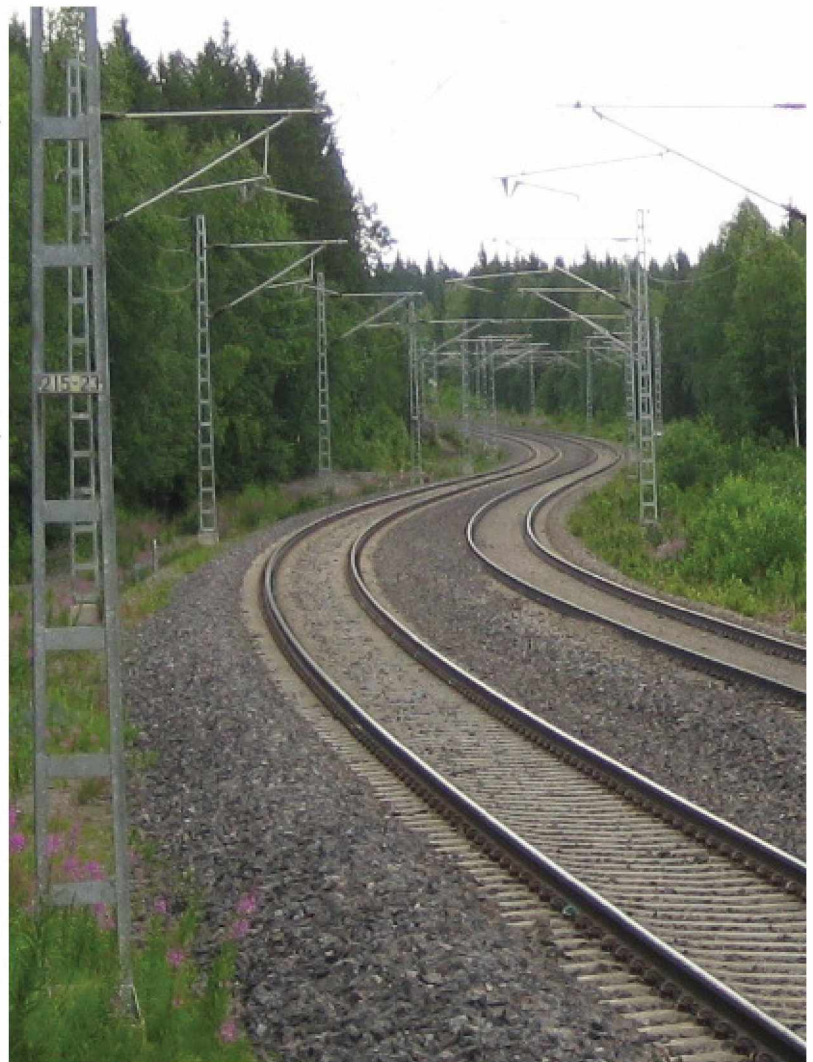
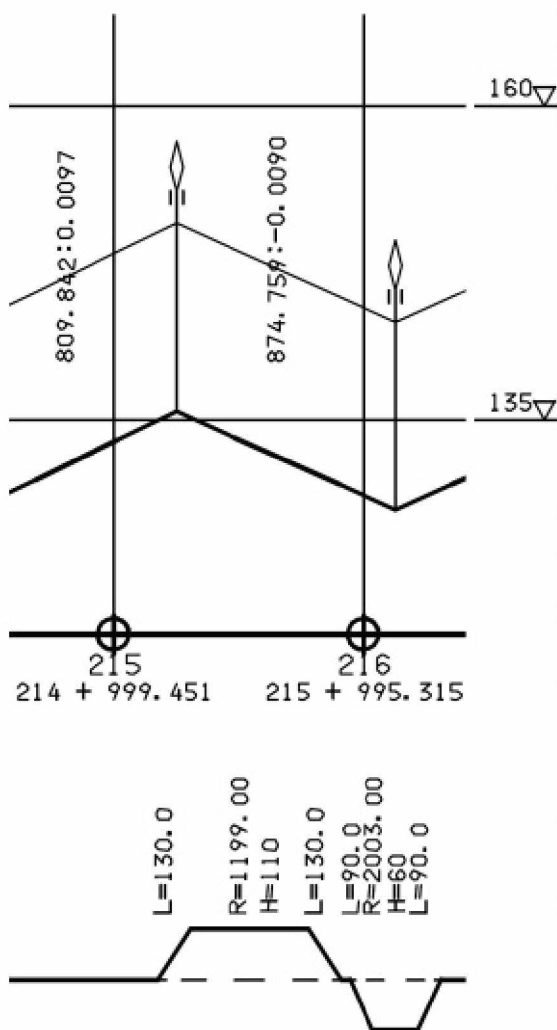


REIJO TAIMELA

## Raidegeometrian suunnittelu





Reijo Taimela

# Raidegeometrian suunnittelu

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 22/2011

Liikennevirasto

Helsinki 2011

*Kannen kuvat:*

*S-kaarre rataosalla Tampere–Orivesi, Niko Tunninen 10.7.2009 (pohjoinen raide vasemmalla)*

*Ote kohdan pohjoisen raiteen vaaka- ja pystygeometriasta*

Verkkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-665-3

Verkkojulkaisuun korjattu laskentakaavat 2.3:3, 3.6:8 ja 3.6:10 sekä tehty korjauksia kaavoihin 2.1:23–2.1:26, 2.1:29, 2.1:30, 2.1:35–2.1:37, 3.1:13, 3.1:33, 3.1:34 ja 3.6:13; lisäksi korjattu eräitä merkintöjä s. 12, 52, 64 ja 123 (22.11.2011)

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

**Reijo Taimela: Raidegeometrian suunnittelu.** Liikennevirasto, väylätekniikkaosasto. Helsinki 2011. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 22/2011. 161 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-665-3.

**Avainsanat:** rautatie, rata, raide, geometria, suunnittelu, mitoitus

## Tiivistelmä

Tässä raidegeometrian suunnittelua käsittelevässä oppaassa esitetään raidegeometrian yleisiä perusteita ja raidegeometrian suunnittelua. Oppaan tarkoituksena on täydentää ja avata asiaa käsitteleviä Suomen kansallisia määräyksiä ja ohjeita. Asiat esitetään voimassa olevien määräysten ja ohjeiden pohjalta. Teksti perustuu pääosin raidegeometriaa käsittelevään Liikenneviraston ohjeeseen 3/2010, RATO 2 Radan geometria.

Määräykset ja ohjeet esittävät yleensä vain ohjeistettavan asian eikä niissä selitetä yleensä asian taustoja eikä perusteluja. Ne ovat sen vuoksi vaikealukuisia ja edellyttävät yleensä perustietoja asiasta. Näin ollen ne soveltuvat huonosti esimerkiksi alaan perehtyvälle oppikirjaksi. Tämän oppaan tarkoitus on korvata tätä puutetta. Aluksi esitetään raidegeometrian yleisiä perusteita kuten käytettäviä mittoja ja suunnittelun pohjana oleva geodeettinen koordinaatisto. Tässä yhteydessä esitetään myös raiteen geometrian määrittävät perusmittalinjat, raiteen keskilinja, raiteen korkeus ja raiteen kallistus. Toisessa luvussa esitetään raidegeometriassa käytettävät elementit. Vaakageometrian elementeissä esitellään suora, ympyränkaar, siirtymäkaar ja vaihteet. Lisäksi esitellään näiden yhdistelmät, kaarre siirtymäkaarin, korikaari ja S-kaar. Pystygeometrian elementeissä esitellään kaltevuusjaksot ja pyöristyskaaret. Geometrian elementeistä esitetään suunnittelijalle tärkeät ominaisuudet ja kaavat.

Kolmannessa luvussa esitellään ensin kaarregeometrian mitoituksen perusteet. Mitoitus perustuu junan poikittaisiin voimiin kaarteessa ja tästä selitetään ja johdetaan mitoituskaavat poikittaiskiihtyvyydelle, nykäykselle, kallistuksen vajaukselle ja kallistuksen vajauksen muutosnopeudelle. Ohjeiden mukainen mitoitus perustuu joko kallistuksen vajaan käyttävään tai poikittaiskiihtyvyyttä käyttävään menetelmään. Jatkossa selitetään kummankin menetelmän käyttäminen elementtien mitoituksessa. Sitten käydään yksityiskohtaisesti läpi kaikkien elementtien ohjeiden mukaiset raja-arvot ja elementtien ohjeen mukainen mitoitus. Vaakageometrian elementtien lisäksi selitetään raiteen pituuden mitoitus ja siihen vaikuttavat tekijät sekä raidevälien mitoitus. Pystygeometriasta esitetään pituuskaltevuudet ja pyöristyskaarresäteet ja näiden mitoitus.

Viimeisessä luvussa käsitellään lyhyesti muita raidegeometrian suunnitteluun liittyviä tekijöitä. Näitä ovat mm. suunnittelua ohjaavat määräykset ja ohjeet, nopeusalueiden suunnittelu ja raidegeometrian lisäksi muut nopeuteen vaikuttavat tekijät. Sitten esitellään suunnittelun pohjana olevat karttatiedot ja raiteiden suunnittelun periaatteita sekä kuivatusjärjestelyjen vaikutusta suunnitteluun.

**Reijo Taimela: Planeringen av spårgeometri.** Trafikverket, infrastrukturteknik. Helsingfors 2011. Trafikverkets undersökningar och utredningar 22/2011. 161 sidor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-665-3.

**Nyckelord:** järnväg, bana, spår, geometri, planering, dimensionering

## Sammanfattning

I denna planeringsguide som behandlar planeringen av spårgeometri presenteras spårgeometrins allmänna grunder och planeringen av spårgeometrin. Syftet med denna guide är att komplettera och klargöra finländska bestämmelser och direktiv som behandlar ämnet. Ärendena presenteras enligt gällande direktiv och bestämmelser. Texten baserar sig huvudsakligen på Trafikverkets anvisningar 3/2010, RATO 2 Banans geometri.

Bestämmelserna och direktiven presenterar i allmänhet endast respektive ämnet utan att förklara bakgrund eller ge motiveringar. Dessa är därför svårlästa och kräver i allmänhet grundkunskaper i ämnet. Sålunda lämpar de sig dåligt som t.ex. en lärobok för studeranden i ämnet. Syftet med denna guide är att åtgärda denna brist. Till en början presenteras allmänna grunder liksom mått och geodetiska koordinatsystemet som är basen för planeringen. I detta sammanhang presenteras även grundmåttslinjerna, spårmiten, räls höjden och rälsförhöjningen vilka definierar geometrin av spåret. I det andra kapitlet presenteras elementen som används i spårgeometrin. I horisontala geometrielement presenteras raka, cirkelbåge, övergångskurva och växlarna. Därtill presenteras kombinationerna av dessa, kurva med övergångskurvor, uppbyggd kurva, S-kurva. I vertikala geometrielement presenteras lutningsavsnitt och dosserade övergångskurvor. Av geometrielement presenteras viktiga egenskaper och formler för planerare.

I det tredje kapitlet presenteras först grunderna för dimensioneringen av kurvgeometrin. Dimensioneringen baserar sig på tågets vågräta krafter i kurvorna och från detta beskrivs och härleds dimensioneringsformlerna för lateral acceleration, ryck, rälsförhöjningsbrist och rälsförhöjningsbristens förändringshastighet. Dimensioneringsmetoderna som beskrivs i guiden baserar sig på antingen rälsförhöjningsbrist eller lateral acceleration. I fortsättningen förklaras användningen av båda metoderna i dimensioneringen av elementerna. Sedan genomgås detaljerat gränsvärden och dimensioneringen av element enligt anvisningarna. Förutom de lateralgeometriska elementen beskrivs också dimensioneringen av spårlängd och faktorerna som påverkar den samt dimensioneringen av spåravståndet. Av vertikalgeometrin presenteras längdlutningar och dosserade övergångskurvornas radier samt dimensioneringen av dessa.

I det sista kapitlet behandlas i korthet andra faktorer som påverkar planeringen av spårgeometrin. Till dessa hör bl.a. bestämmelserna och direktiven som styr planeringen, planeringen av hastighetsområden och andra faktorer som utöver spårgeometrin påverkar hastigheten. Sedan presenteras kartinformation som är basen för planeringen och principer i spårplanering samt påverkan av dräneringsarrangemang på planeringen.

**Reijo Taimela: Handbook for Track Geometry Design.** Finnish Transport Agency, Infrastructure Technology. Helsinki 2011. Research reports of the Finnish Transport Agency 22/2011. 161 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-665-3.

**Keywords:** railroad, railway, track, geometry, design, dimensioning

## Summary

This handbook discusses the general principles of track geometry and its role and meaning in the track design process. The goal is to supplement and explain the national regulations and guidelines relating set by the Finnish Transport Agency (later FTA). These guidelines are regularly updated according to effective EU legislation and the Finnish Transport Safety Agency's regulations. The text is written based on the effective regulations and guidelines. The main source has been the updated guideline for track geometry design, which was published 8.4.2010 (Guidelines of the Finnish Transport Agency 3/2010).

The regulations and guidelines normally present only the essential aspects and the respective limiting values of subjects that the designer needs to take into account. Since these publications lend limitedly for example to educational purposes there has been a call for a supplementing publication. This handbook is meant to elucidate these areas of track geometry design. At first the basic principles of track geometry design and related subjects are discussed. These include for example the track centre line; track height line and track tilt in curves. Also the use of geodetic co-ordinates are explained. In the second part the elements of horizontal and vertical track geometry are presented. The horizontal elements include straight line, curve, different transition curves and points. The vertical elements include gradients and vertical curves. Also the equations used for the dimensioning of the above elements are respectively presented and explained.

In the third part the dimensioning of track geometry is discussed. This starts with the dimensioning of track curves, where the centrifugal forces between the train and the track are decisive. The equations used for the calculation of centrifugal acceleration, twist, cant deficiency and the changing speed of cant deficiency are presented and explained. According to effective guidelines the dimensioning of horizontal track geometry is based either on cant deficiency or centrifugal acceleration -methods. Later in detail all the limiting values of different track geometry elements are discussed. In addition to track geometry, also dimensioning of track length in operational railway locations and distance between track centre lines are explained. From vertical track geometry the principles of dimensioning of the longitudinal gradients and vertical curves are explained.

In the last part the relation of track geometry design with other areas are shortly discussed. These include for example the design of speed areas and limitations of different structures etc. regarding to allowed speeds. Also the drainage of track system is discussed. Later the different documents that guide the design process are explained. Also a short description of design programs used in track design and the printouts of a track design project are discussed.

## Esipuhe

Kun raidegeometrian ohjetta, RATOn osaa 2, päivitettiin tuli puheeksi, että raidegeometriasta pitäisi olla ohjetekstiä täydentävä ja ohjeen tekstiä avaava ja selittävä opas. Tarkoituksena on kertoa ohjeita laajemmin raidegeometriasta, sen elementeistä, mitoituksesta ja suunnittelusta. Oppaan tarkoituksena on kertoa alan opiskelijoille ja alalle töihin tuleville raidegeometrian perusasiat.

Liikennevirasto teki hankintapäätöksen ja tilasi työn 16.9.2010. Tilaajan edustajat olivat Markku Nummelin, Seija Hietanen ja Jari Viitanen. Työn yhteyshenkilönä oli Jari Viitanen, joka vastasi työn aikana työn sisällön ohjaamisesta. Toimittajana oli VR Track Oy:n suunnitteluosasto. Projektipäällikkönä oli Reijo Taimela, laadunvarmistajana Matti Majjala, projektisihteerinä Niko Tunninen ja projektiryhmän jäsenenä Pasi Hölttä. Tekstiä ovat kommentoineet työn aikana toimittajan asiantuntijat ja nuoremmat työntekijät. Tekstiluonnos esiteltiin kutsutuille asiantuntijoille seminaarissa 11.3.2011, jonka jälkeen tekstiä täydennettiin seminaarikeskustelujen perusteella.

Helsingissä toukokuussa 2011

Liikennevirasto  
Väylätekniikkaosasto, ohjaus- ja turvalaitteyksikkö



# Sisällysluettelo

1	JOHDANTO .....	10
1.1	Raidegeometrian mittayksiköt.....	10
1.1.1	Pituusmitat.....	11
1.1.2	Kulmamitat.....	12
1.1.3	Geodeettinen koordinaatisto .....	13
1.2	Raiteen keskilinja, korkeusviiva ja raiteen kallistus .....	14
1.3	Poikittaiskiihtyvyys ja kallistuksen vajuus .....	17
2	RAIDEGEOMETRIAN ELEMENTIT .....	19
2.1	Vaakageometrian elementit .....	19
2.1.1	Suora .....	20
2.1.2	Ympyränkaari.....	22
2.1.3	Siirtymäkaari.....	24
2.1.4	Kaarre siirtymäkaarin.....	32
2.1.5	Korikaari.....	34
2.1.6	S-kaari .....	36
2.1.7	Vaihteet.....	37
2.1.8	Geometrian elementtien yhdistäminen .....	48
2.2	Pystygeometrian elementit .....	49
2.2.1	Kaltevuusjakso.....	49
2.2.2	Kaltevuusjakson suora osuus .....	50
2.2.3	Pyöristyskaari .....	51
2.3	Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät.....	57
2.3.1	Tilapäisen laskentakoordinaatiston käyttö.....	58
3	RAIDEGEOMETRIAN ELEMENTTIEN MITOITUS .....	60
3.1	Junan kulku kaarteissa .....	62
3.1.1	Junaan vaikuttavat voimat kaarteissa .....	62
3.1.2	Poikittaiskiihtyvyys.....	66
3.1.3	Nykäys.....	67
3.1.4	Kallistuksen vajuus .....	69
3.1.5	Kallistuksen vajuuden muutosnopeus.....	70
3.1.6	Kallistuvakorinen kalusto .....	72
3.1.7	Kaarten mitoittaminen .....	74
3.2	Ympyränkaaret.....	74
3.2.1	Pääraiteen kaarresäteet .....	74
3.2.2	Sivuraiteen kaarresäteet.....	76
3.2.3	Nopeus ympyränkaareissa jossa ei ole raiteen kallistusta.....	77
3.3	Raiteen kallistus .....	78
3.3.1	Raiteen kallistuksen arvot .....	79
3.3.2	Raiteen kallistuksen mitoitus .....	80
3.3.3	Mitoitus kallistuksen vajuuksella .....	81
3.3.4	Mitoitus poikittaiskiihtyvyydellä.....	82
3.4	Geometrian mitoitus kallistuvakoriselle kalustolle .....	82
3.5	Suurnopeusradat.....	84
3.6	Siirtymäkaaret.....	85
3.6.1	Mitoitus kallistuksen vajuuden muutosnopeudella .....	86
3.6.2	Mitoitus poikittaiskiihtyvyyden muutosnopeudella .....	89
3.7	Kallistusviisteet .....	91

3.7.1	Suora kallistusviiste.....	92
3.7.2	S-kallistusviiste .....	93
3.7.3	Korikaaren väliviisteen mitoitus.....	94
3.7.4	Eripituinen siirtymäkaari ja kallistusviiste .....	95
3.8	Elementtien pituus .....	96
3.9	Raiteen pituus .....	98
3.9.1	Raiteen pituuskäsitteitä .....	99
3.9.2	Raiteen pituuden osatekijät .....	100
3.9.3	Raiteen pituuden suunnittelu.....	104
3.10	Raidevälit .....	107
3.10.1	Raidevälit linjalla .....	108
3.10.2	Raidevälit rautatieliikennepaikoilla .....	109
3.11	Pituuskaltevuudet.....	111
3.12	Pyöristyskaarresäteet .....	113
3.13	Vaihteet .....	114
3.13.1	Vaihdetyypit .....	115
3.13.2	JKV:n vaihdenopeus.....	119
3.13.3	Vaihteen sijoittaminen raiteeseen .....	119
3.13.4	Vaihteen sijoittaminen geometriaan .....	120
3.13.5	Vaihteen geometrian mitoitus .....	122
4	RAIDEGEOMETRIAN SUUNNITTELU .....	124
4.1	Suunnittelun ohjeet ja perusteet .....	124
4.1.1	Määräykset.....	125
4.1.2	Ohjeet .....	125
4.1.3	Projektin ohjeet.....	126
4.1.4	Oppikirjat, oppaat ym.....	127
4.2	Raja-arvot: maksimi-, minimi- ja suositeltava arvo.....	127
4.3	Nopeus.....	128
4.3.1	Nopeusalueet .....	129
4.3.2	Tilapäiset nopeusrajoitukset.....	130
4.4	Muut nopeuteen vaikuttavat tekijät .....	130
4.4.1	Turvalaitteet .....	130
4.4.2	Tasoristeykset.....	130
4.4.3	Radan päällysrakenne .....	131
4.4.4	Vaihteet .....	131
4.4.5	Liikkuva kalusto .....	131
4.4.6	Laiturit .....	132
4.4.7	Radan alusrakenne.....	132
4.4.8	Sillat.....	132
4.4.9	Tunnelit .....	132
4.4.10	Sähköistys.....	132
4.4.11	Ratarakenteiden kunto .....	133
4.5	Pyöristyssäännöt .....	133
4.6	Aukean tilan ulottuma .....	133
4.7	Raiteiden suunnittelu.....	139
4.7.1	Suunnittelun karttapohjat .....	139
4.7.2	Raiteiden suunnittelu .....	140
4.7.3	Regressiolaskenta .....	141
4.7.4	Uuden raiteiston suunnittelu .....	141
4.7.5	Uusittavan raiteiston suunnittelu.....	142
4.7.6	Geometrian piirustukset .....	142

4.7.7	Suunnitteluohjelmat.....	145
4.8	Kaarteen suunnittelu .....	146
4.9	Turvalaitteet .....	148
4.10	Sähkörata.....	152
4.11	Liikennepaikan raiteistosuunnittelu.....	156
4.11.1	Raiteiden ja vaihteiden tunnuksset .....	157
4.11.2	Kuormausraiteet.....	157
4.11.3	Laiturit.....	158
4.11.4	Suurkuljetusraide.....	158
4.12	Kuivatussuunnittelu.....	159
4.13	Radan päällysrakenne .....	160
	LÄHDELUETTELO .....	161

# 1 Johdanto

Tässä raidegeometrian suunnitteluoppaassa esitetään raidegeometrian perusteita ja suunnittelua. Ensimmäisessä osassa esitetään yleisiä perusteita ja toisessa osassa raidegeometrian elementtien yleisiä ominaisuuksia. Kolmannessa osassa käsitellään geometrian elementtien mitoitusta. Neljäs osa käsittelee muita raidegeometrian suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä. Tämä opas ei kumoa eikä korvaa muita raidegeometriaan liittyviä määräyksiä ja ohjeita. Määräykset ja ohjeet on kuvattu tarkemmin kohdassa 4.1. Kansallisesti raidegeometrian suunnittelu on ohjeistettu määräys - ohje - opas hierarkian mukaan:

- Liikenteen turvallisuusviraston (TraFi) määräykset
- Liikenneviraston ohjeet (RATO ym.) ja projektin suunnitteluperusteet
- Muut työnaikaiset ohjeet
- Oppaat

Liikenteen turvallisuusviraston määräykset koskevat kaikkia ratoja ja raiteita. Liikenneviraston ohjeet koskevat vain valtion rataverkkoa. Muilla infranhaltijoilla voi olla omia ohjeita tai niillä toimitaan vain TraFi:n määräysten mukaan. Jos yksityisraiteilla on tarkoitus liikennöidä valtion rataverkolla liikennöivällä kalustolla ja menetelmillä, on niilläkin hyvä käyttää soveltuvin osin Liikenneviraston ohjeita, ellei niillä ole muita vastaavia ohjeita.

Määräykset ja ohjeet esittävät suunnittelun yleisiä vaatimuksia ja ohjeita. Projektin suunnitteluperusteet esittävät suunnittelun lähtökohtia ja määräysten ja ohjeiden tarkempaa soveltamista kyseiseen työhön sekä mahdollisia poikkeuksia ohjeista tässä työssä. Projektin aiemmat suunnitelmat ja suunnitteluperusteet esittävät myös projektin toiminnallisia ja teknisiä tavoitteita.

Tämän oppaan sisältö perustuu nykyisiin määräyksiin ja ohjeisiin. Suurin osan ohjeista on RATO:n osasta 2 Radan geometria 3 2010. Määritelmät on kopioitu suoraan RATOsta viittausten mukaan. Kaavat on esitetty samassa muodossa kuin RATOssa. Muuttujat kirjoitetaan kaavaan siinä yksikössä, mikä on esitetty muuttujalistassa ja tuloksen yksikkö on myös listan mukainen. Osa kaavojen kertoimista on yksikkömuunnoksia ja sisältää yksiköitä, mutta niitä ei esitetä kaavoissa.

## 1.1 Raidegeometrian mittayksiköt

Raidegeometria suunnitellaan ja määritetään vaakasuoralle YX-tasolle. Maastossa vaakageometria projisoidaan maastossa korkeusviivan määrittämälle korkeusviivan tasolle. Kaikki vaakageometrian pituusmitat, koordinaatit ja kulmat ovat vaakasuoran tason mittoja. Myös pystygeometrian pituusmitat ovat vaakasuoran tason mittoja.

Pituuskaltevalla korkeusviivatasolla raiteiston geometria poikkeaa teoriassa suunnitellusta vaakasuoran tason geometriasta. Esimerkiksi vaakasuoran tason suora on kaltevalla tasolla vähän pidempi suora ja ympyränkaari ruuvipinnalla oleva ympyränkaari kun kaltevuus määritellään raidetta pitkin ja ellipsinkaari kun korkeusviiva määritellään tasona jne. Koska tasojen välinen kulma on hyvin pieni, geometrian ero on niin pieni, että sillä ei ole yleensä merkitystä. Jos raiteen pituuskaltevuus on 12,5 ‰, vaakasuora 1000,000 metrin pituus on tällä kaltevalla tasolla 1000,078 metriä ja ym-

pyränkaari, jonka säde on 1000 m, on 12,5 ‰:n kaltevuuden tasolla oikeasti 1000,000/1000,078 ellipsinkaari.

