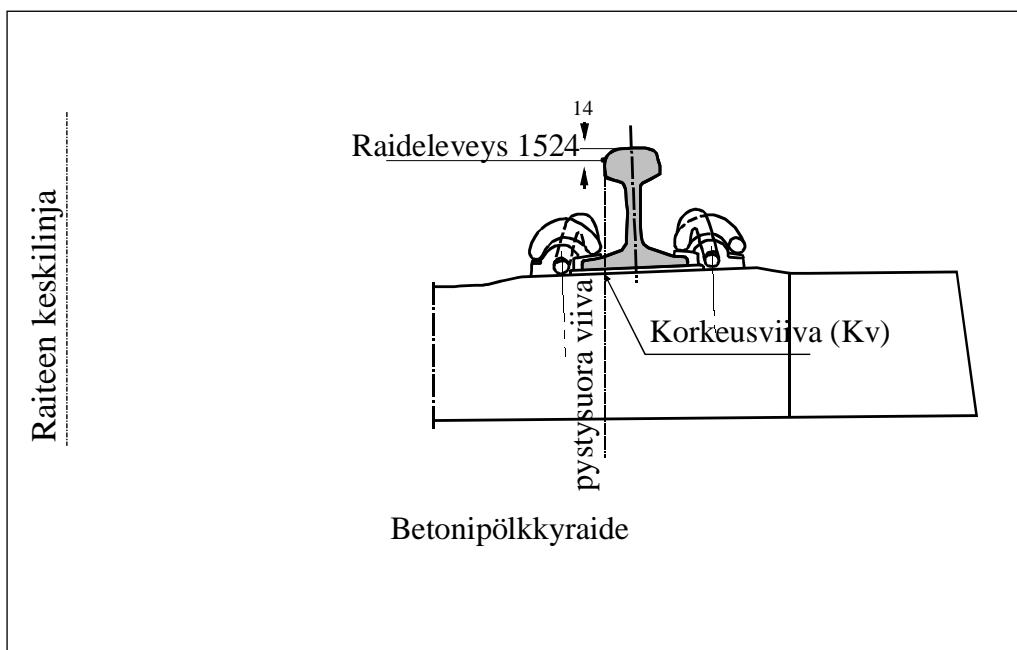
Raiteen geometriaa kuvaavien dokumenttien ja muiden tietoaineistojen yhteydessä on esitettävä, jos raiteen korkeusasema on kuvattu muuten kuin raiteen korkeusviivan korkeutena.



Kuva 2.3:2 Raiteen korkeusviiva ja keskilinja kallistetussa raiteessa.



Kuva 2.3:3 Raiteen korkeusviiva kallistamattomassa puuratapölkkyraiteessa.



Kuva 2.3:4 Raiteen korkeusviiva kallistamattomassa betoniratapölkkyraiteessa.

2.3.2 Raiteen suunniteltu ja todellinen asento

Raiteen asento kuvaa raiteen geometristä muotoa liikkuvan kaluston kannalta, eli raiteen muuttumista raidetta pitkin edettäessä. Raiteen asennon vaikutuksesta kalustoon ja raiteeseen kohdistuu voimia, jotka vaikuttavat turvallisuuteen, rakenteiden rasitukseen ja matkustusmukavuuteen.

Raiteen asento määritellään raiteen suunnalla ja suunnanmuutoksilla pysty- ja vaakatasossa sekä raiteen kallistuksella.

Raiteen suunniteltu asento määräytyy raiteen aseman suunnittelussa ja raiteen kallistuksen mitoituksessa.

Raiteen todellinen asento määritellään mittaamalla radantarkastusvaunulla tai muulla menetelmällä. Raiteen asennon virheet merkitsevät junan epätasaista kulkua, huonoa matkustusmukavuutta ja pahimmillaan suistumisvaaran aiheuttavia vaarallisen suuria rasituksia rataan tai liikkuvaan kalustoon. Raiteen asennon laatuvaatimukset ja sallitut poikkeamat on määritelty RATO:n osassa 13 Radan tarkastus [5].

2.3.2.1 Raiteen asento vaaka- ja pystysuunnassa

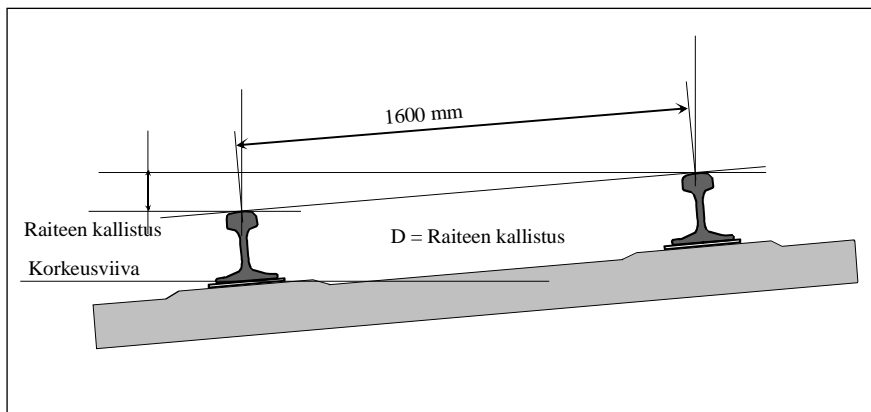
Vaakatasossa raiteen suunniteltu asento ilmaistaan keskilinjan suuntakulmana, jonka yksikkö on gooni (gon). Suuntakulman nolla-arvo on koordinaatiston pohjoissuunnassa ja sen arvo kasvaa myötäpäivään.

Raiteen todellinen asento vaakatasossa ilmoitetaan yleensä raiteen kaarevuutena ja kiskojen kaarevuuden poikkeamina.

Pystytasossa raiteen asento ilmaistaan korkeusaseman muutoksena suhteessa vaakatasossa kuljettuun matkaan, eli pituuskaltevuutena. Pituuskaltevuus on yksikötön suhdeluku, joka ilmoitetaan usein promilleina. Esimerkiksi 1 ‰ tarkoittaa yhden metrin nousua 1000 metrin matkalla.

2.3.2.2 Raiteen kallistus

Raiteen kallistuksella tarkoitetaan sisä- ja ulkokiskon välistä korkeuseroa kiskojen kulkupintojen kohdalta (kuva 2.3:5). Kallistuksen suuruus ilmoitetaan millimetreinä. Määritelmän mukaan korkeusero mitataan kiskojen kulkupintojen kohdalta, 1600 mm:n etäisyydeltä toisistaan. Käytännön mittaustarkkuudella ja menetelmillä raiteen kallistus mitataan yleensä kiskojen korkeimpien kohtien korkeuserona.



Kuva 2.3:5 Raiteen kallistus.

2.4 Radan geometrian suunnittelu

2.4.1 Suunnittelun pääperiaatteet

Tässä RATO:n osassa esitetään yleiset geometrian suunnitteluohjeet. Projekti-kohtaiset tarkemmat suunnitteluohjeet kirjataan projektin suunnitteluperusteisiin.

Radan geometrisessa mitoituksessa on huomioitava, sekä pitkällä että lyhyellä aikavälillä

- liikenteelliset tarpeet
- käytettävä kalusto
- ympäristövaikutukset
- turvallisuustekijät
- radan rakentamisen toteutus
- kunnossapidon toteutus.

Radan pysty- ja vaakageometria vaikuttavat toisiinsa, ja tämän vuoksi radan geometria on suunniteltava yhtenä kokonaisuutena. Raiteen asema suunnitellaan tavoitenopeuden perusteella, jotta nopeuden nostaminen myöhemmin ei aiheuta tarvetta raiteen siirtämiseen. Raiteen kallistus suunnitellaan mitoitusnopeuden perusteella, jotta kallistus on sopiva junien todellisille nopeuksille ja koska kallistuksen lisääminen nopeutta nostettaessa ei olennaisesti muuta raiteen asemaa.

Radan geometrian suunnittelussa on pyrittävä elinkaarikustannusten minimointiin huomioimalla rakentamis- ja kunnossapitokustannusten lisäksi liikennöinnin energiankulutus ja muut kustannukset.

Radan geometrian mitoituksella voidaan parantaa junan kulkuominaisuuksia ja matkustusmukavuutta, pienentää kaluston ja radan kunnossapitokustannuksia, sekä pienentää radan rakentamiskustannuksia.

RATO:ssa esitetään raja-arvoina minimi- ja maksimi-arvot, joiden mukaan suunnittelu on äärimmäisin hyväksyttävä ratkaisu. Minimi- ja maksimi-arvoja ei tule käyttää jatkuvana mitoituksena, vaan on pyrittävä käyttämään korkeintaan suositeltavia arvoja. Suositeltavien arvojen ja raja-arvojen välisiä arvoja voidaan kuitenkin käyttää ilman erillistä rataverkon haltijan lupaa. Hyvä suunnittelu löytää tasapainoisen ratkaisun kustannusten ja toimivuuden sekä raja-arvojen väliltä. Hyvän suunnittelun ratkaisut ovat yksinkertaisen selkeitä ja säilyvät perusteiltaan samana läpi koko suunnitteluhankkeen.

Rautatieliikennepaikalla läpikulkuraiteen geometria on mitoittettava radan tavoitenopeuden mukaan, ellei siitä aiheudu kohtuuttomia kustannuksia saavutettuun hyötyyn nähden tai kohtuuttomia haittoja, joita ei voi hinnoitella. Muun raiteen kuin läpikulkuraiteen geometria on pyrittävä mitoittamaan sen raiteeseen liittyvän vaihteen mukaan, joka mahdollistaa suurimman nopeuden.

Nykyisen raiteen parantamisen yhteydessä joudutaan usein poikkeamaan suositusarvojen käyttämisestä. Erityisistä syistä voidaan joutua käyttämään myös tämän ohjeen lupa-arvoja, joiden käyttäminen on sallittua vain rataverkon haltijan luvalla. Lisäksi yksittäisen hankkeen suunnitteluperusteissa voidaan poiketa suositeltavista arvoista tai maksimi- ja minimiarvoista. Geometrian mitoituksessa on pyrittävä ottamaan huomioon myös radan rakenteen vaikutus mitoitusnopeuteen ja paikalliseen nopeuteen.

2.4.2 Suunnitteluparametrit

Radan geometrian suunnittelussa on otettava tilanteen mukaan huomioon seuraavat parametrit:

- kaarresäde R [m] *
- raiteen kallistus D [mm] *
- raiteen kallistuksen vajoitus I [mm] *
- liikakallistus E [mm]
- kallistuksen muutos aikayksikössä dD/dt [mm/s]
- kallistuksen muutos pituusyksikköä kohti dD/ds [mm/m] *
- kallistuksen vajoituksen muutos aikayksikössä dI/dt [mm/s]
- suunnittelulementin pituus (ympyränkaari, suora) [m]
- siirtymäkaaren pituus L_K [m]
- kallistusviisteen pituus L_D [m] *
- pyörästyskaaren säde R_V [m]
- pystysuora kiihtyvyys a_v [m/s²]
- nopeus V [km/h] *

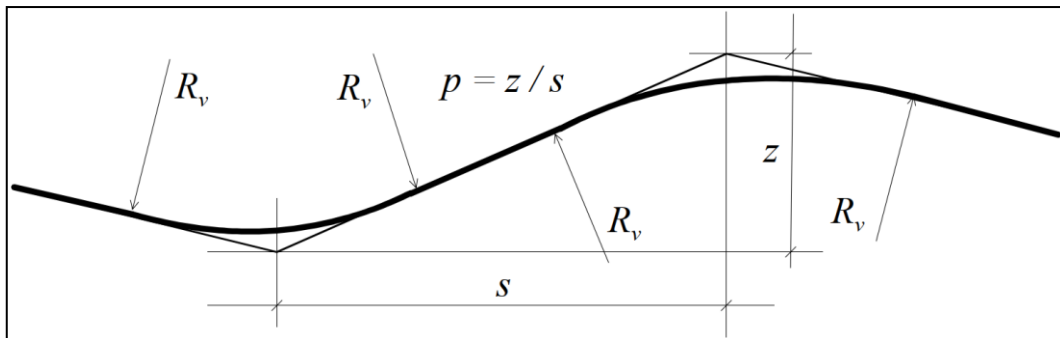
Turvallisuuden kannalta merkittävimmät suunnitteluparametrit on merkitty tähdellä (*).

2.5 Pystygeometria

2.5.1 Pystygeometria ja pituuskaltevuus

Raiteen pystygeometria määrää raiteen sijainnin korkeussuunnassa. Pystygeometria määritellään pituuskaltevuuden taitepisteiden avulla. Raiteen korkeutta kuvaava viiva muodostuu suorista kaltevuusjaksoista ja ympyränkaaren muotoisista kaltevuustaitteen pyöristyskaarista. Pystygeometriassa ei käytetä siirtymäkaarina.

Raiteen keskimääräinen pituuskaltevuus p on korkeuseron z ja vastaavan vaakamatkan s välinen suhde: $p = z / s$ (kuva 2.5:1). Pituuskaltevuus ilmaistaan joko tuhannesosalukuna eli promilleina (esim. 4 ‰) tai desimaalilukuna (0,004). Pituuskaltevuus lasketaan kaltevuusjaksojen taitepisteistä. Kaltevuustaite pyöristetään taitepisteen kohdalla pyöristyskaarresäteellä R_v . Raiteen laskennallinen pituuskaltevuus on raiteen kaltevuusjakson suorassa osassa myös raiteen todellinen pituuskaltevuus. Pystygeometrian suunnittelussa määritellään kaltevuusjaksojen taitepisteet ja valitaan pyöristyskaarresäteet. Pyöristyskaaren tangenttipisteiden paikat määräytyvät niiden perusteella.



Kuva 2.5:1 Raiteen pituuskaltevuus.

p = raiteen pituuskaltevuus

z = taitepisteiden korkeusero [m]

s = taitepisteiden välimatka raidetta pitkin vaakatasossa [m]

R_v = pyöristyskaarresäde [m]

Jos korkeusasema on sama useille raiteille, niille syntyy yhteinen korkeustaso. Tasoon kuuluvien raiteiden korkeusasema samassa määrittelyraiteen poikkileikkauksessa on sama, mutta pituuskaltevuus voi olla poikkeava. Tämä johtuu siitä, että poikkileikkausten välinen matka on erilainen erisuuntaisilla raiteilla.

2.5.2 Kaltevuustaitteen pyöristys

Kaltevuusjaksojen taitepisteen kohdalla raiteen korkeutta kuvaava viiva on pyöristettävä ympyränkaarella, jonka säde on R_v . Siirtymäkaarria ei käytetä.

Pyöristyskaarresäteiden tangenttien pituudet lasketaan korkeusaseman suunnittelussa kaavojen 2.5:1 tai 2.5:2 ja kuvien 2.5:2 tai 2.5:3 mukaan.

$$l = \frac{R_v(p_2 - p_1)}{2} \quad \text{kun kaltevuuden suunta ei muutu ja } p_1 < p_2 \quad (2.5:1)$$

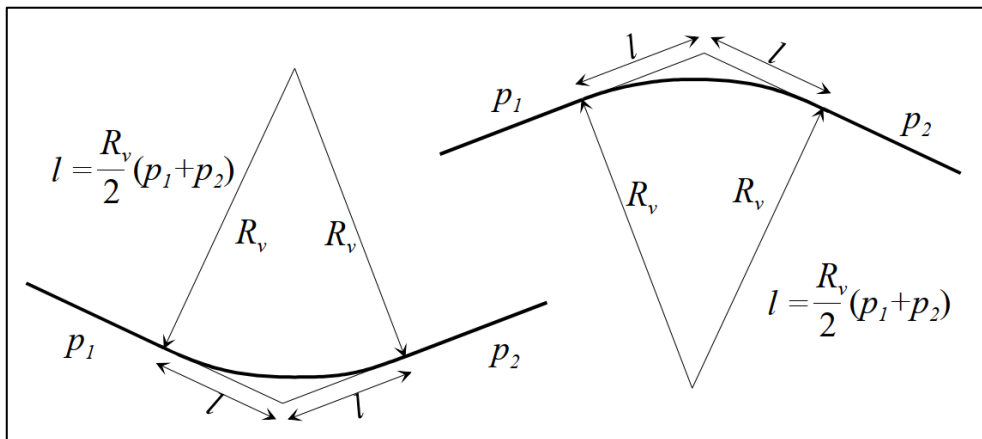
$$l = \frac{R_v(p_1 + p_2)}{2} \quad \text{kun kaltevuuden suunta muuttuu} \quad (2.5:2)$$

l = tangentin pituus [m]

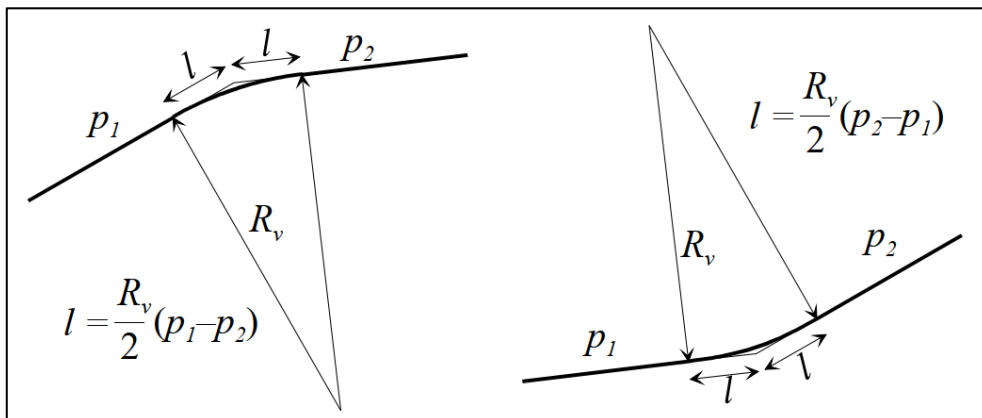
R_v = pyöristyskaarresäde [m]

p_1 ja p_2 = pituuskaltevuudet desimaalilukuina

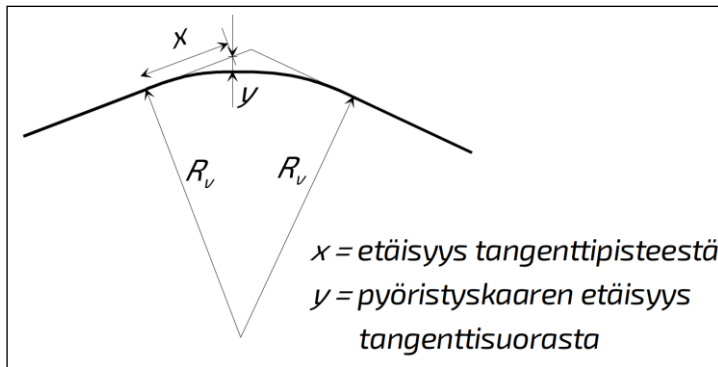
(l , R_v , p_1 ja p_2 toteutuvat korkeustasojen määrittelyraiteella)



Kuva 2.5:2 Tangenttien pituudet, kun pituuskaltevuuden suunta muuttuu.



Kuva 2.5:3 Tangenttien pituudet, kun pituuskaltevuuden suunta ei muutu.



Kuva 2.5:4 Raiteen korkeus pyöristyskaaren alueella.

Tangenttisuoran ja raiteen korkeusaseman korkeusero y voidaan laskea kaavan 2.5:3 ja kuvan 2.5:4 mukaan.

$$y = \frac{x^2}{2R_v} \quad (2.5:3)$$

y = korkeusero [m]

x = etäisyys lähimmästä tangentialpisteestä [m]

R_v = pyöristyskaarresäde [m]

Jos kupera taite joudutaan sijoittamaan siirtymäkaaren alueelle, pyöristyskaarresäteen tulee olla uusilla radoilla ja mahdollisuuksien mukaan olemassa olevilla radoilla kaavan 2.5:4 mukainen ja viistekertoimen vähintään 10V.

$$R_v \geq V^2 \quad (2.5:4)$$

R_v = pyöristyskaarresäde [m]

V = tavoitenopeus [km/h]

2.5.3 Pystygeometrian suunnittelu

Pystygeometrian suunnittelun lähtötietoja ovat esimerkiksi liikenteen tavoitteet, taloudelliset perusteet, rakenteelliset vaatimukset, nykyinen korkeusasema, ympäristöstä tulevat ehdot, maasto, geotekniikka, sillat, tiet, rummut, vesistöt ja suunnitteluarvot. Hyvä pystygeometria on yksinkertaista ja selkeää. Liikenne määrää pituuskaltevuuden raja-arvot. Pystygeometrian muodolla on muutenkin pyrittävä tukemaan liikenteen tarpeita esimerkiksi radan kiihdytys- ja jarrutusalueiden sopivan suuntaisilla kaltevuuksilla.

Pystygeometrian suunnittelussa on otettava huomioon seuraavat seikat:

- Kaltevuusjaksojen on oltava niin pitkiä, että pyöristyskaarien väliin jäävän suoran osan pituus on vähintään V_{tavoite} [m], poikkeuksellisesti $V_{\text{tavoite}} / 2$ [m].
- Vältetään lyhyitä, alle 600 metrin pituisia, lähellä maksimipituuskaltevuutta olevia erisuuntaisia pituuskaltevuuksia.

- Vältetään pitkiä, yli 2000 metrin pituisia, lähellä maksimipituuskaltevuutta olevia kaltevuusjaksoja.
- Vältetään pieniä pituuskaltevuuksien muutoksia, etenkin samansuuntaisten kaltevuusjaksojen muutoksia, joissa kaltevuus muuttuu ≤ 2 ‰.
- Vältetään pieniä kaltevuustaitteen pyöristyssäteitä ($R_v < 10\,000$ m), jos pituuskaltevuus muuttuu paljon (yli 16 ‰).
- Radan turvalaitteiden asettamat vaatimukset pituuskaltevuudelle on esitetty RATO:n osassa 6 Turvalaitteet [6].

2.5.4 Pystygeometria linjaraiteilla

2.5.4.1 Pituuskaltevuus

Pituuskaltevuuden raja-arvot suoralla radalla rautatieliikennepaikkojen välisillä rataosuuksilla on esitetty taulukossa 2.5:1. Taulukon ja suunnitteluperusteiden maksimiarvon ylittäviä arvoja käytettäessä on tapauskohtaisesti tutkittava ja arvioitava vaikutukset sekä tehtävä lupahakemus rataverkon haltijalle. Perusteena voi olla esimerkiksi nykyinen raiteen pituuskaltevuus.

Raja-arvot koskevat uusia ratoja ja raiteita. Nykyisillä raiteilla olevia maksimiarvon ylittäviä pituuskaltevuuksia ei saa huonontaa.

Taulukko 2.5:1 Pituuskaltevuuden raja-arvot suoralla radalla.

| RATA | PITUUSKALTEVUUS [‰] | | |
|--------------------------|---------------------|-------------|-----------|
| | Suosittelava | Maksimiarvo | Lupa-arvo |
| Sekaliikenneradat | ≤ 10 | 12,5 | 25 |
| Matkustaja-liikenneradat | ≤ 10 | 15 | 40 |
| Tavaraliikenneradat | ≤ 10 | 12,5 | 25 |

Pituuskaltevuuden raja-arvoja on pienennettävä kaarteissa ominaiskaarrevastuksen arvolla w_r (kaava 2.5:5). On kuitenkin huomattava, että todelliseen kaarrevastukseen vaikuttavat myös junan nopeus ja raiteen kallistus. Tästä syystä pitkien, suositeltavaa pituuskaltevuutta jyrkempien nousujen alueella, joilla erityisesti tavarajunat saattavat kulkea hitaasti, on käytettävä mahdollisimman pientä raiteen kallistusta.

$$w_r = \frac{650}{R - 55} [\text{‰}] \quad (2.5:5)$$

w_r = ominaiskaarrevastus [‰]

R = kaarresäde [m]

Kaarrevastuksen lisäksi pituuskaltevuuden raja-arvoja on pienennettävä tunneleissa niissä esiintyvän suuremman kulkuvastuksen vuoksi 1...4 ‰ riippuen tunnelin pituudesta, mitoitusnopeudesta, tunnelin poikkipinta-alasta ym. seikoista. RATO:n osan 18 Rautatietunnelit [7] mukaan suuria pituuskaltevuuksia ja minimikaarresäteitä sekä vaihteiden sijoittamista tunnelisuuaukon välittömään läheisyyteen tulee mahdollisuuksien mukaan välttää.

Jos rautatieliikennepaikalta lähdetään ylämäkeen, raiteen pituuskaltevuutta on tarkasteltava koko ylämäen pituuden matkalta mitoittavan junan liikkeellelähdön varmistamiseksi. Ylämäkeä on tarkasteltava kokonaisuutena ja se voi sisältää myös lyhyitä laskevia kaltevuusjaksoja.

Pituuskaltevuuden suunnittelussa on myös otettava huomioon RATO:n osan 6 Turvalaitteet [6] ohjeet raiteen pituuskaltevuudesta esimerkiksi opastimien kohdalla sekä RATO:n osan 5 Sähköistetty rata [8] ohjeet pituuskaltevuudesta erotusjakson läheisyydessä.

2.5.4.2 Kaltevuustaitteiden pyöritys

Pyörityskaarresäde R_v [m] on mitoittettava kaavojen 2.5:6, 2.5:7 ja 2.5:8 perusteella.

$$R_v = V^2/1...1,5 \quad \text{suositeltava} \quad (2.5:6)$$

$$R_v = V^2/3 \quad \text{minimi} \quad (2.5:7)$$

$$R_v = 50\,000 \quad \text{maksimi} \quad (2.5:8)$$

R_v = pyörityskaarresäde [m]

V = tavoitenopeus tavanomaisella kalustolla [km/h]

Linjaraiteilla pyörityskaarresäteen on oltava ehdottomasti vähintään 2000 m.

2.5.5 Pystygeometria rautatieliikennepaikalla

2.5.5.1 Pituuskaltevuus

Rautatieliikennepaikkojen pääraiteiden pituuskaltevuudet suunnitellaan kuten linjaraiteen pituuskaltevuudet. Sivuraiteilla pituuskaltevuuden

- suositeltava arvo on enintään 12,5 ‰
- raja arvo on 15 ‰
- lupa-arvo on 30 ‰

Kohtausraiteen sijoittamista mäen harjalla olevaan kaltevuustaitteeseen on vältettävä.

Jos raiteen laskeva pituuskaltevuus on 200 metrin matkalla ennen käyttöpitouden rajakohtaa yli 2,5 ‰, on läpikulkuraiteen sivusuojana käytettävä vaihdetta. Raiteen pituuskaltevuus 200 metrin matkalla ennen käyttöpitouden rajakohtaa ei itseisarvoltaan saa olla yli 15 ‰.

Uusi pysäköintiin tai kuormaukseen käytettävä raide on suositeltavaa sijoittaa vakiokaltevuuteen tai koveraan taitteeseen. Raiteen sijoittamista kuperaan taitteeseen on vältettävä. Raiteen pituuskaltevuus on pyrittävä suunnittelemaan käyttöpituuden matkalla enintään 1,5 ‰:n kaltevuuteen. Pituuskaltevuus voi käyttöpituuden alueella olla paikoittain hieman suurempi, mutta keskimääräinen pituuskaltevuus saa olla korkeintaan 1,5 ‰.