Jos suunnittelu tehdään kolmiulotteisessa maastomallissa, myös siinä vaakageometria on vaakasuoran kaksikulotteisen YX -tason geometriaa, johon on lisäksi määritetty elementtien korkeusasema. Suunniteltava raidegeometria on samaa kuin vaakasuoran tason geometria.

### 1.1.1 Pituusmitat

Raidegeometriassa pituuden mittayksikkönä käytetään metriä [m]. Pituusmitat ovat vaakasuoran tason mittoja. Pituusmitat ja koordinaatit ilmoitetaan suunnitelmissa kolmella desimaalilla eli millimetrin [mm] tarkkuudella, esimerkiksi 271,852 metriä.

Poikkeuksia:

Radan päällysrakenteen, vaihteiden, muiden rakenteiden ja poikkileikkausten ym. sisäisessä mitoituksessa käytetään yleisesti mittayksikkönä millimetriä [mm].

Raidevälien yksikköinä käytetään sekä metrejä että millimetrejä riippuen siitä, missä yhteydessä mittoja käytetään ja miten dokumentin muut mitat ilmoitetaan. Esimerkiksi suunnitelmakartoissa mitat ovat yleensä metrejä ja tarkemmissa poikkileikkauspiirustuksissa millimetrejä.

Raidegeometria sidotaan koordinaattien lisäksi myös ratakilometrijärjestelmään. Siinä kohteen paikka ilmoitetaan km+m -lukemalla. Tässä km on ratakilometrin alkukohta, kilometrimerkki, "kilometritolppa" ja m-lukema on metrimäärä siitä eteenpäin. Mittaus tehdään kilometrijärjestelmän pituusmittausraidetta pitkin. Tarkemmin sanottuna mitta on vaakasuoran tason mitta pituusmittausraiteen keskilinjaa pitkin. Muiden raiteiden ratakilometrilukemat ovat pituusmittausraiteelta projisoituja kohteita. Suuremmilla ratapihoilla, ja varsinkin, jos pituusmittausraide on kaarteinen, muiden raiteiden ratakilometrilukemat ovat vain karkea sijaintitieto, eikä niillä voi luotettavasti laskea mitään välimatkoja.

Ratakilometrijärjestelmä ei ole yhtenäinen pituusmittausjärjestelmä vaan jokainen kilometri on oma mittausjaksonsa. Ratakilometriä pituus poikkeaa yleensä tasan 1000 metristä, ja kilometrien numerosarjasta voi puuttua jokin kilometri kokonaan tai jokin kilometri voi toistua useampaan kertaan. Ratakilometriä pituudet vaihtelevat käytännössä välillä 105...1735 m, mutta suurin osa on hyvin lähellä 1000 metriä. Puuttuvat tai toistuvat ratakilometrit ja suurimmat muutokset ratakilometriä pituuksiin johtuvat siitä, että radalla on tehty ratalinjan oikaisuja ja uusia linjauksia ja näiden ulkopuolella olevia ratakilometrejä ei ole lähdetty muuttamaan. Pienemmät erot johtuvat kilometrimerkkien kallistelusta tai mittaus tarkkuudesta. Uudet myöhemmin rakennetut radat tuovat liityntäkohtaan oman rinnakkaisen kilometrimittauksen. Kilometrimittausta ei uudisteta muutosten jälkeen, koska kaikki vanha arkistomateriaalissa oleva km+m -tieto muuttuisi tämän jälkeen epämääräiseksi.

Ratakilometrijärjestelmän km+m -lukemia käytettäessä on tunnettava järjestelmän ominaisuudet. Järjestelmä on kuvattu tarkemmin RATOn osassa 2. Jos käytössä on rataosan kilometriluettelo, sen avulla voi laskea km+m -mitoista välimatkoja. Km-

luettelossa esitetään radan pituusmittausraide, kilometrit järjestyksessä ja kunkin ratakilometrin todellinen pituus.

### 1.1.2 Kulmamitat

Raidegeometriassa kuten maastomittauksessakin kulmamitat ilmoitetaan gooneina [gon], josta käytetään myös nimityksiä graadi tai uusaste. Suorakulma on 100 gon ja täysi ympyrä 400 gon. Gooni jakautuu 100 gooniminuuttiin [c] ja gooniminuutti 100 goonisekuntiin [cc],  $1 \text{ gon} = 100 \text{ c} = 10000 \text{ cc}$ .

Raidegeometrian kulmalukemat ilmoitetaan suunnitelmissa gooneina neljällä desimaalilla, eli goonisekunnin tarkkuudella, esimerkiksi 128,4425 gon. Kymmenlukujärjestelmässä c- ja cc-luvut voi siirtää suoraan desimaaleiksi. Kaksi ensimmäistä desimaalia ovat gooniminuutteja ja kaksi seuraavaa desimaalia ovat goonisekunteja (gon, c/100 + cc/10000).

Poikkeuksena ovat vaihteiden kulmat, jotka ilmoitetaan kulman tangenttien suhdelluvulla, esimerkiksi 1:9. Tämä tarkoittaa, että 9 metrin päässä vaihteen matemaattisesta pisteestä suoraa raidetta pitkin mitaten poikkeavan raiteen suunnan keskilinjan kohtisuora etäisyys on 1 metriä suoran raiteen keskilinjaan nähden. Aiemmin vaihtetyypeissä on käytetty kulman arvoina myös asteita, minuutteja ja sekunteja ( $360^\circ$ ,  $60'$  ja  $60''$ ).

Kulmamittayksikkö gooni sai alkunsa aikanaan yhdessä metri- ja grammajärjestelmien kanssa. Näiden kaikkien järjestelmien edut ovat pitkälti samat. Ne ovat 10-järjestelmän mukaisia mittayksiköitä, joten niillä on helppo tehdä laskutoimituksia. Gooni ei ole kuitenkaan yleistynyt kulmamittauksissa juuri muualla kuin maanmittauksessa ilmeisesti siksi, koska tärkeät kulmat,  $30^\circ$  ja  $60^\circ$  ovat gooneina päättömättömiä desimaalilukuja.

Kulman, joka on ilmoitettu asteissa, minuuteissa ja sekunneissa voi muuttaa gooneiksi kaavalla 1.1:1.

$$G = \frac{400}{360} \left( A + \frac{M}{60} + \frac{S}{3600} \right) \text{ [gon]} \quad (1.1:1)$$

$G$  = kulma gooneina, desimaaliluku [gon]

$A$  = kulman astelukumäärä [ $^\circ$ ]

$M$  = kulman minuuttelukumäärä [ $'$ ]

$S$  = kulman sekuntelukumäärä [ $''$ ]

Kulman suhdelluvun  $\alpha$  voi muuttaa kulmaksi  $t$  kaavalla 1.1:2:

$$t = \arctan \alpha \text{ [gon]} \quad (1.1:2)$$

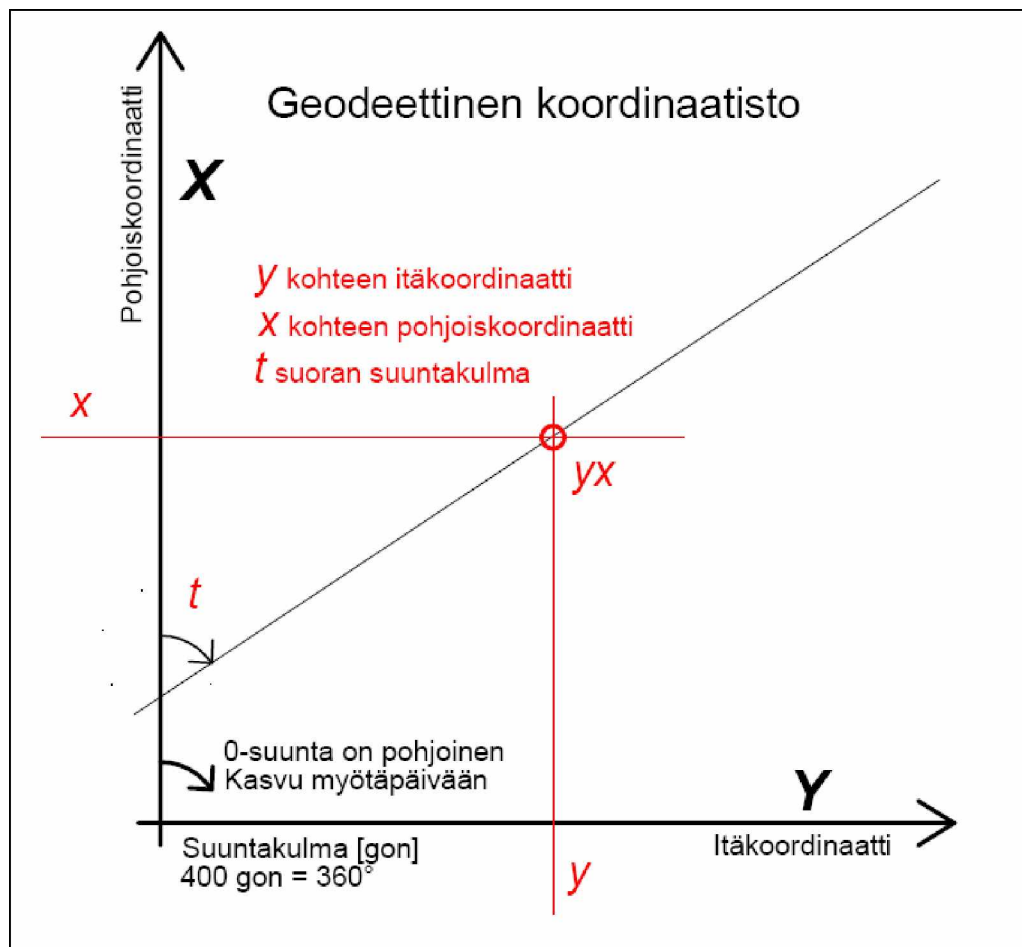
Esimerkiksi vaihteen kulma  $\alpha = 1:9$ ,  $t = \arctan(1/9) = 7,0447 \text{ gon}$ .

Arkustangentti, arctan on useissa laskimissa merkitty näppäimellä  $\tan^{-1}$ . Laskimen kulmayksiköksi on valittava gooni (eli graadi).

### 1.1.3 Geodeettinen koordinaatisto

Raidegeometrian suunnittelussa käytettävä koordinaatisto on karttakoordinaattijärjestelmissä käytettävä geodeettinen koordinaatisto /1/. Geodeettisessa koordinaatistossa X-akseli on pystysuunnassa oleva pohjoiskoordinaatin akseli ja Y-akseli on vaakasuunnassa oleva itäkoordinaatin akseli (kuva 1). Suuntakulmat mitataan pohjoisuunnasta X-akselista myötäpäivään. Matematiikassa käytettävä koordinaatisto näyttää erilaiselta, mutta kun geodeettista koordinaatistoa katsotaan alapuolelta, itäsuunta ylöspäin käännettynä, koordinaatistot ovat samanlaiset. Tämän takia matemaattiset kaavat toimivat samoin kummassakin koordinaatistossa.

Euroopan yhtenäisen koordinaattijärjestelmän ETRS89:n mukainen Euref-Fin-järjestelmä on korvaamassa nykyistä KKJ-koordinaattijärjestelmää. Tässä uudessa järjestelmässä koordinaatisto on periaatteeltaan samanlainen. Näkyvänä erona ovat uudet akseleiden tunnuksat. Pohjoiskoordinaatti saa tunnuksen N ja itäkoordinaatti tunnuksen E. Kaavojen X-koordinaattien paikalla käytetään silloin N-koordinaatteja ja Y-koordinaattien paikalla E-koordinaatteja. Kaavoja ei ole lähdetty kuitenkaan vielä muuttamaan, koska siirtymäaika vie vuosia ja nykyiset tunnuksat ovat vielä pitkään käyttäjille tutumpia.



Kuva 1 Geodeettinen koordinaatisto (R Taimela 2011)

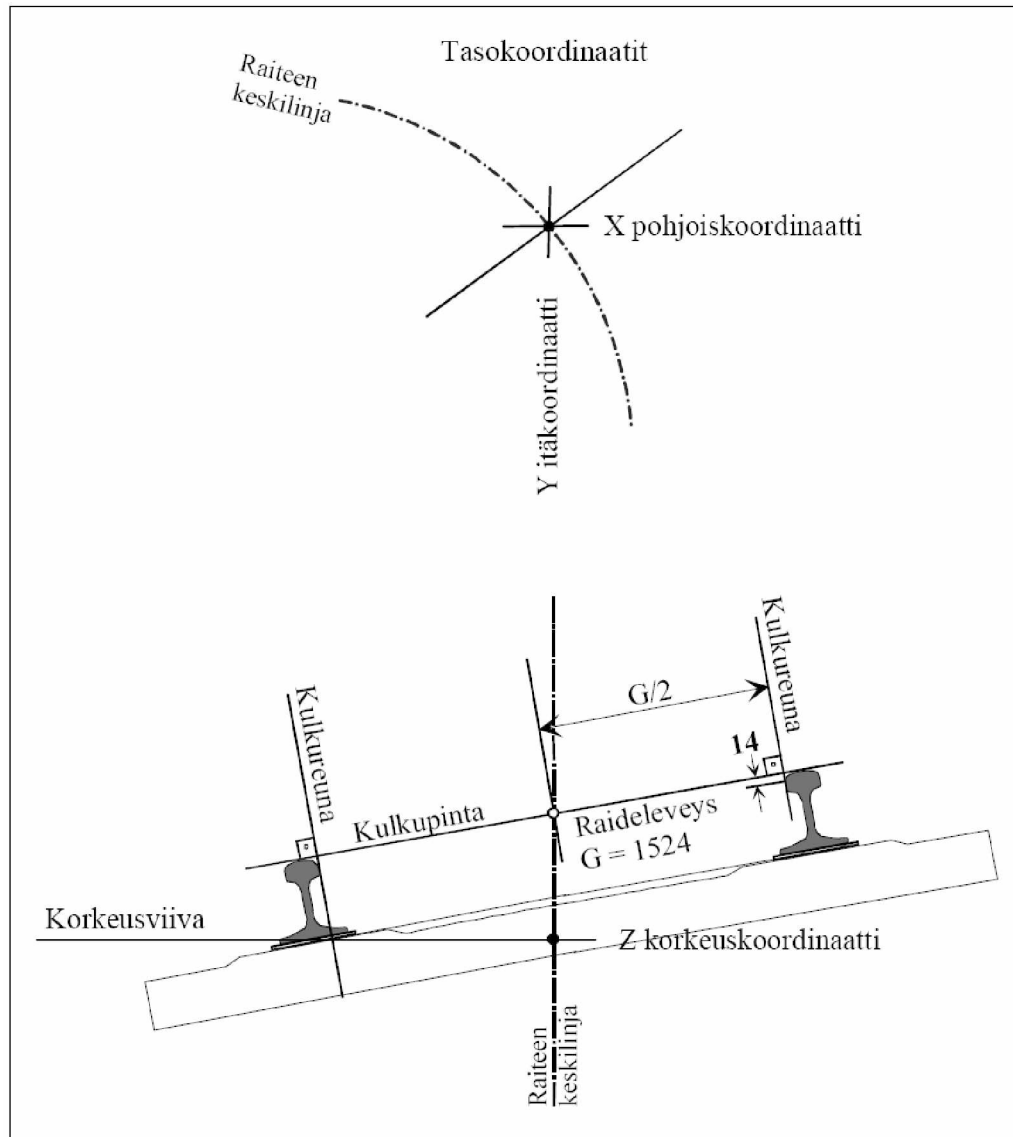
## 1.2 Raiteen keskilinja, korkeusviiva ja raiteen kallistus

Raiteen geometria suunnitellaan määrittämällä raiteelle keskilinja ja korkeusviiva /1/. Suunniteltu raiteen keskilinjan ja korkeusviivan geometria määrittävät raiteen teoreettisen sijainnin eli raiteen teoreettisen aseman. Raide pyritään rakentamaan tähän asemaansa ja pitämään kunnossapidossa mahdollisimman hyvin oikeassa muodossaan ja paikassaan. Raiteen todellinen asema on sen maastosta mitattu keskilinjan ja korkeusviivan sijainti. Raiteen todellinen asema saa poiketa korkeintaan toleranssien verran raiteen teoreettisesta asemasta /3/. Suuremmat poikkeamat raiteen asemassa voivat muuttaa sen geometrista muotoa. Tästä voi seurata monia hankaluuksia, mm. kulkudynamiikka huononee, jatkuvakiskoraiteen pituus ja neutraalilämpötila muuttuvat, etäisyydet aukean tilan ulottuman esteisiin muuttuvat sekä raiteen ja ajolangan asema toisiinsa nähden muuttuu.

Raiteen keskilinja määrittää raiteen sijainnin vaakasuunnassa. Se on perusmittalinja raiteen rakenteen ja muiden siihen kuuluvien kohteiden vaakasuunnan mitoituksessa. Yleensä mitat raiteen keskilinjasta ovat vaakasuoria kohtisuoria mittoja raiteesta, mutta ne voivat olla myös muunsuuntaisen poikkileikkauksen mittoja, jolloin asia pitää näyttää selvästi. Esimerkiksi useamman raiteen poikkileikkauksessa voi olla erisuuntaisia raiteita, ja se voi olla kohtisuora vain jotain raidetta vastaan. Toisena esimerkkinä on pienin raideväli jossain kohdassa, joka mitataan viereisten raiteiden keskilinjoista ja se on niiden välinen lyhin etäisyys, joka ei ole aina kohtisuorassa molempia raiteita vastaan.

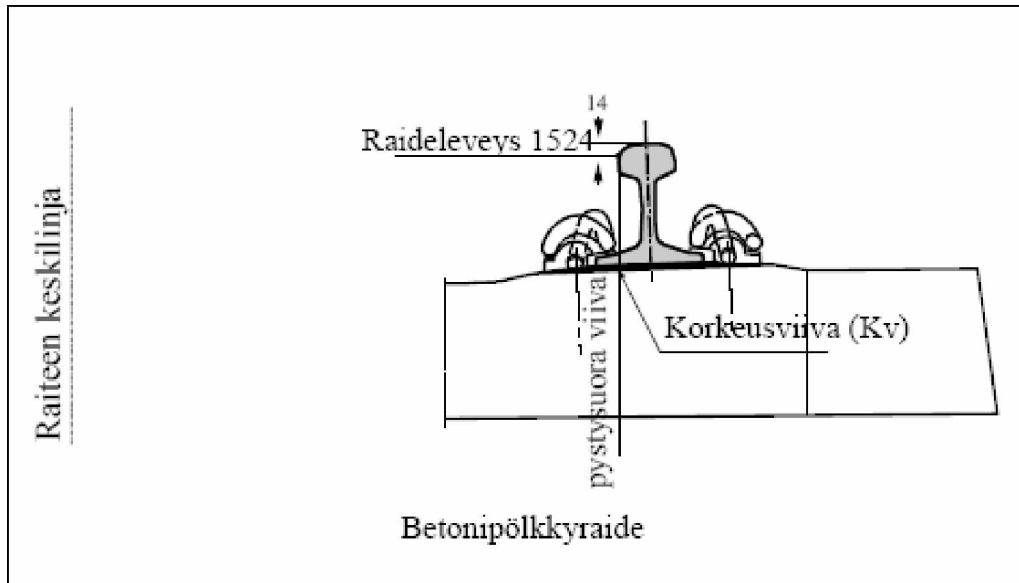
Raiteen keskilinja on linja, jonka etäisyys raiteen kummankin kiskon kulkureunasta on sama. Kiskon kulkureuna on 14 mm raiteen kiskojen kulkupinnan tason alapuolella oleva kiskon sisäreunan kohta. Raidelevyden nimellismitta  $G$  on 1524 mm ja keskilinjan etäisyys nimellismittaisessa raiteessa on kummankin kiskon kulkureunasta 762 mm. Keskilinja määritetään kallistetussa raiteessa kiskojen kulkupinnan tasoon (kuva 2) /1/.



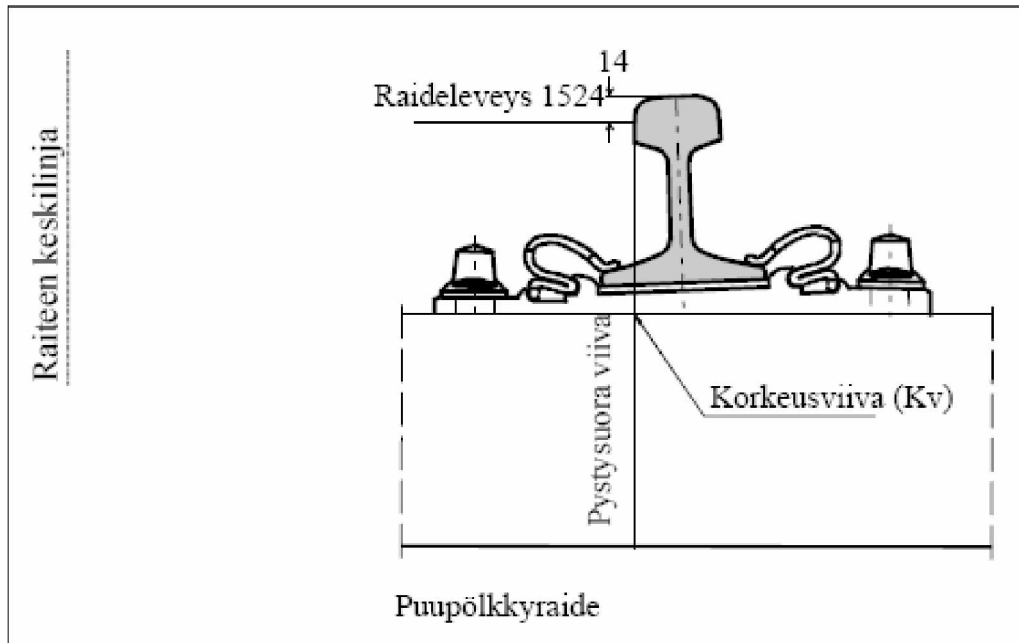


Kuva 2 Raiteen korkeusviiva ja keskilinja /1/

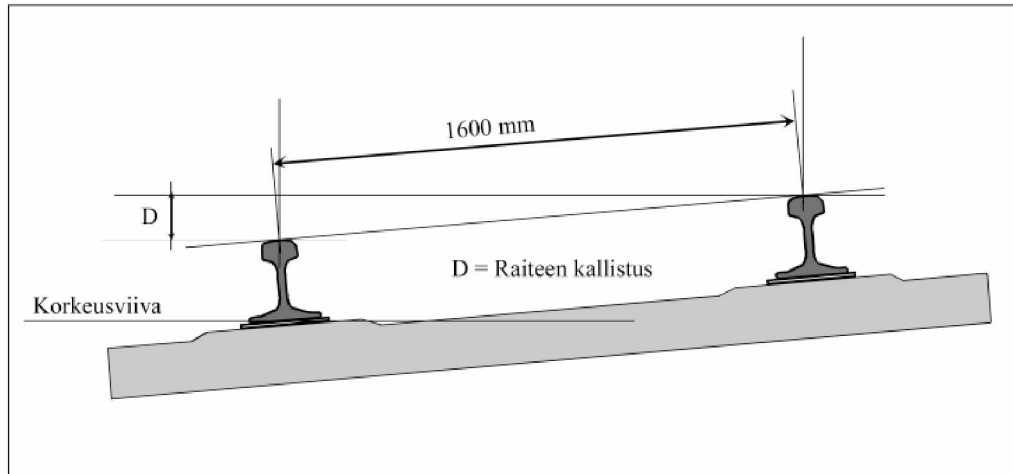
Raiteen korkeusviiva määrittää raiteen korkeussuunnan sijainnin. Se on perusmitta-taso myös raiteen rakenteen ja muiden kohteiden korkeussuunnan mitoituksessa. Korkeusviivan sijainti raiteessa on aluslevyn tai välilevyn alapinnan tasossa kiskon kulkureunan kohdalla (kuvat 3 ja 4). Korkeusviiva on kallistetussa raiteessa alemman kiskon korkeus (kuva 2) /1/. Aluslevy on kiskon ja yleensä puuratapölkyn välissä oleva levy, joka asettaa kiskon oikeaan kallistukseen ratapölkyn päällä, jakaa kiskon voimat riittävän laajalle alueelle ratapölkyn pinnalla ja jonka kautta useimmissa kiskonkiinnitystyypeissä kisko kiinnitetään ratapölkkyyn. Välilevy on kiskon ja yleensä betonirata-pölkyn välissä oleva joustava levy, joka lisää kiinnityksen joustavuutta ja läpiveto-vastusta sekä jakaa kiskon voimat tasaisesti koko kiinnitysalustalle.



Kuva 3 Raiteen korkeusviiva kallistamattomassa betonipölkkyraiteessa /1/



Kuva 4 Raiteen korkeusviiva kallistamattomassa puupölkkyraiteessa /1/



Kuva 5 Raiteen kallistus /1/

Raiteen kallistus on sisäkaarteiden puoleisen ja ulkokaarteiden puoleisen kiskon välinen korkeusero kiskojen kulkupintojen kohdalla. Korkeusero mitataan kiskojen päältä, pyörien kulkupinnoilta, 1600 mm:n etäisyydellä toisistaan olevista pisteistä (kuva 5). Käytännön mittaustarkkuudella ja menetelmillä raiteen kallistus voidaan mitata kiskojen selän korkeimpien kohtien korkeuserona /1/.

Raiteen kallistus tehdään niin, että sisäkaarteiden puoleinen kisko pysyy korkeusviivan määräämässä korkeudessa ja ulkokaarteiden puoleista kiskoa korotetaan korkeusviivasta kallistuksen verran ylöspäin /1/.

### 1.3 Poikittaiskiihtyvyys ja kallistuksen vajaus

Junan kulkiessa kaarteessa junaan kohdistuu keskihakuvoima ja sen vastainen voima, joka aiheuttaa matkustajiin kiihtyvyyttä ulkokaarteeseen päin. Raiteen kallistus kompensoi matkustajan kannalta osan keskihakuvoiman vastavoiman aiheuttamasta kiihtyvyydestä. Raiteen tason sivusuuntaista kompensoimatonta kiihtyvyyttä kutsutaan ratatekniikassa yleisesti poikittaiskiihtyvyydeksi.

Jos juna kulkee kaarteessa kaarteiden tasapainonopeudella, matkustajiin ei kohdistu ollenkaan poikittaiskiihtyvyyttä, koska raiteen kallistus kompensoi sen kokonaan. Kaarteessa on tämän kaarresäteen, raiteen kallistuksen ja junanopeuden tasapainotilanne. Kaarteessa on siis edellä mainitun muuttujajyhdistelmän tasapainokallistus eli teoreettinen kallistus. Raiteen kaarteisiin ei yleensä kuitenkaan määritetä tasapainokallistusta, vaan kallistus jätetään vähän vajaaksi ja käytetään ns. normaalikallistusta. Normaalikallistus jättää vähän poikittaiskiihtyvyyttä ja matkustajille tunteen, että mennään kaarteessa.

Raidegeometrian mitoitus perustuu joko kallistuksen vajaan tai poikittaiskiihtyvyyttä käyttävään menetelmään. Kallistuksen vajaus on poikittaiskiihtyvyyden seuraus ja kuvaa poikittaiskiihtyvyyden suuruutta. Se käyttäytyy ilmiönä ja numeerisena arvona kuten poikittaiskiihtyvyys. Ne poikkeavat toisistaan suuruudeltaan ja mittayksiköltään ja lasketaan eri kaavoilla. Kaavoissa on eri kertoimet, mutta kaarteiden muuttujien arvot (kaarresäde, raiteen kallistus, siirtymäkaaren pituus) ovat samoilla kohdilla kaavoissa ja muuttujien arvojen muutoksilla on samanlainen vaikutus kummankin suureen lopputulokseen.

Kun juna kulkee suoralta kaarteeseen, poikittaiskiihtyvyys muuttuu suoran nollasta kaarteeseen arvoon. Kaarteeseen päässä on yleensä siirtymäkaaret, joiden kohdalla suora muuttuu ympyränkaareksi. Muutos poikittaiskiihtyvyyteen tapahtuu siirtymäkaaren matkalla. Muutos aiheuttaa nykyksen, joka tarkoittaa kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutosta aikayksikköä kohden. Muutos tapahtuu siirtymäkaaren matkaan käytetyllä ajalla.

Nykyästä vastaava suure kallistuksen vajoasta käytävässä mitoitusmenetelmässä on kallistuksen vajoituksen muutosnopeus. Se tarkoittaa kallistuksen vajoituksen muutosta aikayksikköä kohden. Kallistuksen vajoituksen muutos suoran nollassa arvosta ympyränkaareen arvoon tapahtuu siirtymäkaaren matkalla.

Näille ja muille tärkeille käsitteille kaarteiden geometrian mitoituksessa on ohjeissa määritelty mm. seuraavat termit /1/:

**Kallistuksen vajoituksella ( $J$ )** tarkoitetaan sitä tasapainokallistuksen ja todellisen kallistuksen välistä puuttuvaa kallistusta, joka aiheuttaa poikittaiskiihtyvyyttä ulkokaarteeseen päin, kun kallistus on teoreettista kallistusta pienempi.

**Kallistuksen vajoituksen muutos ajan funktiona ( $dJ/df$ )** tarkoittaa kallistuksen vajoituksen muutosta kulkuajan suhteen ja vastaa samaa ilmiötä kuin nykyys. Esimerkiksi 35 mm/s tarkoittaa, että yhden sekunnin aikana kuljetulla matkalla kallistuksen vajoituksen muutos on 35 mm.

**Kallistusviiste** on raiteen osuus, jossa raiteen kallistus muuttuu. Kallistuksen muutos toteutetaan yleensä siirtymäkaaren matkalla. Kallistusviisteinä voidaan käyttää suoraa kallistusviistettä tai S-kallistusviistettä.

**Liikakallistus** on tasapainokallistuksen ja todellisen kallistuksen ero silloin, kun todellinen kallistus on tasapainokallistusta suurempi. Liikakallistus aiheuttaa poikittaiskiihtyvyyttä sisäkaarteeseen päin.

**Mitoitusnopeus** on raiteella käytettävä tai käyttöön otettava raiteen suurin nopeus, joka on geometrian mitoituksen perusteena. Se määritellään liikenteellisten tavoitteiden mukaan.

**Nykyys ( $da_q/df$ )** tarkoittaa kallistuksen vajoituksen muutosta kulkuajan suhteen eli poikittaiskiihtyvyyden muutosta.

**Poikittaiskiihtyvyys ( $a_q$ )** tarkoittaa keskeisvoiman aiheuttamaa vaakasuuntaista kiihtyvyyttä. Kaarteissa poikittaiskiihtyvyyttä kompensoidaan raiteen kallistuksella.

**Tasapainokallistus eli teoreettinen kallistus ( $D_{EQ}$ )** on raiteen kallistus, jolla tietyllä nopeudella kulkevaan junaan ei kohdistu poikittaiskiihtyvyyttä raiteen tasossa. Poikittaiskiihtyvyys kaareissa tällä nopeudella on kompensoitu kokonaan raiteen kallistuksella ja kallistuksen vajoituksen arvo on nolla.

Muita tärkeitä käsitteitä ovat näiden lisäksi mm. erilaiset nopeus-, kaarresäde-, raiteen kallistus-, kallistusviisteiden ja siirtymäkaaren pituus -käsitteet, jotka esitellään myöhemmin.

## 2 Raidegeometrian elementit

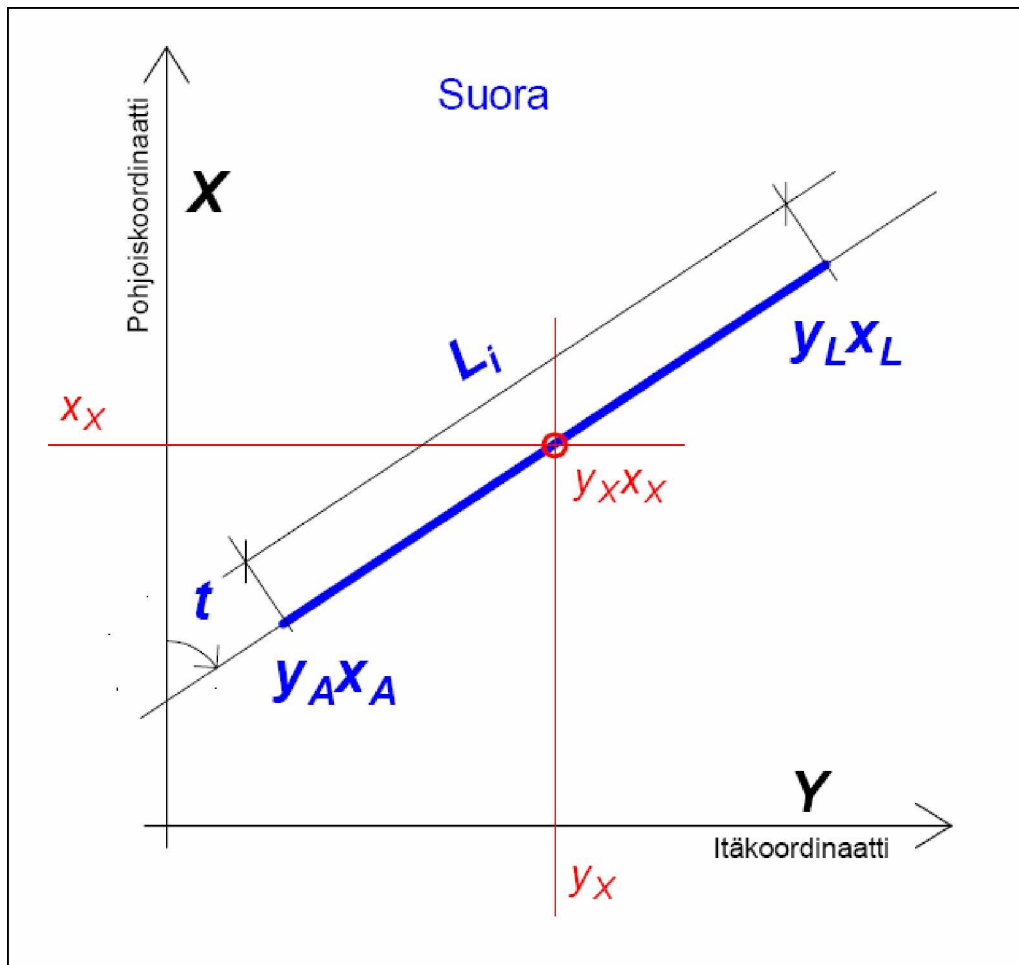
### 2.1 Vaakageometrian elementit

Raiteen vaakageometria muodostuu vaakageometrian elementeistä. Näitä vaakageometriassa käytettäviä elementtejä ovat suora, ympyränkaari, siirtymäkaari ja vaihteet. Elementeille on määriteltävä yksilöllinen tyyppi, parametrit ja sijainti, jotta ne tulevat osaksi geometriaa. Raide muodostetaan yhdistämällä nämä määritellyt elementit. Raiteesta tai raiteita yhdistämällä muodostuu rata ja liikennepaikan raiteisto. Pohjana on yksittäisen elementin mitoitus, mutta se on tehtävä yhtenä osana suurempaa kokonaisuutta niin, että yhdistetystä kokonaisuudesta tulee tavoitteiden mukainen, vaatimukset täyttävä ja toimiva ratkaisu.

Vaakageometrian suunnittelun yhteydessä suunnitellaan myös raiteen kallistus, vaikka se ei ole vaakageometrian elementti. Raiteen kallistus ja vaakageometria yhdessä muodostavat sen geometrisen mitoituksen. Raiteen kallistuksen mitoitus on kiinteästi yhteydessä vaakageometrian mitoitukseen ja päinvastoin. Raiteen kallistus vaikuttaa merkittävästi raiteella mahdolliseen nopeuteen. Erityisesti linjan raiteella ja liikennepaikan läpikulkuraiteilla raiteen geometrian mahdollistama nopeus on tärkeä geometriasuunnittelun peruste.

Vaakageometrian ja raiteiston suunnittelu tehdään yleisimmin tietokoneen suunnitteluohjelmalla. Ohjelmat sisältävät geometrian elementtien laskentakaavat eikä suunnittelijan tarvitse yleensä itse laskea kaavoilla arvoja. Suunnittelijan on kuitenkin tunnettava elementtien yleiset ominaisuudet ja arvojen riippuvuus toisistaan jotta hän voi ohjata ohjelman toimintaan haluamallaan tavalla. Elementtien ominaisuudet ovat yleistä geometriaa ja niiden riippuvuus toisistaan selviää elementtien kaavoista.

## 2.1.1 Suora



Kuva 6 Suora (R Taimela 2011)

Kuvassa 6 ja kaavoissa käytetään seuraavia muuttujia:

- $y_A X_A$  = suoran alkupiste [m]
- $y_L X_L$  = suoran loppupiste [m]
- $y_i X_i$  = suoralla oleva tunnettu piste [m]
- $y_2 X_2$  = suoralla oleva toinen tunnettu piste [m]
- $L_i$  = suoran pituus [m]
- $t$  = suoran suuntakulma [gon]
- $y_X X_X$  = suoralla oleva mielivaltainen piste [m]

Suora on suora viiva, joka voi olla joko määrätyn pituinen tai määräämättömän pituinen. Valmiissa raidegeometriassa suora on aina määrätyn pituinen, mutta geometrian suunnitteluvaiheessa käytetään usein määräämättömän pituisia suoria lähtötietoina ja apusuorina mm. ennen kuin kaarteet niiden väliin on tarkasti määritelty.

Yleisessä geometriassa määrätyn pituista suoraa kutsutaan janaksi, mutta nimitystä ei yleensä käytetä raidegeometrian yhteydessä.

Määrätyn pituinen suora on kahden pisteen välinen suora. Sen määrittävät pisteet ovat sen alku- ja loppupiste,  $y_A X_A$  ja  $y_L X_L$ . Sen parametri on suoran pituus  $L_i$ . Vaihto-

ehtoisesti määrätyn pituinen suora voi olla määritetty joko sen alkua- tai loppupisteellä,  $y_A x_A$  tai  $y_L x_L$ , yhdessä suoran pituuden  $L_i$  ja suoran suuntakulman  $t$  kanssa.

Määräämättömän pituinen suora voi olla kahden pisteen kautta kulkeva tai yhden pisteen kautta määrättyssä suuntakulmassa kulkeva suora. Sen määrittävät suoralla olevat tunnetut pisteet  $y_1 x_1$  ja  $y_2 x_2$  (jotka vastaavat kuvassa 6 olevia pisteitä  $y_A x_A$  ja  $y_L x_L$ ). Niistä voidaan laskea suoran suuntakulma,  $t$ . Vaihtoehtoisesti määräämättömän pituinen suora voi olla määritetty vain yhden pisteen, joko  $y_1 x_1$  tai  $y_2 x_2$ , kautta suunnassa  $t$  kulkevaksi. Kun tunnetaan suoran kaksi pistettä, voidaan laskea suoran suuntakulma tai kun tunnetaan suoralla oleva yksi piste ja sen suuntakulma, voidaan laskea lisää pisteitä suoralle.

Kaavoissa pisteiden koordinaattien  $y_1 x_1$  ja  $y_2 x_2$  paikalla voidaan käyttää myös pisteiden koordinaatteja  $y_A x_A$  ja  $y_L x_L$ .

Kahden pisteen välisen suoran (janan) pituus:

$$L_i = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2} \quad [\text{m}] \quad (2.1:1)$$

Suoran suuntakulma:

$$t = \arctan \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad [\text{gon}] \quad (2.1:2)$$

Suoran yhtälö:

$$(y - y_1) = \frac{(y_1 - y_2)}{(x_1 - x_2)}(x - x_1) \quad (2.1:3)$$

Edellisestä kaavasta 2.1:3 voidaan ratkaista ja laskea muita pisteitä ( $y_x x_x$ ) suoralle toisen (joko  $y_x$  tai  $x_x$ ) koordinaatin perusteella kaavoilla 2.1:4 ja 2.1:5:

$$y_x = \frac{(y_1 - y_2)}{(x_1 - x_2)}(x_x - x_1) + y_1 \quad (2.1:4)$$

$$x_x = \frac{(x_1 - x_2)}{(y_1 - y_2)}(y_x - y_1) + x_1 \quad (2.1:5)$$

Suoran pisteestä ( $y_1 x_1$ ) etäisyydellä ( $L_x$ ) suoralla olevan pisteen ( $y_x x_x$ ) koordinaatit voidaan laskea suoran suuntakulman ( $t$ ) avulla:

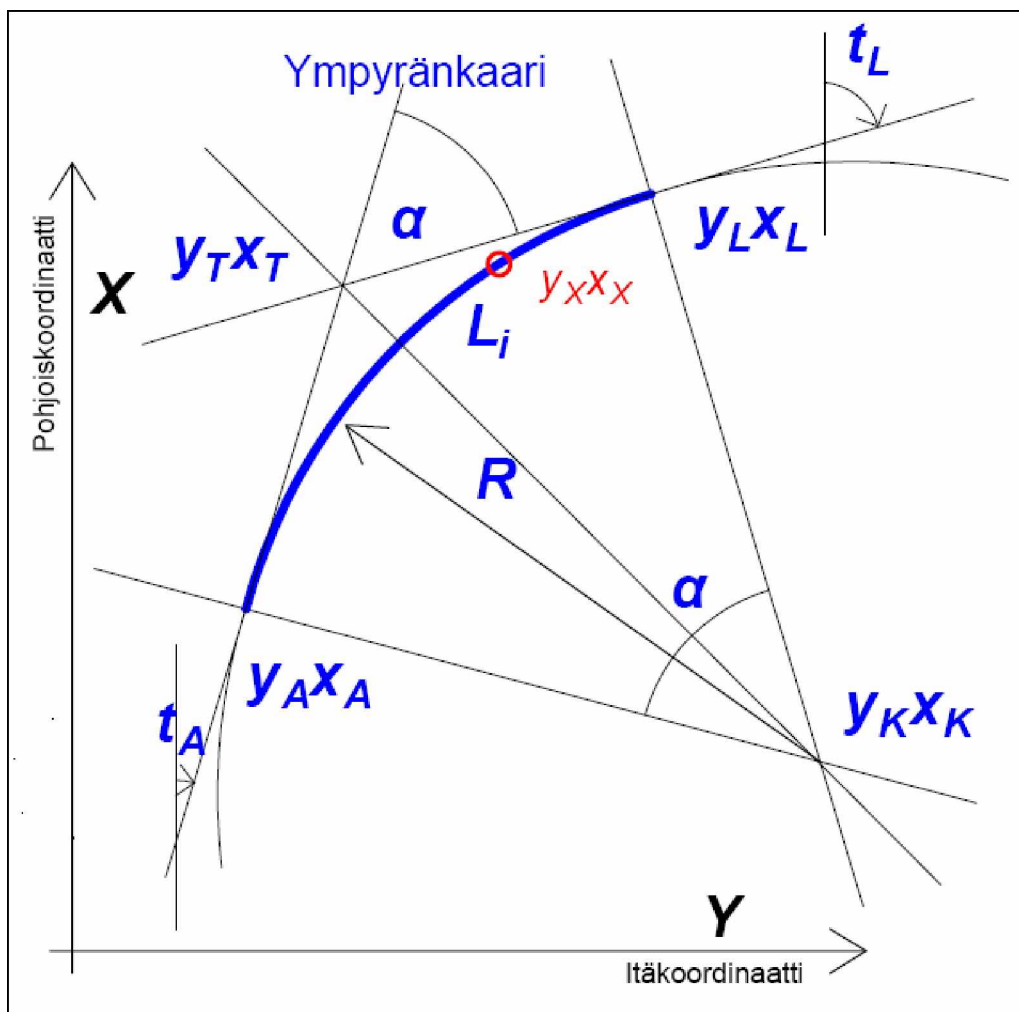
$$y_x = y_1 + \sin(t) \times L_x \quad (2.1:6)$$

$$x_x = x_1 + \cos(t) \times L_x \quad (2.1:7)$$

### 2.1.2 Ympyränkaari

Määritelmän mukaan raidegeometriassa kaarre käsittää vaakatasossa tapahtuvan suunnanmuutoksen elementit. Kaarteessa elementit muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden, jossa raiteen suunta muuttuu koko matkan samaan suuntaan. Eri suuntiin kääntyvät kaarteet voivat myös muodostaa yhtenäisen kokonaisuuden, mutta ne ovat silloin eri kaarteita. Yleisimmin kaarre on ympyränkaari ja siihen liittyvät siirtymäkaaret. Kaarre voi olla myös pelkkä ympyränkaari tai useita eri ympyränkaaria ja mahdollisia siirtymäkaaria käsittävä korikaari /2/.

Ympyränkaarta käytetään raidegeometrian kaarteissa joko yhdessä siirtymäkaarien kanssa tai yksinään pelkkänä ympyränkaarena. Tässä kohdassa käsitellään pelkän ympyränkaaren geometriaa.



Kuva 7 Ympyränkaari (R Taimela 2011)

Kuvassa 7 ja kaavoissa käytetään seuraavia muuttujia:

- $y_K X_K$  = ympyrän keskipiste [m]
- $y_A X_A$  = ympyränkaaren alkupiste [m]
- $y_L X_L$  = ympyränkaaren loppupiste [m]
- $y_T X_T$  = ympyränkaaren tangenttien leikkauspiste [m]
- $R$  = ympyränkaaren kaarresäde [m]
- $t_A$  = ympyränkaaren alkusuunta [gon]



$t_L$  = ympyränkaaren loppusuunta [gon]  
 $\alpha$  = ympyränkaaren keskuskulma [gon]  
 $L_i$  = ympyränkaaren pituus [m]  
 $\pi = 3,14159265$   
 $y_{X X_X}$  = ympyränkaarella oleva mielivaltainen piste [m]

Ympyränkaari on osa ympyrää, jonka säde on ympyränkaaren säde ja kaaren säteen keskipiste on ympyrän keskipiste.

Ympyränkaari voi olla määrätty monin eri tavoin. Kun tunnetaan riittävästi sen määrittäviä tekijöitä, voidaan laskea muut:

- alkusuora, loppusuora ja kaarresäde
- ympyrän keskipiste, alkupiste ja loppupiste
- kaarresäde, kaarenpituus, ympyrän keskipiste, alkusuunta
- ympyrän keskipiste, kaarresäde, alkusuunta ja loppusuunta
- ympyrän keskipiste, keskuskulma ja alku- tai loppupiste
- ympyrän keskipiste, kaarresäde, kaaren pituus ja alku- tai loppusuunta
- jne.

Ympyränkaaren tärkeät pisteet ovat ympyrän keskipiste,  $y_K X_K$ , ympyränkaaren alku- ja loppupiste,  $y_A X_A$  ja  $y_L X_L$ , ja ympyränkaaren tangenttien leikkauspiste,  $y_T X_T$ . Ympyränkaaren alku- ja loppupisteitä,  $y_A X_A$  ja  $y_L X_L$  kutsutaan myös ympyränkaaren tangenttipisteiksi. Sen parametrit ovat kaaren säde  $R$ , keskuskulma  $\alpha$  ja ympyränkaaren pituus  $L_i$ .

Ympyränkaaren pituus:

$$L_i = 2 \pi R \frac{\alpha}{400} \quad [\text{m}] \quad (2.1:8)$$

Ympyränkaaren keskuskulma  $\alpha$  on keskipisteestä tangenttipisteisiin piirrettyjen säteiden välinen kulma. Se on yhtä suuri kuin loppusuunnan ja alkusuunnan erotus eli ympyränkaaren tangenttien suuntakulmien välinen erotus tangenttien leikkauspisteessä,  $y_T X_T$ .

$$\alpha = t_L - t_A \quad [\text{gon}] \quad (2.1:9)$$

Ympyränkaaren keskuskulma ympyränkaaren pituuden perusteella:

$$\alpha = \frac{400 L_i}{2 \pi R} \quad [\text{gon}] \quad (2.1:10)$$

Ympyrän yhtälö:

$$(x - x_K)^2 + (y - y_K)^2 = R^2 \quad (2.1:11)$$

Jos on ratkaistava ympyränkaarella olevan pisteen  $y_X X_X$  toinen koordinaatti toisen perusteella, kaava johtaa toisen asteen yhtälöön. Siinä tuntemattomaksi jää ratkaistava toinen koordinaatti,  $y_X$  tai  $x_X$ . Yhtälölle on kaksi ratkaisuvaihtoehtoa. Tietty  $y$  tai  $x$

-arvo leikkaa ympyrän kahdessa kohdassa. Kaikille muille kaavan muuttujan arvoille, paitsi laskettavalle toiselle koordinaatille  $y_X$  ja  $x_X$  saadaan numeeriset arvot. Yhtälön ratkaisu on tässä muodossa kuitenkin melko hankalaa.

$$x_X^2 + y_X^2 - (2x_K)x_X - (2y_K)y_X + x_K^2 + y_K^2 - R^2 = 0 \quad (2.1:12)$$

Kaavat ja ratkaisu muuttuvat helpommaksi, jos otetaan käyttöön tilapäinen koordinaatiston, jonka origo on ympyrän keskipisteessä  $y_K x_K$ . Tällöin ympyrän yhtälö on yksinkertaista ratkaista. Tunnetun koordinaatin lukuarvo muunnetaan tilapäiseen koordinaatistoon, ratkaistaan laskettava koordinaatti ja muunnetaan se sitten alkupe-  
räiseen koordinaatistoon. Tässä, kuten yhtälöllä ratkaistaessa saadaan kaksi arvoa, joista valitaan se, kumpi arvo sopii paremmin laskettavaan tapaukseen.

$$x^2 + y^2 = R^2 \quad (2.1:13)$$

$$y = \pm\sqrt{R^2 - x^2} \quad (2.1:14)$$

$$x = \pm\sqrt{R^2 - y^2} \quad (2.1:15)$$

Suuntakulma  $t_X$  ympyrän keskipisteestä  $y_K x_K$  sen kehällä olevaan pisteeseen  $y_X x_X$ :

$$t_X = \arctan \left( \frac{y_X - y_K}{x_X - x_K} \right) \quad [\text{gon}] \quad (2.1:16)$$

Ympyrän tangentin suuntakulma  $t_{XTAN}$  ympyrän kehän pisteessä  $y_X x_X$  on:

$$t_{XTAN} = t_X + 100 \quad [\text{gon}] \quad (2.1:17)$$

Ympyrän kehällä, sen keskipisteestä suunnassa  $t_X$  olevan pisteen ( $y_X x_X$ ) koordinaatit:

$$y_x = y_K + \sin(t_X) \times R \quad (2.1:18)$$

$$x_x = x_K + \cos(t_X) \times R \quad (2.1:19)$$

### 2.1.3 Siirtymäkaari

Suoran ja ympyränkaaren välissä käytetään yleensä siirtymäkaarta, jotta raiteen kaarevuudessa ei tapahdu äkkinäistä pistemäistä muutosta. Siirtymäkaareissa kaarevuuden muutos suoran arvosta ympyränkaaren arvoon tapahtuu pidemmällä matkalla. Kaarevuus ( $1/R$ ) on kaarresäteen  $R$  käänteisarvo. Suoralla kaarevuus on nolla koska  $R$  on ääretön ja ympyränkaareissa  $1/R$ .