Uudella huoltoraiteella ja radanpidon raiteella raiteen suurin pituuskaltevuus saa olla enintään 1,5 ‰.

Matkustajaliikenneraiteen pituuskaltevuus saa olla enintään 5 ‰, kun junan on tarkoitettu pysähtyvän siten, että juna on koko ajan kuljettajan valvonnassa. On suositeltavaa, että tällaisen raiteen pituuskaltevuus on enintään 1,5 ‰.

Jos raiteessa on rautatievaaka, on raide suunniteltava ja rakennettava vaakasuoraan vähintään 40 m vaa'an molemmin puolin ja siitä eteenpäin seuraavat 40 m enintään kaltevuudessa 2 ‰ ja enintään kaltevuudessa 4 ‰ mitoittavan junapituuden matkalta.

2.5.5.2 Kaltevuustaitteiden pyöristys

Rautatieliikennepaikkojen läpikulkuraiteiden kaltevuustaitteet suunnitellaan samoin kuin linjaraiteiden. Pääraiteilla pyöristyskaarresäteen on oltava ehdottomasti vähintään 2000 m.

Sivuraiteella kaltevuustaitteen pyöristyskaaren säteen on kuperassa ja koverassa taitteessa oltava vähintään 500 m. Kaltevuustaitteen pyöristyskaaren säteen suositeltava arvo kuperassa ja koverassa taitteessa on vähintään 2000 m.

Kun kuperan taitteen pyöristyskaaren säde on alle 1000 m, on kiskon kulkupinnan yläpuolella olevia esteitä madallettava kohdassa 2.9.1 esitetyllä tavalla.

2.6 Vaakageometria

2.6.1 Yleistä raiteen vaakageometriasta

Raiteen vaakageometria määrittelee radan linjauksen ja liikennepaikkojen raiteiston muodon matemaattisesti. Vaakageometrian suunnittelussa määrätään raiteiden keskilinjan sijainti vaakatasossa ja raiteen kallistus kaarteissa. Raiteen vaakageometria muodostuu geometrisista elementeistä. Vaakageometrian elementtejä ovat suorat, siirtymäkaaret, ympyränkaaret ja vaihteet. Suunnittelussa elementit liitetään toisiinsa matemaattiseksi malliksi. Vierekkäisten raiteiden geometriat vaikuttavat toisiinsa. Tuloksena saadaan yhtenäinen raiteiston geometrinen verkko, joka sisältää elementtien sijaintitiedot ja parametriarvot.

Vaakageometrian suunnittelu voi olla joko raiteen asennon ja aseman suunnittelua tai raidegeometrian salliman nopeuden määrittelyä olemassa olevalle raiteelle. Geometrian suunnittelun voi jakaa myös kokonaan uuden raiteen geometrian suunnitteluun tai nykyisen raiteen geometrian määrittelyyn. Kun määritellään olemassa olevan raiteen geometriaa kunnossapidon raiteentukemista varten, voidaan hyödyntää luvussa 2.8 esitettyjä poikkeuksia.

Raiteen vaakageometrian suunnittelun tulos ja rautatieliikennepaikkojen raiteistojen muoto esitetään eri suunnitelmapiiirustuksissa, geometriatulosteissa ja tiedostoissa.

2.6.2 Mitoitusperiaatteet

Vaakageometrian suunnittelussa on varauduttava mahdollisiin tavoitenopeuden mukaisiin nopeudennostotarpeisiin. Kaarresäteet ja siirtymäkaaren pituudet on pyrittävä mitoittamaan tavoitenopeuden mukaan. Käytettävä raiteen kallistus voidaan toteuttaa mitoitusnopeuden mukaan. On kuitenkin varmistettava, että myös tavoitenopeuden mukaisen kallistuksen käyttäminen on myöhemmin mahdollista raidetta siirtämättä. Kun siirtymäkaaret on mitoitettu riittävän pitkiksi myös tavoitenopeuden mukaisille kallistusviisteille, voidaan nopeutta nostaa pelkästään kallistusta lisäämällä.

Kaarregeometrian mitoitus perustuu kallistuksen vajaukseen. Aiemmin käytetyn poikittaiskiihtyvyyteen perustuvan mitoitusmenetelmän kaavat on koottu erilliseen kohtaan 2.6.11.

2.6.3 Raideväli

Uusia ratoja rakennettaessa raidevälin tulee olla suoralla radalla vähintään 4500 mm ja olemassa olevia ratoja muutettaessa vähintään 4100 mm ja vaihteiden kohdalla yleensä vähintään 4500 mm. Käytettäessä pitkiä vaihteita on kukin tapaus tutkittava erikseen. Rautatieliikennepaikoille on esitetty tarkempia vaatimuksia RATO:n osassa 7 Rautatieliikennepaikat [9]. Pääraiteiden vähimmäisraideväli linjalla on esitetty taulukossa 2.6:1. Kaarteissa raideväliä on kasvatettava taulukon 2.6:2 mukaisesti.

Taulukko 2.6:1 Pääraiteiden vähimmäisraidevälit linjalla.

| Raideväli [mm] | Sallittu nopeus olemassa olevilla radoilla [km/h] | Sallittu nopeus uusilla radoilla [km/h] ³⁾ |
|--------------------|---|---|
| 4100 ¹⁾ | 140 ²⁾ | |
| 4300 ¹⁾ | 200 | |
| 4500 | 250 | 200 |
| 4700 | >250 | 250 |
| 5000 | >250 | >250 |

1) Raidevälin levitys taulukon 2.6:2 mukaisesti

2) Raidevälillä 4100 mm nopeuden lupa-arvona voidaan sallia enintään 160 km/h.

3) Uudet raiteet rakennetaan vähintään raidevälille 4500 mm.

Taulukko 2.6:2 Raidevälin levitys.

| Kaarteen säde R [m] | Raidevälin levitys [mm] | | |
|---------------------|-------------------------|------|--------|
| | Raideväli [mm] | | |
| | 4100 | 4300 | ≥ 4500 |
| > 4000 | — | — | — |
| 4000...1500 | 50 | — | — |
| 1499...800 | 100 | — | — |
| 799...400 | 200 | — | — |
| 399...250 | 300 | 100 | — |
| 249...220 | 400 | 200 | — |

Kaarteissa, joissa vierekkäisillä raiteilla on eri kallistus tai eri kaarresäde, tulee raideväliä suurentaa. Kaarteissa, joissa raiteilla on eri kallistus, raideväliä suurennetaan aukean tilan ulottuman (ATU) levityksen kaavojen 2.9:1 ja 2.9:2 mukaisesti siten, että raideväli on vähintään 4100 mm + levitykset. Kaarteissa, joissa raiteilla on eri kaarresäde, tulee käyttää kaavaa 2.9:3.

Jos radalla on enemmän kuin kaksi raidetta, vähintään yksi raideväli on pyrittävä saamaan suuremmaksi muun muassa sähköratapylväiden sijoitusta varten.

2.6.4 Ympyräkaaret

2.6.4.1 Kaarresäteet linjaraiteilla ja läpikulkuraiteilla

Linjaraiteen ja rautatieliikennepaikan läpikulkuraiteen kaarteet on tehtävä pääsääntöisesti ympyräkaarista ja niihin liittyvistä siirtymäkaarista. Ilman siirtymäkaaria voi jättää pienikulmaiset raiteen yhdensuuntaissiirrot ja pienet suunta muutokset, jotka toteutetaan suurisäteisillä ympyräkaarilla kohdan 2.6.4.3 mukaan.

Kaarresäde on pyrittävä valitsemaan niin, että pääasiassa tavaraliikenteen radoilla raiteen normaalikallistus (kaava 2.6:1) on enintään 40...80 mm ja pääasiassa matkustajaliikenteen radoilla enintään 80...110 mm. Taulukossa 2.6:3 on normaalikallistuksia 110, 80 ja 40 mm vastaavia kaarresäteitä eri tavoite-nopeuksille.

Taulukko 2.6:3 Eräitä normaalikallistuksia vastaavia kaarresäteitä eri nopeuksille.

| Normaalikallistus [mm] | Tavoitenopeus [km/h] | | | | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 50 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 250 | 300 |
| ~110 | 300 | 500 | 800 | 1100 | 1500 | 1900 | 2400 | 3000 | 3500 | 4500 | 6500 |
| ~80 | 400 | 700 | 1000 | 1500 | 2000 | 2600 | 3300 | 4000 | 5000 | 6500 | 8500 |
| ~40 | 600 | 1200 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 7000 | 8000 | 9500 | 18000 |

Raiteenvaihtopaikka on suunniteltava suoralle radalle. Rautatieliikennepaikan raiteille on vaatimuksia myös RATOn osassa 16 Väylät ja laiturit [10].

Jos raiteessa on rautatievaaka, on raide suunniteltava ja rakennettava suoraksi vähintään 40 metriä vaa'an molemmin puolin.

2.6.4.2 Kaarresäteet muilla raiteilla

Kaarresäteen minimiarvo uusilla ja muutettavilla raiteilla on 150 metriä. Suunnittelussa on pyrittävä käyttämään vähintään 200 metrin kaarresäteitä. Suositeltavaa on käyttää yli 250 metrin kaarresädettä.

Kohtausraiteen vaakageometria on mitoitettava raiteen suurimman nopeuden mukaan. Raiteen kaarteissa sallittu nopeus ei saa olla pienempi kuin sallittu nopeus raiteelle johtavissa vaihteissa.

Matkustajaliikenneraiteen vaakageometria on mitoitettava suunnitteluperusteisiin merkityn tavoitenopeuden mukaan. Raiteen kaarresäteen on oltava aina vähintään 150 metriä.

Uuden ja muutettavan tavaraliikenneraiteen kaarresäteen on oltava vähintään 150 metriä. Kaikki liikkuva kalusto voi käyttää raidetta, jonka kaarresäde on vähintään 180 metriä.

Kuormausraiteen vaakageometria on pyrittävä suunnittelemaan suoraksi.

Raiteella, jolla on suunniteltu kytkettäväksi liikkuvaa kalustoa toisiinsa, on otettava huomioon, että:

- liikkuvan kaluston ruuvikytkimien ja automaattikytkimien kytkeminen ja irrottaminen on mahdollista, kun kaarresäde on vähintään 500 m
- ruuvikytkimien kiristäminen sekä kaksilenkkikytkimellä kytkeminen on mahdollista, kun kaarresäde on vähintään 600 m
- moottorijunien kytkeminen automaattikytkimellä on mahdollista, kun kaarresäde on vähintään 300 m

Jos raiteessa on rautatievaaka, on raide suunniteltava ja rakennettava suoraksi vähintään 40 metriä vaa'an molemmin puolin.

2.6.4.3 Raiteen yhdensuuntaissiirrot ja pienet suuntamuutokset

Raiteen yhdensuuntaissiirrot ja yksittäiset pienet suuntamuutokset on toteutettava yleensä normaalin kaarergeometrian mukaan siirtymäkaaria ja raiteen kallistusta käyttäen. Jos elementtien pituudet jäisivät näin lyhyiksi, voidaan yhdensuuntaissiirrot ja suuntamuutokset toteuttaa myös ilman siirtymäkaaria ja raiteen kallistusta. Suositeltavat kaarresäteet ovat silloin seuraavat:

$R = 30\,000\text{ m} \dots 40\,000\text{ m}$, kun $V > 160\text{ km/h}$

$R = 20\,000\text{ m} \dots 30\,000\text{ m}$, kun $140\text{ km/h} < V \leq 160\text{ km/h}$

$R = 16\,000\text{ m} \dots 20\,000\text{ m}$, kun $V \leq 140\text{ km/h}$.

2.6.5 Raiteen kallistus

2.6.5.1 Yleistä raiteen kallistuksesta

Raiteen kaarteisiin suunnitellaan tarvittaessa raiteen kallistus halutun nopeuden saavuttamiseksi ja poikittaiskiihtyvyyden haittavaikutuksien vähentämiseksi. Raiteen kallistus tehdään niin, että sisäkaarteiden puoleinen kisko pysyy raiteen korkeusaseman määräävässä korkeudessa ja ulkokaarteiden puoleista kiskoa nostetaan kallistuksen verran (kohta 2.3.2.2).

Kallistuksen positiivinen arvo tarkoittaa, että ulkokaarteiden puoleinen kisko on sisäkaarteiden puoleista kiskoa korkeammalla, ja negatiivinen arvo tarkoittaa, että ulkokaarteiden puoleinen kisko on sisäkaarteiden kiskoa alempana. Negatiivista kallistusta ei suunnitella kuin poikkeustapauksiin, esimerkiksi kallistetun ulkokaarrevaihteen erkanevaan poikkeavaan raiteeseen.

Teknisesti ihanteellinen kallistus olisi tasapainokallistus (kaava 2.6:3) todelliselle junanopeudelle. Koska kaarteissa kulkee junia eri nopeuksilla, on raiteen kallistus valittava kompromissina kaiken liikenteen tarpeiden mukaan. Kallistus on pyrittävä valitsemaan niin, että nopeus, jolla valittu kallistus on tasapainokallistus (tasapainonopeus), on lähellä junapainoilla painotettua junien keskinopeutta. Kallistuksen valinnassa käytetään usein raiteen normaalikallistusta (kaava 2.6:2) kaarteiden mitoitusnopeudelle.

Raiteella, jonka tukikerros on raidesepeliä, raiteen normaalikallistus lasketaan kaavalla 2.6:1.

$$D = \frac{8V^2}{R} \quad (2.6:1)$$

D = raiteen normaalikallistus [mm]

V = mitoitusnopeus kaarteessa [km/h]

On kuitenkin varmistettava, ettei kallistuksen vajoaus ylitä maksimiarvoa nopeimmilla junilla eikä liikakallistus ole liian suuri hitaille junille (kohta 2.6.5.3).

Raiteen kallistusta mitoitettaessa on otettava huomioon seuraavat seikat:

- Junan kulku ja matkustusmukavuus on hyvä kaikilla kysymykseen tulevilla nopeuksilla.
- Junan kulku on turvallista kaikilla kysymykseen tulevilla nopeuksilla.
- Raiteen kaarteessa sisä- ja ulkokiskon kuluminen on mahdollisimman tasaista.
- Jos radalla kulkee hitaita, alle mitoitusnopeudella kulkevia junia, on perusteltua käyttää pienempää kallistusta. Hitaasti kulkevat ja pysähtyvät raskaat junat eivät saa juuttua pitkän kaarteeseen liian suureen kallistukseen. Junan alhainen nopeus voi johtua esimerkiksi lähellä olevasta rautatieliikennepaikasta tai pitkästä nousujaksosta.

Myös muut syyt voivat vaatia normaalikallistusta pienemmän kallistuksen käyttämistä. On myös syytä huomata, että kallistusviisteen ja siirtymäkaaren pituuden mitoittamisessa on varauduttava tavoitenopeuden mukaiseen raiteen kallistukseen.

2.6.5.2 Raiteen kallistuksen raja-arvot

Kun raiteen mitoitusnopeus on suurempi kuin 35 km/h ja kaarteissa on siirtymäkaaret, voidaan kaarteissa käyttää raiteen kallistusta. Kallistuksen tarkkuutena käytetään millimetriä. Yleensä raiteen kallistus suunnitellaan 5 mm:n tarkkuudella.

- Pienin käytettävä kallistus on **20 mm**.
- Raiteen kallistuksen maksimiarvo sepeliraiteella on **150 mm** ja lupa-arvo **180 mm**.
- Raiteen kallistuksen maksimiarvo soraraitteella on **120 mm**, eikä suurempaa kallistusta sallita.
- Jos juna voi joutua pysähtymään opastimien tai muiden syiden vuoksi usein kaarrealueelle, käytetään enintään **120 mm** kallistusta.
- Tavara- ja sekaliikenneratojen nousuosuuksilla, joiden pituuskaltevuus on 10 ‰ tai enemmän yli 2 km:n matkalla, sekä 1 km:n matkalla tällaisen nousun yläpäästä jatkuvassa samansuuntaisessa, loivemmassa nousussa on vältettävä raiteen kallistusta, joka on yli **50 mm**. Tällä pyritään vähentämään mäen takia hitaasti kulkevan kuormatun tavarajunan mäkeenjäännin vaaraa kaarrevastuksen kasvaessa.

- Sivuraiteilla ja rautatieliikennepaikalle päättyvällä pääraiteella raiteen kallistusta on vältettävä. Jos kallistusta on käytettävä, raiteen kallistus saa olla enintään **80 mm**.

Vaatimukset raiteen kallistuksesta laiturin kohdalla on esitetty RATO:n osassa 16 "Väylät ja laiturit" [10].

Huoltoraiteella ja radanpidon raiteella raiteen kallistusta ei saa käyttää.

Jyrkissä kaarteissa ei saa käyttää liian suurta raiteen kallistusta. Suuret raiteen kallistukset pienisäteisissä kaarteissa lisäävät vääntöjäykkien tavaravaunujen suistumisriskiä. Kun kaarresäde $R < 320$ m, raiteen kallistus saa olla enintään kaavan 2.6:2 mukainen:

$$D_{lim} = (R - 50) \times 0,7 \text{ [mm]} \quad (2.6:2)$$

D_{lim} = maksimikallistus [mm]

R = kaarresäde [m]

2.6.5.3 Kallistuksen vajoaus

Kallistuksen vajoaus on raiteen tasapainokallistuksen ja todellisen kallistuksen erotus. Jos kallistuksen vajoaus on nolla, kaarteessa on tasapainokallistus tarkastellulle nopeudelle, eikä liikkuvaan kalustoon kohdistu poikittaiskiihtyvyyttä raiteen tasossa.

Liikakallistus tarkoittaa, että todellinen kallistus on yli tasapainokallistuksen. Tällöin liikkuvaan kalustoon kohdistuu kiskojen selän tasossa poikittaiskiihtyvyyttä sisäkaarteeseen suuntaan. Liikakallistus merkitään kallistuksen vajouksen negatiivisena arvona.

Raiteen tasapainokallistus lasketaan kaavalla 2.6:3.

$$D_{EQ} = \frac{12,5V^2}{R} \quad (2.6:3)$$

D_{EQ} = raiteen tasapainokallistus [mm]

V = nopeus kaarteessa [km/h]

Kallistuksen vajoaus lasketaan kaavalla 2.6:4.

$$I = \frac{12,5V^2}{R} - D \quad (2.6:4)$$

I = kallistuksen vajoaus [mm]

V = nopeus [km/h]

R = kaarteeseen säde [m]

D = raiteen kallistus [mm]

Kaarregeometria on mitoitettava niin että seuraavat vaatimukset täyttyvät:

- Yli 120 km/h nopeudella, D- ja C₂-päälysrakenneluokan raiteilla matkustajaliikenteessä suurin sallittu kallistuksen vajaus on **130 mm**.
- Muissa tapauksissa raiteilla, joilla on sepelitukikerros, suurin sallittu kallistuksen vajaus on **105 mm**.
- Raiteilla, joilla on soratukikerros, suurin sallittu kallistuksen vajaus on **73 mm**.
- Kallistuksen vajauksen ehdoton minimiarvo nopeudella 60 km/h, tai tätä alemmalla hitaimpien junien tavallisella paikallisella kulkunopeudella, on **-105 mm** ja suositeltava minimiarvo on **-73 mm**.

Kallistuksen vajauksen perusteella kaarteeseen ympyräkaaressa sallittu nopeus lasketaan kaavalla 2.6:5. Siirtymäkaaret tai kallistusviisteet voivat rajoittaa kaarteessa sallitun nopeuden tätä pienemmäksi.

$$V = \sqrt{\frac{R(D+I_{lim})}{12,5}} \quad (2.6:5)$$

V = sallittu nopeus kaarteessa [km/h]

R = kaarteeseen säde [m]

D = raiteen kallistus [mm]

I_{lim} = kallistuksen vajauksen raja-arvo tarkasteltavassa kaareissa [mm]

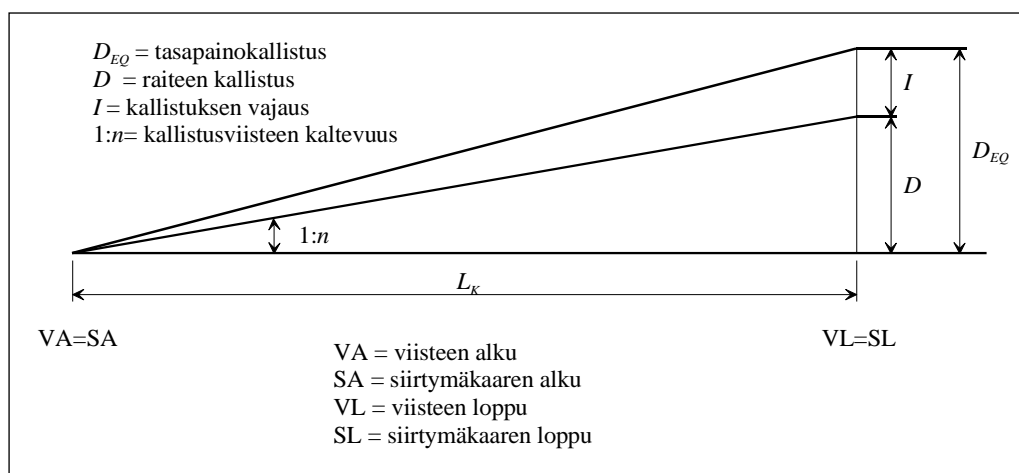
Pienin sallittu raiteen kallistus lasketaan kaavalla 2.6:6.

$$D = \frac{12,5V^2}{R} - I_{lim} \quad (2.6:6)$$

D = pienin sallittu raiteen kallistus kaareissa [mm]

V = sallittu nopeus kaareissa [km/h]

I_{lim} = kallistuksen vajauksen raja-arvo tarkasteltavassa kaareissa [mm]



Kuva 2.6:1 Raiteen kallistus ja kallistuksen vajaus kallistusviisteen alueella.

2.6.6 Siirtymäkaari ja kallistusviiste

2.6.6.1 Siirtymäkaaren ja kallistusviisteen mitoituseriaatteen

Kaarteissa, jossa käytetään raiteen kallistusta, on käytettävä normaalisti siirtymäkaaria ja kallistusviistettä. Siirtymäkaarena käytetään pääsääntöisesti klotidia. Kallistusviiste ja kallistuksen muutos toteutetaan yleensä siirtymäkaaren kohdalla ja niillä on sama alku- ja loppupiste. Tällöin kaarevuuden muutos tapahtuu yhtäaikaaisesti kallistuksen muutoksen kanssa.

Kallistusviisteen pituus mitoitetaan kallistusviisteen jyrkkyyden mukaan, ja siirtymäkaari määritellään kallistusviisteen pituiseksi. Tarvittaessa siirtymäkaarta ja kallistusviistettä pidennetään tästä niin, etteivät kallistuksen vajauksen muutosnopeuden raja-arvot ylity.

Jos siirtymäkaarta ja kallistusviistettä ei voida toteuttaa niin, että niillä on sama pituus ja sama alku- ja loppupiste, täytyy raja-arvoissa pysyminen tarkastella yksityiskohtaisesti. Tarkastelussa on siirtymäkaaren pituuden ja kallistusviisteen jyrkkyyden lisäksi tarkistettava raiteen kallistuksen riittävyys kaikissa vaakageometrian elementtien ja kallistusviisteen alku- ja loppupisteissä. Suoralla raiteella raiteen kallistusta on vältettävä.

Siirtymäkaaria käytetään myös kaarteissa, joissa ei ole kallistusta. Tällöin pyritään vähentämään kaaren alkamisen aiheuttamaa kallistuksen vajauksen muutosnopeutta eli nykäystä. Siirtymäkaaret voi yleensä jättää pois, jos raiteen suurin nopeus on enintään 40 km/h.

Siirtymäkaaren suositeltava pituus on vähintään **30 m** ja minimipituus on **20 m**. Suurin suositeltava siirtymäkaaren pituus on **300 m**.

2.6.6.2 Kaarre ilman siirtymäkaaria

Jos kallistamattoman kaarteiden geometriaelementeistä tulee lyhyitä tai ympyräkaaren säteestä hyvin suuri, siirtymäkaaret voi jättää pois, jos kaavan 2.6:7 ehto ja nopeuden ollessa yli 80 km/h myös kaavan 2.6:8 ehto toteutuu. Siirtymäkaarta ei tarvita myöskään kohdan 2.6.4.3 mukaisissa tapauksissa.

$$dI / dt = \frac{0,204V^3}{R} \leq 73 \text{ mm/s} \quad (2.6:7)$$

$$I = \frac{12,5V^2}{R} \leq 25 \text{ mm} \text{ jos } V > 80 \text{ km/h} \quad (2.6:8)$$

I = kallistuksen vajoitus [mm]

V = nopeus [km/h]

R = ympyräkaaren säde [m]

D = raiteen kallistus [mm]

dI/dt = kallistuksen vajauksen muutosnopeus [mm/s]

Kallistuksen vajauksen muutosnopeuden laskeminen siirtymäkaarettomassa tapauksessa vastaa sen laskemista 17 metriä pitkässä klotoidin muotoisessa siirtymäkaareissa. Tässä ns. virtuaalisen siirtymäkaaren (engl. virtual transition) periaatteessa suoralta kaarelle siirtyvässä vaunussa koettu sivukiihtyvyyden muutos tapahtuu vaunun telikeskiöiden etäisyyden pituisella matkalla.

2.6.6.3 Klotoidi ja suora kallistusviiste

Klotoidi on käyrä, jonka kaarevuus muuttuu suoraviivaisesti. Siirtymäkaarena käytetään sen alkuosaa, lukuun ottamatta korikaaren eri kaarien välisiä siirtymäkaaria. Klotoidin likiarvo on 3. asteen käyrä, jota aikaisemmin on Suomessa käytetty siirtymäkaarena. Klotoidi määritellään yhtälöllä 2.6:9.