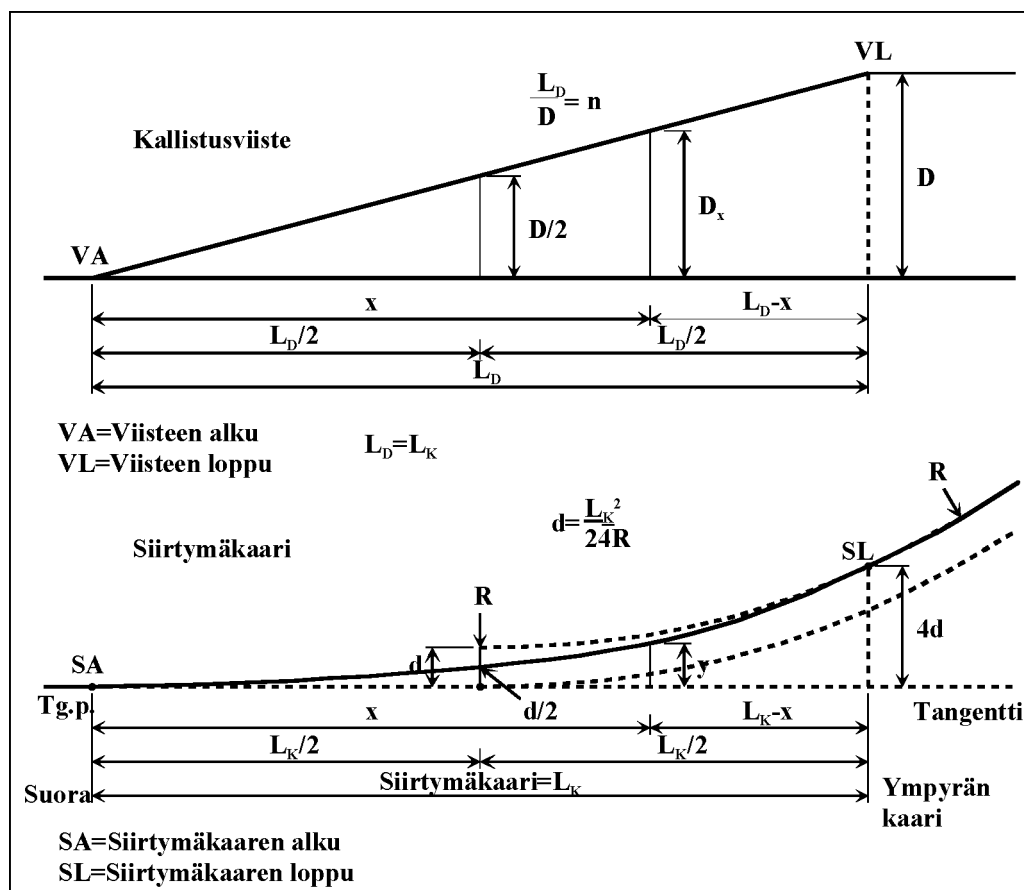
Matkustusmukavuus paranee ja raiteeseen kohdistuvat voimat pienenevät, kun muutos tapahtuu pidemmällä matkalla. Junaan kohdistuva poikittaiskiihtyvyyden (kallistuksen vajoitus) muuttuu suoran nolla-arvosta kaarteeseen vakioarvoon siirtymäkaaren matkalla. Jos kaarteessa ei ole siirtymäkaarta, poikittaiskiihtyvyyden (kallistuksen vajoituksen) muutos tapahtuu pistemäisesti suoran ja ympyränkaaren rajapisteessä. Poikit-

taiskiihtyvyyden muutosnopeus, jota kutsutaan nykäykseksi (kallistuksen vajauksen muutosnopeus) tulee suureksi.

Jos kaarteessa on raiteen kallistusta, kaarteessa käytetään siirtymäkaaria. Raiteen kallistus muuttuu suoran nolla-arvosta kaarteeseen arvoon siirtymäkaaren kohdalle tulevan kallistusviisteen matkalla. Myös kaarteessa, jossa ei ole raiteen kallistusta, mutta kallistuksen vajauksen muutosnopeus (nykäys) ympyränkaaren alkupisteessä tulee liian suureksi, käytetään siirtymäkaaria.

Korikaari on kaarre, jossa on yhdistetty peräkkäin vähintään kaksi samaan suuntaan kääntyvää erisäteistä ympyränkaarta. Korikaari käsitellään tarkemmin kohdassa 2.1.5. Korikaareissa eri ympyränkaarien välissä käytetään siirtymäkaarta ja kallistusviistettä, jos ympyränkaarissa on erilainen kallistus tai kallistuksen vajauksen muutosnopeus (nykäys) tulee muuten liian suureksi.

Kun siirtymäkaari ja kallistusviiste ovat samalla kohdalla, raiteen kallistus muuttuu samalla, kun raiteen kaarevuus muuttuu (kuva 8). Kuljettaessa suoralta ympyränkaarelle, kaarevuuden muutos siirtymäkaareissa lisää kallistuksen vajausta (poikittaiskiihtyvyyttä) mutta samalla kallistuksen lisääntyminen kallistusviisteessä pienentää kallistuksen vajausta (poikittaiskiihtyvyyttä) samassa suhteessa.



Kuva 8 Siirtymäkaari ja suora kallistusviiste /1/

Kaarevuus muuttuu suoran ja ympyränkaaren välisen siirtymäkaaren matkalla nollassa arvoon  $1/R$ . Kaarevuusarvosta voidaan laskea kaarresäteen paikallinen arvo. Kun siirtymäkaari on sen muotoinen, että kaarevuus muuttuu suoraviivaisesti siirtymäkaaren matkalla, paikallinen kaarresäteen arvo siirtymäkaareissa voidaan laskea kaavalla 2.1:20:

$$R_x = \frac{RL_K}{x} \quad [\text{gon}] \quad (2.1:20)$$

$R$  = ympyränkaaren säde [m]

$R_x$  = kaarresäde siirtymäkaaren kohdassa  $x$  [m]

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus [m]

$x$  = tarkastelu kohta siirtymäkaaren alusta, suoran puoleisesta päästä

SA [m]

Poikkeustapauksia lukuun ottamatta siirtymäkaari ja kallistusviiste ovat samanpituisia ja ne ovat samalla kohdalla,  $L_K = L_D$ . Raiteen kallistus muuttuu suoran kallistusviisteen kohdalla suoraviivaisesti ja raiteen kallistus viisteen kohdassa  $x$  voidaan laskea suorassa kallistusviisteessä kaavalla 2.1:21:

$$D_x = \frac{xD}{L_D} \quad [\text{mm}] \quad (2.1:21)$$

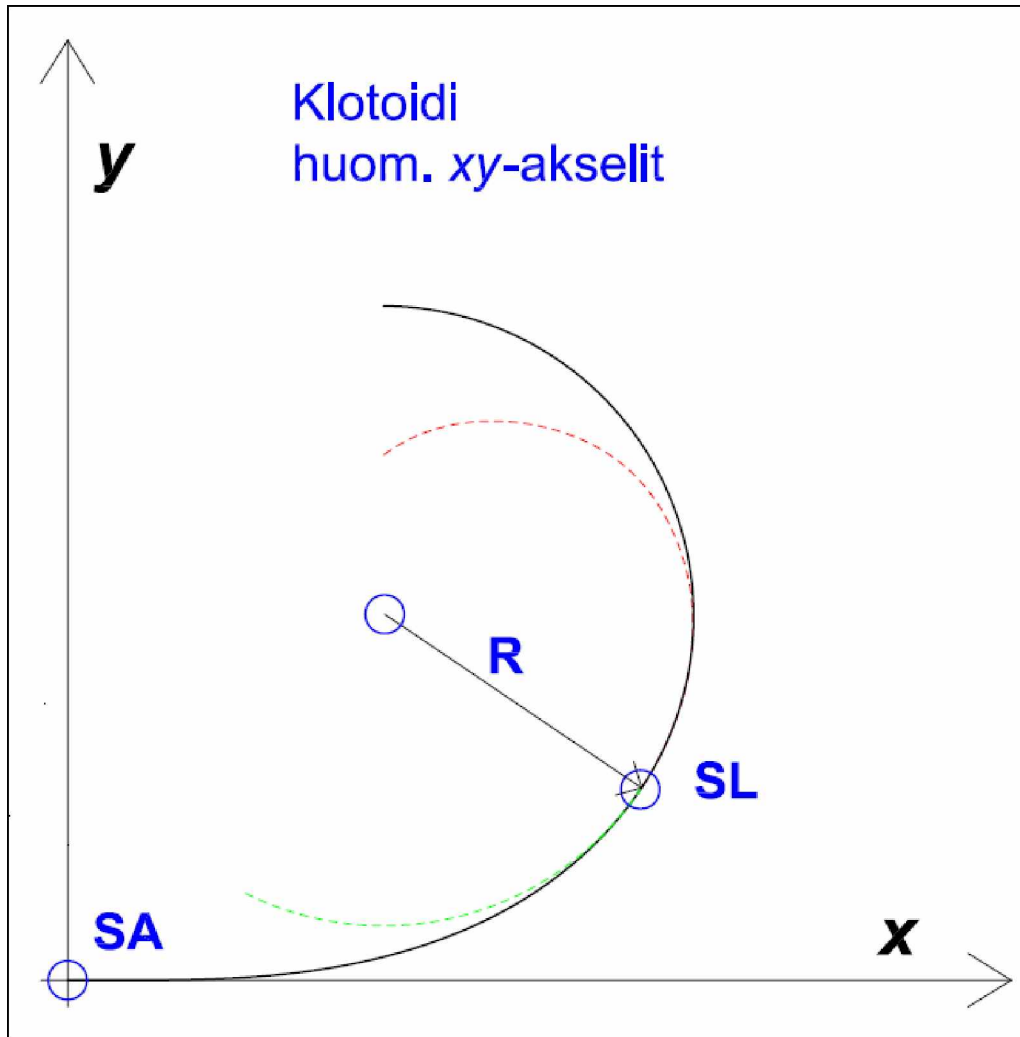
$D$  = raiteen kallistus ympyränkaareissa [mm]

$D_x$  = raiteen kallistus kallistusviisteen kohdassa  $x$  [mm]

$L_D$  = kallistusviisteen pituus x-akselia pitkin [m]

Siirtymäkaari vaatii tilaa ympyränkaaren ja suoran teoreettisen tangenttipisteen kohdalle koska siirtymäkaareissa kaarresäde alkaa äärettömästä ja on koko matkan ympyränkaaren sädettä suurempi. Ympyränkaari siirtyy siirtymäkaaren vuoksi suoralta sivuun ympyrän keskipisteen suuntaan  $\sim d$  pituisen matkan. Myös siirtymäkaaren alkupiste siirtyy  $\sim L_K/2$  matkan suoralle ja siirtymäkaaren loppupiste siirtyy  $\sim L_K/2$  matkan ympyränkaarelle pelkän ympyränkaaren ja suoran teoreettisesta tangenttipisteistä. Nämä mitat riippuvat siirtymäkaaren pituudesta ja kasvavat siirtymäkaaren pituuden kasvaessa.

Siirtymäkaarina voidaan käyttää erilaisia matemaattisia käyriä, joissa kaarevuus muuttuu käyrän matkalla. Tällaisia käyriä ovat mm. klotoidi, kolmannen asteen käyrä, neljännen asteen käyrä, sinikäyrä jne. Yleisimmin siirtymäkaarena käytetään Suomessa klotoidia, jossa kaarevuus muuttuu lineaarisesti siirtymäkaarella kuljettuun matkaan verrattuna ja se on näin ollen geometrisesti ihanteellisen muotoinen siirtymäkaari /1/.

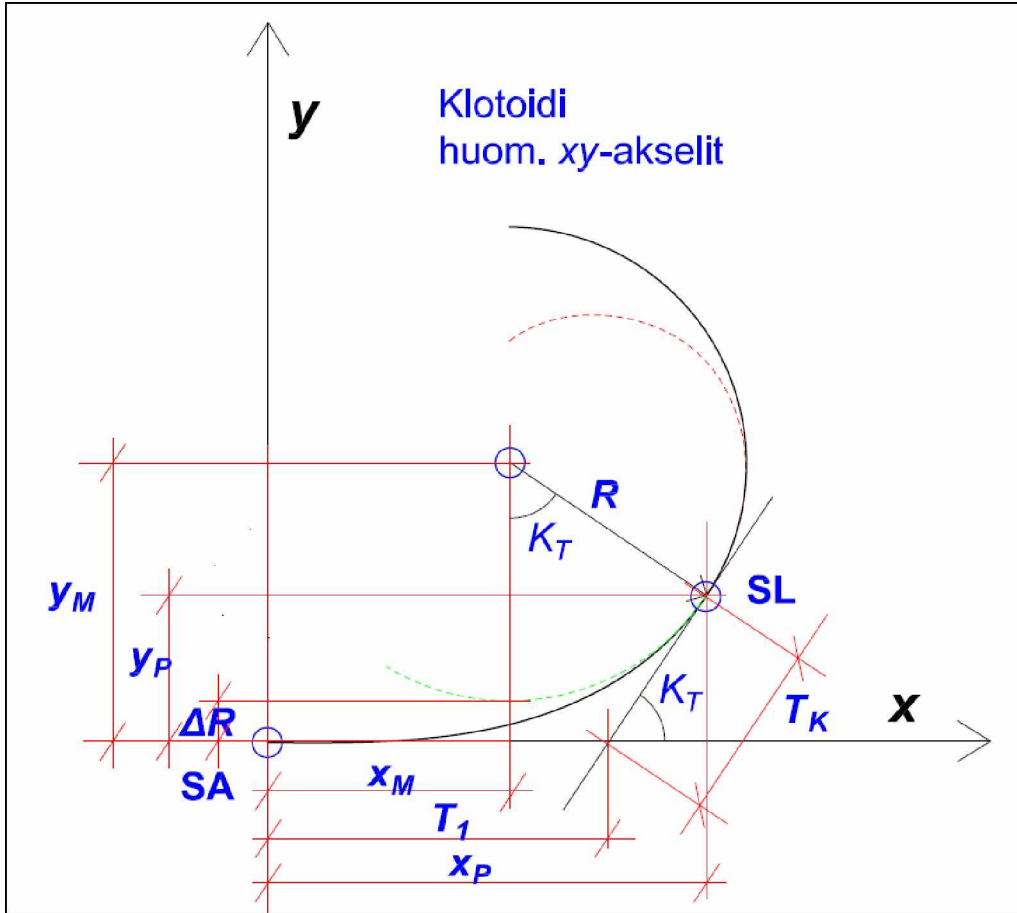


Kuva 9 Klotoidi (R Taimela 2011)

Klotoidin muoto alkaa suorana ja jatkuu siitä koko matkan pienenevällä kaarresäteellä (kuva 9). Kaarresäde päättyy ympyränkaaren säteeseen klotoidin pituisella matkalla. Koordinaatisto on kuvissa 9 ja 10 matemaattinen koordinaatisto. Kaavat ja kuvat pätevät myös geodeettisessa koordinaatistossa, mutta kuva näyttää erilaiselta, kun se katsotaan altapäin, oikea reuna ylöspäin.

Klotoidin matemaattinen käsittely kaavoista laskemalla on erittäin työlästä. Yleensä laskenta tehdään ohjelmallisesti laskimella tai tietokoneella. Laskenta tehdään ensin klotoidin paikallisessa laskentakoordinaatistossa, jolloin kaavat ovat yksinkertaisempia. Laskennan valmistuttua laskentakoordinaatiston  $xy$ -koordinaatit muunnetaan suunnittelukoordinaatistoon.

Geometrian suunnittelijalle saadaan laskentaohjelmista tuloksena alkupisteen (SA) ja loppupisteen (SL) koordinaatit ja suuntakulmat sekä alku- ja loppusäteet. Näillä tiedoilla klotoidi voidaan liittää muuhun geometriaan. Ohjelmista saadaan myös klotoidin käyrällä olevien pisteiden koordinaatteja, jotka ovat tärkeitä mm. piirtämisessä ja paikalleenmittauksessa.



Kuva 10 Klotoidin muuttujat (R Taimela 2011)

Kuvassa 10 klotoidi on musta viiva siirtymäkaaren alkupisteen SA ja siirtymäkaaren loppupisteen SL välillä. Siirtymäkaaren loppupisteestä SL jatkuva musta viiva on ympyränkaari. Punainen katkoviiva on klotoidin jatke ja vihreä katkoviiva ympyränkaaren jatke. Kuvassa ja kaavoissa käytettävät muuttujat ovat:

- $A$  = klotoidin parametri
- $R$  = ympyränkaaren säde
- $\Delta R$  = ympyränkaaren lyhin etäisyys klotoidin tangentista
- $L_K$  = klotoidin pituus
- $K_T$  = klotoidin tangenttien välinen kulma
- $x_{PY_P}$  = klotoidin päätepisteen koordinaatit
- $x_{MY_M}$  = ympyrän keskipisteen koordinaatit
- $T_1$  = klotoidin pitkä tangentti, siirtymäkaaren alkupisteestä tangenttien leikkauspisteeseen
- $T_K$  = klotoidin lyhyt tangentti, siirtymäkaaren loppupisteestä tangenttien leikkauspisteeseen

Klotoidin yhtälö:

$$RL_K = A^2 \quad (2.1:22)$$

Klotoidin tangenttien välinen kulma:

$$K_T = \frac{L_K^2}{2A^2} \quad [\text{rad}] \quad (2.1:23)$$

Tämä voidaan muuntaa:

$$K_T = \frac{L_K^2}{2A^2} = \frac{L_K}{2R} = \frac{A^2}{2R^2} \quad [\text{rad}] \quad (2.1:24)$$

Klotoidin päätepisteen koordinaatit:

$$x_P = \int_0^{L_K} \cos \frac{L_K}{2A^2} dL_K \quad (2.1:25)$$

$$y_P = \int_0^{L_K} \sin \frac{L_K}{2A^2} dL_K \quad (2.1:26)$$

Nämä saadaan kosinin ja sinin sarjakehitelmiä integroimalla muotoon:

$$x_P \approx L_K - \frac{L_K^3}{40R^2} + \frac{L_K^5}{3456R^2} \dots \quad (2.1:27)$$

$$y_P \approx \frac{L_K^2}{6R} - \frac{L_K^4}{336R^3} + \frac{L_K^6}{42240R^5} \dots \quad (2.1:28)$$

Klotoidin päätepisteen koordinaatit voidaan laskea vaihtoehtoisesti kaavoilla:

$$x_P = A\sqrt{2K_T} \sum_{n=1} (-1)^{n+1} \frac{K_T^{2n-2}}{(2n-2)! \cdot (4n-3)} \quad (2.1:29)$$

$$y_P = A\sqrt{2K_T} \sum_{n=1} (-1)^{n+1} \frac{K_T^{2n-1}}{(2n-1)! \cdot (4n-1)} \quad (2.1:30)$$

Nämä sarjakehitelmät voidaan kirjoittaa myös muotoon:

$$x_P \approx A\sqrt{2K_T} \left( 1 - \frac{K_T^2}{10} + \frac{K_T^4}{216} - \frac{K_T^6}{9360} + \dots \right) \quad (2.1:31)$$

$$y_P \approx A\sqrt{2K_T} \left( \frac{K_T}{3} - \frac{K_T^3}{42} + \frac{K_T^5}{1320} - \frac{K_T^7}{75600} + \dots \right) \quad (2.1:32)$$

Muut määrittävät arvot voidaan laskea nyt kaavoilla:

$$y_M = y_P + R \cos(K_T) \quad (2.1:33)$$

$$x_M = x_P - R \sin(K_T) \quad (2.1:34)$$

$$T_K = \frac{y_P}{\sin(K_T)} \quad [m] \quad (2.1:35)$$

$$T_1 = x_P - T_K \cos(K_T) \quad [m] \quad (2.1:36)$$

$$\Delta R = y_M - R = y_P + R[(\cos K_T) - 1] \quad [m] \quad (2.1:37)$$

Klotoidin matemaattinen käsittely on hankalaa ilman tietokoneohjelmaa. Klotoidin käsittelyä laskimella voi helpottaa käyttämällä klotoidin likiarvona kolmannen asteen käyrää. Kolmannen asteen käyrän kaava 2.1:38 kuvaa hyvin klotoidia, kun liikutaan sen suoralta lähtevällä alkuosalla. Erona on, että kolmannen asteen käyrän mitta  $x$  ja siirtymäkaaren pituus  $L_K$  lasketaan suoraa  $x$ -koordinaattiakselia pitkin kun klotoidissa matkat ovat klotoidia pitkin. Kun raidegeometriassa toimitaan kolmannen asteen käyrän ja klotoidin suoralta alkavalla alkuosalla, ero on pieni.

$y$ -koordinaatti kohdassa  $x, y \ll x$ :

$$y \approx \frac{x^3}{6RL_K} \quad [m] \quad (2.1:38)$$

$y$  =  $y$ -koordinaatti kohdassa  $x$  [m]

$x$  = matka siirtymäkaaren alusta SA  $x$ -akselia pitkin [m]

$R$  = ympyränkaaren säde [m]

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus  $x$ -akselia pitkin [m]

Ympyränkaaren sivusiirtymä:

$$d \approx \frac{L_K^2}{24R} \quad [m] \quad (2.1:39)$$

$d$  = ympyränkaaren sivusiirtymä [m]

$y$ -koordinaatti siirtymäkaaren lopussa:

$$y \approx 4d \approx \frac{L_K^2}{6R} \quad [m] \quad (2.1:40)$$

Klotoidin ja kolmannen asteen käyrän lisäksi Suomessa on käytössä toinen siirtymäkaarityyppi, Helmertin siirtymäkaari /1/. Siitä käytetään myös nimitystä 4. asteen siirtymäkaari. Siirtymäkaaren muoto on 4. asteen käyrä ja sen yhteydessä käytetään S-





Helmertin siirtymäkaaren kaavat:

y-koordinaatti kohdassa x:

$$y \approx \frac{x^4}{6RL_K^2} \quad \text{kun } x \leq L_K/2 \quad [\text{m}] \quad (2.1:41)$$

$$y \approx -\frac{x^4}{6RL_K^2} + \frac{2x^3}{3RL_K} - \frac{x^2}{2R} + \frac{L_K x}{6R} - \frac{L_K^2}{48R} \quad \text{kun } L_K/2 < x \leq L_K \quad [\text{m}] \quad (2.1:42)$$

y = y-koordinaatti kohdassa x [m]

x = matka siirtymäkaaren alusta, suoran puoleisesta päästä SA [m]

R = ympyränkaaren säde [m]

L<sub>K</sub> = siirtymäkaaren pituus [m]

Ympyränkaaren sivusiirtymä Helmertin siirtymäkaareissa:

$$d \approx \frac{L_K^2}{48R} \quad [\text{m}] \quad (2.1:43)$$

d = ympyränkaaren sivusiirtymä [m]

Raiteen kallistus D<sub>x</sub> S-kallistusviisteen alueella kohdassa x lasketaan kaavoilla 2.1:44 ja 2.1:45:

$$D_x = 2D \frac{x^2}{L_D^2} \quad [\text{mm}] \quad \text{kun } x \leq L_D/2 \quad (2.1:44)$$

$$D_x = \frac{D - 2D(L_D - x)^2}{L_D^2} \quad [\text{mm}] \quad \text{kun } L_D/2 < x \leq L_D \quad (2.1:45)$$

D = raitteen kallistus ympyränkaareissa [mm]

D<sub>x</sub> = raitteen kallistus kallistusviisteen kohdassa x [mm]

L<sub>D</sub> = kallistusviisteen pituus x-akselia pitkin [m]

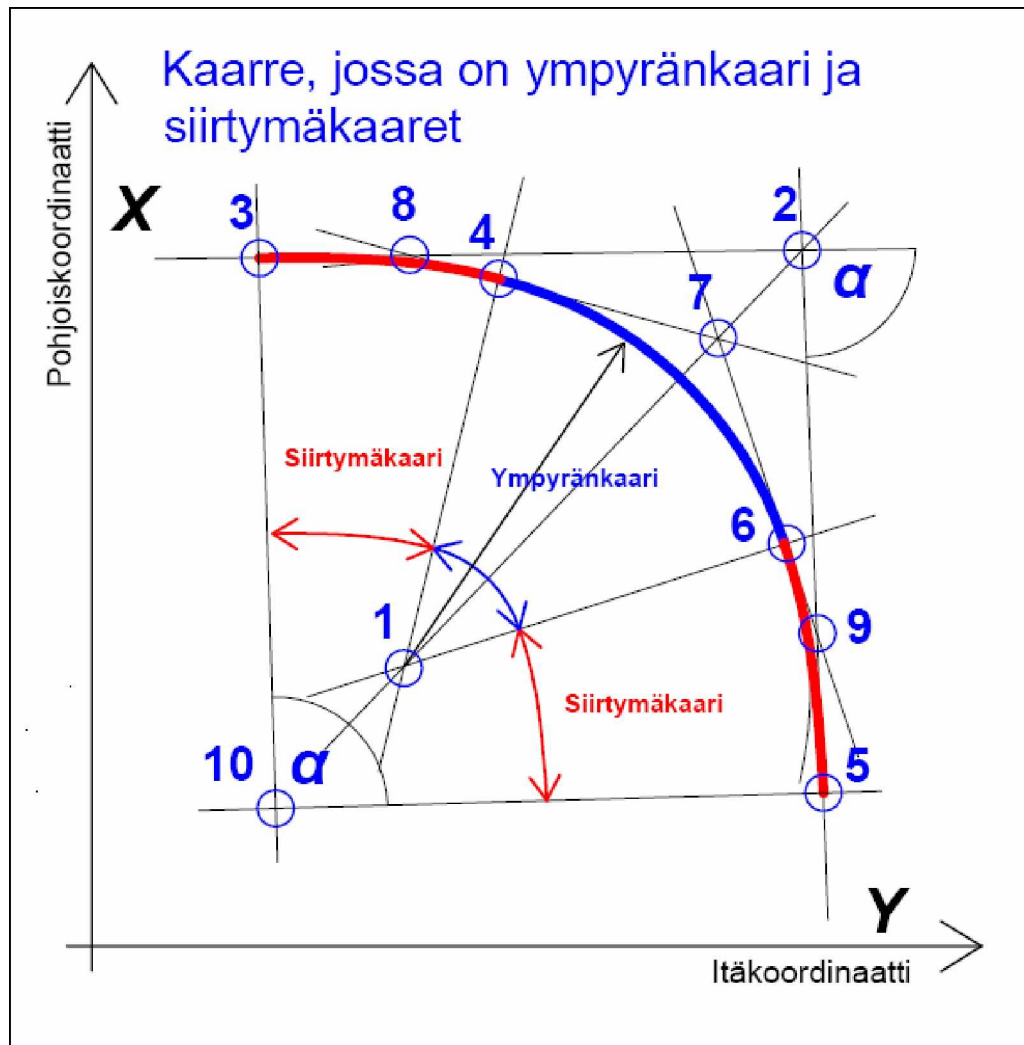
#### 2.1.4 Kaarre siirtymäkaarin

Yleisin kaarre pääraiteella on kaarre, jossa on ympyränkaari ja siirtymäkaaret. Tällainen kaarre muodostuu kolmesta geometrian peruselementistä. Sen osia ovat alun siirtymäkaari, keskiosan ympyränkaari ja lopun siirtymäkaari.

Tällainen kaarre voi olla kahden suoran välinen kaarre tai se voi olla toisena osana S-kaareissa tai yhtenä osana monimutkaisemmissa kaarreyhdistelmissä.

Kaarre voi olla symmetrinen, jolloin siinä on samanpituiset siirtymäkaaret kummasakin päässä. Pääsäännön mukaan kaarteiden siirtymäkaaret tehdään samanpituisiksi. Jos kaarteiden lähellä on esteitä tai kaarre liittyy suoraan muihin kaarteisiin, voidaan joutua käyttämään eripituisia siirtymäkaaria. Tällöin sen kummankin pään siirtymä-

kaarret ja kallistusviisteet on mitoitettava erikseen. Myös raiteen koneellisessa kunnossapidossa on muistettava antaa koneelle kaarteen eri päihin erilaiset ohjausarvot.



Kuva 12 Kaarre, jossa on ympyränkaari ja siirtymäkaaret (R Taimela 2011)

Kuvassa 12 on siirtymäkaarista ja ympyränkaaresta muodostetun symmetrisen kaartein merkittävät pisteet.

- 1 Ympyränkaaren keskipiste
- 2 Kaartein alku- ja loppupistein tangenttien leikkauspiste
- 3 Kaartein alkupiste, siirtymäkaaren alkupiste
- 4 Siirtymäkaaren loppupiste, ympyränkaaren alkupiste
- 5 Kaartein loppupiste, siirtymäkaaren alkupiste
- 6 Ympyränkaaren loppupiste, siirtymäkaaren loppupiste
- 7 Ympyränkaaren alku- ja loppupistein tangenttien leikkauspiste
- 8 Siirtymäkaaren alku- ja loppupistein tangenttien leikkauspiste
- 9 Siirtymäkaaren alku- ja loppupistein tangenttien leikkauspiste.
- 10 Kaartein alkupistein ja loppupistein kohtisuorien leikkauspiste.

Jos kaarre on symmetrinen, eli siinä on samanpituiset siirtymäkaaret, pisteet 1, 2, 7 ja 10 ovat samalla suoralla.

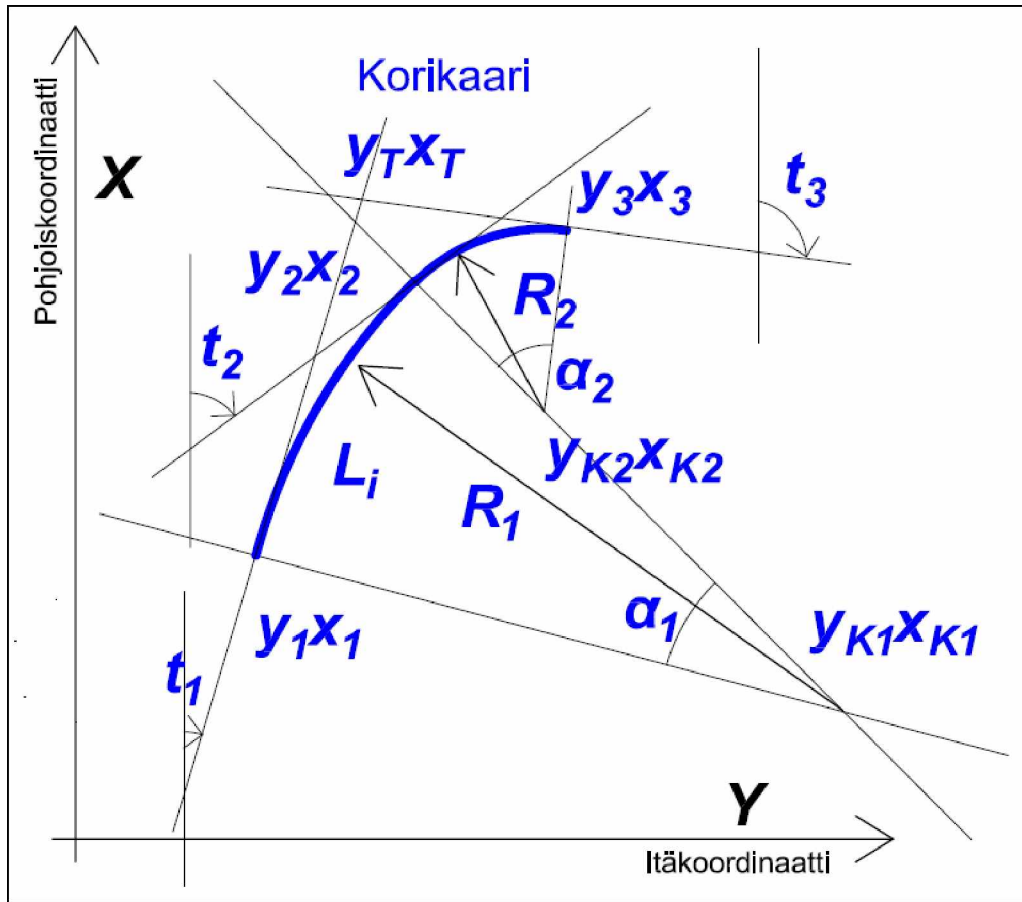
### 2.1.5 Korikaari

Korikaari on kaarre, jossa on yhdistetty kaksi tai useampia samaan suuntaan kääntyvää ympyränkaarta (kuva 13). Korikaaresta käytetään geometriassa myös nimitystä korikäyrä. Korikaari muodostuu useasta geometrian elementistä. Korikaarissa voi olla useita eri ympyränkaaria ja siinä voi olla siirtymäkaaret kaarteiden alussa, lopussa ja eri ympyränkaariosien välissä.

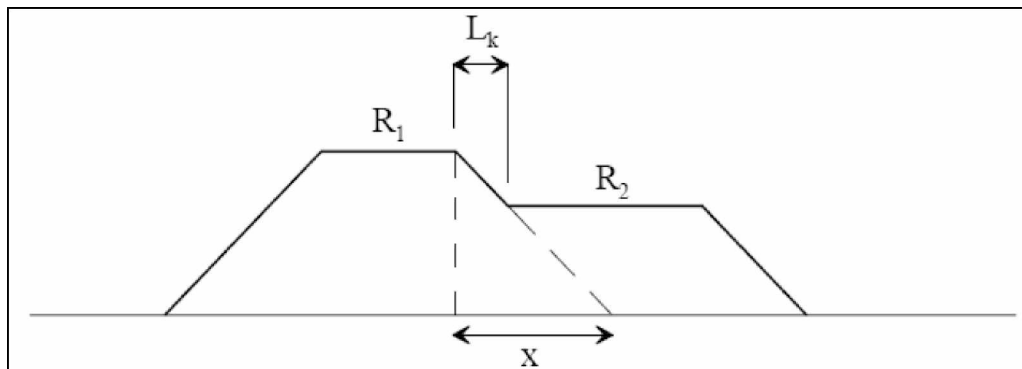
Korikaarien käyttöä on vältettävä monimutkaisen geometrian vaikean kunnossapidon vuoksi. Niitä joudutaan kuitenkin käyttämään pakottavissa tapauksissa, joissa on niin monta pakkopistettä, että geometria ei ole ratkaistavissa muuten normaalilla yksinkertaisella kaarteella.

Korikaari on geometrialtaan niin monimutkainen ja siinä on niin monta muuttuvaa tekijää, että se on erittäin työläs ja vaikea kaavoilla ja laskimella ratkaistavaksi. Geometriaohjelmillakin sen ratkaisu voi olla vaikeaa. Korikaaren elementit ovat muodoltaan yleensä niin lähellä toisiaan, että laskijan on ymmärrettävä, mitä hän antaa ratkaisussa tunnetuiksi ja mitä ratkaistaviksi tekijöiksi. Siihen on saatava riittävästi tunnettuja tekijöitä, jotta tehtävä on yleensä ollenkaan ratkaistavissa. Tunnetut tekijät on määritettävä harkiten, jotta ei ohjata ratkaisua väärään suuntaan.

Yksinkertaisimmassa esimerkissä, jossa korikaaren muodostaa kaksi ympyränkaarta (kuva 13) ja jossa tunnetaan alku- ja loppusuoran lisäksi piste  $y_2x_2$  ja suuntakulma  $t_2$ , voidaan jatkaa kahden ympyränkaaren erillisellä ratkaisulla.



Kuva 13 Korikaari (R Taimela 2011)



Kuva 14 Korikaaren välisiirtymäkaari /1/

Kuva 14 esittää korikaaren kaarevuusviivan kuvaajaa. Pystyakselilla on kaarevuus  $1/R$  ja vaak-akselilla matka. Kuvaajan vaakasuorat osat ovat ympyränkaaria ja viistot osat siirtymäkaaria. Korikaaren pienempi ympyränkaaren säde on  $R_1$  ja korikaaren suurempi ympyränkaaren säde on  $R_2$ .

Korikaaren kaarreosien väliin tuleva siirtymäkaari on osa klotoidia. Sen lopussa klotoidin säde on pienemmän ympyränkaaren säde ja alussa suuremman ympyränkaaren säde. Eri kaarresäteiden ja näiden välisen pituuden perusteella voidaan laskea, mikä on sen teoreettisen klotoidin pituus  $x$ , jonka loppuosa  $L_k$  on (kuva 14). Tästä voidaan sitten ratkaista klotoidin parametri  $A$ .

Korikaaren kaarreosien välin siirtymäkaaren kohdalle tulee myös kallistusviiste, jos raiteen kallistus on erilainen korikaaren eri kaarreosissa. Kallistusviiste ja siirtymäkaari tehdään normaalitapauksessa samalle kohdalle yhtä pitkiksi.

Korikaaren alussa ja lopussa suoriin liittyvät siirtymäkaaret ja kallistusviisteet mitoitetaan, kuten tavallisissa siirtymäkaarellisissa kaarteissa.

Korikaaren välisiirtymäkaaren teoreettinen pituus:

$$x = \frac{R_2 L_k}{R_2 - R_1} \quad [\text{m}] \quad (2.1:46)$$

Klotoidin parametri:

$$A = \sqrt{R_1 x} \quad (2.1:47)$$

$L_k$  = siirtymäkaaren pituus [m]

$x$  = suora - ympyränkaari  $R_1$  klotoidin pituus [m]

$R_1$  = korikaaren pienempi ympyränkaaren säde [m]

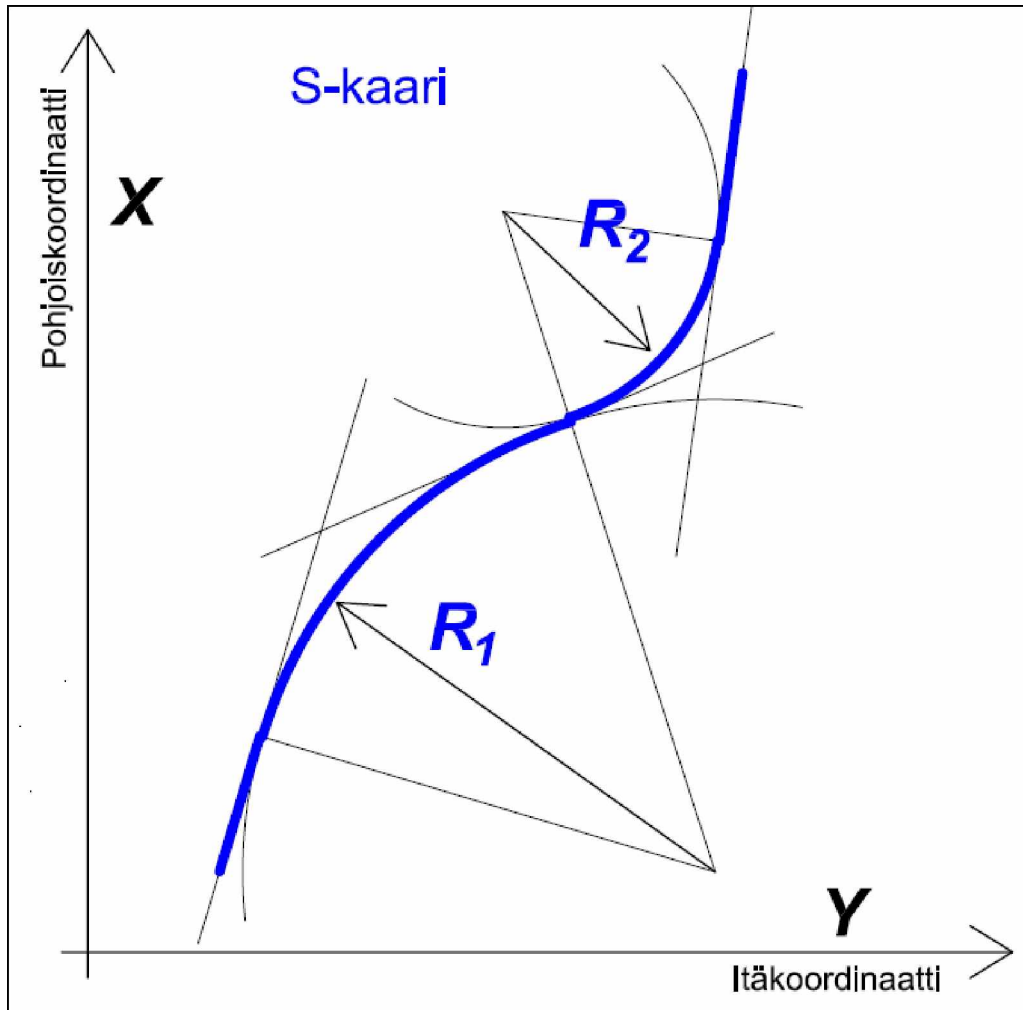
$R_2$  = korikaaren suurempi ympyränkaaren säde [m]

$A$  = klotoidin parametri

### 2.1.6 S-kaari

S-kaari muodostuu kahdesta vastakkaiseen suuntaan kääntyvästä kaarteesta. S-kaaria käytetään mm. raiteen yhdensuuntaissiirroissa esimerkiksi raidevälin muutoksissa mutta myös kaarteisilla linjaosuuksilla kaarteet voivat muodostaa S-kaaren. S-kaaren kaarteet voivat olla pelkkiä ympyränkaaria tai siirtymäkaarin varustettuja kaarteita. Yhdensuuntaissiirroissa voidaan käyttää pääraiteillakin suurisäteisiä ympyränkaaria ilman siirtymäkaaria /1/.

Kaarteet ovat joko kiinni toisissaan tai lyhyen minimimitaisen välisuoran päässä toisistaan. Jos kaarteet ovat kauempana toisistaan, niiden mitoitus ei enää vaikuta toisiinsa ja ne käsitellään kahtena erillisenä kaarteena. Kaarteiden välissä olevan välisuoran minimipituus on käsitelty kohdassa 3.8 .

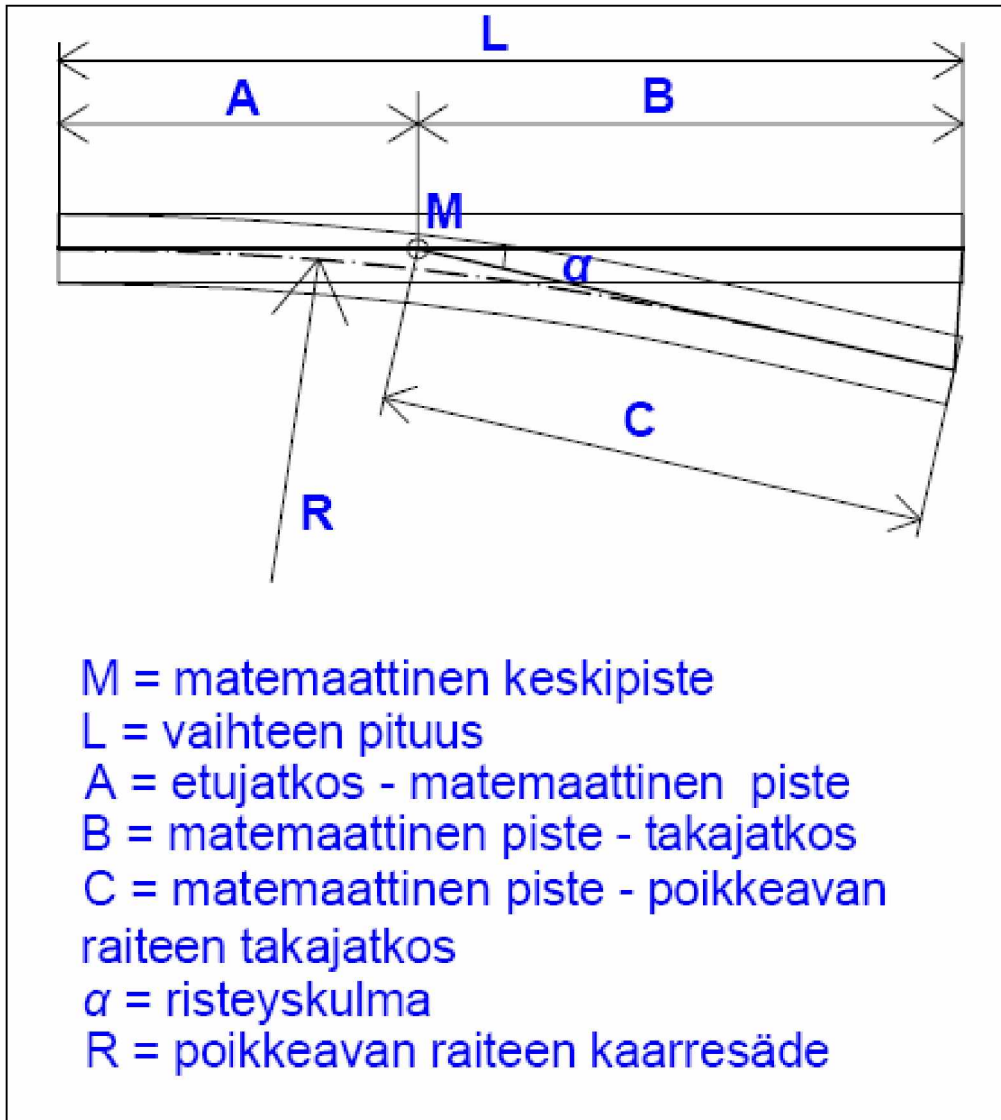


Kuva 15 S-kaari (R Taimela 2011)

S-kaari muodostuu useasta geometrian elementistä ja siinä on aina ympyränkaaria ja siinä voi olla siirtymäkaaria ja lyhyitä suoria. Yksinkertaisimmillaan siinä on vain kaksi ympyränkaarta (kuva 15). S-kaaren geometria voidaan käsitellä kahtena ympyränkaaren geometriana, mutta jos ne ovat kiinni toisissaan tai lyhyen minimimittaisen välisuoran päässä toisistaan, niiden geometria on toisistaan riippuvaa ja toisen kaaren ratkaisu vaikuttaa myös toiseen kaareen. Jos kuvan 15 tapauksessa saadaan ratkaistua kaarteiden välinen tangenttipiste tai sen kohdalla mahdollisesti oleva lyhyt välisuora, ratkaisun loppu voidaan tehdä kahden eri kaarteiden ratkaisuna.

### 2.1.7 Vaihteet

Vaihte on raiteiden liityntäkohta, jossa liikenne voidaan ohjata raiteelta toiselle. Vaihteiden erilaisilla muodoilla voidaan tehdä erimuotoisia ja erilaisia yhteyksiä ja raiteiden välille. Vaihteet ovat raidegeometrian suunnittelussa valmiita elementtejä. Vaihteen sisäinen mitoitus ja geometria ovat valmiiksi annettuja arvoja ja geometrian suunnittelijan ei tarvitse mitoittaa niitä. Hänen täytyy vain tietää eri vaihdetyyppien ominaisuudet ja käyttökohteet. Vaihteen päämitat ja vaihteen risteyskulma ovat geometriasuunnittelussa tärkeitä vaihteen määrittäviä tietoja.



Kuva 16 Yksinkertaisen vaihteen päämitat (R Taimela 2011)

Vaihteen poikkeava raide on raide, joka kääntyy suorasta raiteesta sivulle tai kaarrevaihteessa raide, jonka kaarresäde on pienempi.

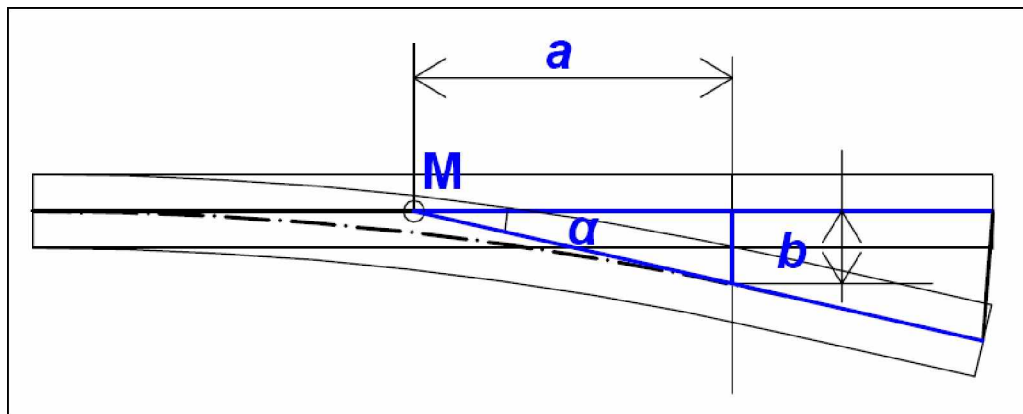
Vaihteen jatkokset ovat pisteitä, joihin vaihde-elementin raiteet päättyvät. Nämä ovat pisteitä, joissa vaihde liittyy muuhun raiteeseen. Geometriasuunnittelussa vaihteen jatkoksissa vaihteen ja niihin liittyvien raiteiden tangenttien suuntien pitää olla samat. Yksinkertaisen vaihteen jatkokset ovat etujatkos, takajatkos ja poikkeavan raiteen takajatkos.

Vaihteen pituus, L on vaihteen suoran raiteen pituus. Se jakautuu kahteen osaan, A etujatkoksesta matemaattiseen pisteeseen ja B matemaattisesta pisteestä takajatkokseen (kuva 16). Poikkeavan raiteen takajatkoksen etäisyys matemaattisesta pisteestä C mitataan poikkeavan raiteen keskilinjan jatkeen suunnassa. R on poikkeavan raiteen kaarresäde. Eräissä vaihdetyypeissä poikkeavan raiteen kaarre muodostuu useasta eri kaarresäteestä. Kaarrevaihteissa kummassakin raiteessa, suuremmissa ja poikkeavassa raiteessa on kaarre.



Vaihteen kätisyydellä tarkoitetaan poikkeavan raiteen erkanemispuolta vastavaihteeseen katsottuna (O=oikea, V=vasen). Vastavaihteeseen katsomissuunta on, kun katsotaan vaihdetta kielen kärkien suunnasta eli suunnasta, jossa vaihteessa on vain yksi raide. Kaksoisvaihteessa kätisyys määräytyy ensimmäisen poikkeavan raiteen mukaan. Saman vaihdetyypin eri kätisyysversiot ovat geometrisesti toistensa peilikuvia. Tasapuolisilla vaihteilla (TYV), risteysvaihteilla (KRV, YRV) ja raideristeyksillä (RR) ei ole kätisyyttä.

Vaihteen matemaattinen keskipiste M on vaihteen raiteiden jatkoskohtien keskilinjan jatkeiden leikkauspiste. Siinä vaihteen jatkosten raiteiden tangenttien suunnat leikkaavat toisensa, ja tämä on raiteiston geometriasuunnittelijalle tärkeä piste.