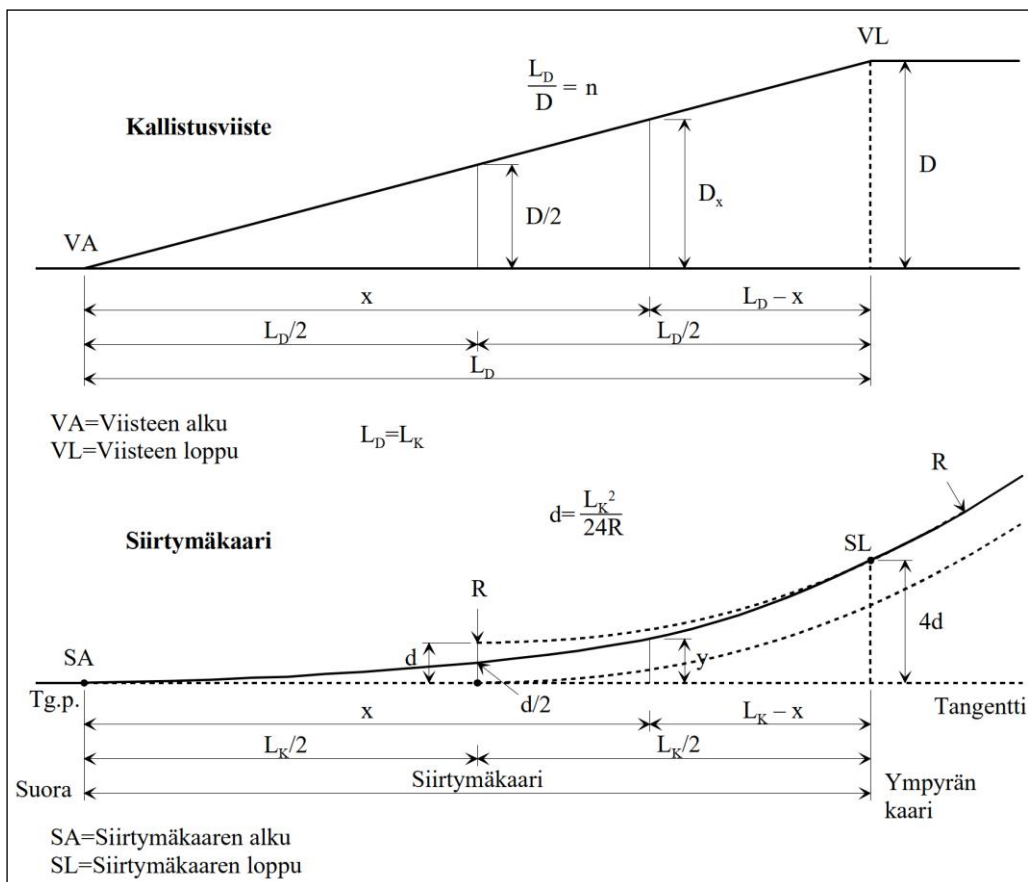
$$L_n R_n = A^2 \quad (2.6:9)$$

L_n = klotoidin pituus suoralta pisteeseen n [m]

R_n = ympyräkaaren säde pisteessä n [m]

A = klotoidin parametri

Kun siirtymäkaarena käytetään klotoidia, tulee käyttää suoraa kallistusviistettä. Kallistusviisteen matkalla kallistus muuttuu suoraviivaisesti nollassa arvoon D ja myös kaarevuus suoraviivaisesti nollassa arvoon $1/R$. Koska kallistusviiste toteutetaan yleensä siirtymäkaaren alueella, on $L_D = L_K$ (kuva 2.6:2).



Kuva 2.6:2 Suora kallistusviiste ja siirtymäkaari.

Yleensä siirtymäkaaren alku- ja loppupiste (SA, SL) yhtyvät kuvan 2.6:2 mukaan kallistusviisteen vastaaviin (VA, VL). Kuvan 2.6:2 mukaisessa tapauksessa siirtymäkaari aiheuttaa ympyränkaareen tangenttipisteen kohdalla sivusiirtymän d ympyrän keskipisteeseen päin, ja tangenttipiste jakaa siirtymäkaaren pituuden yhtä suuriin osiin ympyränkaarelle ja suoralle. Siirtymäkaaren pidentäminen lisää ympyränkaaren sivusiirtymää ja siirtää alku- ja loppupistettä pidemmälle suoran ja ympyränkaaren alueella.

Siirtymäkaaren aiheuttama ympyränkaaren sivusiirtymä lasketaan kaavan 2.6:10 mukaan.

$$d = \frac{L_K^2}{24R} \quad (2.6:10)$$

d = sivusiirtymä [m]
 L_K = siirtymäkaaren pituus [m]
 R = ympyränkaaren säde [m]

Siirtymäkaaren pituus mitoitetaan niin, että kallistusviisteen jyrkkyyttä kuvaavan viistekertoimen sekä kallistuksen vajauksen muutosnopeuden raja-arvot täyttyvät.

Suoran kallistusviisteen pituus lasketaan kaavan (2.6:11) mukaan.

$$L_D = \frac{nD}{1000} \quad (2.6:11)$$

L_D = suoran kallistusviisteen pituus [m]
 n = viistekerroin
 D = raiteen kallistus ympyränkaareessa [mm]

Viistekerroin lasketaan vastaavasti kaavalla (2.6:12)

$$n = 1000 \frac{L_D}{D} \quad (2.6:12)$$

n = viistekerroin
 L_D = suoran kallistusviisteen pituus [m]
 D = raiteen kallistus ympyränkaareessa [mm]

Viistekertoimen suositeltava arvo ja raja-arvot ovat

$$n = 10V \quad \text{suositeltava} \quad (2.6:13)$$

$$n = 8V \quad \text{minimi} \quad (2.6:14)$$

$$n = 6V \quad \text{lupa-arvo} \quad (2.6:15)$$

Viistekerroin n ei kuitenkaan saa olla pääraiteella pienempi kuin 400 ja sivurai-
teella pienempi kuin 300.

Viistekertoimen lupa-arvon käyttämistä pyritään välttämään, jos raiteessa on normaalikallistusta pienempi kallistus.

Klotoidin muotoisessa siirtymäkaaressa kallistuksen vajauksen muutosnopeus lasketaan kaavalla 2.6:16.

$$dI/dt = \frac{V^3}{0,288RL_K} - \frac{VD}{3,6L_K} \quad (2.6:16)$$

V = nopeus [km/h]

L_K = siirtymäkaaren pituus [m]

R = kaarresäde [m]

D = raiteen kallistus ympyräkaaressa [mm]

dI/dt = kallistuksen vajauksen muutosnopeus [mm/s]

Kallistuksen vajauksen muutosnopeus saa olla enintään **73 mm/s**.

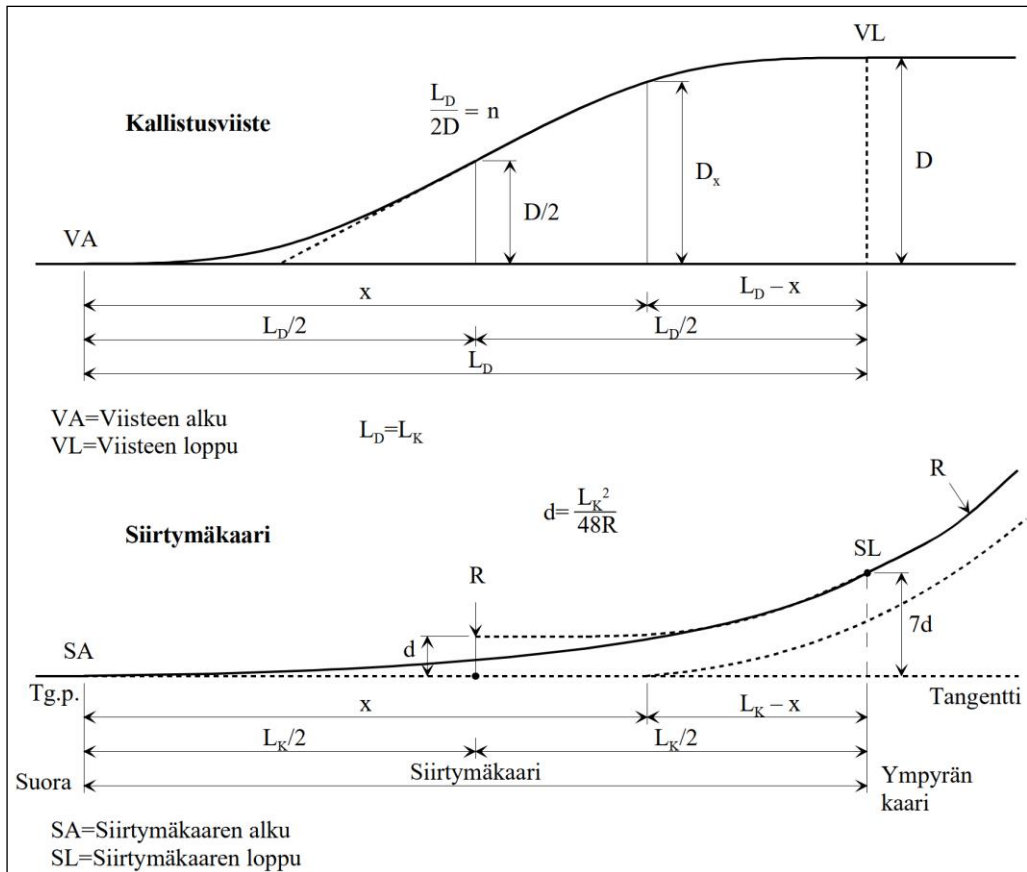
Suosittelava arvo on enintään **49 mm/s**.

2.6.6.4 Helmertin siirtymäkaari ja S-kallistusviiste

Helmertin siirtymäkaari on 4. asteen käyrä. Helmertin siirtymäkaaren yhteydessä käytetään aina S-kallistusviistettä, joka muodostuu toisen asteen paraabelin osista.

Helmertin siirtymäkaari on $\sqrt{2}$ kertaa pidempi kuin klotoidi samalla ympyränkaaren sivusiirtymällä. Tämä mahdollistaa suuremman kallistuksen käytön ja täten suuremman nopeuden käytön, jos kallistus on ollut nopeuden nostoa rajoittava tekijä. Tätä on voitu hyödyntää erityisesti ratojen perusparannuksissa. Helmertin siirtymäkaaren ja S-kallistusviisteen käyttö on yleensä mahdollista, jos raiteen kallistus on ≥ 100 mm ja sallittu nopeus > 120 km/h. Helmertin siirtymäkaaressa raiteeseen kohdistuvat sivuttaisvoimat ovat keskellä siirtymäkaarta suurempia kuin klotoidissa.

Uuden Helmertin siirtymäkaaren suunnittelua on vältettävä. Raiteen kunnossapito on Helmertin siirtymäkaaren alueella tavallista vaativampaa, joten sitä käytetään vain silloin, kun hyöty on merkittävä.



Kuva 2.6.3 S-kallistusviiste ja Helmertin siirtymäkaari.

Ympyräkaaren sivusiirtymä lasketaan kaavan 2.6:17 mukaan.

$$d = \frac{L_K^2}{48R} \quad (2.6:17)$$

d = sivusiirtymä [m]
 L_K = siirtymäkaaren pituus [m]
 R = kaarteen säde [m]

Raitteen kallistuksen paikallinen suuruus S-kallistusviisteen alueella lasketaan kaavojen 2.6:18 ja 2.6:19 mukaan.

$$D_x = 2D \frac{x^2}{L_D^2}, \text{ kun } x < L_D/2 \quad (2.6:18)$$

$$D_x = D - 2D \frac{(L_D-x)^2}{L_D^2}, \text{ kun } x > L_D/2 \quad (2.6:19)$$

x = tarkasteltavan pisteen etäisyys viisteen alkupisteestä (VA) ympyräkaaren suuntaan [m]
 D_x = kallistuksen arvo tarkasteltavassa pisteessä [mm]
 D = raitteen kallistus ympyräkaareissa [mm]
 L_D = kallistusviisteen pituus [m]

Siirtymäkaaren pituus mitoitetaan niin, että kallistusviisteen jyrkkyyttä kuvaavan viistekertoimen sekä kallistuksen vajauksen muutosnopeuden raja-arvot täyttyvät.

S-viisteen pituus lasketaan kaavan 2.6:20 mukaan.

$$L_D = \frac{2nD}{1000} \quad (2.6:20)$$

n = viistekerroin

L_D = S-kallistusviisteen pituus [m]

D = raiteen kallistus ympyräkaaressa [mm]

S-kallistusviisteen viistekerroin lasketaan vastaavasti kaavalla (2.6:21)

$$n = 500 \frac{L_D}{D} \quad (2.6:21)$$

n = S-kallistusviisteen viistekerroin

L_D = S-kallistusviisteen pituus [m]

D = raiteen kallistus ympyräkaaressa [mm]

S-viisteen suurin kaltevuus on kallistusviisteen keskikohtassa, jossa viistekertoimen n on oltava kaavojen 2.6:22, 2.6:23 ja 2.6:24 mukainen (kuva 2.6:3).

$$n = 6V \quad \text{suositeltava} \quad (2.6:22)$$

$$n = 5V \quad \text{minimi} \quad (2.6:23)$$

$$n = 4V \quad \text{lupa-arvo} \quad (2.6:24)$$

n = viistekerroin

V = nopeus [km/h]

Viistekerroin n ei kuitenkaan saa olla pienempi kuin 400.

Helmertin siirtymäkaaressa kallistuksen vajauksen muutosnopeus lasketaan kaavalla 2.6.25.

$$dI/dt = \frac{V^3}{0,144RL_K} - \frac{VD}{1,8L_K} \quad (2.6:25)$$

V = nopeus [km/h]

L_K = siirtymäkaaren pituus [m]

R = ympyräkaaren säde [m]

D = raiteen kallistus ympyräkaaressa [mm]

dI/dt = kallistuksen vajauksen muutosnopeus [mm/s]

Helmertin siirtymäkaaressa kallistuksen vajauksen muutosnopeus saa olla enintään **73 mm/s**. Suositeltava arvo on enintään **49 mm/s**.

2.6.7 Kaarreyhdistelmät

2.6.7.1 Korikaarre

Korikaarre muodostuu kahdesta tai useammasta samaan suuntaan kääntyvästä kaaresta, joiden säteet poikkeavat toisistaan ja joiden välillä ei ole suoraa. Korikaarretta käytetään, jos esteet ja pakkopisteet määrittävät raiteen sijainnin niin, että kaarretta ei voida muodostaa yhdellä normaalikaarteella.

Korikaarteiden eri kaarien kallistukset on valittava samoin perustein kuin normaalikaarteissa.

Korikaarteiden alussa ja lopussa olevan suoralle liittyvän siirtymäkaaren tarve ja pituudet on määriteltävä samoin kuin normaalikaarteissa kohdan 2.6.6 mukaisesti.

Korikaarteiden eri kaarien välissä on käytettävä tarvittaessa klotoidin osan muotoisia siirtymäkaaria ja suoraa kallistusviisteitä. Jos peräkkäisissä ympyräkaarissa on erilainen raiteen kallistus, on siirtymäkaari ja kallistusviiste tehtävä. Jos peräkkäisissä ympyräkaarissa on sama kallistus, siirtymäkaarien tarve määritellään kallistuksen vajauksen eron ja kallistuksen vajauksen muutosnopeuden avulla (kaavat 2.6:26 ja 2.6:27). Siirtymäkaaria ei tarvita, jos kaavojen ehdot toteutuvat.

$$12,5V^2 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \leq 25 \text{ mm jos } V > 80 \text{ km/h} \quad (2.6:26)$$

$$dl/dt = 0,204V^3 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \leq 73 \text{ mm/s} \quad (2.6:27)$$

R_1 ja R_2 = peräkkäisten ympyräkaarien säteet, $R_2 > R_1$ [m]

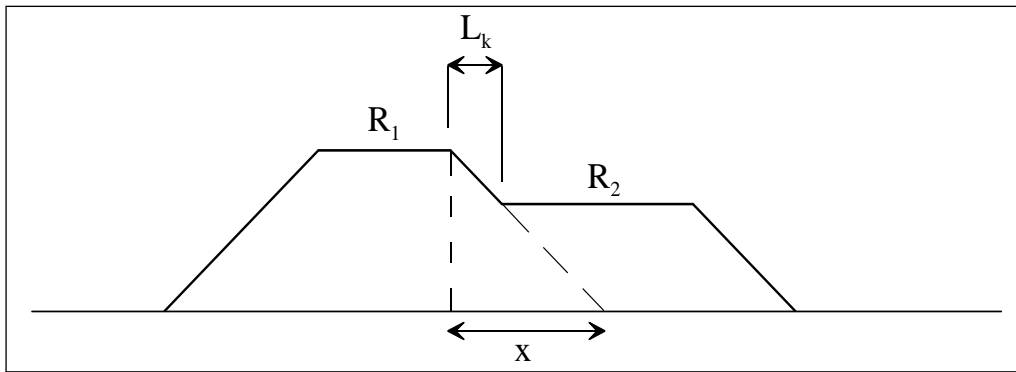
V = nopeus [km/h]

Korikaaren kaarreosien välisen siirtymäkaaren L_K kaarevuus on siirtymäkaaren lopussa sama, kuin jyrkemmässä kaaressa R_1 ja siirtymäkaaren alussa sama, kuin loivemmassa kaaressa R_2 . Kaarreosien välinen siirtymäkaari on osa pienemmän kaarresäteen ja suoran välistä teoreettista siirtymäkaarta. Teoreettisen siirtymäkaaren pituus x voidaan laskea kaavalla 2.6:28.

$$x = \frac{R_2 L_K}{R_2 - R_1} \quad (2.6:28)$$

L_K = siirtymäkaaren pituus [m]

R_1 ja R_2 = peräkkäisten ympyräkaarten säteet, $R_2 > R_1$ [m]



Kuva 2.6:4 Korikaaren siirtymäkaaren teoreettinen kokonaispituus.

Korikaarten kaarien väliin tuleva siirtymäkaari ja kallistusviiste on tehtävä yhtä pitkiksi. Poikkeustapauksessa, jossa siirtymäkaari on lyhyempi kuin viisteen pituus, on viistettä jatkettava suurempisäteisen kaaren puolelle.

Korikaarten eri kaarien välisten siirtymäkaarien ja kallistusviisteiden pituus on mitoitettava niin, ettei kallistuksen vajauksen muutosnopeuden raja-arvo ylitä. Jos peräkkäisissä ympyräkaarissa on eri kallistus, kallistusviisteen jyrkkyyttä kuvaavan viistekertoimenkaan raja-arvo ei saa ylittyä.

Kallistuksen vajauksen muutosnopeus siirtymäkaareissa (kaava 2.6:29) ei saa ylittää maksimiarvoa 73 mm/s. Suositeltava arvo on enintään 49 mm/s.

$$dI/dt = \frac{|I_1 - I_2|V}{3,6L_K} \quad (2.6:29)$$

V = nopeus [km/h]

I_1 ja I_2 = kallistuksen vajaukset nopeudella V peräkkäisissä ympyräkaarissa [mm]

L_K = siirtymäkaaren pituus [m]

Jos korikaarten peräkkäisissä ympyräkaarissa on eri kallistus, kaarien välisen kallistusviisteen viistekerroin lasketaan kaavalla 2.6:30.

$$n = 1000 \frac{L_D}{|D_1 - D_2|} \quad (2.6:30)$$

n = viistekerroin

L_D = suoran kallistusviisteen pituus [m]

D_1 ja D_2 = raiteen kallistukset peräkkäisissä ympyräkaarissa [mm]

Viistekertoimen suositeltava arvo ja raja-arvot ovat

$$n = 10V \quad \text{suositeltava} \quad (2.6:31)$$

$$n = 8V \quad \text{minimi} \quad (2.6:32)$$

$$n = 6V \quad \text{lupa-arvo} \quad (2.6:33)$$

Viistekerroin n ei kuitenkaan saa olla pääraiteilla pienempi kuin 400 ja sivuraitteilla pienempi kuin 300.

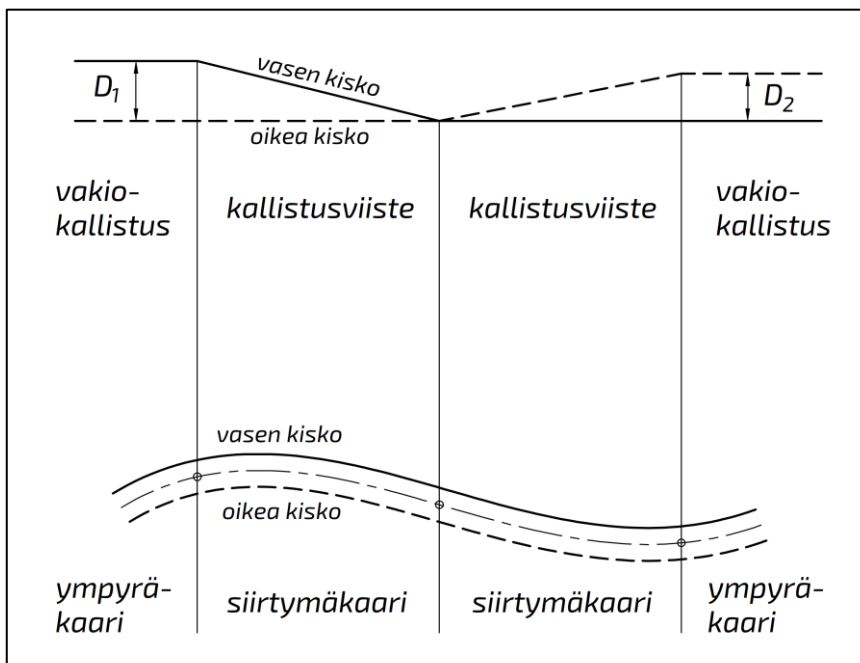
Viistekertoimen lupa-arvon käyttämistä pyritään välttämään, jos raiteessa on normaalikallistusta pienempi kallistus.

2.6.7.2 S-kaarre siirtymäkaarin

S-kaarre tarkoittaa kahden vastakkaisiin suuntiin kääntyvän kaarteiden yhdistelmää. Kaarteet voivat olla normaalikaarteita tai korikaarteita. S-kaarre voi muodostua myös vaihteen poikkeavan raiteen ja läheisen kaaren tai lähekkäisten vaihteiden poikkeavien raiteiden yhdistelmänä.

Vastakkaisiin suuntiin kääntyvien kaarteiden siirtymäkaarien ja kallistusviisteiden alkupisteet on pyrittävä yhdistämään, jos välisuora ei täytä geometriaelementin vähimmäispituusehtoja.

Kun kallistusviisteet yhtyvät, kallistusviisteet tehdään kuvan 2.6:5 mukaan.



Kuva 2.6:5 Vastakkaisiin suuntiin kääntyvät kaaret.

2.6.7.3 S-kaarre ilman siirtymäkaaria

Jos S-kaarteessa ei käytetä siirtymäkaaria, S-kaarteiden osien keskellä on käytettävä välisuoraa seuraavassa esitettyissä tilanteissa. Vaihteen sisällä mahdollisesti oleva suora raiteen osuus voidaan laskea mukaan välisuoran pituuteen. Välisuoraa ei tarvita, jos vähintään toisen ympyräkaaren pituus on enintään 3 metriä.

Jos S-kaarteessa ei ole siirtymäkaaria ja välisuoran pituus on alle 17 metriä, on kaavan 2.6:34 ehdon täytyttävä. Jos ehto ei täyty, on ympyräkaaria loivennettava, välisuoraa pidennettävä tai nopeutta rajoitettava.

$$\frac{(I_1+I_2)V}{3,6(17+L_s)} \leq 73 \quad (2.6:34)$$

V = nopeus [km/h]

I_1 ja I_2 = kallistuksen vajaukset nopeudella V peräkkäisissä ympyräkaarissa [mm]

L_s = välisuoran pituus, $0 \leq L_s < 17$ [m]

Jos välisuoran pituus on vähintään 17 metriä, on kohdan 2.6.6.2 ehtojen täytyttävä molemmissa kaarissa.

Kaarresäteet yhtä suuret

Kun kummankin vastakkaisiin suuntiin kääntyvien kaarteiden kaarresäteet ovat vähintään 275 m, välisuora ei ole välttämätön. Suositeltavaa on käyttää kaarteiden välissä vähintään 20 m mittaista välisuoraa tai kaarteissa siirtymäkaaria.

Kun vastakkaisiin suuntiin kääntyvien kaarteiden kaarresäteet ovat vähintään 200 m, mutta vähemmän kun 275 m, kaarteiden väliin on tehtävä välisuora, jonka pituus on vähintään 10 m.

Kun vastakkaisiin suuntiin kääntyvien kaarteiden kaarresäteet ovat vähintään 160 m, mutta vähemmän kuin 200 m, kaarteiden väliin on tehtävä välisuora, jonka pituus on vähintään 15 m.

Pakottavissa tapauksissa välisuoran vähimmäispituuden voi laskea kaavoilla 2.6:35 ja 2.6:36.

$$L = 2 \cdot \sqrt{83,99 - 0,3075R} \quad (2.6:35)$$

missä

L = välisuoran pituus, kun kaarresäde on vähintään 230 m

R = kaarresäde [m]

$$L = 22,7 - \sqrt{2,543R - 347,31} \quad (2.6:36)$$

missä

L = välisuoran pituus, kun kaarresäde on vähintään 150 m, mutta vähemmän kuin 230 m

R = kaarresäde [m]

Kaarresäteet eri suuret

Kun vastakkaisiin suuntiin olevien kaarteiden kaarresäteet ovat erisuuret, voi välisuoran jättää pois, jos kaavan 2.6:37 ehto täyttyy.

$$\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} > 137 \quad (2.6:37)$$

missä

R_1, R_2 vastakkaisiin suuntiin olevien kaarteiden kaarresäteet [m].

Kun vastakkaisiin suuntiin olevien kaarteiden kaarresäteet ovat erisuuret, välisuoran pituus on laskettava kaavoja 2.6:35 ja 2.6:36 käyttäen. Laskennassa on erisuuruuksista kaarresäteistä käytettävä pienemmän arvoa.

2.6.8 Elementtien minimipituudet

Ympyränkaaren suositeltava pituus on kaikilla raiteilla vähintään

$$L = \frac{V}{4} \text{ [m]} \quad (2.6:38)$$

V = tavoitenoisuus [km/h]

Välisuoran suositeltava pituus on kaikilla raiteilla vähintään

$$L = \frac{V}{2} \text{ [m]} \quad (2.6:39)$$

Elementin suositeltava pituus on kuitenkin vähintään 30 metriä, jos raiteen sallittu nopeus on yli 40 km/h. Tämä vaatimus ei koske raiteen yhdensuuntaissiirtoja eikä pieniä suuntamuutoksia, jos niiden kaarresäde on vähintään kohdan 2.6.4.3 mukainen.

Siirtymäkaaren vähimmäispituus käsitellään kohdassa 2.6.6.

2.6.9 Sallitun nopeuden pyörityssäännöt

Määritettäessä kaarteiden geometrian sallimaa suurinta nopeutta on geometrian mitoitussuureiden raja-arvoilla laskettu sallittu nopeus pyöritystasoon lähimpään mahdolliseen nopeustasoon. Geometrian laskennallisesti sallimaa nopeutta voi kuitenkin pyöritystä ylöspäin enintään 0,5 km/h. Kun 60E1- ja 54E1-betonipölkkyraiteilla kallistuksen vajauksen rajana on 105 mm, geometrian salliman nopeuden voi pyöritystä ylöspäin 2 km/h, jos kallistuksen vajauksen muutoksennopeuden arvo 73 mm/s ei ylity.

2.6.10 Suurnopeusradat ≥ 250 km/h

Suurnopeusratoja, joiden nopeus on vähintään 250 km/h, koskevat yleisesti kaikki tämän ohjeen vaatimukset seuraavin lisäyksin:

Pituuskaltevuuden lupa-arvo on 35 ‰ taulukon 2.5:1 40 ‰ sijaan.
Kallistuksen vajauksen maksimiarvot ovat kohdasta 2.6.5.2 poiketen:

100 mm nopeudella $250 < V \leq 300$ km/h
80 mm nopeudella $V > 300$ km/h.

Jos näitä ei voi toteuttaa erityisen vaikean maaston asettamien rajoitusten vuoksi, voi tällaisissa paikoissa käyttää seuraavia lupa-arvoja:

180 mm nopeudella $V \leq 160$ km/h.
165 mm nopeudella $160 < V \leq 230$ km/h
130 mm nopeudella $250 < V \leq 300$ km/h. Arvon voi korottaa 150 mm:iin raiteilla, jotka eivät ole sepelipohjaisia, kuten kiintoraiteessa.