Kuva 17 Vaihteen risteysuhde (R Taimela 2011)

Risteysuhde tarkoittaa poikkeavan raiteen kulmaa suoraan raiteeseen verrattuna (kuva 17). Kulma on poikkeavan raiteen tangentin suunta poikkeavan raiteen takajatkoksen kohdalla suoraan raiteeseen verrattuna. Tangentin suunta leikkaa suoran raiteen vaihteen matemaattisessa pisteessä. Vaihteen risteysuhteen kulma muodostuu tähän matemaattiseen pisteeseen. Risteysuhteen kulma ilmoitetaan suhdelukuna. Suhdeluku on kulman tangenttien pituuksien suhdeluku  $b:a$ . Se on poikkeavan raiteen suunnan sivusuuntainen etäisyys  $b$  jaettuna suoran raiteen matkalla  $a$ . Esimerkiksi 1:9 tarkoittaa, että poikkeava raiteen suunta on 1,000 metriä sivussa 9,000 metrin päässä matemaattisesta pisteestä. Vaihteen risteysuhteen kulma  $\alpha = \arctan(b/a)$ .

Eri vaihdetyypit ja niiden päämitat esitetään RATOn osassa 4 ja tarkempi mitoitus vaihteen linjakuviossa.

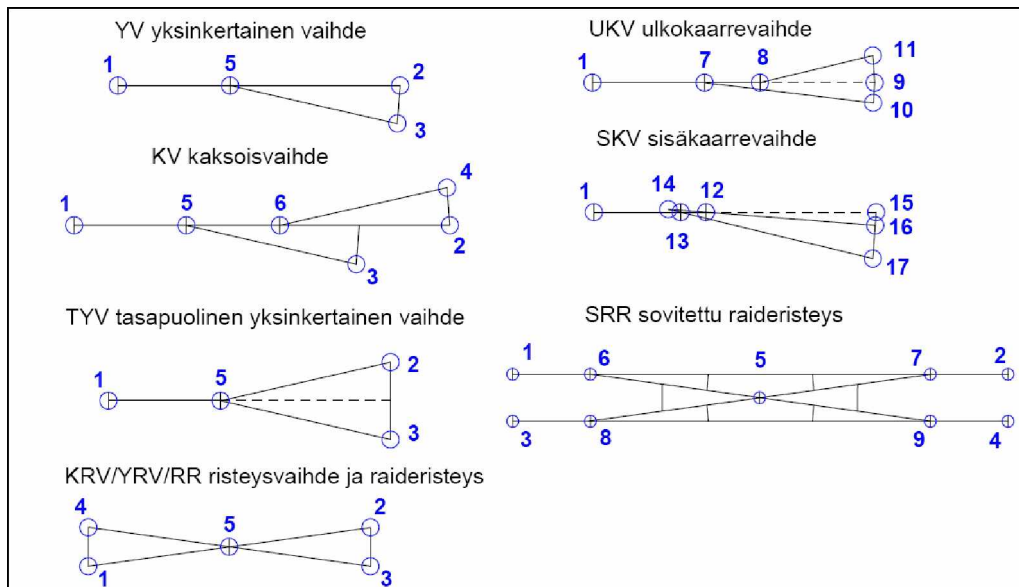
Eri vaihdemuodot esitetään kuvassa 18.

Vaihdemuotona yksinkertainen vaihde on yleisnimitys, joihin kuuluvat suorien yksinkertaisten (YV) vaihteiden lisäksi myös erikoismuodot:

TYV, tasapuolinen yksinkertainen vaihde. Vaihteessa on tasapuolisen symmetrisesti kaksi poikkeavaa raidetta.

UKV, ulkokaarrevaihde. Vaihteen kummassakin raiteessa on kaarre. Poikkeava raide erkanee vaihteesta suuremman raiteen kaarteeseen ulkokaarteeseen puolelle ja raiteet kaartuvat eri suuntiin.

SKV, sisäkaarrevaihde. Vaihteen kummassakin raiteessa on kaarre. Poikkeava raide erkanee vaihteesta suuremman raiteen kaartein sisäkaartein puolelle ja raiteet kaartuvat samaan suuntaan.



Kuva 18 Eri vaihdemuotojen määräävät pisteet (R Taimela 2011)

Tekstissä käytetty sanonta liityntäsuunta jatkoksessa 3 on 5-3 tarkoittaa, että pisteessä 3 vaihteeseen liittyvän raiteen suoran tai kaartein tangentin suunnan on oltava 5-3.

### 2.1.7.1 YV, yksinkertainen vaihde

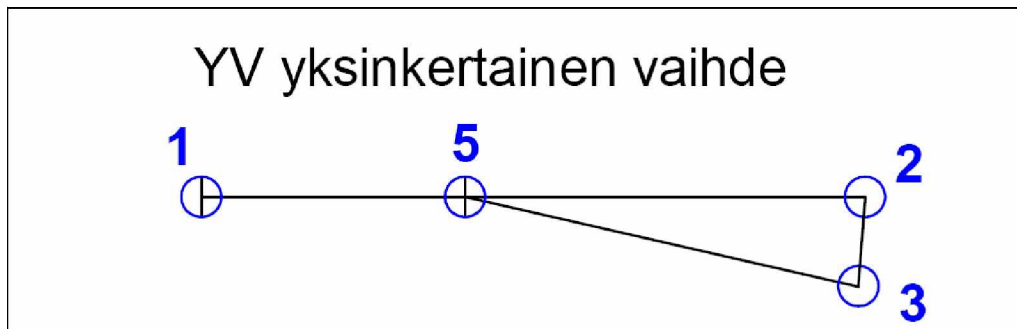
YV on suora yksinkertainen vaihde. Vaihteessa on suora raide ja poikkeava raide. Suorat yksinkertaiset vaihteet ovat yleisin vaihdemuoto ja niitä on käytössä useita eri tyyppisiä mm. poikkeavan raiteen nopeudelle ja eri kiskopainoille.

Yksinkertaisessa vaihteessa on yksi kielipari, jolla voidaan tehdä kulkutie joko vaihteen suoralle raiteelle tai poikkeavalle raiteelle.

Yksinkertaiset vaihteet jaetaan lyhyisiin ja pitkiin vaihteisiin risteysuhteen ja poikkeavan raiteen kaarresäteen perusteella. Pitkissä vaihteissa poikkeavan raiteen kaarresäde on yli 300 metriä /2/.

**Lyhyt vaihde** on vaihde, jonka rakenteesta johtuva suurin nopeus vaihteen poikkeavalla raiteella on enintään 40 km/h. **Pitkä vaihde** on vaihde, jonka rakenne mahdollistaa yli 40 km/h nopeuden vaihteen poikkeavalla raiteella /6/.

Yksinkertaiset vaihteet ovat joko oikean (O) - tai vasemmanpuolisia (V) riippuen siitä, kummalle puolelle poikkeava raide kääntyy katsottaessa vaihdetta vastavaihteen suunnasta. Kuvan 19 YV on oikeanpuolinen.



Kuva 19 Yksinkertaisen vaihteen (YV) määräävät pisteet (R Taimela 2011)

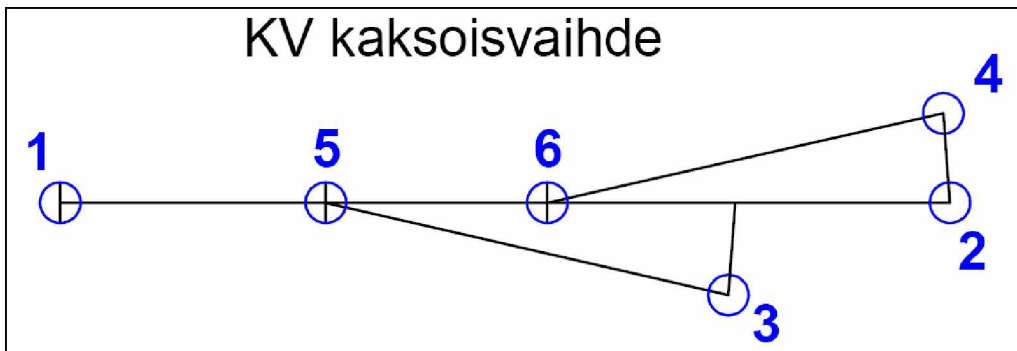
Suoran yksinkertaisen vaihteen (YV) määräävät pisteet raidegeometrian suunnittelijalle ovat kuvan 19 pisteet:

- 1 Etujatkos, tästä menee suora raide vaihteen läpi vaihteen takajatkokseen 1-2. Vaihde sijoitetaan raiteeseen tämän suoran suuntaiselle suoralle. Myös vaihteen matemaattinen piste on tällä suoralla. Liityntäsuunta jatkoksesta on 1-2.
- 2 Takajatkos, tänne päättyy etujatkoksesta alkava suora raide vaihteen läpi 1-2. Liityntäsuunta jatkoksesta on 1-2.
- 3 Poikkeavan raiteen takajatkos. Tähän päättyy vaihteen poikkeava raide. Se poikkeaa takajatkoksen pisteessä vaihteen suorasta raiteesta vaihteen risteys-suhteen kulmassa. Poikkeavan raiteen suunta liityntäpisteessä on 3-5. Poikkeava raide on liityntäpisteessä vaihdetyypistä riippuen joko suora tai ympyrän kaari.
- 5 Matemaattinen keskipiste on vaihteen suoran raiteen 1-2 ja poikkeavan raiteen takajatkoksen 3-pisteen kautta piirretyn raiteen tangenttisuoran leikkauspiste. Tähän muodostuva kulma on vaihteen risteyskulma. Tämä on raiteiston geometriasuunnittelussa tärkeä piste. Esimerkiksi vaihteesta erkanevan vaihdekujan paikka ja suunta määräytyvät erkanemisvaihteen matemaattisen pisteen ja vaihteen risteyskulman perusteella.

#### 2.1.7.2 KV, kaksoisvaihde

Kaksoisvaihde on periaatteeltaan vaihde, johon on yhdistetty kaksi yksinkertaista vaihdetta (YV) osittain porrastetusti päällekkäin. Kaksoisvaihteessa on suora raide vaihteen läpi ja poikkeavat raiteet suoran kummallekin puolelle. Kummankin poikkeavan raiteen risteys-suhte on sama. Vaihteessa on kaksi matemaattista pistettä, yksi kummallekin poikkeavalle suunnalle.

Kaksoisvaihteet ovat joko oikean (O) - tai vasemmanpuolisia (V) riippuen siitä, kummalle puolelle ensimmäinen poikkeava raide kääntyy katsottaessa vaihdetta vasta-vaihteen suunnasta. Kuvan 20 KV on oikeanpuolinen.



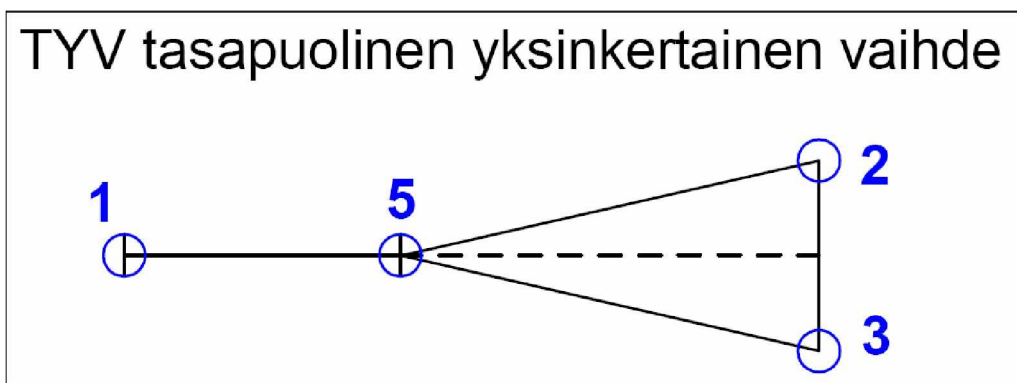
Kuva 20 Kaksoisvaihteen (KV) määräävät pisteet (R Taimela 2011)

Kaksoisvaihteen (KV) määräävät pisteet raidegeometrian suunnittelijalle ovat kuvan 20 pisteet:

- 1 Etujatkos, tästä menee suora raide vaihteen läpi vaihteen takajatkokseen 1-2. Vaihte sijoitetaan raiteeseen tämän suoran suuntaiselle suoralle. Myös matemaattiset pisteet ovat tällä suoralla. Liityntäsuunta jatkoksessa on 1-2.
- 2 Takajatkos, tänne päättyy etujatkoksesta alkava suora raide vaihteen läpi 1-2. Liityntäsuunta jatkoksessa on 1-2.
- 3, 4 Poikkeavan raiteen takajatkokset. Näihin päättyvät vaihteen poikkeavat raiteet. Raiteet poikkeavat takajatkoksen pisteissä vaihteen suorasta vaihteen risteysuhteiden kulmassa. Poikkeavien raiteiden suunta liityntäpisteissä on 3-5 ja 4-6.
- 5, 6 Matemaattiset keskipisteet ovat vaihteen suoran raiteen 1-2 ja poikkeavien raiteiden takajatkosten 3 ja 4 pisteiden kautta piirrettyjen raiteen tangenttisuorien leikkauspisteitä. Näihin muodostuvat kulmat ovat samat ja ne ovat kyseisen vaihteen risteyskulma.

### 2.1.7.3 TYV, tasapuolinen yksinkertainen vaihde

Tasapuoliset yksinkertaiset vaihteet ovat symmetrisiä etujatkoksen raiteen suoran jatkeen suhteen. Vaihteessa ei ole suoraa raidetta vaihteen läpi vaan kumpikin raide poikkeaa symmetrisesti sivulle suoran jatkeen suhteen.



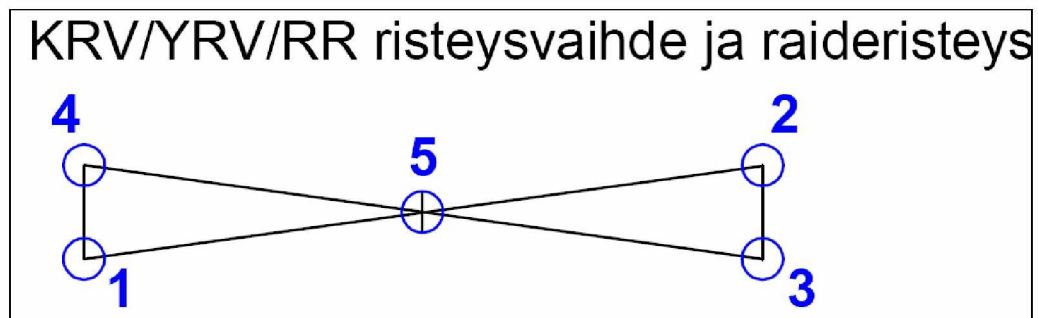
Kuva 21 Tasapuolisen yksinkertaisen vaihteen (TYV) määräävät pisteet (R Taimela 2011)

Tasapuolisen yksinkertaisen vaihteen (TYV) määräävät pisteet raidegeometrian suunnittelijalle ovat kuvan 21 pisteet:

- 1 Etujatkos, tästä alkaa vaihteen keskiviiva, jonka suhteen vaihde on symmetrinen. Vaihde sijoitetaan raiteeseen tämän suoran suuntaisen suoran jatkeelle. Myös matemaattinen piste on tällä suoralla. Liityntäsuunta jatkoksessa on 1-5.
- 2, 3 Poikkeavien raiteiden takajatkokset. Vaihteen poikkeavat raiteet päättyvät näihin. Kumpikin suunta poikkeaa yhtä paljon vaihteen keskiviivasta. Vaihteen risteyssuhde ilmoitetaan kahtena kulmana, esim.  $2 \times 1:9$ . Poikkeavien raiteiden suunta liityntäpisteissä on 2-5 ja 3-5.
- 5 Matemaattinen keskipiste on vaihteen etujatkoksesta lähtevän vaihteen keskiviivan ja poikkeavien raiteiden takajatkosten 2 ja 3 pisteen kautta piirrettyjen raiteen tangenttisuorien leikkauspiste. Tangenttisuorien väliin muodostuva kulma on vaihteen risteyskulma.

#### 2.1.7.4 KRV ja YRV, risteysvaihde, kaksipuolinen ja yksipuolinen

Risteysvaihde on periaatteeltaan raideristeys, joihin on asennettu kielisovitukset. Kielisovituksia on joko neljä tai kaksi. Näillä saadaan suorien raideyhteyksien lisäksi poikkeavan suunnan yhteydet. Kaksipuolisessa risteysvaihteessa (KRV) on suorien, 1-2 ja 3-4 -yhteyksien lisäksi 1-3 ja 2-4 -yhteydet. Yksipuolisessa risteysvaihteessa (YRV) on suorien lisäksi jommankumman puolen poikkeavan suunnan yhteys, joko 1-3 tai 2-4. Risteysvaihteessa on kaksi suoraa raidetta vaihteen läpi. Vaihteen matemaattinen piste on suorien leikkauspisteessä.



Kuva 22 Risteysvaihteen (KRV- ja YRV) määräävät pisteet (R Taimela 2011)

Risteysvaihteiden (KRV ja YRV) määräävät pisteet raidegeometrian suunnittelijalle ovat kuvan 22 pisteet:

- 1, 2 Jatkokset, joiden välillä menee suora raide vaihteen läpi. Vaihde sijoitetaan raiteeseen tämän suoran suuntaiselle suoralle. Liityntäsuunta jatkoksissa on 1-2.
- 3, 4 Jatkokset, joiden välillä menee suora raide vaihteen läpi. Vaihde sijoitetaan raiteeseen myös tämän suoran suuntaiselle suoralle. Liityntäsuunta jatkoksissa on 3-4.
- 5 Matemaattinen keskipiste. Vaihteen suorien raiteiden 1-2 ja 3-4 leikkauspiste. Suorien välinen kulma on vaihteen risteyskulma.

### 2.1.7.5 RR, raideristeys

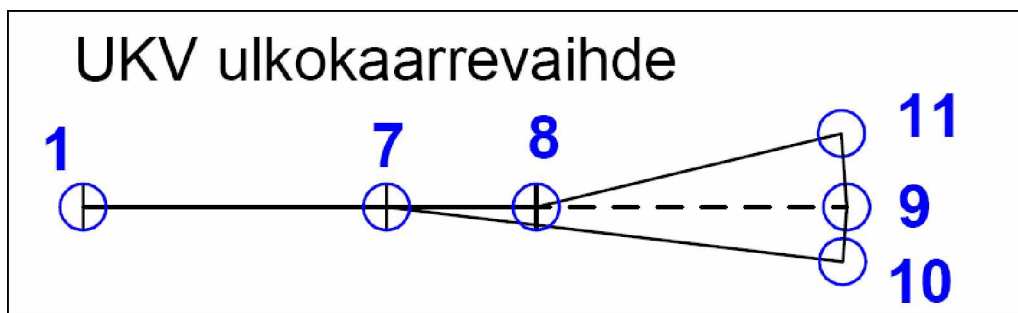
Raideristeys (RR) on kahden raiteen risteyskohtia, joissa ei ole mahdollisuutta vaihtaa raidetta. Raideristeykset luetaan vaihteisiin, vaikka niiden kulkutiet ovat kiinteitä, ilman vaihteiden kieliä ja raiteenvaihtomahdollisuutta. Niissä käytetään kuitenkin vaihteiden kanssa osittain samantyyppisiä rakenneosia.

Raideristeyksessä on geometrian suunnittelijan kannalta samat määräävät pisteet kuin risteysvaihteissa.

### 2.1.7.6 UKV, ulkokaarrevaihde

Kaarrevaihteita ovat ulkokaarrevaihde (UKV) ja sisäkaarrevaihde (SKV). Kaarrevaihteet asennetaan radan kaarteeseen ja myös vaihteen suuremmissa raiteissa on kaarre. Radan kaarteeseen ja vaihteen suuremman raiteen kaarresäteiden on oltava samat tai ainakin lähellä toisiaan. Ulkokaarrevaihteessa poikkeava raide erkanee suuremman raiteen ulkokaarteeseen puolelle ja sisäkaarrevaihteessa suuremman raiteen sisäkaarteeseen puolelle.

Ulkokaarrevaihde on joko oikean (O) tai vasemmanpuolinen (V) riippuen siitä, kummalle puolelle suurempaa raidetta poikkeava raide kääntyy katsottaessa vaihdetta vastavaihteen suunnasta. Kuvan 23 UKV on vasemmanpuolinen.



Kuva 23 Ulkokaarrevaihteen (UKV) määräävät pisteet (R Taimela 2011)

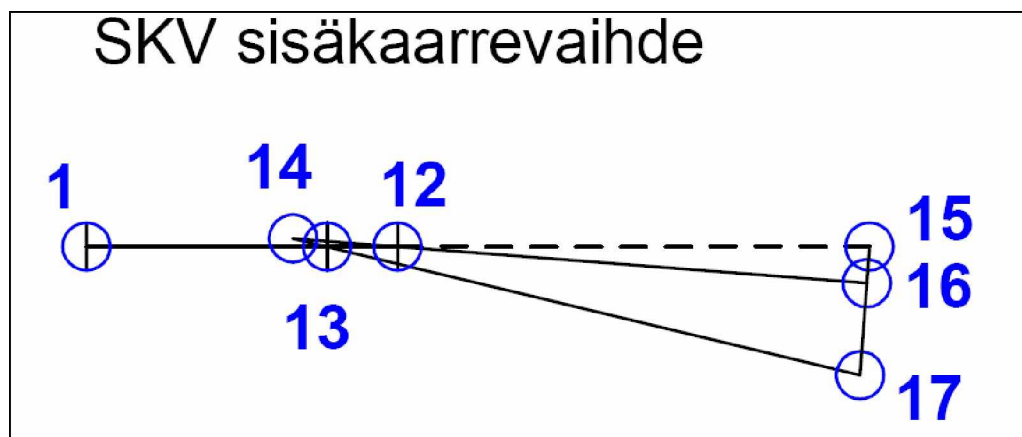
Ulkokaarrevaihteen (UKV) määräävät pisteet raidegeometrian suunnittelijalle ovat kuvan 23 pisteet:

- 1 Etujatkos, tästä menee suora mittalinja vaihteen läpi 1-9. Mittalinja on vaihteen suuremman raiteen kaarteessa, etujatkoksen kohdalla olevan tangentin suuntainen. Matemaattiset pisteet ovat tällä suoralla. Tangentin liityntäsuunta jatkoksessa on 1-9 ja vaihde sijoitetaan yleensä vaihteen kaarresäteiden kanssa saman säteiseen kaarteeseen kaarteeseen tangentin suuntaisesti.
- 7 Suuremman raiteen matemaattinen keskipiste on mittalinjalla oleva suuremman raiteen kaarteeseen kulmapisteiden paikka. Täällä risteävät etujatkokseen 1 ja takajatkokseen 10 piirretyt kaarteeseen tangenttisuorat 1-7 ja 7-10. Tähän muodostuva kulma on vaihteen suuremman raiteen kulma.
- 8 Poikkeavan raiteen matemaattinen keskipiste on mittalinjalla oleva poikkeavan raiteen takajatkoksen 11 tangenttisuoran leikkauspiste. Tähän muodostuva kulma on vaihteen poikkeavan raiteen kulma.

- 9 Mittalinjan loppupiste.
- 10 Suoremman raiteen takajatkos. Tangentin liityntäsuunta jatkoksessa on 7-10.
- 11 Poikkeavan raiteen takajatkos. Tangentin liityntäsuunta takajatkoksessa on 8-11.

### 2.1.7.7 SKV, sisäkaarrevaihde

Sisäkaarrevaihde ovat joko oikean (O) tai vasemmanpuolinen (V) riippuen siitä, kummalle puolelle suorempaa raidetta poikkeava raide kääntyy katsottaessa vaihdetta vastavaihteen suunnasta. Kuvan 24 SKV on oikeanpuolinen.



Kuva 24 Sisäkaarrevaihteen (SKV) määräävät pisteet (R Taimela 2011)

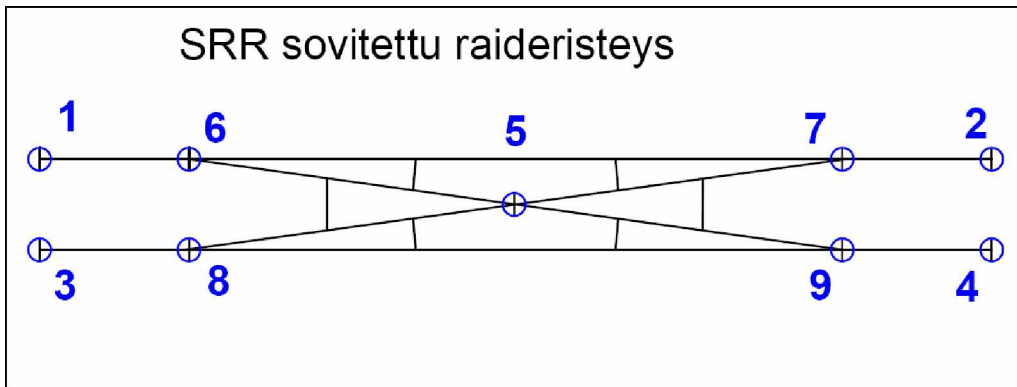
Sisäkaarrevaihteen (SKV) määräävät pisteet raidegeometrian suunnittelijalle ovat kuvan 24 pisteet:

- 1 Etujatkos, josta menee suora mittalinja vaihteen läpi 1-15. Mittalinja on vaihteen suoremman raiteen kaarteessa, etujatkoksen kohdalla olevan tangentin suuntainen. Matemaattiset pisteet ovat tällä suoralla. Tangentin liityntäsuunta jatkoksessa on 1-15 ja vaihde sijoitetaan yleensä vaihteen kaarresäteen kanssa saman säteiseen kaarteeseen kaarteen tangentin suuntaisesti.
- 12 Suoremman raiteen matemaattinen keskipiste on mittalinjalla oleva suoremman raiteen kaarteen kulmapisteen paikka. Täällä yhtyvät etujatkokseen 1 ja takajatkokseen 16 piirretyt kaarteen tangentit 1-12 ja 12-16. Tähän muodostuva kulma on vaihteen suoremman raiteen kulma.
- 13 Poikkeavan raiteen matemaattinen keskipiste on mittalinjalla oleva poikkeavan raiteen takajatkoksen 17 tangentin leikkauspiste. Tähän muodostuva kulma on vaihteen poikkeavan raiteen kulma.
- 15 Mittalinjan loppupiste.

- 16 Suoremman raiteen takajatkos. Tangentin liityntäsuunta jatkoksessa on 12–16.
- 17 Poikkeavan raiteen takajatkos. Tangentin liityntäsuunta takajatkoksessa on 17–13.
- 14 Takajatkosten tangenttien leikkauspiste on suoremman ja poikkeavan raiteen takajatkoksiin piirrettyjen tangenttien leikkauspiste.

### 2.1.7.8 SRR, sovitettu raideristeys

Sovitettu raideristeys on periaatteeltaan neljän vaihteen ja yhden raideristeuksen yhdistelmä, jossa ne on laitettu yhteen osittain päällekkäin. SRR:ssä on kaksi yhden-suuntaista suoraa, jotka on liitetty toisiinsa tiiviillä vaihde-raideristeusyhdistelmällä. SSR:n kukin osavaihte voi olla joko YV-, KRV- tai YRV-vaihte. SRR:ä on eri kiskopainoille ja raideväleille.



Kuva 25 Sovitetun raideristeuksen (SRR) määräävät pisteet (R Taimela 2011)

Sovitetun raideristeuksen (SRR) määräävät pisteet raidegeometrian suunnittelijalle ovat kuvan 25 pisteet:

- 1, 2, 3, 4 Jatkokset, joista menevät suorat raiteet 1-2 ja 3-4 sovitetun raideristeuksen läpi. Raiteet ovat samansuuntaiset ja tyypin raidevälin etäisyydellä toisistaan. Raiteet ovat periaatteeltaan YV:n suoraa raiteita. SRR mitoitetaan näille suorille. Myös vaihteiden matemaattiset pisteet ovat näillä suorilla. Liityntäsuunta jatkoksissa on suorien suunta.
- 5 Matemaattinen keskipiste. Tämä on myös symmetriapiste. Tässä on raideristeus vaihteiden poikkeavien raiteiden leikkauspisteessä.
- 6, 7, 8, 9 Vaihteiden matemaattiset keskipisteet ovat suorien raiteiden ja poikkeavien raiteen tangenttien leikkauspisteitä.

### 2.1.7.9 Rajamerkki

Vaihteisiin liittyy vielä yhtenä tärkeänä pisteenä vaihteen ulkopuolella oleva rajamerkki. Se on myös raiteen pituuden määrittelyssä tärkeä piste. Raiteen pituus käsitellään kohdassa 3.9. Rajamerkistä käytetään myös nimitystä vaihteen rajamerkki tai

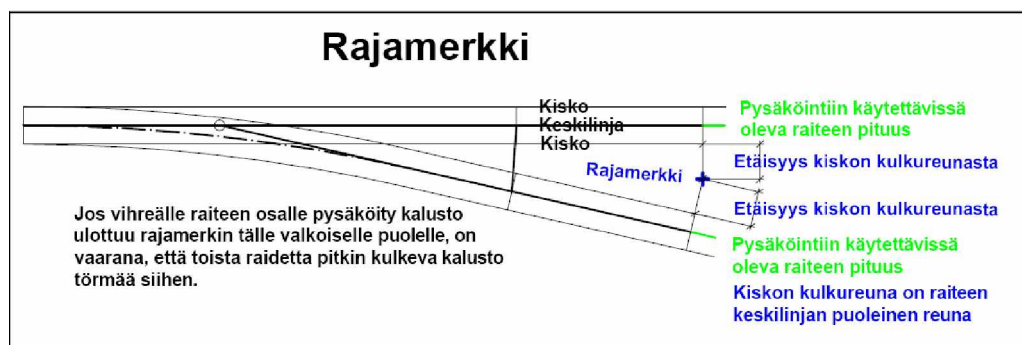


raiteen rajamerkki riippuen siitä, miltä kannalta sitä tarkastellaan. Määritelmän mukaan:

Rajamerkki on sijoitettava kohtaan, johon saakka kalusto voi raiteella olla estämättä viereisten raiteiden liikennöintiä /4/.

Tämä on ymmärrettävä niin, että rajamerkki on se kohta raidetta, missä kalusto voi olla olematta fyysisenä esteenä viereisen raiteen liikennöinnille. Turvalaitteiden raideosuudet ulottuvat yleensä rajamerkkiä pidemmälle raiteeseen päin ja määrittävät turvalaitteisiin kuuluvilla raiteilla kohdan yleensä rajamerkkiä pidemmälle, jotta viereiselle raiteelle saadaan varmistettua kulkutie.

Turvalaitteiden suunnittelussa rajamerkki on tärkeä kohta vaihteen vapaana olon valvonnassa ja opastinvarojen määrittelyssä. Opastinvara on opastimen takana oleva vara-alue, jossa opastimen ohi ajava yksikkö ei ole vaaraksi viereisen raiteen liikenteelle. Turvalaitteen käsite rajamerkkivapaa vaihteen haara tarkoittaa sitä, että turvalaitteella voidaan valvoa, että vaihteen haara on vapaa niin pitkälle rajamerkin ohi, että kalusto on kokonaan rajamerkin ulkopuolella.



Kuva 26 Rajamerkki (R Taimela 2011)

Rajamerkin kohdalla vaadittavaan etäisyyteen (kuva 26) vaikuttaa viereisten raiteiden määrittely:

**Pääraide.** Raiteen määrittää pääraiteeksi Liikennevirasto. Pääraiteet esitetään raiteistokaaviossa. Raide on aina pääraide, kun raiteen suurin nopeus on vähintään 80 km/h /4/.

**Sivuraide** on raide, jota ei ole määrätty pääraiteeksi. Sivuraiteen nopeus voi olla enintään 70 km/h /4/.

Rajamerkki on suorassa kallistamattomassa raiteessa sijoitettava sellaiseen paikkaan, jossa vierekkäisten raiteiden lähimpien kiskojen kulkureunojen kautta kulkevien kohtisuorien leikkauspiste on yhtä kaukana molemmista kulkureunoista ja leikkauspisteen etäisyys kulkureunoista kohtisuoraan mitattuna on yhteensä vähintään:

2600 -0/+150 mm, kun toinen tai molemmat raiteet ovat pääraiteita  
2300 -0/+150 mm, kun molemmat raiteet ovat sivuraiteita.

Raidegeometriassa raide määritellään raiteen keskiliinjan mukaan mutta rajamerkin paikka määritellään tästä poiketen raiteiden kiskojen kulkureunasta.

Jos rajamerkin kohdalla toinen tai kumpikin raide on kaareva, on huomioitava RATOn osan 2 mukaiset aukean tilan ulottuman kaarreviivit. Kallistetuissa raiteissa mittoihin on lisättävä kallistuksen viivit ja vaihteissa vaihteiden viivit. Aukean tilan ulottuman määräysten mukaiset viivit on esitetty kohdassa 4.6 .

Esimerkiksi jos vaihteen jälkeiset raiteet ovat suoraa, rajamerkin etäisyys vaihteen matemaattisesta pisteestä voidaan laskea esimerkiksi 1:9-vaihteilla 2600 mm:n mitalle seuraavasti:

Raideleveyden nimellismitta  $G$  on 1524 mm.

Kiskon kulkureunan kohtisuora etäisyys raiteen keskilinjasta on  $G/2$  eli 762 mm.

Etäisyysmitta yhteensä 2600 mm jaetaan 2:lla, on 1300 mm.

Rajamerkin kohtisuora etäisyys raiteen keskilinjasta on  $762 \text{ mm} + 1300 \text{ mm} = 2062 \text{ mm}$ .

Rajamerkki on matemaattisesta pisteestä lähtevällä vaihteen kulman puolittajalla. Vaihteen kulman puolittajan kulma on puolet vaihteen kulmasta 1:9 eli se on 1:18.

Rajamerkin etäisyys matemaattisesta pisteestä suoraa raidetta pitkin on  $18 \times 2,062 \text{ metriä} = 37,116 \text{ metriä}$ .

Poikkeavan raiteen keskilinja on vaihteen ulkopuolella suoralla raiteella symmetrinen suoran raiteen kanssa. Rajamerkin etäisyys poikkeavalla raiteella matemaattisesta pisteestä on raidetta pitkin sama.

Kohtisuorien mittojen yhteinen toleranssi on + 100 mm. Tämä puolitetuna on 50 mm ja se tarkoittaa pituusmitassa  $18 \times 0,050 \text{ metriä} = 0,900 \text{ metriä}$ .

Maastossa mitattaessa rajamerkin paikan voi määrittellä riittävällä tarkkuudella kohtaan, jossa kulkureunojen välinen lyhin suora etäisyys on 2300 mm tai 2600 mm suoralla raiteella /4/.

Vaihteen kulman puolittaja on puolet vaihteen kulmasta eli 1:9 vaihteessa se on 1:18. Tätä vastaava kulma on 3,5331 gon.

Kulkureunojen välisen suoran mitan ja raidetta vastaan kohtisuoran mitan suhde on  $1/\cos 3,5331$ . Tästä saadaan kohtisuoraa mittaa 1300 mm vastaavaksi suoran etäisyyden mitaksi 1302,0 mm.

### 2.1.8 Geometrian elementtien yhdistäminen

Geometrian elementtien yhdistäminen tapahtuu yhteisessä pisteessä niin, että alkuelementin loppupiste ja loppuelementin alkupiste yhtyvät. Tämä tarkoittaa sitä, että niillä on yhteisessä pisteessä sama sijainti ja sama suuntakulma. Numeerisina arvoina tämä tarkoittaa sitä, että niillä on samat koordinaatit ( $y, x$ ) ja samat suuntakulmat ( $t$ ).

Kaarteissa joissa on siirtymäkaaret, siirtymäkaaren ja ympyränkaaren kaarresäteiden on oltava samat yhteisessä pisteessä siirtymäkaaren loppupisteen ja ympyränkaaren alkupisteen kohdalla. Korikaarissa kahden ympyränkaaren välisessä siirtymäkaaressa siirtymäkaaren säteen on oltava siirtymäkaarien ja ympyränkaarien liityntäkohdassa samat, kuin siihen liittyvien ympyränkaarten säteiden. Muunlaisissa kaarteissa, kuten pelkistä ympyränkaarista muodostetuissa kaarteissa, suoran ja kaarteen tai eri kaarteiden yhteisessä pisteessä kaarresäteiden ei tarvitse eikä voikaan olla samat.

Raiteen kallistuksen on oltava kallistusviiteen (=siirtymäkaaren) päissä sama kuin liittyvässä elementissä. Suoran päässä kallistus on 0 ja kaarteen päässä ympyränkaaren kallistus. Korikaarissa, kahden ympyränkaaren välisessä kallistusviiteessä (=siirtymäkaaressa) raiteen kallistuksen on oltava kallistusviiteen liityntäkohdissa ympyränkaariin sama kuin siihen liittyvien ympyränkaarten kallistus.

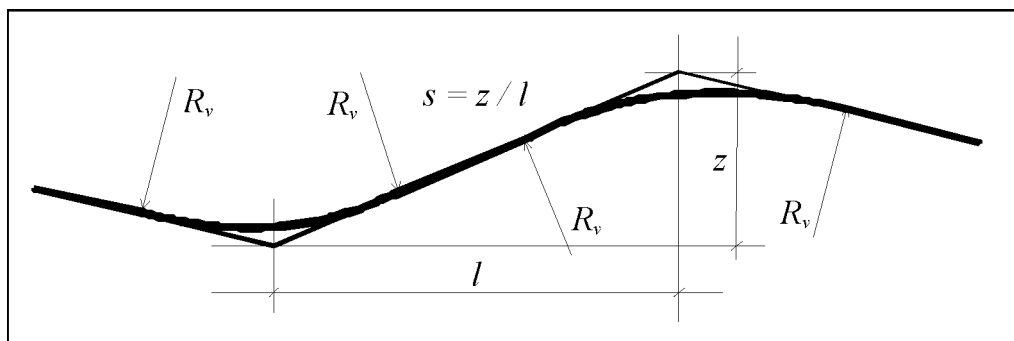
## 2.2 Pystygeometrian elementit

Raiteen pystygeometria muodostuu suorista kaltevuusjaksoista ja kaltevuustaitteiden pyöristyskaarista. Suunnittelussa nämä määritetään kaltevuusjaksojen taitepisteiden paikoilla, korkeuksilla ja pyöristyskaarresäteillä. Pystygeometria perustuu näihin sen määrääviin tietoihin ja niistä voidaan laskea raiteen korkeusviivan korkeus näiden kattamalle alueelle.

### 2.2.1 Kaltevuusjakso

Kaltevuusjakso määritellään kaltevuusjakson taitepisteistä. Kaltevuusjakson pituus  $l$  on kaltevuusjakson taitepisteiden välinen vaakasuora välimatka määrittelyraiteen keskilinjaa pitkin. Kaltevuusjakson korkeusero  $z$  lasketaan taitteiden kulmapisteiden korkeuksista. Kaltevuusjakson pituuskaltevuus  $s$  lasketaan näistä korkeuseron ja pituuden suhteena (kaava 2.2:1). Raide pyöristetään kaltevuusjaksojen taitepisteiden kohdalla pyöristyskaarella, joka on ympyränkaari ja jonka pyöristyskaarresäde on  $R_v/1/$ .

Pituuskaltevuus ilmoitetaan joko promilleina (4,0 ‰) tai desimaalilukuna (0,0040) /1/. Jos pituuskaltevuudessa käytetään etumerkkiä, merkkisääntö on että negatiivinen arvo (-) on alamäkeä pituusmittauksen kasvusuuntaan.



Kuva 27 Kaltevuusjakson pituuskaltevuus /1/

Kaltevuusjakson pituuskaltevuus on (kuva 27):

$$s = 1000 \frac{z}{l} \quad [\text{‰}] \quad (2.2:1)$$

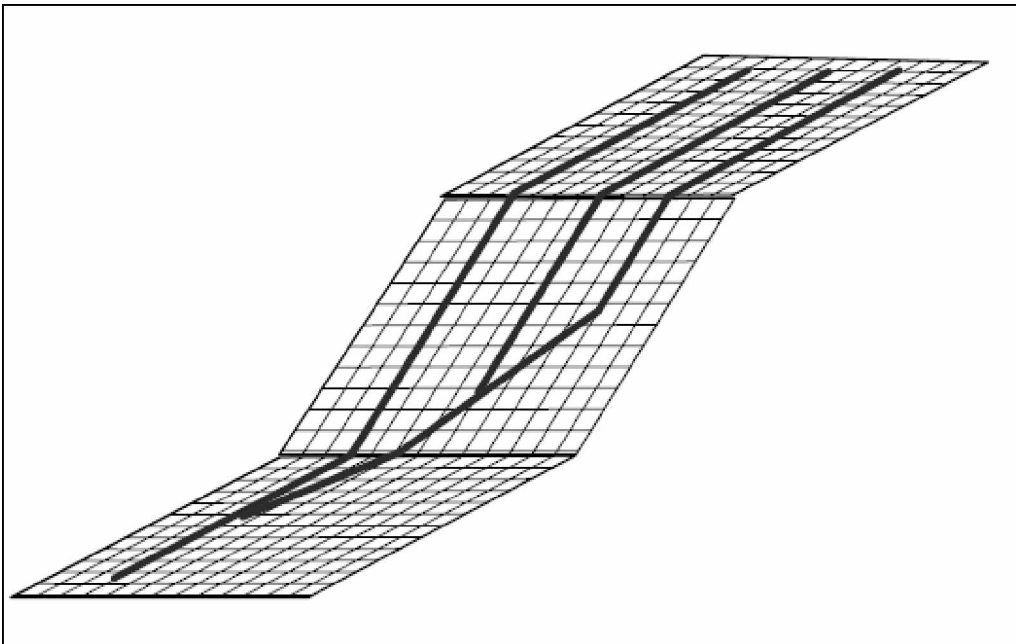
$s$  = kaltevuusjakson pituuskaltevuus [‰]

$l$  = taitepisteiden välinen matka [m], joka on vaakasuora matka raiteen keskilinjaa pitkin. Jos käytetään ratakilometrijärjestelmän mukaisia sijainteja ja välissä on km-merkki, matka on laskettava todellisten km-pituuksien mukaan.

$z$  = taitteiden kulmapisteiden korkeusero [m]

$R_v$  = pyöristyskaarresäde [m]

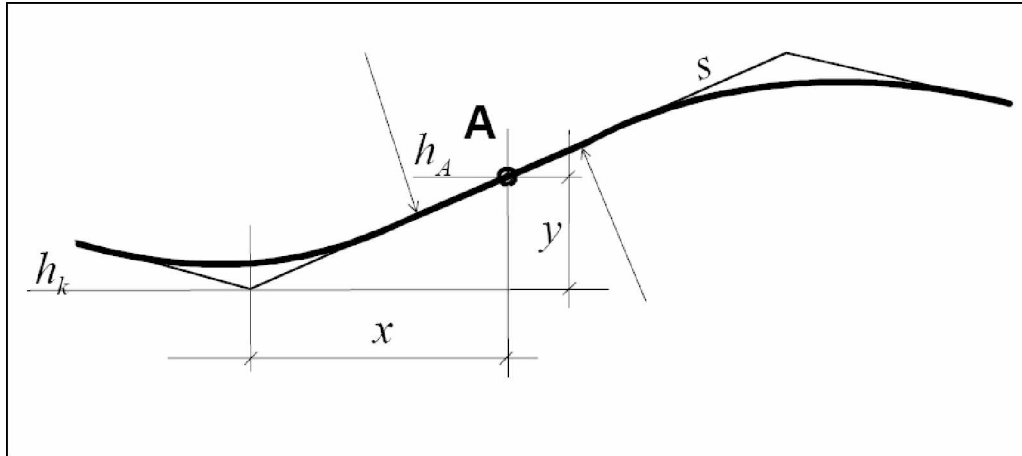
Useille raiteille voidaan määrittellä yhteinen korkeusviiva esimerkiksi ratapihoilla tai useampiraiteisilla radoilla (kuva 28). Tällöin korkeusviiva määritellään jollekin määrittelyraiteelle ja muut raiteet käyttävät tätä samaa korkeusviivatasoa. Korkeusviivatasossa kaikkien raiteiden korkeusviivan korkeus on sama määrittelyraiteen koh-tisuorassa poikkileikkauksessa. Korkeusviivatason muiden raiteiden pituuskaltevuus voi poiketa määrittelyraiteen pituuskaltevuudesta koska poikkileikkausten välinen matka voi olla erilainen eri raiteita pitkin /1/.



Kuva 28 Korkeusviivataso (RATO 2 Raideakatemia 2010)

### 2.2.2 Kaltevuusjakson suora osuus

Kaltevuusjaksojen taitepisteet määrittävät yhdessä pyöristyskaarien tangenttipisteiden etäisyyden kanssa kaltevuusjakson suoran osuuden. Suoran osuuden parametrit ovat kaltevuusjakson suoran osan pituus ja kaltevuus. Näitä ei kuitenkaan yleensä merkitä suunnitelmiin, vaan niissä esitetään koko kaltevuusjakson kulmapisteiden välinen pituus ja kaltevuus sekä pyöristyskaarien tangentin pituudet. Näistä on laskettavissa suoran osan pituus. Kaikki nämä pituusmitat ovat vaakasuoria mittoja.



Kuva 29 Korkeusviivan korkeus kaltevuusjakson suoran alueella (RATO 2 Raitteakatemia 2010)

Korkeusviivan korkeus kaltevuusjakson suoran osuuden pisteessä A (kuva 29) lasketaan kaavalla 2.2:2 tai 2.2:3.

Jos  $s$  on desimaaliluku:

$$h_A = h_k + y = h_k + xs \quad [\text{m}] \quad (2.2:2)$$

Jos  $s$  on promilleluku:

$$h_A = h_k + y = h_k + \frac{xs}{1000} \quad [\text{m}] \quad (2.2:3)$$

$h_k$  = taitepisteen kulmapisteen korkeus [m]

$s$  = pituuskaltevuus etumerkillä

$A$  = tarkastelupiste

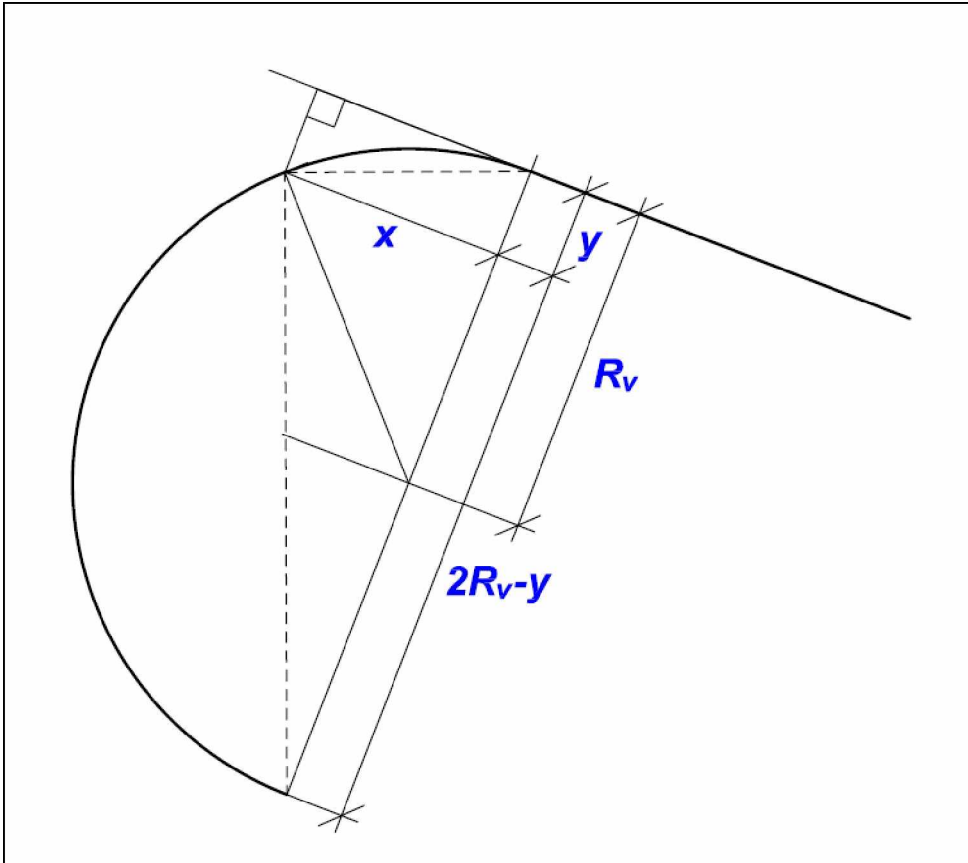
$y$  = tarkastelupisteen korkeusero kulmapisteen korkeudesta [m]

$h_A$  = tarkastelupisteen korkeus [m]

$x$  = tarkastelupisteen etäisyys kaltevuusjaksojen taitepisteestä [m]

### 2.2.3 Pyöristyskaari

Raitteen korkeusviiva pyöristetään kaltevuusjaksojen taitepisteen kohdalla pyöristyskaarella. Pyöristyskaari on ympyränkaari. Sen säde on nimeltään pyöristyskaarresäde ja sen tunnus on  $R_v/1/$ . Pyöristyskaaren määrittävät taitteen kulmapiste, siitä lähtevät kaltevuusjaksot ja pyöristyskaarresäde.



Kuva 30 Korkeusviivan pyöristyskaaren ordinaatan kaavan johtaminen (R Taime-  
la 2011)

Pyöristyskaaren pyörityksen ordinaatan kaava voidaan johtaa kuvan 30 muuttujilla. Kuva on piirretty ylikorostamalla  $x$  ja  $y$  arvoja. Yleisesti  $x$  on korkeintaan noin sadasosa pyöristyskaarresäteestä  $R_v$  ja raiteen kaltevuus on yleensä korkeintaan noin 0,0125.

$y$  = ympyränkaaren ordinaatta [m]

$R_v$  = pyöristyskaarresäde [m]

$x$  = tarkastelupisteen etäisyys pyöristyskaaren tangenttipisteestä [m]

Kuvassa 30 on yhdenmuotoiset kolmiot, joiden suhde on:

$$\frac{y}{x} = \frac{x}{2R_v - y} \quad (2.2:4)$$

Kun tästä supistetaan  $x$  pois jakajasta, saadaan kaava seuraavaan muotoon:

$$y = \frac{x^2}{2R_v - y} \quad (2.2:5)$$

Kun muuttuja  $y$ :n arvo on hyvin pieni  $R_v$ :hen verrattuna, se voidaan jättää pois jakajasta ja kaava voidaan kirjoittaa lopulliseen muotoonsa:

$$y \approx \frac{x^2}{2R_v} \quad [\text{m}] \quad (2.2:6)$$

Tyypillisesti  $R_v$  voi olla 20000 metriä ja  $x$  harvoin yli 200 metriä. Näillä arvoilla kaava antaa  $y$ :n arvoksi 1,000. Eli jakaja  $2 R_v - y = 2 \times 20000,000 - 1,000 = 39999$  ja jakaja  $2 R_v = 2 \times 20000,000 = 40000$  eli  $y$ :n poisjätö jakajasta on merkityksetön.

Edellä oleva kaava 2.2:6 on likiarvokaava. Matemaattisesti tarkka kaava on 2.2:7, jossa  $x$  mitataan kaltevan kaltevuusjakson suuntaisesti.