2.6.11 Mitoitus poikittaiskiihtyvyydellä

Raidegeometrian mitoitus on tehtävä kallistuksen vajaan käytävällä menetelmällä. Tässä esitellään aiemmin käytetty poikittaiskiihtyvyyden menetelmä, joka tuottaa samat tulokset kuin kallistuksen vajaan käytävä menetelmä.

2.6.11.1 Poikittaiskiihtyvyys

Poikittaiskiihtyvyys vastaa ilmiönä kallistuksen vajaan, mutta se ilmaistaan eri nimellä ja mittayksiköllä. Kallistuksen vajauksella ja poikittaiskiihtyvyydellä on seuraava vastaavuus:

$$a_q = \frac{g \times I}{1600} = \frac{I}{163} \quad (2.6:40)$$

a_q = poikittaiskiihtyvyys [m/s^2]
 g = putoamiskiihtyvyys 9,81 [m/s^2]
 I = kallistuksen vajoitus [mm]

Poikittaiskiihtyvyyden raja-arvot ovat:

1. Yli 120 km/h:n nopeudella, D- ja C₂-päällysrakenneluokan raiteilla matkustajaliikenteessä suurin sallittu poikittaiskiihtyvyys on 0,80 m/s^2 .
2. Sepeliraiteilla muissa tapauksissa suurin sallittu poikittaiskiihtyvyys on 0,65 m/s^2 .
3. Soraraitteella suurin sallittu poikittaiskiihtyvyys on 0,45 m/s^2 .
4. Negatiivisen poikittaiskiihtyvyyden ehdoton minimiarvo nopeudella 60 km/h on $-0,65 \text{ m/s}^2$ ja suositeltava minimiarvo on $-0,45 \text{ m/s}^2$.

Negatiivinen poikittaiskiihtyvyys tarkoittaa, että kaarteessa on liikaa kallistusta tarkasteltavalle nopeudelle, eli kallistus on yli tasapainokallistuksen. Tällöin liikkuvaan kalustoon kohdistuu kiskojen selän tasossa keskipakoisvoiman aiheuttama poikittaiskiihtyvyys sisäkaarteeseen suuntaan. Negatiivinen poikittaiskiihtyvyys merkitään miinus (-) -merkillä.

Kallistuksen vajaan, liikakallistuksen ja raiteen tasossa kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden toisiaan vastaavat arvot ovat:

Poikittaiskiihtyvyys $0,45 \text{ m/s}^2$ vastaa kallistuksen vajaan 73 mm .
 Poikittaiskiihtyvyys $0,65 \text{ m/s}^2$ vastaa kallistuksen vajaan 105 mm .
 Poikittaiskiihtyvyys $0,80 \text{ m/s}^2$ vastaa kallistuksen vajaan 130 mm .
 Poikittaiskiihtyvyys $-0,65 \text{ m/s}^2$ vastaa liikakallistusta 105 mm .
 Poikittaiskiihtyvyys $-0,45 \text{ m/s}^2$ vastaa liikakallistusta 73 mm .

Poikittaiskiihtyvyys on kiskon selän tasossa, kaava 2.6:41:

$$a_q = \frac{V^2}{12,96R} - \frac{D}{163} \quad (2.6:41)$$

a_q = poikittaiskiihtyvyys [m/s^2]
 V = nopeus [km/h]
 R = kaarresäde [m]
 D = raiteen kallistus [mm]

Nopeus kaarteessa on poikittaiskiihtyvyyden perusteella kaavan 2.6:42 mukainen.

$$V = \sqrt{12,96R \left(a_q + \frac{D}{163} \right)} \quad (2.6:42)$$

V = nopeus kaarteessa [km/h]
 R = kaarresäde [m]
 D = raiteen kallistus [mm]
 a_q = poikittaiskiihtyvyys [m/s^2]

2.6.11.2 Siirtymäkaari ja kallistusviiste

Siirtymäkaarta ei tarvitse käyttää normaalikaarella, jos molempien kaavojen 2.6:43 ja 2.6:44 ehdot toteutuvat, eikä kohdan 2.6.4.3 mukaisessa tapauksessa.

$$R > V^2/2, \text{ kun } V > 80 \text{ km/h} \quad (2.6:43)$$

$$\frac{V^3}{793 \times R} < 0,45 \text{ m/s}^3 \quad (2.6:44)$$

R = kaarresäde [m]
 V = mitoitusnopeus [km/h]

Raitteen kaarevuus ($1/R$) muuttuu suoralta ympyränkaaren sädettä vastaavaan arvoon siirtymäkaaren matkalla. Raitteen kallistus muuttuu nolosta ympyränkaaren kallistukseen arvoon kallistusviisteen matkalla. Yleensä kallistusviiste ja siirtymäkaari ovat kohdakkain, niillä on sama alku- ja loppupiste ja pituus. Kun siirtymäkaari ja kallistusviiste ovat yhtä pitkät, vähimmäispituuden määrää joko siirtymäkaaren tai kallistusviisteen minimipituus.

Kallistusviisteen pituus on laskettava kohdan 2.6.6.3 (suora viiste) tai 2.6.6.4 (S-viiste) mukaan niin, että kallistusviiste ei tule liian jyräksi.

Kun laskentaperusteena on poikittaiskiihtyvyys ja nykäys, siirtymäkaaren pituus on laskettava niin, että nykäys siirtymäkaareissa ei kasva liian suureksi.

Nykäyksen suositeltava arvo on enintään $0,17...0,30 \text{ m/s}^3$ ja maksimiarvo $0,45 \text{ m/s}^3$.

Nykäys lasketaan joko kaavoilla 2.6:45 ja 2.6:46, tai jos käytössä on poikittaiskiihtyvyys ympyränkaareissa, kaavoilla 2.6:47 ja 2.6:48.

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{V^3}{46,656RL_K} - \frac{VD}{586,8L_K} \quad \textit{klotoidi} \quad (2.6:45)$$

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{V^3}{23,328RL_K} - \frac{VD}{293,4L_K} \quad \textit{Helmert} \quad (2.6:46)$$

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{a_q V}{3,6L_K} \quad \textit{klotoidi} \quad (2.6:47)$$

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{a_q V}{1,8L_K} \quad \textit{Helmert} \quad (2.6:48)$$

$da_q / dt =$ nykäys [m/s^3]

$a_q =$ poikittaiskiihtyvyys ympyränkaareissa [m/s^2]

$L_K =$ siirtymäkaaren pituus [m]

$R =$ kaarresäde [m]

$D =$ raitteen kallistus [mm]

$V =$ mitoitusnopeus [km/h]

Siirtymäkaaren suositeltava pituus on kuitenkin vähintään 30 m ja minimipituus on 20 m.

2.6.11.3 Korikaarre

Korikaarteeseen eri ympyränkaarien välissä on käytettävä tarvittaessa siirtymäkaaria. Siirtymäkaarien tarve voidaan laskea poikittaiskiihtyvyyden ja nykyksen avulla, kaavat 2.6:49 ja 2.6:50. Siirtymäkaaria ei tarvita, jos kaavojen ehdot toteutuvat.

$$\frac{R_1 R_2}{(R_1 - R_2)} > \frac{V^2}{2}, \text{ kun } V > 80 \text{ km/h} \quad (2.6:49)$$

$$\frac{V^3}{793 \times \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2}} < 0,45 \text{ m/s}^3 \quad (2.6:50)$$

R_1 ja R_2 = kaarresäteet, $R_1 > R_2$ [m]

V = mitoitusnopeus [km/h]

Korikaarteeseen eri ympyräkaarien välisen siirtymäkaaren nykyys on laskettava kaavoilla 2.6:46 ja 2.6:47. Kaavojen poikittaiskiihtyvyyden arvona a_q on käytettävä eri ympyräkaarien poikittaiskiihtyvyyksien erotuksen itseisarvoa $a_q = |a_{q1} - a_{q2}|$.

Korikaarteeseen eri ympyräkaarien välisen siirtymäkaaren kallistusviisteen jyrkkyys on laskettava kohtien 2.6.6.3 ja 2.6.6.4 kaavojen mukaan. Kaavojen raiteen kallistuksen arvona D on käytettävä eri ympyräkaarien raiteen kallistuksen erotuksen itseisarvoa $D' = |D_1 - D_2|$.

Korikaarteeseen alussa ja lopussa, kaaren ja suoran välissä olevan siirtymäkaaren tarve on laskettava kaavojen 2.6:43 ja 2.6:44 mukaisesti. Siirtymäkaaren pituus ja kaarien kallistukset on laskettava kuin normaalikaarteessa, siten että poikittaiskiihtyvyys tai nykyys ei kasva liian suureksi. Kallistusviisteen pituus on laskettava kohtien 2.6.6.3 ja 2.6.6.4 mukaan.

2.7 Raidegeometria vaihdealueella

2.7.1 Vaihteen pystygeometria

Vaihde on pyrittävä sijoittamaan muualle kuin kaltevuustaitteeseen, koska kielisovituksen kohdalla oleva kaltevuustaite vaikeuttaa kielien kääntymistä. Jos vaihde on sijoitettava kaltevuustaitteen kohdalle, kaltevuustaitteen pyöristyskaaren säteen on oltava vähintään taulukon 2.7:1 mukainen.

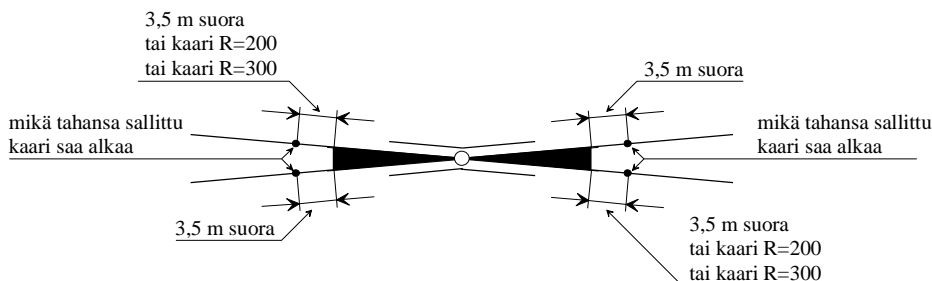
Taulukko 2.7:1. Vaihteen kohdalla sallittu pienin kaltevuustaitteen pyöristyskaaren säde.

| Vaihdetyyppi | Pyöristyskaaren säde koverassa taitteessa | Pyöristyskaaren säde kuperassa taitteessa |
|--|---|---|
| Lyhyt vaihde (risteyssuhde 1:7, 1:9, 1:9,514) | 20 000 m | 20 000 m |
| Pitkä vaihde (risteyssuhde 1:11,1, 1:14, 1:15,5, 1:18) | 25 000 m | 30 000 m |
| Pitkä vaihde (risteyssuhde 1:26, 1:28) | Kaltevuustaitteen pyöristyskaarta ei saa olla | |

2.7.2 Vaihteen etujatkosalue

Vaihteen etujatkosalueella on yksinkertaisessa vaihteessa ja kaksoisvaihteessa pyrittävä käyttämään pääraiteella vähintään 5,0 m pitkää suoraa (kuvat 2.7:2, 2.7:3, 2.7:4, 2.7:6, 2.7:7, 2.7:8, 2.7:9, 2.7:10).

Betonipölkkyisen KRV54-200-1:9-vaihteen molemmilla raiteilla mikä tahansa sallittu kaari saa alkaa 3,5 m etujatkoksen jälkeen (kuva 2.7:1). Toisella raiteella saa 200 m tai 300 m säteinen kaari jatkua yhtäjaksoisesti etujatkoksen jälkeen, toisella raiteella on oltava 3,5 m pituinen suora. Kaaren minimipituus etujatkoksesta lähtien on 3,5 m.

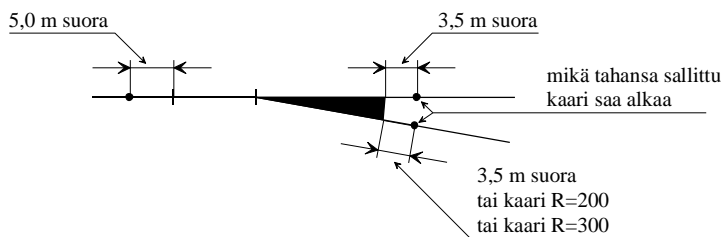


Kuva 2.7:1 Betonipölkkyiseen vaihteeseen KRV54-200-1:9 liittyvät suorat ja kaaret.

2.7.3 Vaihteen takajatkosalue

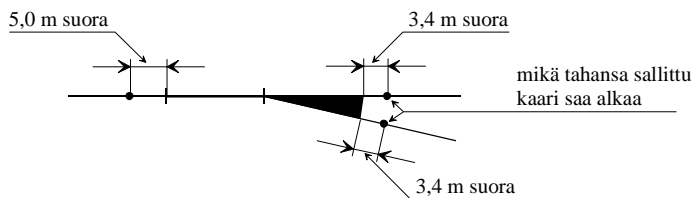
Vaihteiden keskinäisen sijoittumisen määrää usein takajatkosalueen pölkkytys. Vaihteen takajatkosalueelle on mahdollista pitkiä vaihdepölkkyjä, joihin molempien raiteiden rataakset kiinnitetään.

Betonipölkkyisen vaihteen YV54-200N-1:9 molemmilla raiteilla mikä tahansa sallittu kaari saa alkaa 3,5 m takajatkoksen jälkeen (kuva 2.7:2). Vaihteen poikkeavan raiteen kaaren on jatkuttava suorana tai kaarena, jonka kaarresäde on 200 m tai 300 m. Vaihteen poikkeavaan raiteeseen liittyvän suoran tai kaaren pituuden on oltava vähintään 3,5 m.



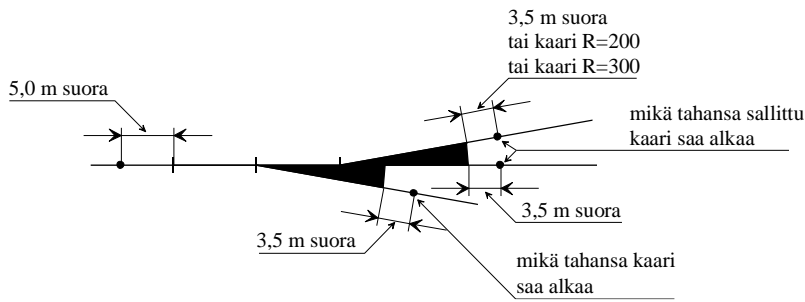
Kuva 2.7:2 Betonipölkkyiseen vaihteeseen YV54-200N-1:9 liittyvät suorat ja kaaret.

Vaihteen YV54-165-1:7 molemmilla raiteilla mikä tahansa sallittu kaari saa alkaa 3,4 m takajatkoksen jälkeen (kuva 2.7:3).



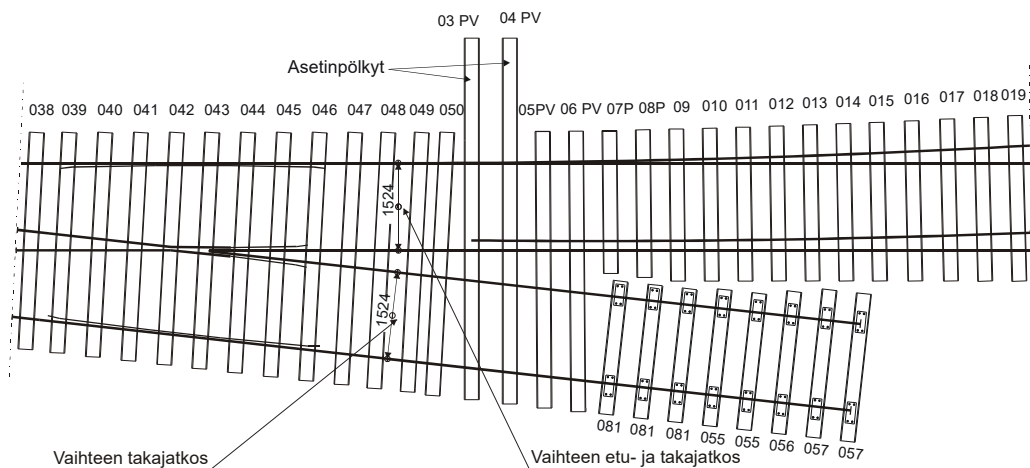
Kuva 2.7:3 Vaihteeseen YV54-165-1:7 liittyvät suorat ja kaaret.

Betonipölkkyisen vaihteen KV54-200N-1:9 kaikilla raiteilla mikä tahansa sallittu kaari saa alkaa 3,5 m takajatkoksen jälkeen (kuva 2.7:4). Takimmaisena osavaihteen poikkeavan raiteen kaaren on jatkuttava suorana tai kaarena, jonka kaarresäde on 200 m tai 300 m. Vaihteen poikkeaviin raiteisiin liittyvien suorien tai kaarien pituuden on oltava vähintään 3,5 m.



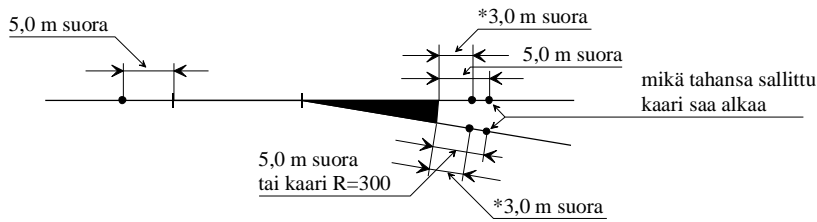
Kuva 2.7:4 Betonipölkkyiseen vaihteeseen KV54-200N-1:9 liittyvät suorat ja kaaret.

Kaksi peräkkäistä betonipölkkyistä YV54-200N-1:9-vaihdetta on asennettava noudattaen liitteen 2 vaihteen välialuemitoitusta tai sivuraiteessa vaihtoehtoisesti kuvan 2.7:5 mukaisesti, jossa poikkeava pölkkytys on esitetty.



Kuva 2.7:5 Kahden betonipölkkyisen vaihteen YV54-200N-1:9 sijoittaminen peräkkäin ja pölkkytys, kun käytetään vaihteen välialuemitoituksesta poikkeavaa mitoitusta.

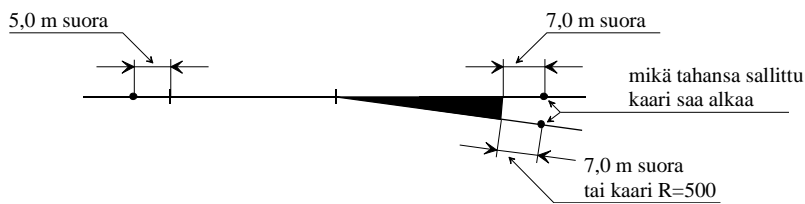
Vaihteessa YV60-300-1:9 molemmilla raiteilla mikä tahansa sallittu kaari saa alkaa 3,0 m takajatkoksen jälkeen (kuva 2.7:6). Vaihteen poikkeavan raiteen kaaren on jatkuttava suorana tai kaarena, jonka kaarresäde on 300 m. Vaihteen poikkeavaan raiteeseen liittyvän suoran pituuden on oltava vähintään 3,0 m ja kaaren pituuden on oltava vähintään 5,0 m. Pölkkytyksen vakavuuden varmistamiseksi on suositeltavaa käyttää vaihteeseen liittyvän suoran pituutena vähintään 5,0 m.



*On käytettävä raiteenvaihtopaikalle raidevälille 4300 mm suunniteltua pölkkytystä (takajatkoksen jälkeen viisi pitkää vaihdepölkkyä)

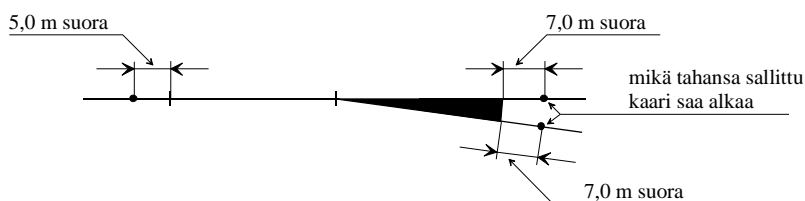
Kuva 2.7:6 Vaihteeseen YV60-300-1:9 liittyvien suorien ja kaarien vähimmäispituudet.

Vaihteessa YV60-500-1:11,1 molemmilla raiteilla mikä tahansa sallittu kaari saa alkaa 7,0 m takajatkoksen jälkeen (kuva 2.7:7). Vaihteen poikkeavan raiteen kaaren on jatkuttava suorana tai kaarena, jonka kaarresäde on 500 m. Vaihteen poikkeavaan raiteeseen liittyvän suoran tai kaaren pituuden on oltava vähintään 7,0 m.



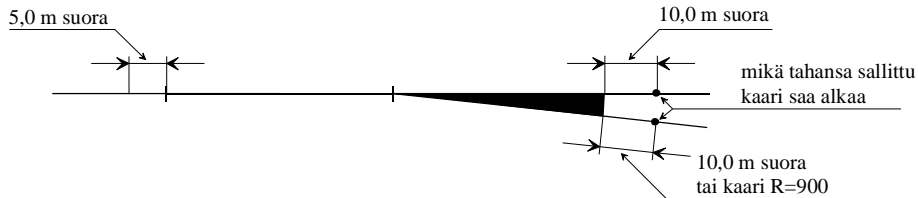
Kuva 2.7:7 Vaihteeseen YV60-500-1:11,1 liittyvien suorien ja kaarien vähimmäispituudet.

Vaihteen YV60-500-1:14 molemmilla raiteilla mikä tahansa sallittu kaari saa alkaa 7,0 m takajatkoksen jälkeen (kuva 2.7:8).



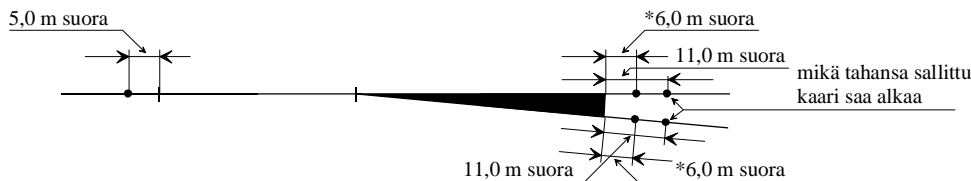
Kuva 2.7:8 Vaihteeseen YV60-500-1:14 liittyvien suorien ja kaarien vähimmäispituudet.

Vaihteessa YV60-900-1:15,5 molemmilla raiteilla mikä tahansa sallittu kaari saa alkaa 10,0 m takajatkoksen jälkeen (kuva 2.7:9). Vaihteen poikkeavan raiteen kaaren on jatkettava suorana tai kaarena, jonka kaarresäde on 900 m. Vaihteen poikkeavaan raiteeseen liittyvän suoran tai kaaren pituuden on oltava vähintään 10,0 m.



Kuva 2.7:9 Vaihteeseen YV60-900-1:15,5 liittyvät suorat ja kaaret.

Vaihteessa YV60-900-1:18 mikä tahansa sallittu kaari saa alkaa 6,0 m takajatkoksen jälkeen (kuva 2.7:10). Pölkytyksen vakavuuden varmistamiseksi on suositeltavaa käyttää suoran pituutena vähintään 11,0 m.



*On käytettävä raiteenvaihtopaikalle raidevälille 4300 mm suunniteltua pölkytystä (takajatkoksen jälkeen yhdeksän pitkää vaihdepölkyä)

Kuva 2.7:10 Vaihteeseen YV60-900-1:18 liittyvät suorat ja kaaret.

Vaihteeseen YV60-5000/2500-1:26 on pyrittävä sijoittamaan siirtymäkaari heti poikkeavan raiteen takajatkoksen taakse. Siirtymäkaari alkaa vaihteen linjakuvion mukaisesti jo ennen vaihteen takajatkoksia. Ilman siirtymäkaarta suurin nopeus vaihteen poikkeavalla raiteella on 130 km/h.

Vaihteeseen YV60-5000/3000-1:28 on sijoitettava siirtymäkaari heti poikkeavan raiteen takajatkoksen taakse.

Muissa kuin 1:26- ja 1:28-vaihteissa siirtymäkaarta ei saa sijoittaa takajatkosalueen vaihdepölkylle, jotka ulottuvat molempien raiteiden alle.

Kallistusviistettä ei saa sijoittaa minkään vaihteen takajatkosalueelle vaihdepölkylle, jotka ulottuvat molempien raiteiden alle.

2.7.4 Vaihteiden välialue

Raiteenvaihtopaikalla vaihteiden kaarien välissä on oltava suora osuus, jonka minimipituus on laskettava kaavan 2.7:1 mukaan.

$$L = 0,15 \cdot V \quad (2.7:1)$$

missä

L = kaarien välisen suoran minimipituus [m]

V = suurin nopeus poikkeavassa raiteessa [km/h]

Vaihteissa olevien kaarien väliseen pituuteen saa laskea suoran osuuden, joka on vaihteessa ennen takajatkoksia.

Pääraiteella vaihteiden etujatkosten välisen välialueen on oltava vähintään 6,0 m.

Muulla kuin raiteenvaihtopaikalla suositukset peräkkäisten vaihteiden välialueen mitoittamiseen on esitetty liitteessä 2.

Vaihteiden välialueen on oltava niin pitkä, että raidelevyden muutos vaihteiden välillä on enintään 2 mm/m ja että RATO:n osassa 19 Jatkuvakiskoraiteet ja -vaihteet [11] mainitut vaatimukset vähimmäiskiskopituuksista täyttyvät

Kun kaksi vaihdetta ovat etujatkokset toisiinsa päin ja vaihteiden poikkeavat raiteet muodostavat S-kaaren, on niiden väliin jätettävä välisuora, jonka pituuden on oltava vähintään

- 10 metriä, kun vaihteiden kaarresäteet ovat enintään 275 metriä
- 6 metriä, kun vaihteiden kaarresäteet ovat enintään 300 metriä

Tarkastelussa on käytettävä pienempää kaarresädettä, kun vaihteissa on eri kaarresäteet. Muutettavissa vaihteissa tätä on noudatettava, kun S-kaarten suuntaan on mahdollista varmistaa junakulkutie.

Vaihteen merkin on sijoitettava myös mahdollisen viereisen raiteen tai vaihteen aukean tilan ulottuman ulkopuolelle.

2.8 Raidegeometrian määrittely olemassa olevalle radalle

Kun raidegeometriaa määritellään olemassa olevalle radalle kunnossapidon raiteen tukemista varten, voidaan poiketa eräistä aiemmin tässä ohjeessa esitetyistä yleisistä vaatimuksista. Poikkeamisen tarve voi johtua siitä, että raiteen nykyinen geometria voi sisältää nykyisistä ohjeista poikkeavia suunnitteluratkaisuja, tai siitä, että raiteen asento ja asema poikkeaa paljon alkuperäisestä suunnitelmasta. Raidetta ei kuitenkaan olla uusimassa nykyohjeiden mukaiseksi tai raiteelle ei tehdä minkäänlaista peruskorjausta, eikä raiteelle ole suunnitella nopeudennostoa.

Käytettävien menetelmien tai raja-arvojen poikkeamiin, jotka eivät ole luvun 2.8 mukaisia, tulee saada tilaajan kirjallinen lupa ennen kuin raidegeometria voidaan hyväksyä. Aiemmin annetut luvat ohjeista poikkeamiseen tai lupa-arvojen käyttöön ovat voimassa. Suunnitelman tarkastus- ja hyväksymisprosessista sovietaan toimeksiantokohtaisesti. Missään tilanteessa ei hyväksytä junaliikenteen turvallisuutta vaarantavia suunnitteluratkaisuja.

2.8.1 Suunnitteluohjeet

2.8.1.1 Yleisperiaatteet

Raiteelle määritellään geometria, joka noudattaa raiteen nykyistä kartoitettua asemaa mahdollisimman hyvin. Määrittelyn lähtökohtana on radan vanha suunniteltu geometria, joka muokataan mahdollisuuksien mukaan kuvaamaan raiteen nykyistä asemaa. Vanhan geometrian suunnitteluratkaisut voivat olla käytökelpoisia.

Mitoitusnopeutena käytetään raiteen nykyistä paikallista suurinta sallittua nopeutta. Nykyinen suurin sallittu nopeus voi poiketa rataluokan mahdollistamasta suurimmasta nopeudesta. Lisäksi on otettava huomioon esimerkiksi pysyvien nopeusrajoitusten tai liikennepaikalle saapumisen takia erityisen hitaasti kulkevat junat.

Raidegeometria tulee määrittellä siten, että raiteen tukemisessa pystygeometrian nostoarvot ovat ≤ 50 mm ja vaakageometrian sivusiirtoarvot ovat ≤ 40 mm. Tämä mahdollistaa sen, että kunnossapidossa tehtävän raiteen läpituennan yhteydessä raide siirretään suunniteltuun asemaansa. Läpituettuun asemaan viedyt raiteet säilytetään suunnitellussa asemassa ja asennossa. Jos geometrian määrittelyssä joudutaan kuitenkin poikkeamaan em. nosto- tai siirtoarvoista hyvään ja toimivaan geometriaan pääsemiseksi, tulee raiteen aseman raiteen tukemisen jälkeen silti täyttää RATO:n osassa 13 "Radan tarkastus" [5] esitetyt vaatimukset raiteen aseman suurimmille sallituille poikkeamille liikenteen käytössä oleville raiteille. Edellä mainittuja suurempia raiteen nostoja tai siirtoja vaativat radan kohdat on esitettävä korjattaviksi.

Aukean tilan ulottuma, laitureiden reunat, tukikerroksettomat sillat ja muut raidegeometrian niin sanotut pakkopisteet on otettava huomioon niin, että geometria on toteutuskelpoinen.

Raiteen aseman muutokset vaikuttavat aina ajolangan säätötarpeeseen, ja tarvittaessa sähköradan kunnossapitäjän on tarkistettava säätövarat. Säätövarat voivat loppua etenkin merkittävässä sivusiirroissa tai raiteen kallistuksen muutoksissa. Merkittävistä geometrian muutoksista tulee olla maininta geometriasuunnitelmassa.

2.8.1.2 Vaakageometria ja raiteen kallistus

Kaarteet suunnitellaan nykyisen geometrian mukaisesti, eikä lähtökohtaisesti kaarresäteisiin tai siirtymäkaarien pituuksiin tehdä muutoksia. Pienet muutokset voivat olla tarpeellisia, jos niillä saavutetaan pienemmät raiteen sivusiirrot, eikä muutos vaikuta sallittuun nopeuteen.

Raiteen kallistuksena käytetään lähtökohtaisesti aiemman suunnitelman mukaista kallistusta. Kallistusta voidaan kuitenkin muuttaa esimerkiksi havaitun kiskojen haitallisen kulumisen vähentämiseksi. Raiteen kallistuksen on sallittava sekä suurimmat että pienimmät junien nykyiset nopeudet kyseisessä kaarteessa.

Muutettaessa kaarregeometriaa aiemmasta on varmistettava, että luvussa 2.6 esitetyt kallistuksen vajauksen, kallistuksen vajauksen muutosnopeuden tai kallistusviivien jyrkkyyden raja-arvot eivät ylity.

Jos vaakageometriassa on sellaisia kaarregeometrioita, joita on nykyisillä mitoitusmenetelmillä mahdollista parantaa alentamatta nykyistä sallittua nopeutta, tulee ne esittää korjattaviksi.

Useampiraiteisilla radoilla vierekkäisten raiteiden raideväli on pyrittävä pitämään ennallaan. Erityisesti raiteenvaihtopaikoilla raidevälit on pyrittävä määrittelemään samoiksi kuin alkuperäisessä suunnitellussa geometriassa, jotta vaihdokujiin ei tukemistyössä synny geometriavirheitä.

2.8.1.3 Pystygeometria

Raiteen pystygeometria sovitetaan raiteen todelliseen asemaan. Kaltevuustaitteiden lisäämistä tulee välttää. Kaltevuustaitteiden pyöristysten välillä on oltava suora osuus, jonka pituus on vähintään 30 metriä.

Raiteen pituuskaltevuudet voivat ylittää kohdan 2.5.4.1 raja-arvot, jos raiteen todellinen pituuskaltevuus on raja-arvoja suurempi. Raja-arvot ylittävät pituuskaltevuudet tulee kuitenkin käsitellä suunnittelukokouksissa ja tehdä vaihtoehtotarkastelu loiventamiselle.

Läpituentatyön perustusnosto 20 mm on otettava huomioon korkeusviivan määrittelyssä, jotta raiteen korkeusasema tukemistyön jälkeen on RATOn osan 13 mukaisten liikennöidyn raiteen aseman sallittujen, nopeuteen sidottujen

poikkeamien +50 mm tai +80 mm alapuolella verrattuna suunniteltuun pystygeometriaan. Jos raiteen sivusiirtoa suunniteltuun asemaan on yli 40 mm, tulee nostovaraa olla perusnostoa enemmän. Tällä otetaan huomioon tukemiskoneen kapasiteetti. Suunniteltuun asemaan vienti voi tapahtua useammalla tuentakerralla, jolloin jokaisella tuentakerralla raidetta siirretään lähemmäksi suunniteltua asemaa.

Useampiraiteisilla radoilla vierekkäiset raiteet on pyrittävä pitämään keskenään samassa korkeusasemassa. Raiteenvaihtopaikoilla vierekkäisten raiteiden korkeuseroa ei sallita.

2.8.1.4 Tasoristeykset

Tasoristeyksen kohdalla raiteen sivusiirto ja nosto on pidettävä mahdollisimman pienenä. Jos hyvän raidegeometrian saavuttaminen vaatii muutoksen, joka vaikuttaa vanhan tasoristeyskannen käyttökelpoisuuteen, tasoristeyksen siirtymäpalkkien sijaintiin, tasoristeykseen johtavan tien geometriaan tai rakentamiseen tai muuhun vastaavaan tasoristeyksen ominaisuuteen, on tasoristeys esitettävä korjattavaksi.

2.8.2 Suunnittelun lopputulos ja luovutusaineisto

Olemassa olevan radan geometrian määrittelyssä tuotetaan

- raidegeometriatiedosto Inframodel-määrittelyn mukaisena tiedostona
- luettelo vaaka- ja pystygeometrian elementeistä parametreineen
- luettelo määritellyn geometrian ja raiteen kartoitetun aseman eroista (siirroista ja nostoista) huomautuksineen
- luettelo raiteen kartoituksessa käytetyistä kiintopisteistä.

2.8.3 Maastomerkinnot ja rekisteripäivitykset

Suunnitellut geometriamuutokset voivat vaikuttaa radan merkintöihin (esim. kaarteiden ja pystytaitteiden merkinnät). Merkkisuunnitelmien laadinnasta sovitetaan toimeksiantokohtaisesti. Sijoitus- ja toimenpidesuunnitelmien sekä merkkien määräluetteloiden laatimisesta tai päivityksestä tulee myös sopia toimeksiantokohtaisesti.

Radan kunnossapitäjä tekee tarvittaessa muutositilmoitukset ratatietojärjestelmiin.

2.9 Ulottumat

2.9.1 Aukean tilan ulottuma (ATU)

2.9.1.1 ATUn päämitat

Radan aukealla tilalla tarkoitetaan sitä pitkin raidetta ulottuvaa tilaa, jonka sisäpuolella ei saa olla kiinteitä rakenteita eikä laitteita. Aukean tilan ulottuma määritetään raiteen keskilinjaa vastaan kohtisuorassa tasossa, leveyssuunnassa vaakasuoraan raiteen pystysuorasta keskilinjasta ja korkeussuunnassa pystysuoraan raiteen kiskon selän korkeudesta (ksk) lukien. Radan aukeasta tilasta käytetään kirjainlyhennettä ATU.

ATUn muoto ja mitat suoralla raiteella on esitetty liitteessä 3. Ajojohtorakenteen vaatiman tilan ja veturin virroittimen läpikulkutilan sähköistetyillä radoilla osoittaa murtoviiva D-E-F-G-H-L. Kaarteissa ja vaihteissa ATUn mittoja on levitettävä, lukuun ottamatta kiskon selän alapuolella olevia ATUn mittoja tai ajojohtorakenteen vaatimaa tilaa.

Laippaurasta, eli kiskon kulkureunan vieressä olevasta vapaasta tilasta, on tarkemmat ohjeet RATO:n osassa 11 Radan päällysrakenne [3].

Kun kuperan taitteen pyöristyskaaren säde on alle 1000 m, ovat kiinteille rakenteille sallitut korkeudet ATUn ala-osaan liitteessä 3 esitetyistä mittoja pienempiä etäisyydelle 1700 mm raiteen keskilinjasta (liikkuvan kaluston ulottuman alueella). Pyöristyssäteen pienentyessä mitat pienenevät suoraviivaisesti niin, että kiskon kulkupinnan yläpuolella ei saa olla lainkaan kiinteitä esteitä, kun pyöristyskaaren säde on 500 m.

ATUn mitat ovat minimimittoja, joiden tulee olla voimassa kaikissa olosuhteissa. Suunnittelussa on otettava huomioon tarvittavat rakentamis- ja kunnossapitotoleranssit. Kiinteiden rakenteiden sijoittamisessa on varauduttava tavoite- nopeuden edellyttämän raiteen kallistuksen käyttöön.

2.9.1.2 ATUn levitys kaarteissa

ATUn puolileveyden levitys ympyräkaarien ja siirtymäkaarien alueella määritellään joko

- kaavan 2.9:1 mukaisesti käyttäen tarkasteltavan poikkileikkauksen todellisia kaarevuus- ja kallistusarvoja tai
- käyttäen kuvan 2.9:1 nelikulmaista ulottumamallia, jossa suorakulmion puolileveys on suoran raiteen ATUn puolileveyden mukainen, jänteen pituus 17,0 metriä ja kokonaispituus 24,1 metriä. Raiteen kaarevuuden vaikutuksen osalta tarkastellaan raiteen keskilinjasta kauimmaisten suorakulmion pisteiden kulkua. Kauimmaisten pisteiden osoittamaan leveyteen lisätään raiteen kallistuksen vaikutus käyttäen kaavaa 2.9:2 tarkasteltavan poikkileikkauksen mukaisella raiteen kallistuksella.

Kaarteessa, jossa ei ole siirtymäkaarta, levityksen sijainti ja suuruus määritellään joko edellä kuvattua ulottumamallia käyttäen tai kaavan 2.7:3 ja liitteen 4 perusteella.

Vaihteiden kohdalla ATUn puolileveyden levitys määritellään joko edellä kuvattua ulottumamallia käyttäen tai liitteen 5 mukaan. Kallistetuissa kaarrevaihteissa liitteen levitysmittoihin on lisättävä raiteen kallistuksen vaikutus kaavan 2.9:2 mukaisesti.

$$b = \frac{36000}{R} + \frac{HD}{1600} \quad (2.9:1)$$

$$b = \frac{HD}{1600} \quad (2.9:2)$$

$$b = \frac{36000}{R} \quad (2.9:3)$$

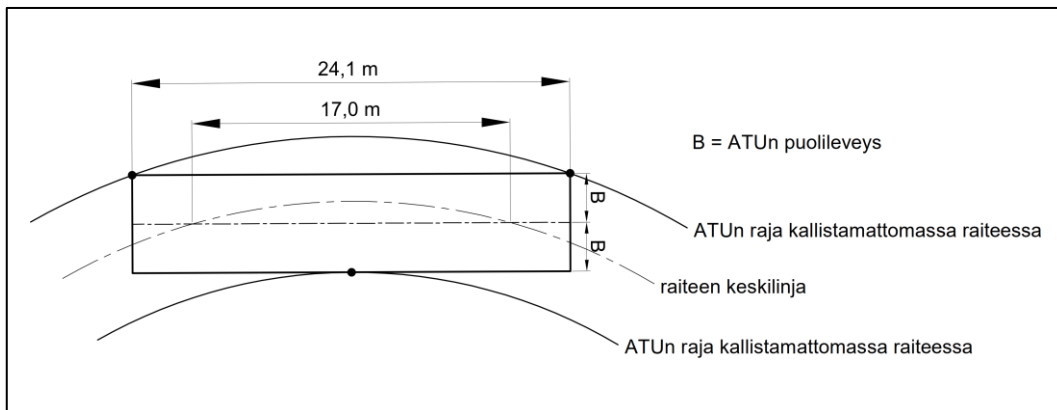
R = säde [m]

H = korkeus [mm]

D = raiteen kallistus [mm]

b = puolileveyden levitys [mm]

Kaavakerroin 36 000 vastaa 17 metrin telikeskiöväliä.



Kuva 2.9:1 Ulottumamalli ATUn kaarrelevitysten määrittelyyn.

Taulukkoon 2.9:1 on laskettu suositeltavia ATUn levityksen suunnitteluarvoja. Kallistetussa raiteessa käytetään taulukon sarakkeita 3..9 ja kallistamattomassa raiteessa kaarteiden sisä- ja ulkopuolella taulukon saraketta 10. Suurentaminen (b) on laskettu kaavojen 2.9:1, 2.9:2 mukaan ja arvot on pyöristetty ylöspäin lähimpään viiteen millimetriin.

Taulukko 2.9:1. Suositeltavat arvot ATUn puolileveyden perusmittojen suurentamiseksi kaarteissa.

| Kaarteen säde R [m] | Oletettu raiteen kallistus laskettaessa kaarteen sisäpuolisia levityksiä [mm] | ATUn puolileveyden perusmittojen suurentaminen kaarteissa b_s ja b_u [mm] | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|------|------|------|------|------|-----|------------------------|---|
| | | Kallistetussa raiteessa korkeudella | | | | | | | Kaarteen ulkopuolella. | Kallistamassa raiteessa sisä- ja ulkopuolella |
| | | Kaarteen sisäpuolella | | | | | | | | |
| | | 550 | 1200 | 4250 | 5600 | 6000 | 6450 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 150 | 130 | 285 | 340 | 585 | 695 | 490 | 525 | 240 | 240 | |
| 180 | 130 | 245 | 300 | 545 | 655 | 490 | 525 | 200 | 200 | |
| 200 | 130 | 225 | 280 | 525 | 635 | 490 | 525 | 180 | 180 | |
| 250 | 130 | 190 | 245 | 490 | 600 | 490 | 525 | 145 | 145 | |
| 300 | 130 | 165 | 229 | 465 | 575 | 490 | 525 | 120 | 120 | |
| 400 | 150 | 145 | 205 | 490 | 615 | 565 | 605 | 90 | 90 | |
| 500 | 150 | 125 | 185 | 479 | 600 | 565 | 605 | 75 | 75 | |
| 600 | 150 | 110 | 175 | 460 | 585 | 565 | 605 | 60 | 60 | |
| 700 | 150 | 105 | 165 | 450 | 580 | 565 | 605 | 55 | 55 | |
| 800 | 150 | 100 | 160 | 445 | 570 | 565 | 605 | 45 | 45 | |
| 900 | 150 | 95 | 155 | 440 | 565 | 565 | 605 | 40 | 40 | |
| 1000 | 150 | 90 | 150 | 435 | 565 | 565 | 605 | 40 | 40 | |
| 1100 | 150 | 85 | 145 | 435 | 560 | 565 | 605 | 35 | 35 | |
| 1200 | 150 | 85 | 145 | 430 | 555 | 565 | 605 | 30 | 30 | |
| 1300 | 150 | 80 | 140 | 430 | 555 | 565 | 605 | 30 | 30 | |
| 1400 | 145 | 80 | 135 | 415 | 535 | 545 | 585 | 30 | 30 | |
| 1500 | 135 | 70 | 125 | 385 | 500 | 510 | 545 | 25 | 25 | |
| 1600 | 135 | 70 | 125 | 385 | 595 | 510 | 545 | 25 | 25 | |
| 1700 | 135 | 70 | 125 | 380 | 595 | 510 | 545 | 25 | 25 | |
| 1800 | 135 | 70 | 125 | 380 | 595 | 510 | 545 | 20 | 20 | |
| 1900 | 130 | 65 | 120 | 365 | 575 | 490 | 525 | 20 | 20 | |
| 2000 | 130 | 65 | 120 | 365 | 575 | 490 | 525 | 20 | 20 | |
| 2500 | 125 | 60 | 110 | 350 | 455 | 470 | 505 | 15 | 15 | |
| 3000 | 110 | 50 | 95 | 305 | 400 | 415 | 445 | 15 | 15 | |
| 3500 | 95 | 45 | 85 | 265 | 345 | 360 | 385 | 15 | 15 | |
| 4000 | 80 | 40 | 70 | 225 | 290 | 300 | 325 | 10 | 10 | |
| 4500 | 75 | 35 | 65 | 210 | 275 | 285 | 305 | 10 | 10 | |
| 5000 | 65 | 30 | 60 | 180 | 235 | 245 | 265 | 10 | 10 | |
| 6000 | 55 | 25 | 50 | 155 | 200 | 210 | 225 | 10 | 10 | |
| 7000 | 50 | 25 | 45 | 140 | 180 | 190 | 205 | 5 | 5 | |
| 8000 | 40 | 20 | 35 | 115 | 145 | 150 | 165 | 5 | 5 | |
| 9000 | 40 | 20 | 35 | 110 | 145 | 150 | 165 | 5 | 5 | |
| 10 000 | 35 | 20 | 30 | 100 | 130 | 135 | 145 | 5 | 5 | |

Huomioita taulukosta 2.9:1:

- Kaarteiden väliarvoja vastaavat levitykset voidaan määritellä suoraviivaisesti.
- Laskelmissa on oletettu veturin virroitimen olevan telikeskiön kohdalla.
- Todellista kallistusta voidaan käyttää b-arvona laskettaessa, jos kallistuksen lisäys myöhemminkään ei ole tarpeen.
- Jos raiteen kallistuksen todellinen arvo on suurempi kuin sarakkeen 2 arvo, on käytettävä todellista arvoa.

2.9.1.3 Korkeusmitat

ATUn korkeus kiskon selästä mitattuna välillä D–L (liite 3) on sähköistämättömällä suoralla pää- ja sivuraiteella 5600 mm.

Sähköistetyllä ja sähköistykseen varauduttavalla raiteella ATUn korkeus H välillä F–G on määriteltävä aina paikkakohtaisesti. Normaalisti H on 7000 mm, kun V on suurempi kuin 160 km/h, ja 6750 mm, kun V on enintään 160 km/h. Kaikilla uusilla raiteilla varaudutaan sähköistykseen lukuun ottamatta kuormausrateita tai muita erikoiskäyttöön tarkoitettuja raiteita.

Kallistetussa raiteessa on ATUn kulmapisteiden korkeus mitoitettava liitteen 4/1 kaavojen mukaisesti.

2.9.1.4 Ovi- ja porttiaukot

Tässä kohdassa esitettyjä ovi- ja porttiaukkoja koskevia ohjeita ja määräyksiä noudatetaan myös rakennusten pilareita, seiniä ja muita vastaavia rakenteita rakennettaessa.

Laitureiden porrashuoneiden sekä muiden rakenteiden mitoille on esitetty omat vaatimukset RATO:n osassa 16 Väylät ja laiturit [10].

Ennen 1.1.1986 valmistuneiden veturi- ja vaunusuojien, terminaali- sekä varasto- ja teollisuusrakennusten ovi- ja porttiaukkojen leveydet ovat suorassa raiteessa vähintään 3800 mm. Uusia ovia ja porttiaukkoja rakennettaessa on aukon leveyden oltava suorassa raiteessa vähintään 4400 mm, mutta mieluummin 5000 mm. Jos ko. aukkojen kohdalla tehdään vaihtotöitä ja vaunun astimella seisominen on todennäköistä, tulee ATUn puolileveyden uuden ovi- ja porttiaukon kohdalla olla suorassa raiteessa vähintään 2500 mm ja kaarteissa ATU:n levitysten verran leveämpi.

Rataverkon haltijan luvalla voidaan suoralle raiteelle perustelluista syistä rakentaa uusi vaihtotyöhön käytettävä vähintään 4400 mm leveä porttiaukko tai sijoittaa toinen aukon reunoista vähintään 2200 mm:n etäisyyteen raiteen keskilinjasta.

Ovi- ja porttiaukkojen korkeuden on kiskon selästä mitattuna oltava vähintään 5400 mm tai sähköistetyllä raiteella 6200 mm, mutta mieluummin ATUn korkeusmitat täyttävä. Yleensä aukkojen korkeuden on oltava 100 mm suurempi kuin korkeimman niiden kautta kulkevan kuorman.

2.9.1.5 Pylväät

Uusien sähköratapylväiden ja vastaavien kiinteiden, toistuvien rakenteiden tulee olla pää- ja sivuraiteella suoralla radalla normaalisti 3100 mm:n etäisyydellä raiteen keskilinjasta. Vaikeissa tapauksissa sallitaan uuden pylvään sijoittaminen pääraiteella 2750 mm:n ja sivuraiteella 2500 mm:n etäisyyteen raiteen keskilinjasta. Aidat eivät ole toistuvia rakenteita.

2.9.1.6 Sillat

Uusien ylikulkusiltojen pilareiden, ristikkosiltojen pääkannattajien ja muiden sellaisten rakenteiden on oltava suoralla radalla 3100 mm:n etäisyydellä raiteen keskilinjasta. Vaikeissa tapauksissa voidaan nämä rakenteet sallia ratalinjalla etäisyyteen 2750 mm raiteen keskilinjasta ja ratapihoilla etäisyyteen 2500 mm.

Olemassa olevilla silloilla raiteen etäisyyden sillan rakenteista on täytettävä vähintään ATUn vaatimukset.

Muilta osin noudatetaan RATO:n osan 8 Rautatiesillat [12] ohjeita.

2.9.1.7 Aidat

Aidat sijoitetaan RATO:n osan 7 Rautatieliikennepaikat [9] ohjeiden mukaan.

2.9.1.8 Johtimien etäisyydet

Rakenteiden ja rakennusten vähimmäisetäisyydet sähköratajärjestelmään kuuluvista johtimista sekä suojaus jännitteisen osan koskettamiselta on esitetty RATO:n osassa 5 Sähköistetty rata [8].

Sähköratajärjestelmään kuulumattomien johtimien vähimmäisetäisyydet kiskosta on määritelty julkaisussa "Yleisohje johdoista ja kaapeleista Ratahallintokeskuksen alueella" [13].

2.9.1.9 Kiskon selän alapuolella olevat rakenteet

Liitteessä 3 merkinnällä R₁-R₂ osoitetun rajaviivan yläpuolelle saa ulottua rata-kiskojen lisäksi vain tasoristeyksien kansirakenne, vaihteiden ja turvalaitteiden osat sekä muut vastaavat. Tarpeettomat johdot ja kaapelit on käytön jälkeen poistettava.

Raiteeseen kuulumattomia suunniteltavia rakenteita, kuten perustuksia, köysiä, kaapeleita, putkijohtoja yms., ei saa sijoittaa lähemmäksi kuin 1,0 m:n syvyyteen korkeusviivasta lukien ja 2,7 m:n päähän vaakasuorassa suunnassa raiteen keskilinjasta.

2.9.1.10 Laiturit

Laiturit on suunniteltava ja sijoitettava pääsääntöisesti ATUn ulkopuolelle RATO:n osan 16 Väylät ja laiturit [10] ohjeiden mukaan.

2.9.1.11 Muut rakenteet

Raidejarrujen, raiteensulkujen, vaihteen vastakiskojen ja kääntölaitteen auraus-suojan kohdalla sallitut poikkeukset ATUsta on esitetty RATO:n osassa 11 Radan päällysrakenne [3].

2.9.2 Suurkuljetusraiteen ulottuma

Rautatieliikennepaikan ulkopuolella ja rautatieliikennepaikoilla vähintään yhdellä raiteella kiinteät esteet on sijoitettava niin, että suurkuljetusraiteen ulottuma toteutuu. Suurkuljetusraiteen ulottuma on pyrittävä toteuttamaan kaikkien esteiden suhteen, mutta ATUn ja suurkuljetusraiteen ulottuman väliseen tilaan voidaan asentaa rakenteita, jotka ovat helposti siirrettävissä tai poistettavissa.

Suurkuljetusraiteen ulottuma suoralla raiteella on esitetty liitteessä 7. Suurkuljetusraiteena voi olla vain sellainen raide, joka täyttää suurkuljetusraiteen ulottuman ehdot normaalin ATUn ehtojen lisäksi. Suurkuljetusraiteena ei voi toimia raide, jolla on kuormauslaituri tai korkea matkustajalaituri sisäkaarteiden puolella. Kaarteissa liitteessä 7 olevia ulottuman mittoja on kasvatettava kaavan 2.9:4 mukaan.

$$b = \frac{190000}{R} + \frac{HD}{1600} \quad (2.9:4)$$

Suunnittelussa voidaan suurkuljetusraiteen ulottuman leveys B laskea kaavalla

$$B = 2350 + \frac{190000}{R} + \frac{4250D}{1600} \quad (2.9:5)$$

b = ulottuman kaarrelevitys [mm]

B = ulottuman leveys [mm]

R = kaarresäde [m]

D = raiteen kallistus [mm]

H = tarkastelupisteen korkeus sisäkiskon selästä [mm]

2350 = Vaunun leveys, johon on lisätty kaarrelevitys. Tarkka mitta on aina määriteltävä tapauskohtaisesti.

2.10 Junan ajodynaaminen käyttäytyminen

Ajodynamiikka käsittää kiihdytykset, rullaukset, jarrutukset, ajoajat, vetovoiman käytön ja junan pituussuuntaisen käyttäytymisen radan eri kohdissa. Junan liikkeeseen vaikuttavat vetovoima pyörän kehällä ja liikettä vastustavat voimat. Liiketilä voidaan ilmaista yhtälöllä 2.10:1.

$$Z(V) - W_L(V) - W_B = m \times (1 + \rho) \times \frac{dV}{dt} \quad (2.10:1)$$

$Z(V)$ = junan nopeudesta riippuva vetovoima, kun $Z > 0$

$Z(V)$ = junan nopeudesta riippuva jarruvoima, kun $Z < 0$

$W_L(V)$ = junan nopeudesta riippuva kulkuvastus

W_B = junan sijainnista riippuva ratavastus

m = junan massa

ρ = pyörivät massat huomioon ottava kerroin (kalustolajista, rakenteesta ja kuormituksesta riippuen 0,2...0,3)

dV/dt = nopeuden muutos

2.10.1 Junan vastusvoimat

2.10.1.1 Peruskulkuvastus

Peruskulkuvastus on liikettä vastustava tekijä, kun juna liikkuu tasaisella, suoralla ja moitteettomassa kunnossa olevalla radalla. Peruskulkuvastus määritetään kaavan 2.10:2 mukaan.

$$W_0 = mg(C_1 + C_2V + C_3V^2) \quad (2.10:2)$$

W_0 = peruskulkuvastus [N]

m = junan massa [t]

g = painovoiman kiihtyvyyys [m/s²]

V = junan nopeus [km/h]

Ominaisperuskulkuvastus [N/kN] on peruskulkuvastus jaettuna junan painovoimalla kaavan 2.10:3 mukaan.

$$w_0 = C_1 + C_2V + C_3V^2 \quad (2.10:3)$$

Kertoimet C_1 , C_2 ja C_3 määritetään kalustokohtaisesti. Yleensä määrittäminen tehdään erikseen tavarajunille sekä veturivetoisille henkilöjunille ja moottorijunille. Seuraavassa on eri kertoimien suuntaa antavat arvot.

Taulukko 2.10:1. Likimääräisiä peruskulkuvastuksen vakioiden arvoja.

| | C₁ | C₂ | C₃ |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Tavarajunat | 2,55 | 0,0084 | 0,00035 |
| Matkustajajunat | 2,54 | 0,0060 | 0,00025 |

Moottorijunien ja työkoneiden kertoimet on selvitettävä tapauskohtaisesti.

2.10.1.2 Kaarrevastus

Kaarrevastus on kaarteessa junan kulkua vastustava tekijä. Kaarrevastus voidaan määrittää kaavan 2.10:4 mukaan.

$$W_r = \frac{650mg}{R - 55} \quad (2.10:4)$$

W_r = kaarrevastus [N]
 m = junan massa [t]
 g = painovoiman kiihtyvyys [m/s^2]
 R = kaarresäde [m]

Kaava on voimassa, kun olosuhteet ovat kuivat ja kysymyksessä on jäykkä akselipari tai jäykkä teli.

Kaarrevastus voidaan laskea edellä mainitulla kaavalla 2.10:4 junakohtaisesti. Ominaiskaarrevastus w_r saadaan jakamalla kaarrevastus junan painovoimalla kaavan 2.10:5 mukaan.

$$w_r = \frac{650}{R - 55} \quad (2.10:5)$$

Kaava 2.10:5 on tarkoitettu radan mitoittamiseen kaikille kalustoille. Jos on kysymyksessä akselipari tai teli, jossa pyöräkerta ohjautuu kaarteessa hyvin tai teli on radiaalisesti ohjautuva, ovat kaarrevastusarvot 20...50 % kaavan 2.10:4 mukaisista arvoista, mutta näitä voidaan käyttää vain kalustokohtaisissa tarkasteluissa.

2.10.1.3 Nousuvastus

Nousuvastus on vaunun painovoiman radan suuntainen komponentti. Nousuvastus voidaan määrittää kaavan 2.10:6 mukaan.

$$W_s = \pm mg \sin \alpha \sim \pm mg \tan \alpha = \pm mgs \quad (2.10:6)$$

W_s = nousuvastus [N]
 m = junan massa [t]
 g = painovoiman kiihtyvyyys [m/s²]
 α = nousukulma
 s = pituuskaltevuus [%o]

Ominaisnousuvastus w_s saadaan jakamalla nousuvastus junan painovoimalla kaavan 2.10:7 mukaan.

$$w_s = \pm \frac{W_s}{mg} = \pm s \quad (2.10:7)$$

2.10.1.4 Kokonaisvastus

Kokonaisvastus W_k peruskulkuvastuksen, kaarrevastuksen ja nousuvastuksen summa kaavan 2.10:8 mukaan.

$$W_k = W_0 + W_r \pm W_s \text{ [N]} \quad (2.10:8)$$

2.10.2 Radan ja liikkuvan kaluston vuorovaikutus

Liikkuvan kaluston osien kulumisesta, kaluston ja kuorman liikkeistä sekä raiteen asennon ja aseman toleransseista johtuu, että liikkuvan kaluston ulottuman (LKU) ja kuormaulottuman (KU) todellinen asento aukean tilan ulottuman (ATU) suhteen poikkeaa symmetrisestä sekä pysty- että poikittaissuunnassa. Turvallisuuden vuoksi on geometrian mitoituksessa varmistettava varmuusvälin säilyminen kaikissa olosuhteissa ATUn sekä LKU:n että KU:n välillä.

Radan mitoitusnopeus tai yksittäisen kaarteiden maksiminopeus ja eri nopeudella liikkuvan kaluston (matkustaja-/tavarajunat) kallistuminen kaarteissa ulko- tai sisäkaaren suuntaan määrittävät raiteen kallistuksen mitoituksen. Lisäksi kallistuvakorisen kaluston kallistusjärjestelmän ominaisuudet ja kalustolle asetettujen nopeustavoitteiden vaikuttavat kaarrearvojen mitoitukseen.

2.10.3 Raidevällys ja tehollinen kartiokkuus

Raiteen raideleveys toleransseineen ja pyöräkerran raideleveysmitta toleransseineen määrittelevät niin sanotun raidevällyksen suuruuden (kuva 2.10:1). Raidevällyksellä on vaikutusta pyöräkerran liikkeisiin suoralla raiteella ja kaarteissa (kaluston kulun tasaisuus, kaarrevastus sekä kiskoon ja raiteeseen kohdistuvat voimat).

Pyörän kartiomaisen kulkupinnan johdosta pyöräkerta liikkuu raiteella poikittaissuunnassa säännöllisesti edestakaisin, jolloin sen painopiste on raidetta pitkin etenevässä aaltoliikkeessä. Aaltoliikkeen muodon takia pyöräkerran poikittaista liikettä kutsutaan siniliikkeeksi (kuva 2.10:2).

Siniliikkeen muodon määrittelee yhtälö 2.10:9.

$$y = y_0 \sin 2\pi \times (x/L) \quad (2.10:9)$$

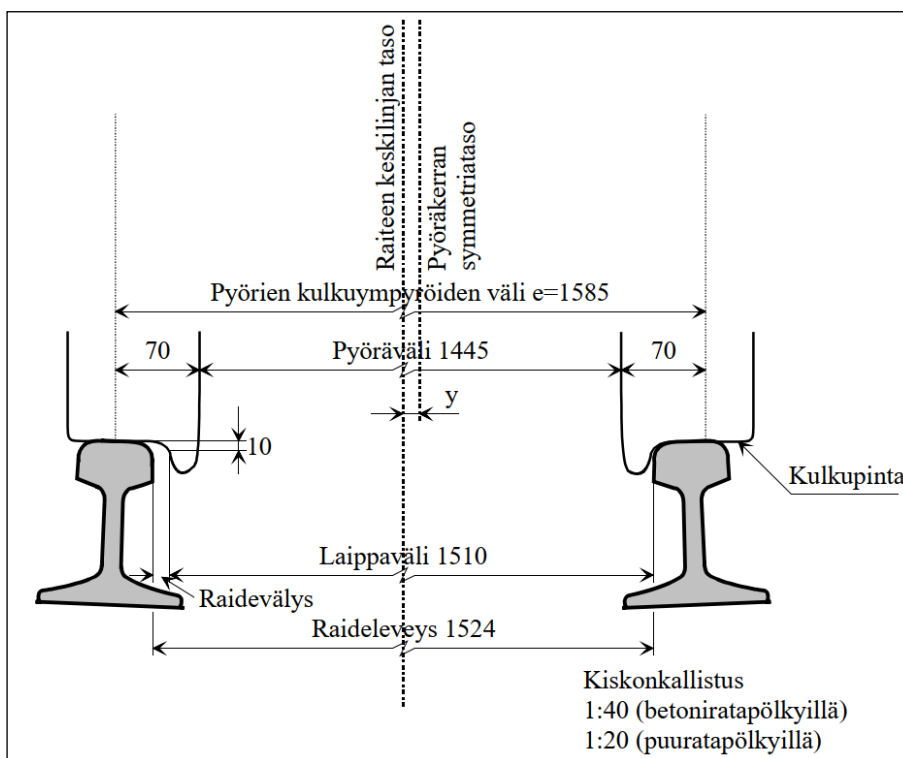
y = sijainti raidevällyksessä

y_0 = siniliikkeen amplitudi

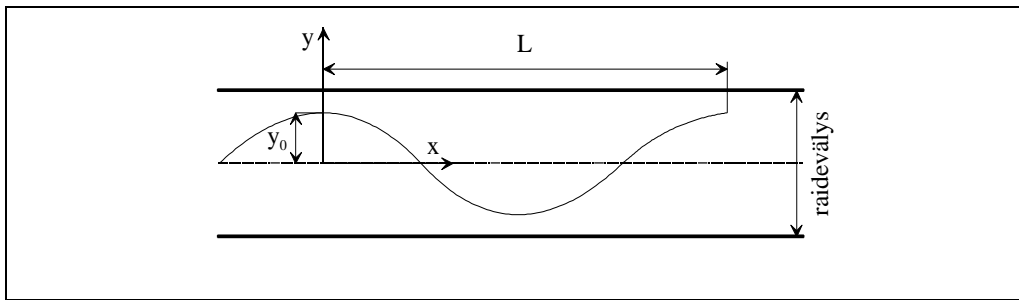
x = etenemä radan suunnassa

L = siniliikkeen aallonpituus

Kuvan 2.10:3 mukaisesti siniliikkeen aallonkorkeus kasvaa nopeuden lisääntyessä. Se saavuttaa tietyllä nopeudella maksimiarvon ($\frac{1}{2} \times$ raidevällys), jolloin aaltoliike häiriintyy ja taajuus kasvaa epästabiiliksi. Pyöräkerran jouheva siniliike muuttuu siksak-muotoiseksi, mistä aiheutuu voimakas rasitus pyöräkerran laakereille ja ripustuksille sekä erittäin huono matkustusmukavuus (kuva 2.10:4).



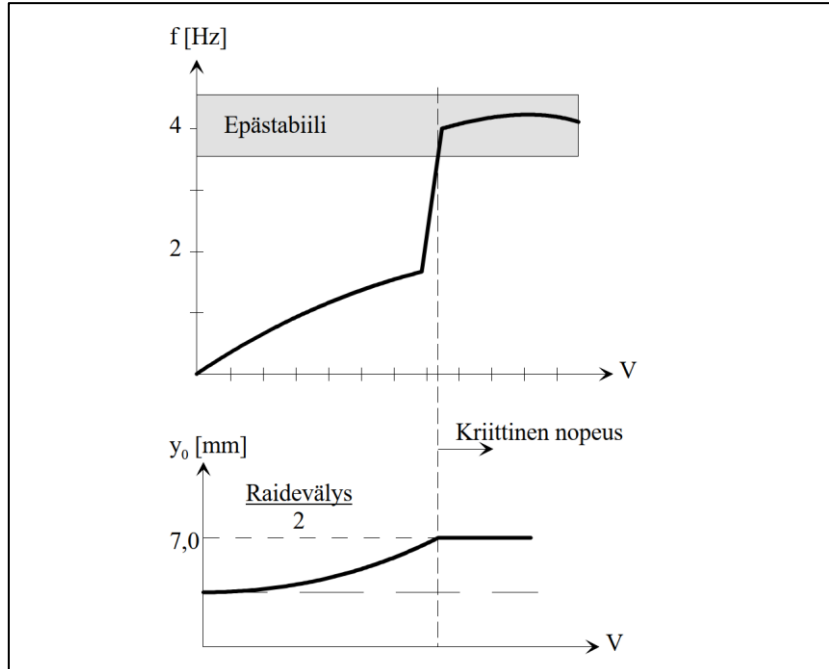
Kuva 2.10:1 Pyöräkerran sijainti raiteella.



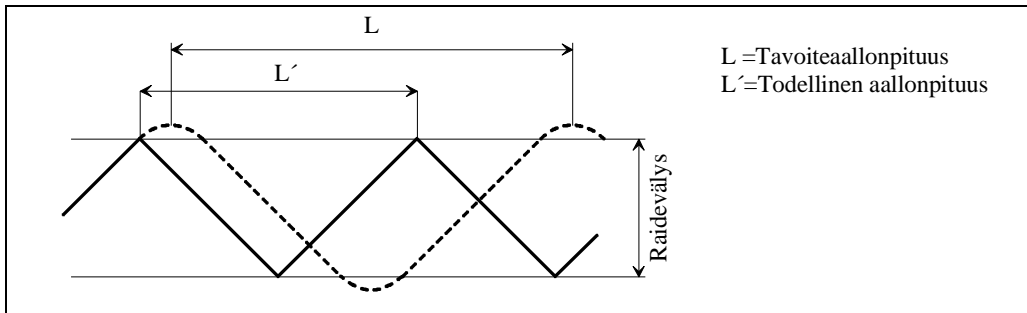
Kuva 2.10:2 Pyöräkerran siniliike raidevälksessä.

Kartiokkuuden kasvaessa aallonpituus lyhenee (kuva 2.10:5). Tästä seuraa sini- liikkeen taajuuden kasvu nopeuden lisääntyessä ja pyöräkerran epästabiili kulku suoralla radalla. Toisaalta liian pieni kartiokkuus johtaa pyöräkerran ohjautuvuuden pienenemiseen, josta myös aiheutuu epästabiilisuutta pyöräkerran kulkuun.

Raiten raideleveys, pyöräkerran raideleveysmitta ja kiskon kallistus toleransseineen sekä pyörien kulkupintojen profiilit vaikuttavat pyörän ja kiskon kosketuskohtien sijaintiin ja näiden kosketuskulmiin. Kosketuskulmalla sekä pyöräkerran ns. tehollisella kartiokkuudella on suuri merkitys pyöräkerran ja liikkuvan kaluston kulun tasaisuuteen varsinkin yli 160 km/h nopeuksilla. Kriittinen nopeus (kuva 2.10:3) riippuu liikkuvan kaluston ominaisuuksista sekä raiten rakenteesta ja ominaisuuksista.

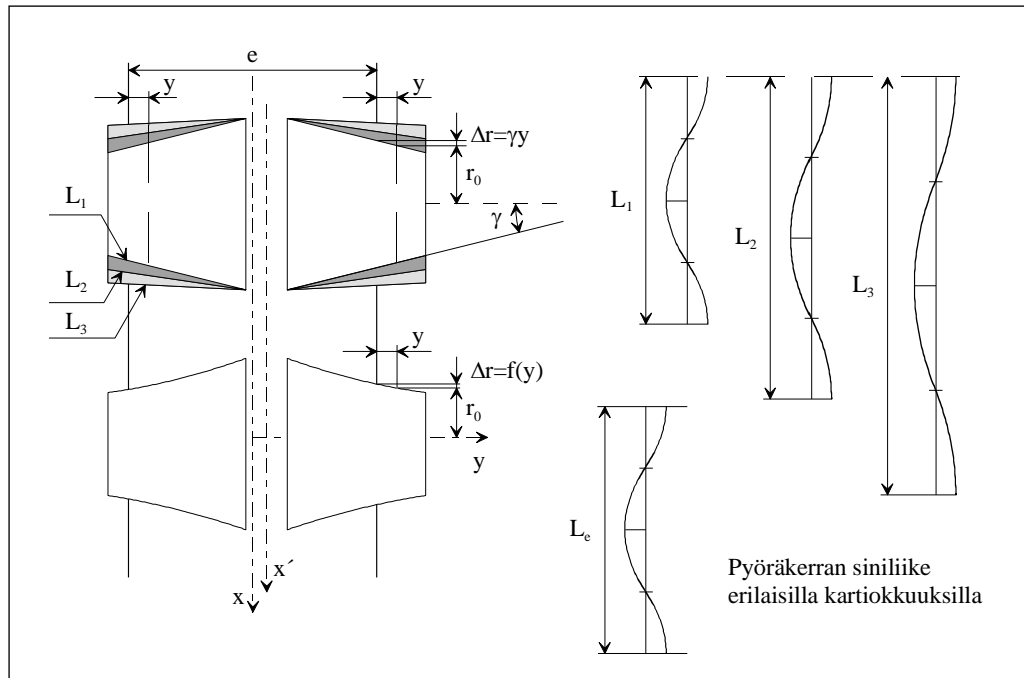


Kuva 2.10:3 Nopeuden vaikutus siniliikkeen aallonkorkeuteen.



Kuva 2.10:4 Siniliikkeen todellinen aallonpituus.

Pyöräkerran tehollisella kartiokkuudella tarkoitetaan pyöräkerran ja raiteen todellisista mitoista ja keskinäisistä asennoista määriteltyä laskennallista kartiokkuutta, jolla päädytään poikittaisliikkeen aallonpituudessa samaan, mikä kyseisellä tarkastelun alaisella pyöräkerralla on todellisuudessa (kuva 2.10:5).



Kuva 2.10:5 Tehollinen kartiokkuus määriteltynä aallonpituuden mukaan.

Tehollinen kartiokkuus lasketaan kaavoilla 2.10:10, 2.10:11 ja 2.10:12.

- L = siniliikkeen aallonpituus
- γ = kartiokulma
- λ = kartiokkuus
- r_0 = kulkuympyrän säde tasapainotilassa
- e = kulkuympyröiden välinen etäisyys
- G = raideleveys

$$L = 2\pi \sqrt{r_0 \frac{e}{2\lambda}} \quad (2.10:10)$$

$$\lambda = \tan \gamma = r_0 G \left(2 \frac{\pi}{L}\right)^2 \quad (2.10:11)$$

$$\lambda_e = r_0 \frac{e}{2} \left(2 \frac{\pi}{L_e}\right)^2 \quad (2.10:12)$$

λ_e = todellista siniliikkeen aallonpituutta vastaava tehollinen kartiokkuus.

Vaatimukset tehollisen kartiokkuuden suuruudelle on esitetty Euroopan unionin rautatiejärjestelmän infrastruktuuriasajärjestelmää koskevassa yhteentoimivuuden teknisessä eritelmässä (INF YTE).

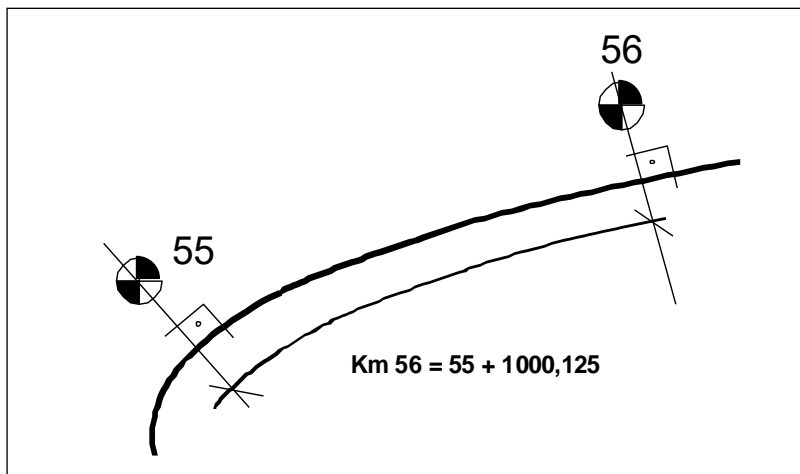
2.11 Rataosoitejärjestelmä

Rataosoitejärjestelmä on sijainnin yleinen esitystapa rataverkolla. Rataosoite koostuu ratatiedon ylläpidossa käytettävästä *ratanumerosta* sekä *ratakilometrisijainnista*. Rataosoitejärjestelmä perustuu *tasakilometripisteisiin*, joiden sijainti on määritelty koordinaatteina yleisesti käytettävässä tasokoordinaattijärjestelmässä.

2.11.1 Ratakilometri

Ratakilometri on nimetty määrämittainen osuus rataa. Ratakilometrin tunnus on numeroarvoltaan pienemmän tai aakkosjärjestyksessä aiemman tasakilometripisteen tunnuksen mukainen. Jokaiselta tasakilometripisteeltä alkaa uusi ratakilometri, joka päättyy seuraavaan tasakilometripisteeseen tai pituusmittausraiteen päättymiskohtaan.

Ratakilometrin pituus on tasakilometripisteiden pituusmittausraiteella olevien projektiopisteiden välimatka vaakatasossa pituusmittausraiteen keskilinjaa pitkin (kuva 2.11:1). Pituus lasketaan YX-tasoon määritellyn vaakageometrian elementeistä. Radan korkeuden vaihtelua ei oteta huomioon ratakilometrin pituuden määrittelyssä.

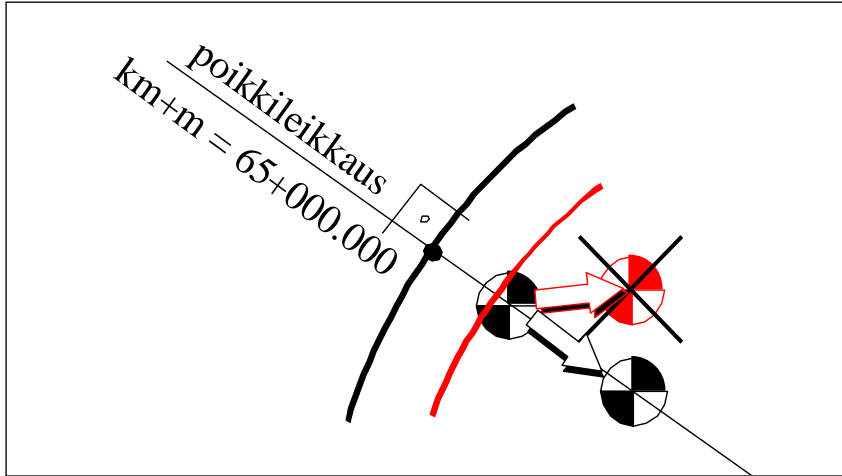


Kuva 2.11:1 Ratakilometrin pituus.

Ratakilometrin pituus on yleensä noin 1000 metriä, mutta tähän on suuriakin poikkeuksia. Radan pituus on voinut muuttua rataoikaisujen ja raidegeometria-muutosten yhteydessä. Myös käytetty koordinaattijärjestelmä vaikuttaa ratakilometrin pituuteen. Tasakilometripisteiden sijoittaminen radan pituuden muuttuessa on esitetty kohdassa 2.11.4.

Tasakilometripisteen sijainti merkitään radalle RATO:n osan 17 Radan merkit ja merkinnät [14] mukaisella kilometrimerkillä, joka sijoitetaan samaan pituusmittausraiteen kohtisuoraan poikkileikkaukseen tasakilometripisteen kanssa. Kilometrimerkki on säilytettävä samassa pituusmittausraiteen poikkileikkauksessa, jos se on tuhoutunut tai sitä joudutaan siirtämään. (Kuva 2.11:2)

Radalla on myös RATO 17:n mukaiset vihreäpohjaiset paikantamismerkkit. Ne on tarkoitettu liikenteen käyttöön karkeampaan paikantamiseen. Niiden sijainti ei vastaa tasakilometripisteiden sijaintia.



Kuva 2.11:2 Kilometrimerkin siirtäminen kohtisuoraan pituusmittausraiteeseen nähden.

2.11.2 Pituusmittausraide

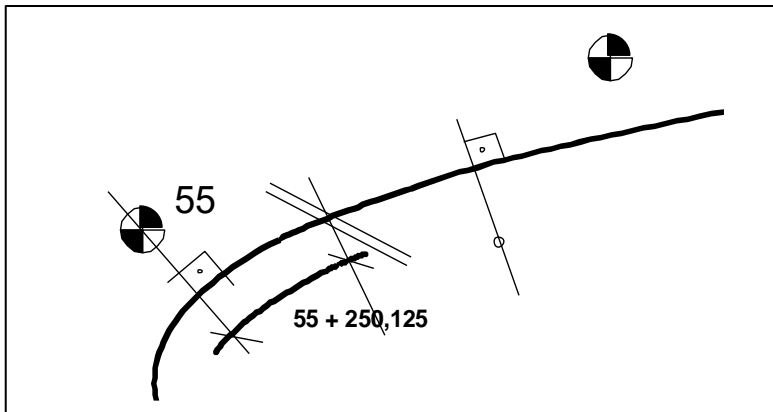
Pituusmittausraide on yleensä linjaraide ja liikennepaikoilla läpikulkuraide. Jokaisella ratanumerolla on yksi pituusmittausraide. Useampiraiteisilla radoilla jokin raide on määritelty pituusmittausraiteeksi. Rataosien yhtymäkohdissa ja suurilla rautatieliikennepaikoilla voi olla käytössä rinnakkain useita pituusmittausraiteita. Myös suunnitteluvaiheessa samalla alueella voi olla käytössä useita pituusmittausraiteita. Ratanumero yksilöi, minkä pituusmittausraiteen mukaan ratakilometrisijainti määrittyy.

Suurimpien rautatieliikennepaikkojen pituusmittausraiteet, ratanumerot ja raiteiden kuuluminen ratanumeroihin on esitetty pituusmittausraidekaavioissa.

2.11.3 Ratakilometrisijainti

Kohteen **ratakilometrisijainti** tarkoittaa kohteen projektiopisteen paikkaa pituusmittausraiteella. Se ilmaistaan muodossa $km+m$, missä km on ratakilometrin nimi ja m on kohteen pituusmittausraiteelle projisoidun sijainnin ja edeltävän tasakilometripisteen välimatka pituusmittausraiteen keskilinjaa pitkin. Jos kohde leikkaa pituusmittausraidetta, sijainti on keskilinjojen leikkauspisteen sijainti. (Kuva 2.11:4)

Pituusmittausraidetta pitkin voi laskea välimatkoja ratakilometrisijainteja käyttäen luotettavasti vain, kun käytössä ovat ratakilometriä todelliset pituudet ja ne otetaan laskelmissa huomioon. Ratakilometrisijainneista lasketut välimatkat toteutuvat vain pituusmittausraiteella. Ratakilometrisijainneista ei voi laskea tarkasti välimatkoja muita raiteita pitkin.

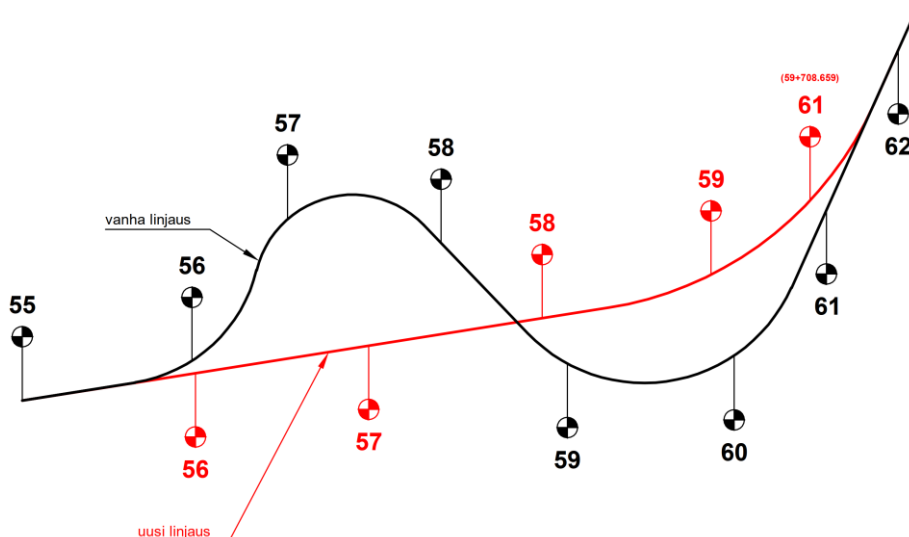


Kuva 2.11:3 Kohteen ratakilometrisijainti.

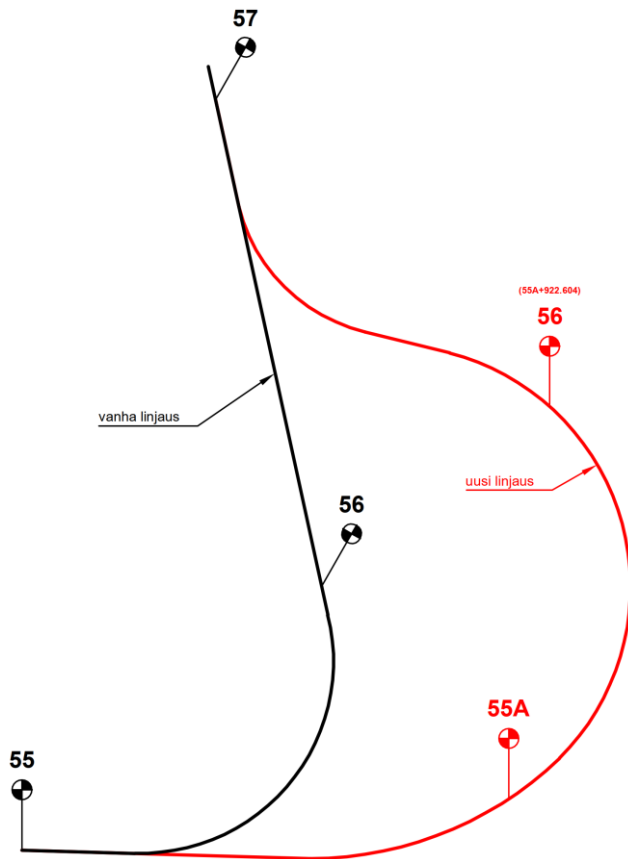
2.11.4 Radan lyhentymisen ja pidentymisen

Jos rataoikaisu ulottuu tasakilometripisteen ohi, on määriteltävä uusi sijainti vähintään yhdelle tasakilometripisteelle. Oikaisun loppukohtaa edeltävän tasakilometripisteen tunnus ja sijainti on määriteltävä niin, että tunnus säilyy ennallaan ja loppukohtaan ratakilometrin pituus säilyy entisenä, jolloin oikaisun jälkeisten paikalleen jäävien kohteiden rataosoitteet eivät muutu. Mahdolliset muut oikaisun uudet tasakilometripisteet määritellään niin, että viimeistä edellinen ratakilometri on 500–1500 metriä pitkä ja mahdolliset muut ratakilometrit ovat 1000 metriä pitkiä. Suurempien oikaisujen kohdalla voi rata lyhentyä niin, että jokin käytössä ollut ratakilometrin tunnus jää kokonaan pois. (Kuva 2.11:4)

Uusi ratalinja voi myös pidentyä niin paljon, että ratakilometrien määrä kasvaa. Jotta tunnusten numerojärjestys säilyisi, tunnuksiin lisätään kirjain aakkosten alusta alkaen tunnusten saamiseksi yksilöiviksi. (Kuva 2.11:5)



Kuva 2.11:4 Ratakilometrit radan lyhentyessä.



Kuva 2.11:5 Ratakilometrit radan pidentyessä.

Viitteet

- [1] SFS-EN 13803:2017 Railway applications. Track. Track alignment parameters. Track gauges 1435 mm and wider., Suomen Standardisoimisliitto, 2017.
- [2] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 1 Yleiset perusteet, Väylävirasto.
- [3] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 11 Radan päällysrakenne, Väylävirasto.
- [4] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 4 Vaihteet, Väylävirasto.
- [5] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 13 Radan tarkastus, Väylävirasto.
- [6] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 6 Turvalaitteet, Väylävirasto.
- [7] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 18 Rautatietunnelit, Väylävirasto.
- [8] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 5 Sähköistetty rata, Väylävirasto.
- [9] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 7 Rautatieliikennepaikat, Väylävirasto.
- [10] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 16 Väylät ja laiturit, Väylävirasto.
- [11] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 19 Jatkuvakiskoraiteet ja -vaihteet, Väylävirasto.
- [12] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 8 Rautatiesillat, Väylävirasto.
- [13] Yleisohje johdoista ja kaapeleista Ratahallintokeskuksen alueella B 13, Ratahallintokeskus, 2004.
- [14] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 17 Radan merkit ja merkinnät, Väylävirasto.

Kallistuvakorisen kaluston Sm3 ja Sm6 (Pendolino ja Allegro) nopeus

Junan kallistusjärjestelmä kallistaa vaunun koria kaarteissa sisäkaarteeseen päin. Tämä pienentää keskipakovoiman vaikutusta matkustajiin ja sallii suuremmat kaarrenopeudet.

Kallistusjärjestelmä aktivoituu, kun junan nopeus on yli 70 km/h ja kun raiteessa on raiteen kallistusta. Vaihteiden poikkeavissa raiteissa tai kaarteissa, joissa ei ole raiteen kallistusta, tai jos junan nopeus on ≤ 70 km/h, järjestelmä ei kallista vaunuja ja suurin sallittu nopeus määräytyy tavanomaisen kaluston ohjeiden mukaan. Tilanteissa, joissa junan kallistusjärjestelmä on kytketty pois käytöstä, nopeus on myös sama kuin tavanomaisen kaluston suurin nopeus.

Lyhyet vaakageometrian elementit huonontavat matkustusmukavuutta junan jatkuvien kallistusmuutosten vuoksi. Suorien, ympyränkaarien ja siirtymäkaarien minimipituudeksi suositellaan vähintään 0,5...1,0 sekunnin ajoaikaa vastaavaa pituutta. Elementin pituuden minimivaatimukset ovat muuten samat, kuin tavanomaisella kalustolla (kohta 2.6.8).

Kaarevuuden äkillisen muutoksen yhteydessä, ympyränkaaren alussa ja lopussa sekä korikaaren eri kaarreosien välissä tarvitaan siirtymäkaari, jos kallistuksen vajuksen muutos on yli 49 mm (poikittaiskiihtyvyyden muutos yli $0,3 \text{ m/s}^2$).

Taulukossa on raja-arvot ja kaavat eri muuttujille ja kaarrenopeuden mitoitukselle. Nopeuden määräävä arvo on yleensä joko kallistuksen vajuus (tai poikittaiskiihtyvyys) ympyränkaareissa tai korin kallistusnopeus siirtymäkaareissa. Laskelmissa kallistusjärjestelmän oletetaan toimivan viiveettömästi.

Kallistuvakoriselle kalustolle ei voi ilmoittaa JKV:ssa erilaisia junatyyppikohtaisia nopeuksia. Kallistuvakorisen kaluston suurin sallittu nopeus on tästä syystä aina määriteltävä Sm3-tyypin arvoilla.

| | Sm3 | Sm6 |
|--|----------------------------------|------------|
| l_l = kallistuksen vajuksen maksimi [mm] | 293 | 293 |
| l [mm] | $l = 12,5V^2/R - D$ | |
| $V(l)$ [km/h] | $V = \sqrt{\frac{R(D+l)}{12,5}}$ | |
| a_q = vastaava maksimi poikittaiskiihtyvyys kiskon selän tasossa [m/s ²] | 1,80 | 1,80 |

| | Sm3 | Sm6 |
|---|---|---|
| a_q [m/s ²] | $a_q = V^2 / (12,96R) - D / 163$ | |
| $V(a_q)$ [km/h] | $V = \sqrt{12,96R \left(a_q + \frac{D}{163} \right)}$ | |
| Poikittaiskiihtyvyyden kompensointi [%] | 80 | 70 |
| a_k = maksimi poikittaiskiihtyvyys vaunun lattian tasossa [m/s ²] | 0,65 | 0,80 |
| a_k [m/s ²] | $a_k = 0,2a_q$, kun $a_q \leq 1,706$ $a_k = a_q - 1,365$, kun $a_q > 1,706$ | $a_k = 0,3a_q$, kun $a_q \leq 1,95$ $a_k = a_q - 1,365$, kun $a_q > 1,95$ |
| da_k/dt = maksimi nykäys vaunun lattian tasossa [m/s ³] | 0,60 | |
| da_k/dt [m/s ³] | $da_k/dt = a_k V / (3,6L_k)$ | |
| NCA:n arvo, joka kallistaa vaunun korin 8° [m/s ²] | $1,706 = 9,81 \cdot \sin 8^\circ / 0,8$ | $1,95 = 9,81 \cdot \sin 8^\circ / 0,7$ |
| NCA:n osuus, jonka vaunun korin 8°:n kallistus kompensoi [m/s ²] | $1,365 = 9,81 \cdot \sin 8^\circ$ | $1,365 = 9,81 \cdot \sin 8^\circ$ |
| α_l = korin maksimi kallistuskulma raiteen kallistetusta keskilinjasta [°] | 8 | |
| α korin kallistuskulma [°] | $\alpha = (a_q - a_k) / g \cdot 180 / \pi$ | |
| α korin kallistuskulma [°] | $\alpha = 4,67a_q$, kun $a_q \leq 1,706$ $\alpha = 8^\circ$, kun $a_q > 1,706$ | $\alpha = 4,09a_q$, kun $a_q \leq 1,95$ $\alpha = 8^\circ$, kun $a_q > 1,95$ |
| α'_l = korin maksimi kallistusnopeus raiteeseen verrattuna [°/s] | 5 | |
| α' korin kallistusnopeus [°/s] | $\alpha' = \alpha V / (3,6L_D)$ | |

| | Sm3 | Sm6 |
|---|---------------------|------------|
| R_v = kaltevuustaitteen pyöristyssäde [m] | $V = 3,6\sqrt{R_v}$ | |

NCA = Not Compensated Acceleration, kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän tasossa.

l_l = kallistuksen vajauksen maksimi [mm]

l = kallistuksen vajoaus [mm]

V = nopeus [km/h]

R = kaarteeseen säde [m]

D = raiteen kallistus [mm]

a_q = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän tasossa [m/s^2]

a_k = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys vaunun lattian tasossa [m/s^2]

da_k/dt = nykäys vaunun lattian tasossa [m/s^3]

L_k = klotoidin muotoisen siirtymäkaaren pituus [m]. Helmertin siirtymäkaaren tapauksessa pituus jaetaan 1,4:llä.

L_D = kallistusviisteen pituus [m]. Neljänneksen asteeseen käyrän tapauksessa pituus jaetaan 1,4:llä.

α_l = korin maksimi kallistuskulma raiteen kallistetusta keskilinjasta [$^\circ$]

α = korin kallistuskulma raiteen kallistetusta keskilinjasta [$^\circ$]

α'_l = korin maksimi kallistusnopeus raiteeseen verrattuna [$^\circ/s$]

α' = korin kallistusnopeus raiteeseen verrattuna [$^\circ/s$]

$g = 9,81$ [m/s^2]

$\pi = 3,1416$

R_v = kaltevuustaitteen pyöristyskaarresäde [m]

Vaihteiden välialueen mitoittaminen

Taulukoissa on esitetty vaihteiden välialueiden suositeltavat vähimmäispituudet. Käytettäessä lyhyempiä välialueita joudutaan vaihteiden etu- ja takajatkosalueilla käyttämään erikoisratkaisuja.

Taulukon arvot on laskettu käyttäen liityntäkiskojen pituutena 10,8 m (60E1-54E1 ja 54E1-K43) ja 16,2 m (60E1-54E1-K43).

Vaihteiden välialueen on oltava vähintään 5,0 m, jos rata- ja jatkoskohtien hitsataan kiinni toisiinsa.

Vaihteiden etu- ja takajatkosten väli on oltava vähintään 5,0 m, jos vaihteiden välissä on akselinlaskija.

Vaihteiden välialueen pituuden määräävä tekijä on taulukossa esitetty väreillä, joiden merkitys on seuraava:

- Punainen:** Vaihteen etu- ja/tai takajatkosalueen pölkkytys
- Musta:** Vaihteen etu- ja/tai takajatkosalueen pölkkytys sekä liityntäkisko
- Sininen:** Raideväli vaihdekujassa 5,3 m
- Harmaa:** Vaihteen välialueen suora on laskettu kaavalla $0,15 \times V$ (V =nopeus).
- Vihreä:** Raitteen suurin nopeus

| | | ETUJATKOSALUE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|--------------|-------------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|---------------|-------------------|------|------|
| | | YV60-5000/3000-1:28 | YV60-5000/2500-1:26 | YV60-900-1:18 | YV60-900-1:15,5 | YV60-500-1:14 | YV60-500-1:11,1 | YV60-300-1:9 | YRV/KRV54-200-1:9 | YV54-200N-1:9 | YV54-200-1:9 (1534) | YV54-165-1:7 (1534) | KV54-200N-1:9 | KV54-200-1:9 (1534) | YV43-205-1:9 (1534) | YV43-205-1:9,514 (1534) | YV43-300-1:9 (1528) | YV43-300-1:9,514 (1528) | YV43-300-1:7 (1528) | KRV43-300-1:9,514 (1528) | KRV43-233-1:9 | KRV43-270-1:9,514 | | |
| ETUJATKOSALUE | YV60-5000/3000-1:28 | 24,0 | 21,0 | 12,0 | 12,0 | 9,0 | 9,0 | 6,0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | YV60-5000/2500-1:26 | 21,0 | 21,0 | 12,0 | 12,0 | 9,0 | 9,0 | 6,0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | YV60-900-1:18 | 12,0 | 12,0 | 12,0 | 12,0 | 9,0 | 9,0 | 6,0 | 15,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 20,4 | 21,6 |
| | YV60-900-1:15,5 | 12,0 | 12,0 | 12,0 | 12,0 | 9,0 | 9,0 | 6,0 | 15,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 20,4 | 21,6 |
| | YV60-500-1:14 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 6,0 | 15,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 20,4 | 21,6 |
| | YV60-500-1:11,1 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 6,0 | 15,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 20,4 | 21,6 |
| | YV60-300-1:9 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 15,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 20,4 | 21,6 |
| | YRV/KRV54-200-1:9 | | | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 13,4 | 6,0 | 9,6 | 6,0 | 6,0 | 9,6 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 19,8 | 20,4 | |
| | YV54-200N-1:9 | | | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 6,0 | 6,0 | 7,2 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 15,0 | 16,2 | |
| | YV54-200-1:9 (1534) | | | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 6,0 | 6,0 | 7,2 | 6,0 | 6,0 | 7,2 | 6,0 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 15,0 | 16,2 | |
| | YV54-165-1:7 (1534) | | | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 15,0 | 16,2 | |
| | KV54-200N-1:9 | | | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 6,0 | 6,0 | 7,2 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 15,0 | 16,2 | |
| | KV54-200-1:9 (1534) | | | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 6,0 | 6,0 | 7,2 | 6,0 | 6,0 | 7,2 | 6,0 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 15,0 | 16,2 | |
| | YV43-205-1:9 (1534) | | | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 15,0 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 9,2 | 10,4 |
| | YV43-205-1:9,514 (1534) | | | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 15,0 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 9,2 | 10,4 |
| | YV43-300-1:9 (1528) | | | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 15,0 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,2 | 7,4 |
| | YV43-300-1:9,514 (1528) | | | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 15,0 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,2 | 7,4 |
| | YV43-300-1:7 (1528) | | | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 15,0 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,2 | 7,4 |
| | KRV43-300-1:9,514 (1528) | | | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 15,0 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,2 | 7,4 |
| | KRV43-233-1:9 | | | 20,4 | 20,4 | 20,4 | 20,4 | 20,4 | 19,8 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 9,2 | 9,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 14,0 | 14,7 |
| | KRV43-270-1:9,514 | | | 21,6 | 21,6 | 21,6 | 21,6 | 21,6 | 20,4 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 10,4 | 10,4 | 7,4 | 7,4 | 7,4 | 7,4 | 7,4 | 14,7 | 15,4 |

Vaihteiden välialueen rajoittuessa etujatkoksiin, on taulukkoon laskettu arvot saman puolisolulle vaihteille.

| | | TAKAJATKOSALUE (suora suunta) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|------|
| | | YV60-5000/3000-1:28 | YV60-5000/2500-1:26 | YV60-900-1:18 | YV60-900-1:15,5 | YV60-500-1:14 | YV60-500-1:11,1 | YV60-300-1:9 | YV54-200N-1:9 | YV54-200-1:9 | YV54-165-1:7 | KV54-200N-1:9 | KV54-200-1:9 | YV43-205-1:9 | YV43-205-1:9,514 | YV43-300-1:9 | YV43-300-1:9,514 | YV43-300-1:7 | KV43-300-1:9,514 | |
| ETUJATKOSALUE | YV60-5000/3000-1:28 | 6,6 | 13,8 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | 4,8 | | | | | | | | | | | | |
| | YV60-5000/2500-1:26 | 6,6 | 13,8 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | 4,8 | | | | | | | | | | | | |
| | YV60-900-1:18 | 6,6 | 13,8 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | 4,8 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 20,6 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 21,0 |
| | YV60-900-1:15,5 | 6,6 | 13,8 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | 4,8 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 20,6 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 21,0 |
| | YV60-500-1:14 | 6,6 | 13,8 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | 4,8 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 20,6 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 21,0 |
| | YV60-500-1:11,1 | 6,6 | 13,8 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | 4,8 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 20,6 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 21,0 |
| | YV60-300-1:9 | 6,6 | 13,8 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | 4,8 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 20,6 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 21,0 |
| | YV60-300-1:9 | 6,6 | 13,8 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | 4,8 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 20,6 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 21,0 |
| | YRV/KRV54-200-1:9 | | | | 26,4 | 25,2 | 22,8 | 20,4 | 20,4 | 8,4 | 7,8 | 8,4 | 8,4 | 7,6 | 20,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 |
| | YV54-200N-1:9 | | | | 21,6 | 20,4 | 18,0 | 15,6 | 15,6 | 3,6 | 3,0 | 3,6 | 3,6 | 2,8 | 15,2 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 |
| | YV54-200-1:9 (1534) | | | | 21,6 | 20,4 | 18,0 | 15,6 | 15,6 | 9,6 | 9,0 | 9,6 | 9,6 | 8,8 | 15,2 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 |
| | YV54-165-1:7 (1534) | | | | 21,6 | 20,4 | 18,0 | 15,6 | 15,6 | 6,0 | 5,4 | 6,0 | 6,0 | 5,2 | 15,2 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 |
| | KV54-200N-1:9 | | | | 21,6 | 20,4 | 18,0 | 15,6 | 15,6 | 3,6 | 3,0 | 3,6 | 3,6 | 2,8 | 15,2 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 |
| | KV54-200-1:9 (1534) | | | | 21,6 | 20,4 | 18,0 | 15,6 | 15,6 | 9,6 | 9,0 | 9,6 | 9,6 | 8,8 | 15,2 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 |
| | YV43-205-1:9 (1534) | | | | 27,0 | 25,8 | 23,4 | 21,0 | 21,0 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 9,4 | 9,8 | 9,2 | 9,8 | 9,2 | 9,8 |
| | YV43-205-1:9,514 (1534) | | | | 27,0 | 25,8 | 23,4 | 21,0 | 21,0 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 9,4 | 9,8 | 9,2 | 9,8 | 9,2 | 9,8 |
| | YV43-300-1:9 (1528) | | | | 27,0 | 25,8 | 23,4 | 21,0 | 21,0 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 6,4 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | 6,2 | 6,8 |
| | YV43-300-1:9,514 (1528) | | | | 27,0 | 25,8 | 23,4 | 21,0 | 21,0 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 6,4 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | 6,2 | 6,8 |
| | YV43-300-1:7 (1528) | | | | 27,0 | 25,8 | 23,4 | 21,0 | 21,0 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 6,4 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | 6,2 | 6,8 |
| | KV43-300-1:9,514 (1528) | | | | 27,0 | 25,8 | 23,4 | 21,0 | 21,0 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 6,4 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | 6,2 | 6,8 |
| KRV43-233-1:9 | | | | 32,4 | 31,2 | 28,8 | 26,4 | 26,4 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | 19,8 | 19,0 | 9,8 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | |
| KRV43-270-1:9,514 | | | | 33,0 | 31,8 | 29,4 | 27,0 | 27,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 20,4 | 19,6 | 10,4 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | |
| TAKAJATKOSALUE (suora suunta) | YV60-5000/3000-1:28 | 40,8 | 40,5 | 34,4 | 32,5 | 30,4 | 27,4 | 26,5 | 27,1 | 27,1 | 26,0 | | | 28,4 | 28,8 | 28,2 | 28,8 | 28,2 | | |
| | YV60-5000/2500-1:26 | 40,5 | 40,2 | 34,1 | 32,2 | 30,1 | 27,1 | 26,2 | 27,6 | 29,4 | 29,4 | | | 35,6 | 36,0 | 35,4 | 36,0 | 35,4 | | |
| | YV60-900-1:18 | 34,4 | 34,1 | 28,0 | 26,1 | 24,0 | 21,0 | 20,1 | 26,4 | 25,8 | 26,4 | | | 32,6 | 33,0 | 32,4 | 33,0 | 32,4 | | |
| | YV60-900-1:15,5 | 32,5 | 32,2 | 26,1 | 24,2 | 22,1 | 19,1 | 18,2 | 25,2 | 24,6 | 25,2 | | | 31,4 | 31,8 | 31,2 | 31,8 | 31,2 | | |
| | YV60-500-1:14 | 30,4 | 30,1 | 24,0 | 22,1 | 20,0 | 17,0 | 16,1 | 22,8 | 22,2 | 22,8 | | | 29,0 | 29,4 | 28,8 | 29,4 | 28,8 | | |
| | YV60-500-1:11,1 | 27,4 | 27,1 | 21,0 | 19,1 | 17,0 | 14,0 | 13,1 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | | | 26,6 | 27,0 | 26,4 | 27,0 | 26,4 | | |
| | YV60-300-1:9 | 26,5 | 26,2 | 20,1 | 18,2 | 16,1 | 13,1 | 11,2 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | | | 26,6 | 27,0 | 26,4 | 27,0 | 26,4 | | |
| | YV54-200N-1:9 | 27,1 | 29,4 | 26,4 | 25,2 | 22,8 | 20,4 | 20,4 | 13,4 | 13,4 | 12,3 | | | 20,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 19,8 | | |
| | YV54-200-1:9 | 27,1 | 28,8 | 25,8 | 24,6 | 22,2 | 19,8 | 19,8 | 13,4 | 13,4 | 12,3 | | | 19,4 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | 19,2 | | |
| | YV54-165-1:7 | 26,0 | 29,4 | 26,4 | 25,2 | 22,8 | 20,4 | 20,4 | 12,3 | 12,3 | 11,2 | | | 20,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 19,8 | | |
| | KV54-200N-1:9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | KV54-200-1:9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | YV43-205-1:9 | 28,4 | 35,6 | 32,6 | 31,4 | 29,0 | 26,6 | 26,6 | 20,0 | 19,4 | 20,0 | | | 14,0 | 14,3 | 14,0 | 14,3 | 12,6 | | |
| | YV43-205-1:9,514 | 28,8 | 36,0 | 33,0 | 31,8 | 29,4 | 27,0 | 27,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | | | 14,3 | 14,6 | 14,3 | 14,6 | 12,9 | | |
| | YV43-300-1:9 | 28,2 | 35,4 | 32,4 | 31,2 | 28,8 | 26,4 | 26,4 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | | | 14,0 | 14,3 | 14,0 | 14,3 | 12,6 | | |
| | YV43-300-1:9,514 | 28,8 | 36,0 | 33,0 | 31,8 | 29,4 | 27,0 | 27,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | | | 14,3 | 14,6 | 14,3 | 14,6 | 12,9 | | |
| YV43-300-1:7 | 28,2 | 35,4 | 32,4 | 31,2 | 28,8 | 26,4 | 26,4 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | | | 12,6 | 12,9 | 12,6 | 12,9 | 11,2 | | | |
| KV43-300-1:9,514 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Vaihteiden välialueen rajoituksessa suoran suunnan takajatkosalueeseen ja etujatkosalueeseen on taulukkoon laskettu arvot eri puolisolille YV-vaihteille.

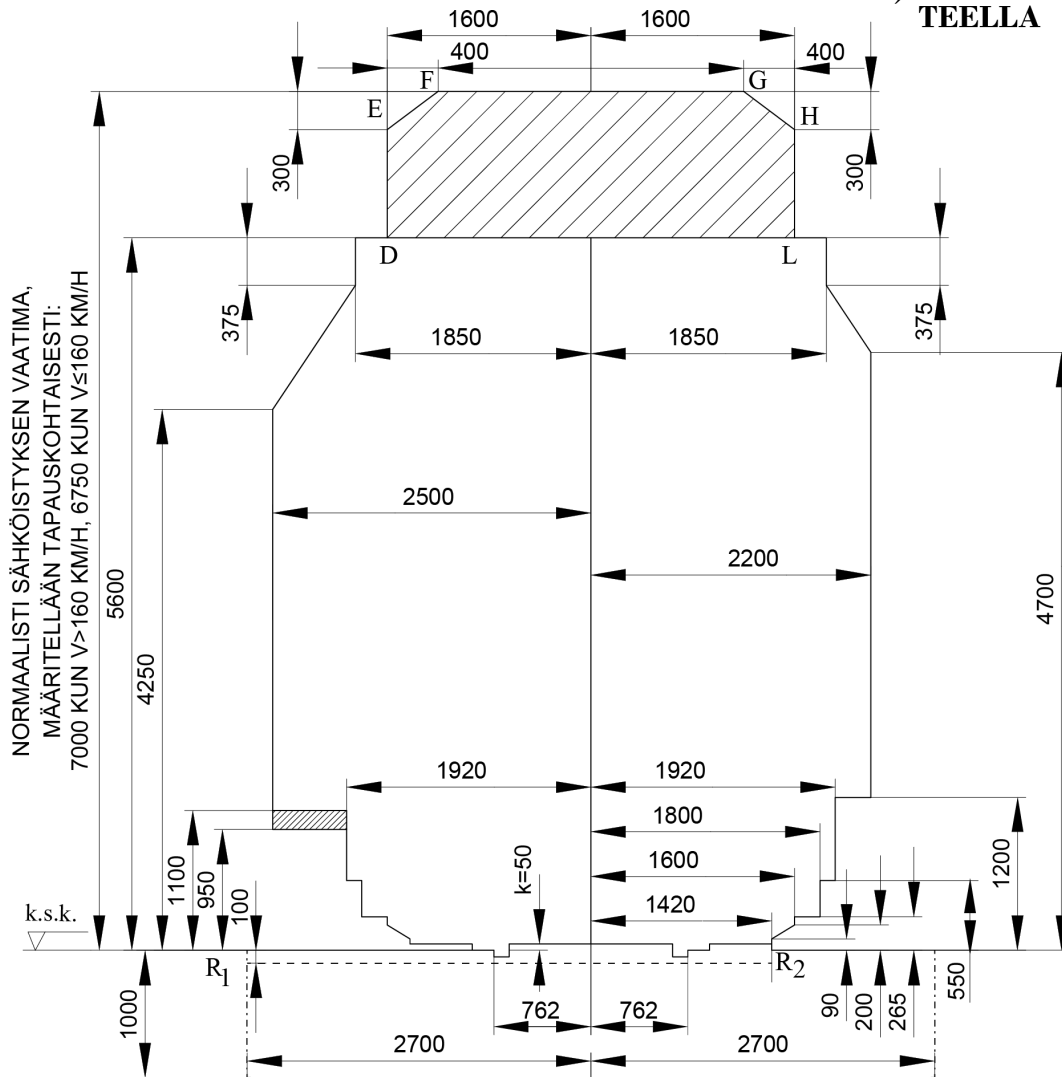
| | | TAKAJATKOSALUE (poikkeava suunta) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|------|------|------|
| | | YV60-5000/3000-1:28 | YV60-5000/2500-1:26 | YV60-900-1:18 | YV60-900-1:15,5 | YV60-500-1:14 | YV60-500-1:11,1 | YV60-300-1:9 | YV54-200N-1:9 | YV54-200-1:9 | YV54-165-1:7 | KV54-200N-1:9 | KV54-200-1:9 | YV43-205-1:9 | YV43-205-1:9,514 | YV43-300-1:9 | YV43-300-1:9,514 | YV43-300-1:7 | KV43-300-1:9,514 | | | |
| ETUJATKOSALUE | YV60-5000/3000-1:28 | 146,0 | 121,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | YV60-5000/2500-1:26 | 146,0 | 121,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | YV60-900-1:18 | 146,0 | 121,0 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | YV60-900-1:15,5 | 146,0 | 121,0 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | YV60-500-1:14 | 146,0 | 121,0 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | YV60-500-1:11,1 | 146,0 | 121,0 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | YV60-300-1:9 | 146,0 | 121,0 | 10,8 | 9,6 | 7,2 | 4,8 | 4,8 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 20,6 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | 20,4 | 21,0 | |
| | YRV/KRV54-200-1:9 | | | 26,4 | 25,2 | 22,8 | 20,4 | 20,4 | 8,4 | 7,8 | 8,4 | 8,4 | 7,6 | 20,0 | 20,4 | 19,8 | 20,6 | 19,8 | 19,8 | 20,6 | 19,8 | 20,6 |
| | YV54-200N-1:9 | | | 21,6 | 20,4 | 18,0 | 15,6 | 15,6 | 3,6 | 3,0 | 3,6 | 3,6 | 2,8 | 15,2 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | |
| | YV54-200-1:9 (1534) | | | 21,6 | 20,4 | 18,0 | 15,6 | 15,6 | 9,6 | 9,0 | 9,6 | 9,6 | 8,8 | 15,2 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | |
| | YV54-165-1:7 (1534) | | | 21,6 | 20,4 | 18,0 | 15,6 | 15,6 | 6,0 | 5,4 | 6,0 | 6,0 | 5,2 | 15,2 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | |
| | KV54-200N-1:9 | | | 21,6 | 20,4 | 18,0 | 15,6 | 15,6 | 3,6 | 3,0 | 3,6 | 3,6 | 2,8 | 15,2 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | |
| | KV54-200-1:9 (1534) | | | 21,6 | 20,4 | 18,0 | 15,6 | 15,6 | 9,6 | 9,0 | 9,6 | 9,6 | 8,8 | 15,2 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | |
| | YV43-205-1:9 (1534) | | | 27,0 | 25,8 | 23,4 | 21,0 | 21,0 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 9,4 | 9,8 | 9,2 | 9,8 | 9,2 | 9,8 | 9,2 | 9,8 | |
| | YV43-205-1:9,514 (1534) | | | 27,0 | 25,8 | 23,4 | 21,0 | 21,0 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 9,4 | 9,8 | 9,2 | 9,8 | 9,2 | 9,8 | 9,2 | 9,8 | |
| | YV43-300-1:9 (1528) | | | 27,0 | 25,8 | 23,4 | 21,0 | 21,0 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 6,4 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | |
| | YV43-300-1:9,514 (1528) | | | 27,0 | 25,8 | 23,4 | 21,0 | 21,0 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 6,4 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | |
| | YV43-300-1:7 (1528) | | | 27,0 | 25,8 | 23,4 | 21,0 | 21,0 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 6,4 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | |
| | KV43-300-1:9,514 (1528) | | | 27,0 | 25,8 | 23,4 | 21,0 | 21,0 | 14,4 | 13,8 | 14,4 | 14,4 | 13,6 | 6,4 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | 6,2 | 6,8 | |
| | KRV43-233-1:9 | | | 32,4 | 31,2 | 28,8 | 26,4 | 26,4 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | 19,8 | 19,0 | 9,8 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | |
| KRV43-270-1:9,514 | | | 33,0 | 31,8 | 29,4 | 27,0 | 27,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 20,4 | 19,6 | 10,4 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | | |
| TAKAJATKOSALUE (suora suunta) | YV60-5000/3000-1:28 | 146,0 | 121,0 | 18,6 | 17,4 | 15,0 | 12,6 | 22,2 | 21,6 | 22,2 | 22,2 | 22,2 | 28,4 | 28,8 | 28,2 | 28,8 | 28,2 | 28,8 | 28,2 | 28,8 | | |
| | YV60-5000/2500-1:26 | 146,0 | 121,0 | 25,8 | 24,6 | 22,2 | 19,8 | 19,8 | 29,4 | 28,8 | 29,4 | 29,4 | 28,6 | 35,6 | 36,0 | 35,4 | 36,0 | 35,4 | 36,0 | 35,4 | 36,0 | |
| | YV60-900-1:18 | 146,0 | 121,0 | 22,8 | 21,6 | 19,2 | 16,8 | 16,8 | 26,4 | 25,8 | 26,4 | 26,4 | 25,6 | 32,6 | 33,0 | 32,4 | 33,0 | 32,4 | 33,0 | 32,4 | 33,0 | |
| | YV60-900-1:15,5 | 146,0 | 121,0 | 21,6 | 20,4 | 18,0 | 15,6 | 15,6 | 25,2 | 24,6 | 25,2 | 25,2 | 24,4 | 31,4 | 31,8 | 31,2 | 31,8 | 31,2 | 31,8 | 31,2 | 31,8 | |
| | YV60-500-1:14 | 146,0 | 121,0 | 19,2 | 18,0 | 15,6 | 13,2 | 13,2 | 22,8 | 22,2 | 22,8 | 22,8 | 22,0 | 29,0 | 29,4 | 28,8 | 29,4 | 28,8 | 29,4 | 28,8 | 29,4 | |
| | YV60-500-1:11,1 | 146,0 | 121,0 | 16,8 | 15,6 | 13,2 | 10,8 | 10,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 20,4 | 19,6 | 26,6 | 27,0 | 26,4 | 27,0 | 26,4 | 27,0 | 26,4 | 27,0 | |
| | YV60-300-1:9 | 146,0 | 121,0 | 16,8 | 15,6 | 13,2 | 10,8 | 10,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 20,4 | 19,6 | 26,6 | 27,0 | 26,4 | 27,0 | 26,4 | 27,0 | 26,4 | 27,0 | |
| | YV54-200N-1:9 | | | 26,4 | 25,2 | 22,8 | 20,4 | 20,4 | 8,4 | 7,8 | 8,4 | 8,4 | 7,6 | 20,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | |
| | YV54-200-1:9 | | | 25,8 | 24,6 | 22,2 | 19,8 | 19,8 | 7,8 | 7,2 | 7,8 | 7,8 | 7,0 | 19,4 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | |
| | YV54-165-1:7 | | | 26,4 | 25,2 | 22,8 | 20,4 | 20,4 | 8,4 | 7,8 | 8,4 | 8,4 | 7,6 | 20,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | |
| | KV54-200N-1:9 | | | 26,4 | 25,2 | 22,8 | 20,4 | 20,4 | 8,4 | 7,8 | 8,4 | 8,4 | 7,6 | 20,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | |
| | KV54-200-1:9 | | | 25,6 | 24,4 | 22,0 | 19,6 | 19,6 | 7,6 | 7,0 | 7,6 | 7,6 | 6,8 | 19,2 | 19,6 | 19,0 | 19,6 | 19,0 | 19,6 | 19,0 | 19,6 | |
| | YV43-205-1:9 | | | 32,6 | 31,4 | 29,0 | 26,6 | 26,6 | 20,0 | 19,4 | 20,0 | 20,0 | 19,2 | 10,0 | 10,4 | 9,8 | 10,4 | 9,8 | 10,4 | 9,8 | 10,4 | |
| | YV43-205-1:9,514 | | | 33,0 | 31,6 | 29,4 | 27,0 | 27,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 20,4 | 19,6 | 10,4 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | |
| | YV43-300-1:9 | | | 32,4 | 31,2 | 28,8 | 26,4 | 26,4 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | 19,8 | 19,0 | 9,8 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | |
| | YV43-300-1:9,514 | | | 33,0 | 31,8 | 29,4 | 27,0 | 27,0 | 17,4 | 16,8 | 17,4 | 17,4 | 16,6 | 10,4 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | |
| | YV43-300-1:7 | | | 32,4 | 31,2 | 28,8 | 26,4 | 26,4 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | 19,8 | 19,0 | 9,8 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | |
| | KV43-300-1:9,514 | | | 33,0 | 31,8 | 29,4 | 27,0 | 27,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 20,4 | 19,6 | 10,4 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | |
| | TAKAJATKOSALUE (poikkeava suunta) | YV60-5000/3000-1:28 | 42,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | YV60-5000/2500-1:26 | | 34,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| YV60-900-1:18 | | | | 22,8 | 21,6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| YV60-900-1:15,5 | | | | 21,6 | 20,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| YV60-500-1:14 | | | | | | 15,6 | 13,2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| YV60-500-1:11,1 | | | | | | 13,2 | 13,8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| YV60-300-1:9 | | | | | | | | 10,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 20,4 | 19,6 | 26,6 | 27,0 | 26,4 | 27,0 | 26,4 | 27,0 | | | |
| YV54-200N-1:9 | | | | | | | | 20,4 | 8,4 | 7,8 | 8,4 | 8,4 | 7,6 | 20,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | | | |
| YV54-200-1:9 | | | | | | | | 19,8 | 7,8 | 7,2 | 7,8 | 7,8 | 7,0 | 19,4 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | | | |
| YV54-165-1:7 | | | | | | | | 20,4 | 8,4 | 7,8 | 8,4 | 8,4 | 7,6 | 20,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | | | |
| KV54-200N-1:9 | | | | | | | | 20,4 | 8,4 | 7,8 | 8,4 | 8,4 | 7,6 | 20,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | | | |
| KV54-200-1:9 | | | | | | | | 19,6 | 7,6 | 7,0 | 7,6 | 7,6 | 6,8 | 19,2 | 19,6 | 19,0 | 19,6 | 19,0 | 19,6 | | | |
| YV43-205-1:9 | | | | | | | | 26,6 | 20,0 | 19,4 | 20,0 | 20,0 | 19,2 | 10,0 | 10,4 | 9,8 | 10,4 | 9,8 | 10,4 | | | |
| YV43-205-1:9,514 | | | | | | | | 27,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 20,4 | 19,6 | 10,4 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | | | |
| YV43-300-1:9 | | | | | | | 26,4 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | 19,8 | 19,0 | 9,8 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | | | | |
| YV43-300-1:9,514 | | | | | | | 27,0 | 17,4 | 16,8 | 17,4 | 17,4 | 16,6 | 10,4 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | | | | |
| YV43-300-1:7 | | | | | | | 26,4 | 19,8 | 19,2 | 19,8 | 19,8 | 19,0 | 9,8 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | 9,6 | 10,2 | | | | |
| KV43-300-1:9,514 | | | | | | | 27,0 | 20,4 | 19,8 | 20,4 | 20,4 | 19,6 | 10,4 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | 10,2 | 10,8 | | | | |

Vaihteiden välialueen rajoittuessa poikkeavan suunnan ja suoran suunnan takajatkosalueeseen on taulukkoon laskettu arvot siten, että suoran suunnan vaihde on risteysuhteeltaan suurempi.

Aukean tilan ulottuma (ATU)

PÄÄRAITEELLA

*) SIVURAI- TEELLA



- rajaviiva aukean tilan ulottumalle
- - - rajaviivan yläpuolella sallitaan vain vaihteiden ja turvalaitteiden osia, tasoristeysten päällysteitä yms.
- - - - - rajaviivan yläpuolella ei sallita rataan kuulumattomia perustuksia, köysiä, putkijohtoja, kaapeleita ym.
- ▨ sähköistetyt ja sähköistettävät raiteet
- ▨ alue, johon saa asentaa vain radan merkkejä ja opastimia

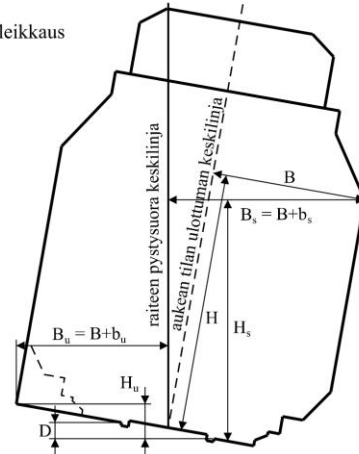
*) Rautatiliikennepaikalla on oltava vähintään yksi raide, joka täyttää kiinteiden esteiden osalta suurkanjettusraiteen ulottuman (liite 6)

Aukean tilan ulottuma on samanlainen pää- ja sivuraiteilla korkeuteen 950 mm asti. Kaarteissa ulottuman puolileveyksiä on kasvatettava liitteen 4 mukaisesti.

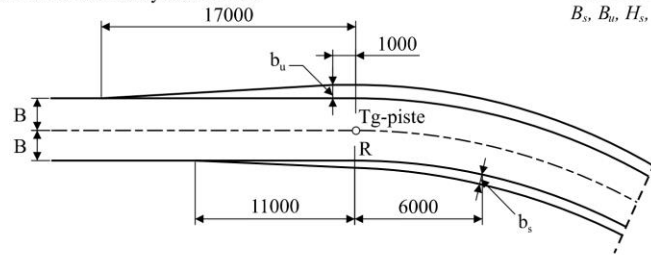
Kuperassa taitteessa, jonka pyöristyssäde on alle 1000 m, mitta k ja 1700 mm:n etäisyydellä keskilinjasta olevat korkeudet pienenevät (kohta 2.9.1.1).

ATUn levitys kaarteissa

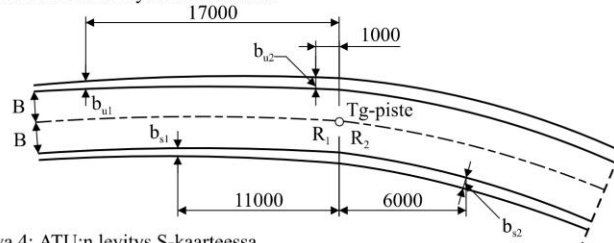
kuva 1: poikkileikkaus



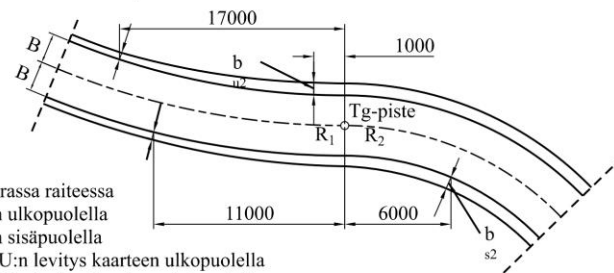
kuva 2: ATU:n levitys kaarteessa



kuva 3: ATU:n levitys korikaarteessa



kuva 4: ATU:n levitys S-kaarteessa



B = ATU:n puolileveys suorassa raitteessa
 b_u = ATU:n levitys kaarteen ulkopuolella
 b_s = ATU:n levitys kaartein sisäpuolella
 b_{u1} = sädettä R_1 vastaava ATU:n levitys kaartein ulkopuolella
 b_{s1} = sädettä R_1 vastaava ATU:n levitys kaartein sisäpuolella
 b_{u2} = sädettä R_2 vastaava ATU:n levitys kaartein ulkopuolella
 b_{s2} = sädettä R_2 vastaava ATU:n levitys kaartein sisäpuolella

LIKIMÄÄRÄISET KAAVAT:

$$(1) B_s = \frac{1) 36000}{R} + H \frac{D}{1600} + B$$

$$(2) B_u = \frac{1) 36000}{R} - H \frac{D}{1600} + B$$

$$(3) H_s = H - B \frac{D}{1600} + \frac{D}{2}$$

$$(4) H_u = H + B \frac{D}{1600} + \frac{D}{2}$$

1) kaavassa termi $\frac{36000}{R} = 0$,
kun $H > 5600$ mm

B = ATU:n puolileveys suorassa raitteessa

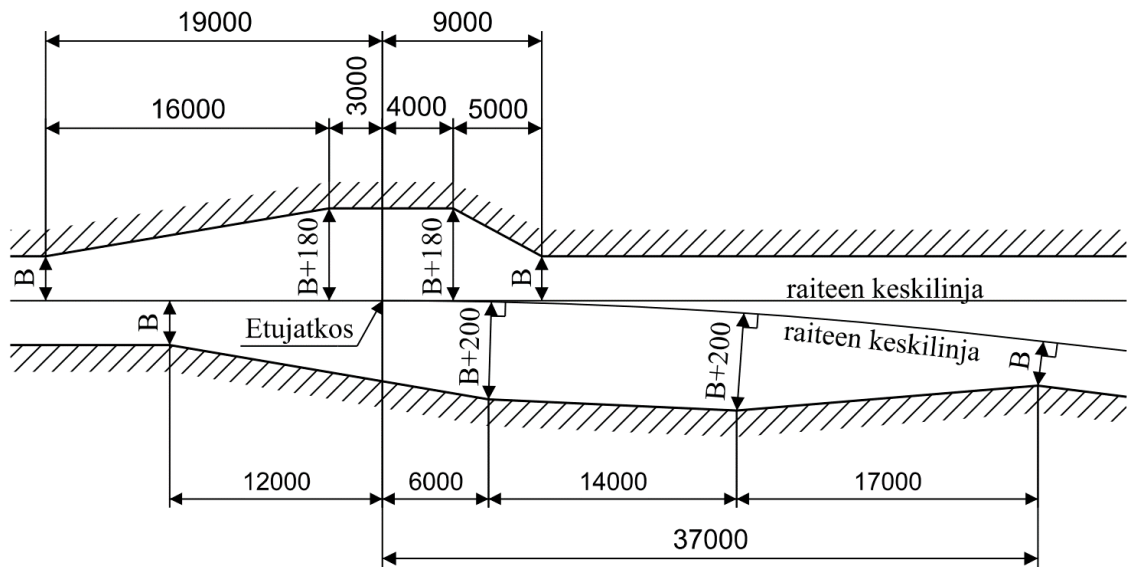
Säde R (m)

$B_s, B_u, H_s, H_u, H, D, B, b_s, b_u$ (mm)

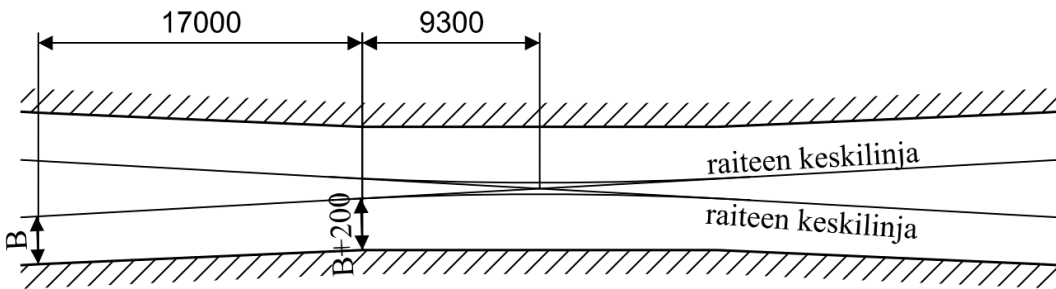
ATUn levitys vaihteissa

Kuvissa B = aukean tilan ulottuman puolileveys
Raiteen kallistus D = 0

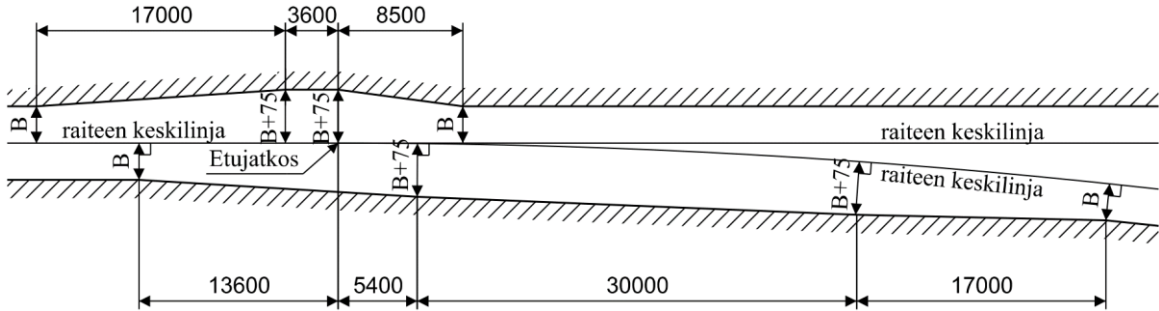
Suurille yksinkertaisille vaihteille, joiden poikkeavan raiteen säde on enintään 300 m



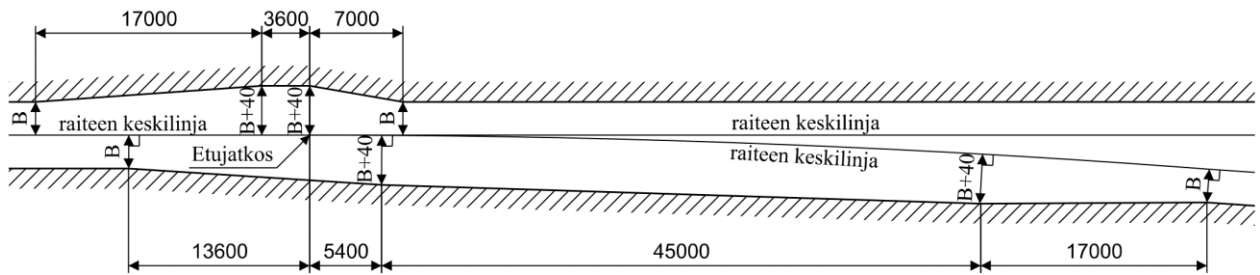
Risteysvaihteille



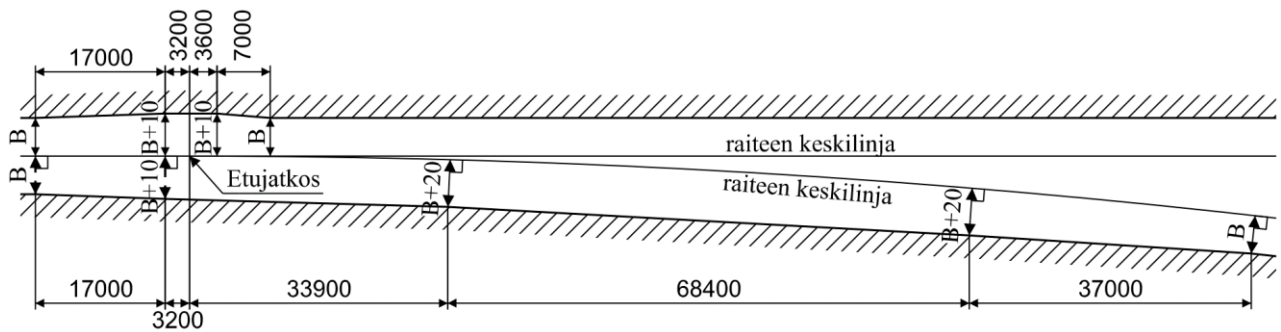
Vaihteille
YV60-500-1:11,1
YV60-500-1:14



Vaihteille
YV60-900-1:15,5
YV60-900-1:18

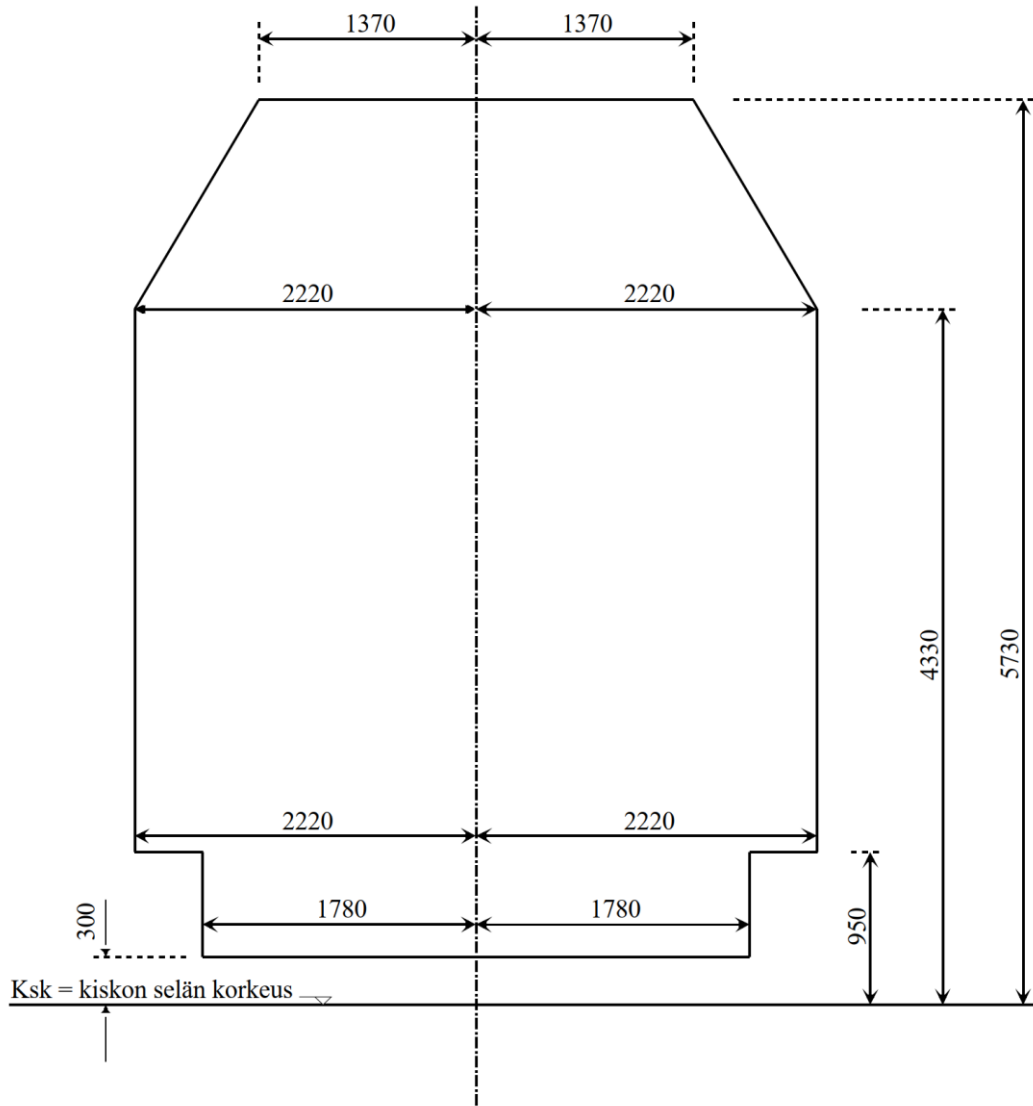


Vaihteille
YV60-5000/2500-1:26
YV60-5000/3000-1:28



Suurkuljetusraiteen ulottuma

Suurkuljetusraiteen ulottuma suoralla raiteella





Väylävirasto
Trafikledsverket