Pyöristyskaaren ordinaatta lasketaan kaavalla 2.2:7 tai 2.2:8:

$$y = -R_v + \sqrt{R_v^2 + x^2} \quad [\text{m}] \quad (2.2:7)$$

$$y = \frac{x^2}{2R_v} \quad [\text{m}] \quad (2.2:8)$$

$y$  = ordinaatta [m]

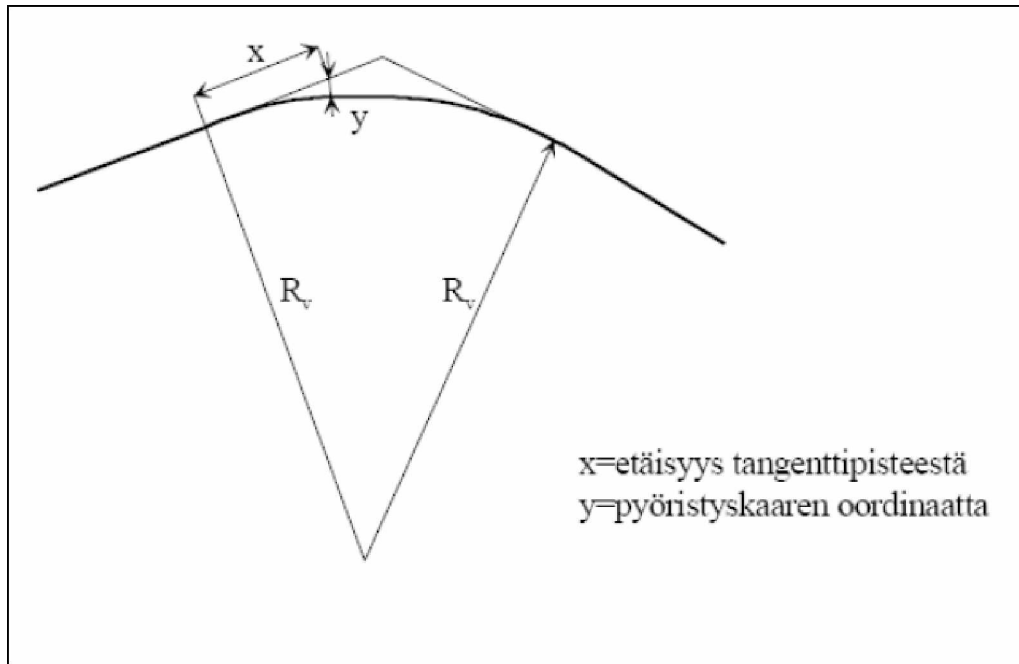
$R_v$  = pyöristyskaarresäde [m]

$x$  = tarkastelupisteen etäisyys pyöristyskaaren tangenttipisteestä

Huom.

1. Etäisyys on kuvasta 31 poiketen vaakasuora etäisyys.
2. Jos käytetään ratakilometrijärjestelmän mukaisia sijainteja ja välissä on km-merkki, matka on laskettava todellisten km-pituuksien mukaan.
3. Mitataan lyhin etäisyys tangenttipisteeseen, taitepisteen oikealla puolella mitataan etäisyys oikeanpuoleiseen tangenttipisteeseen.

Likiarvokaavan ja tarkan kaavan ero on niin pieni, että sillä ei ole yleensä mitään merkitystä. Tarkan kaavan käyttö vaatii laskimelta vähintään normaalin funktiolaskimen tarkkuutta. Kaavassa on suuren luvun neliö ja pienen luvun neliö ja jos laskin laskee päättymättömiä desimaalilukuja liian vähin desimaalein, siinä voi hävitä merkitseviä numeroita.



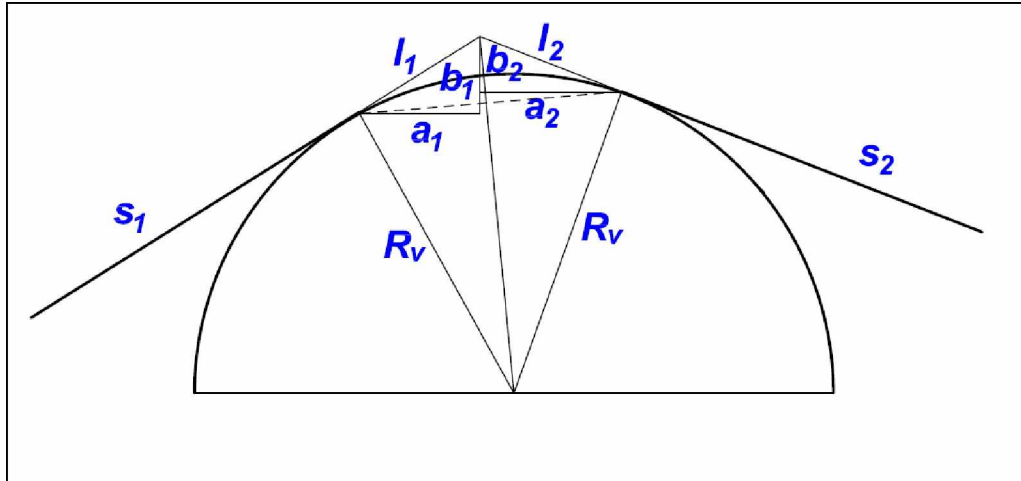
Kuva 31 Korkeusviivan korkeus pyöristyskaaren alueella /1/

Raitteen korkeusviivan korkeus pyöristyskaaren alueella lasketaan niin, että lasketaan ensin kaltevuusjakson tarkastelupisteen kohdan korkeus suoralla viivalla. Sitten lasketaan tarkastelukohdan pyöristyskaaren ordinaatta. Sitten suoran viivan tarkastelupisteen korkeuteen lisätään koverassa taitteessa tai vähennetään kuperassa taitteessa pyöristyskaaren ordinaatta.

1. Lasketaan ensin tarkastelupisteen kaltevuusjakson suoran viivan korkeus kaavalla 2.2:2 tai 2.2:3.
2. Lasketaan sitten pyöristyskaaren pyöristyksen ordinaatta  $y$  tarkastelukohdassa kaavalla 2.2:7 tai 2.2:8.
3. Lisätään tai vähennetään ordinaatta kaltevuusjakson korkeudesta.

Pyöristyskaaren tangenttipisteiden etäisyys kulmapisteestä lasketaan seuraavassa johdetuilla kaavoilla.





Kuva 32 Tangenttipisteiden etäisyys kulmapisteestä, kaavojen johtaminen (R Taimela 2011)

Kuva 32 on piirretty ylikorostamalla kaltevuuksia.

$R_v$  = pyöristyskaarresäde [m]

$a_1$  ja  $a_2$  = tangenttipisteiden vaakasuora etäisyys kulmapisteestä

$b_1$  ja  $b_2$  = tangenttipisteiden pystysuora korkeusero kulmapisteestä

$s_1$  ja  $s_2$  = pituuskaltevuudet desimaalilukuina, itseisarvo ilman etumerkkiä

$l$  = tangenttipisteen etäisyys kulmapisteestä [m]

$l_1$  ja  $l_2$  = tangenttipisteiden etäisyys kulmapisteestä

Yhdenmuotoisista kolmioista voidaan tehdä seuraavat verrannot:

$$s_1 = \frac{b_1}{a_1} = \frac{l_1}{R_v} \quad (2.2:9) \quad \text{ja} \quad s_2 = \frac{b_2}{a_2} = \frac{l_2}{R_v} \quad (2.2:10)$$

Näistä voidaan kirjoittaa:

$$l_1 = s_1 R_v \quad (2.2:11) \quad \text{ja} \quad l_2 = s_2 R_v \quad (2.2:12)$$

Todelliset kaltevuudet ovat hyvin pienet ja voidaan olettaa, että mitat  $a_1 \approx l_1$  ja  $a_2 \approx l_2$ , ja että  $l_1 + l_2 \approx$  kuvan katkoviivan pituus. Likiarvoa on kaavoissa sen verran, kuin vaakasuorat mitat poikkeavat kaltevuusjaksojen kaltevuuden suuntaisista mitoista ja katkoviivan kaltevuuden suuntaisista mitoista.

$$l \approx \frac{a_1 + a_2}{2} \approx \frac{R_v s_1 + R_v s_2}{2} \approx \frac{R_v}{2} (s_1 + s_2) \quad [m] \quad (2.2:13)$$

Tämä kaava 2.2:13 koskee tapauksia, joissa kaltevuuksien suunta muuttuu kulmapisteen kohdalla.

Jos kaltevuuden suunta ei muutu taitepisteen kohdalla, pienempi kolmio on suuremman kolmion sisällä ja tangenttipisteiden etäisyydeksi voidaan kirjoittaa vaakasuorien mittojen erotus jaettuna kahdella. Tässä tapauksessa kaava saa muodon:

$$l \approx \frac{a_1 - a_2}{2} \approx \frac{R_v s_1 - R_v s_2}{2} \approx \frac{R_v}{2} (s_1 - s_2) \quad [\text{m}] \quad (2.2:14)$$

Tämä kaava 2.2:14 koskee tapauksia, joissa kaltevuuksien suunta ei muutu kulmapisteen kohdalla. Kaavassa muuttujan  $s_1$  kohdalle tulee numeroarvoltaan suurempi kaltevuus ja  $s_2$  kohdalle pienempi.

Raitteen korkeusviivan kaltevuusjakson pyöristyskaarien tangenttipisteiden etäisyys kulmapisteestä lasketaan kaavoilla 2.2:15, 2.2:16 ja 2.2:17 /1/.

Kun kaltevuuden suunta muuttuu (kuva 33):

$$l = \frac{R_v}{2} (s_1 + s_2) \quad [\text{m}] \quad (2.2:15)$$

Kun kaltevuuden suunta ei muutu (kuva 34):

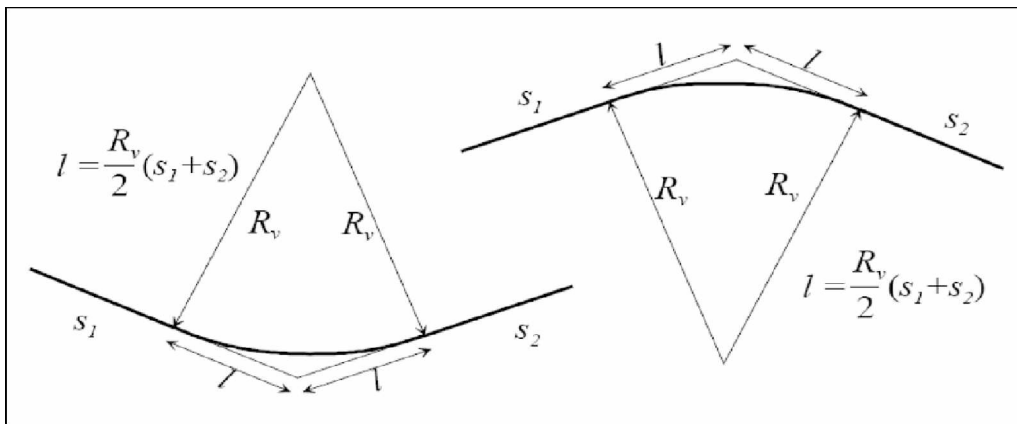
$$l = \frac{R_v}{2} (s_1 - s_2) \quad s_1 > s_2 \quad [\text{m}] \quad (2.2:16)$$

$$l = \frac{R_v}{2} (s_2 - s_1) \quad s_1 < s_2 \quad [\text{m}] \quad (2.2:17)$$

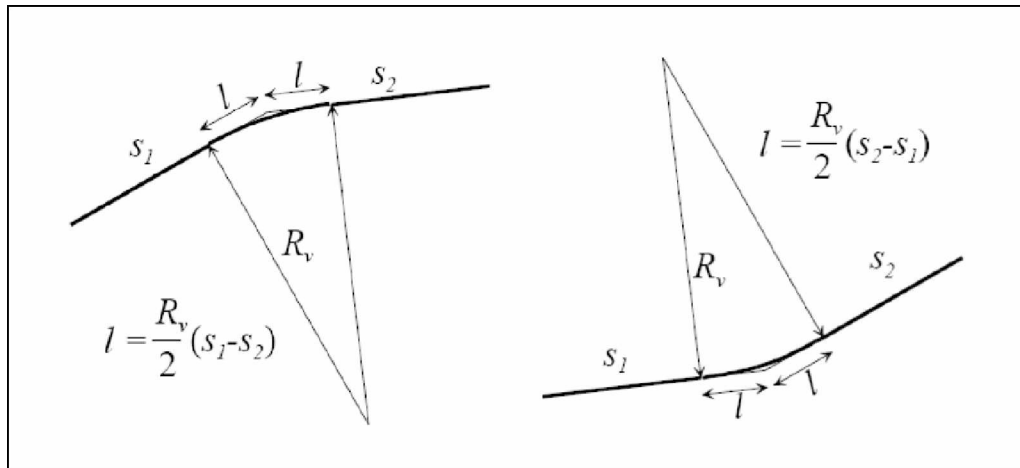
$l$  = tangenttipisteen vaakasuora etäisyys kulmapisteestä [m]

$R_v$  = pyöristyskaarresäde [m]

$s_1$  ja  $s_2$  = pituuskaltevuudet desimaalilukuina, kaltevuuden itseisarvo ilman etumerkkiä



Kuva 33 Tangenttipisteiden etäisyydet kulmapisteistä, kun pituuskaltevuuden suunta muuttuu /1/



Kuva 34 Tangenttipisteiden etäisyydet kulmapisteestä, kun pituuskaltevuuden suunta ei muutu /1/

## 2.3 Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät

Yleisimmin käytetty koordinaattijärjestelmä on valtakunnallinen kartastokoordinaattijärjestelmä KKJ. Muita käytössä olevia järjestelmiä ovat vanha valtion järjestelmä VVJ sekä paikalliset kuntien järjestelmät.

Uudempi yleiseurooppalainen yhtenäisen koordinaattijärjestelmän ETRS89:n mukainen Euref-Fin -järjestelmä on korvaamassa KKJ:tä. EU:n Inspire-direktiivi edellyttää, että viranomaisten tuottama paikkatieto on saatavana tässä koko Euroopan kattavassa yhtenäisessä koordinaatistossa.

Tämän järjestelmän yhtenäiskoordinaatiston nimi on ETRS-TM35FIN ja kaistoihin jaetun koordinaatiston nimi on ETRS-GKn. Yhtenäiskoordinaatisto kattaa koko maan ja sitä käytetään valtakunnallisissa paikkatietoasioissa. Koordinaatiston keskimeridiaani on 27° itäistä pituutta. Kaistoihin jaetussa koordinaatistossa maa on jaettu 13 kaistaan, joissa projektion aiheuttama vääristymä on pienempää. Kaistojen koordinaatistojen keskimeridiaani on 19...32° itäistä pituutta. Tätä koordinaatistoa käytetään suurempaa tarkkuutta vaativissa tehtävissä.

Raidegeometrian suunnittelussa otetaan käyttöön ETRS89 järjestelmän kaistoihin jaettu tasokoordinaatisto ETRS-GKn. Tässä yhteydessä tasokoordinaattien tunnukset muuttuvat. Pohjoiskoordinaatti saa tunnuksen N ja itäkoordinaatti tunnuksen E. Entiset pohjoiskoordinaatin tunnus X ja itäkoordinaatin tunnus Y poistuvat. Sekaannusta aiheuttanut matemaattisen koordinaatiston ja karttakoordinaatiston samannimisten akselien ero poistuu.

Raiteistosuunnittelussa käytetään näiden järjestelmien geodeettista karttakoordinaatistoa, joka on suorakulmainen tasokoordinaatisto/1/.

Suorakulmaisen tasokoordinaatiston lisäksi järjestelmiin kuuluvat 3-ulotteiset maantieteelliset pallokoordinaatit. Niissä sijainti ilmoitetaan pituus- ja leveysasteina sekä korkeutena. Näitä ei käytetä raidegeometrian suunnittelu- eikä rakentamistehtävissä koska mm. laskenta niillä on paljon monimutkaisempaa.

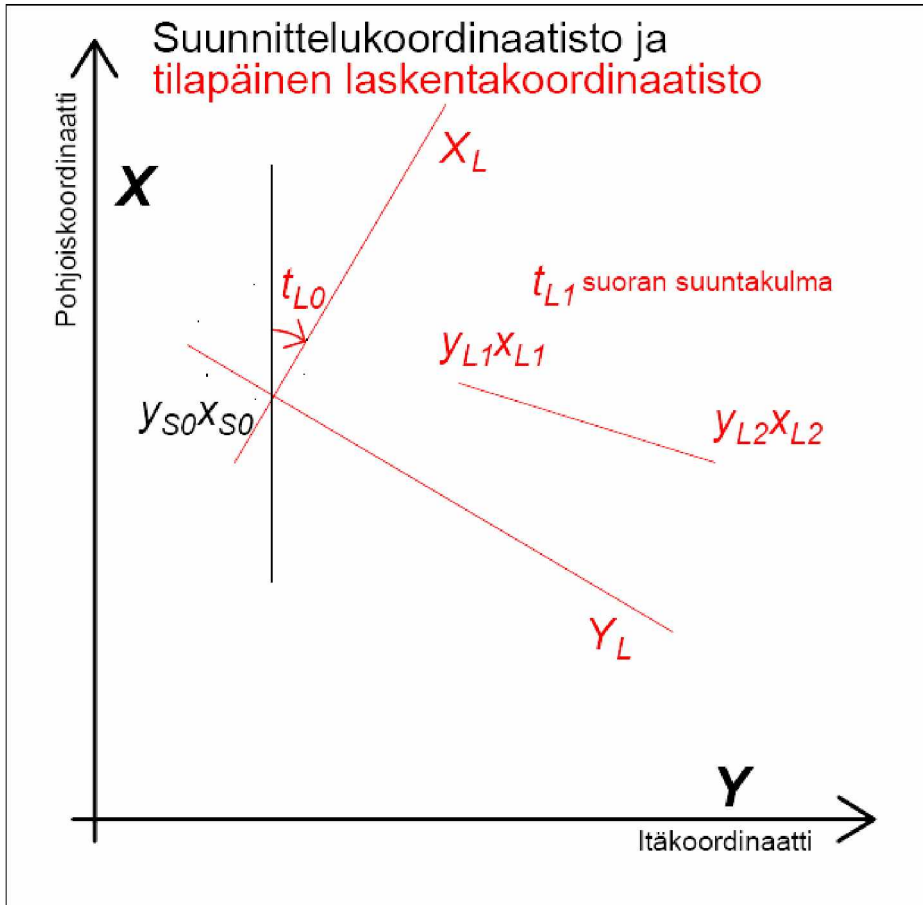
Kun rakennetaan uutta mittausperustaa, on määritettävä paikalliset muunnoskertoimet Euref-Fin -järjestelmään. Muunnoskertoimia käytetään ainoastaan paikallisessa järjestelmässä tehtyjen kartoitusaineistojen muuntamisessa Euref-Fin:iin.

Raidegeometrian suunnittelussa ja paikalleen mittauksessa on toimittava aina alueen mittausperustan mukaisessa järjestelmässä eikä siellä saa käyttää muunnoskertoimia.

Yleisimmin käytettävä korkeusjärjestelmä on valtakunnan N60-järjestelmä. Muita järjestelmiä ovat N43, NN ja paikalliset kuntien järjestelmät. Uusi Euroopan EVR2000 korkeusjärjestelmän kanssa yhteensopiva N2000-järjestelmä on korvaamassa N60-järjestelmää.

### 2.3.1 Tilapäisen laskentakoordinaatiston käyttö

Ympyränkaaren ja klotoidin sisäinen geometria on yksinkertaisinta laskea tapauskohtaisessa tilapäisessä laskentakoordinaatistossa. Tämä on vain tämän yhden laskennan hetkellinen koordinaatisto. Ympyrän laskennassa ympyrän keskipiste ja klotoidin laskennassa klotoidin alkupiste on helpoin laskentakoordinaatiston origon paikka. Laskennan tulos muunnetaan sitten käytettävään suunnittelukoordinaatistoon. Tilapäinen laskentakoordinaatisto on vain suunnittelukoordinaatiston kopio, jossa origo on siirretty ja koordinaatisto kierretty. Muuten suunnittelussa toimitaan aina alueen mittausperustan mukaisessa järjestelmässä eikä siellä saa käyttää muunnoskertoimia toisiin todellisiin koordinaatistoihin.



Kuva 35

Suunnittelukoordinaatisto ja tilapäinen laskentakoordinaatisto (R Taimela 2011)

Kuvassa 35 on punaisella merkitty laskentakoordinaatisto ja mustalla suunnittelukoordinaatisto. Laskentakoordinaatiston origo on suunnittelukoordinaatiston pisteessä  $y_{S_0}x_{S_0}$ . Laskentakoordinaatisto on  $t_{L_0}$  - suunnassa suunnittelukoordinaatistossa. Molemmilla koordinaatistoissa X-akseli on pohjoissuuntaan ja Y-akseli itäsuuntaan. Laskentakoordinaatistossa on laskettu suoran pisteet  $y_{L_1}x_{L_1}$  ja  $y_{L_2}x_{L_2}$ . Suoran suunta on  $t_{L_1}$ . Muunto suunnittelukoordinaatistoon tehdään seuraavilla kaavoilla:

$$t_{S_1} = t_{L_0} + t_{L_1} \quad [\text{gon}] \quad (2.3:1)$$

$$x_{S_1} = x_{S_0} + x_{L_1} \cos(t_{L_0}) - y_{L_1} \sin(t_{L_0}) \quad [\text{m}] \quad (2.3:2)$$

$$y_{S_1} = y_{S_0} + x_{L_1} \sin(t_{L_0}) + y_{L_1} \cos(t_{L_0}) \quad [\text{m}] \quad (2.3:3)$$

$y_{S_0}x_{S_0}$  = laskentakoordinaatiston origo suunnittelukoordinaatistossa  
[m]

$t_{L_0}$  = laskentakoordinaatiston kulma suunnittelukoordinaatistossa  
[gon]

$y_{L_1}x_{L_1}$  ja  $y_{L_2}x_{L_2}$  = pisteet laskentakoordinaatistossa [m]

$t_{L_1}$  = suuntakulma laskentakoordinaatistossa [gon]

$y_{S_1}x_{S_1}$  ja  $y_{S_2}x_{S_2}$  = pisteet suunnittelukoordinaatistossa [m]

$t_{S_1}$  = suuntakulma suunnittelukoordinaatistossa [gon]

Huom. Laskimen kulmayksiköksi valitaan gooni (eli graadi).

### 3 Raidegeometrian elementtien mitoitus

Raidegeometrian suunnittelu voi olla ratalinjan raiteen tai laajempien ratapihojen raiteistojen suunnittelua. Suunnittelu lähtee yksittäisen elementin suunnittelusta ja elementtejä yhdistämällä muodostetaan raiteita. Raiteista voidaan yhdistää ratapihoja ja laajempia raiteistoja. Yksittäistä elementtiä suunniteltaessa on pidettävä mielessä, että siitä tulee yksi osa laajempaa raiteistoa, ja se on suunniteltava kokonaisuuden ehdoilla. Lisäksi raiteisto on vain yksi rautatiejärjestelmän osa, kuitenkin hyvin tärkeä, koska se toimii muiden järjestelmien, kuten turvalaitteiden ja sähköradan pohjana. Raiteiston suunnitelmaa on katsottava myös näiden muiden järjestelmien kannalta.

Raidegeometrian suunnittelun tuloksena saadaan tarkasti määritetty raiteiden ja raiteiston muoto ja sijainti. Määrittely tapahtuu suunnittelussa ja paikalleenmittauksessa käytettävään koordinaatistoon. Määritelty geometria ja sen sijainti saadaan merkittyä yksikäsitteisesti maastoon rakentamista ja kunnossapitoa varten saman koordinaatiston mittausperustalta. Tämä raiteen sijainti ja geometrinen muoto ovat rakentamisessa tavoitteena ja kunnossapidossa raide pyritään pitämään toleranssien sisällä tässä tavoitegeometriassa.

Tässä esitettävä raidegeometrian mitoitus perustuu nykyiseen RATOn osaan 2 Radan geometria 3 2010. Raja-arvot on kopioitu suoraan sieltä ja tässä johdetut kaavat ovat samoja, mutta kaavojen numerointi on erilainen.

Raidegeometrian mitoitus perustuu nykyisen RATOn ohjeen mukaan kallistuksen vajausta tai poikittaiskiihtyvyyttä käyttävään menetelmään. Pääsääntö on, että uudet projektit tehdään kallistuksen vajausta käyttäen. Vuonna 2010 kesken olevat projektit ja pienet muutokset aiempiin suunnitelmiin voidaan tehdä poikittaiskiihtyvyyssmenetelmällä /1/.

Suunnittelun aikana on pidettävä mielessä, että monet RATOn arvot ovat minimi- tai maksimiarvoja. Ne ovat viimeisimpiä hyväksyttävissä olevia arvoja eikä niitä voi käyttää jatkuvana suunnitteluarvona. Suunnitteluperusteissa voidaan esittää poikkeuksia RATOn arvoihin ja projektissa käytettävät suositeltavat arvot. Lupa-arvojen käyttö edellyttää kirjallista lupaa Liikennevirastolta tai infranhaltijalta. RATOn arvot esitetään tarkemmin kohdassa 4.2 .

Raidegeometrian suunnittelu on joko raiteen geometrian suunnittelua tai olemassa olevan geometrian salliman nopeuden määrittelyä /1/. Kummassakin tapauksessa käytetään samoja perusteita ja kaavoja.

Raidegeometrian elementtien mitoituksessa käytetään seuraavia käsitteitä /1/ :

**Mitoitusnopeus** on raiteella käytettävä tai käyttöön otettava raiteen suurin nopeus, joka on geometrian mitoituksen perusteena. Se määritellään liikenteellisten tavoitteiden mukaan.

**Paikallinen nopeus** on radan paikallinen mitoitusnopeus. Se voi olla muusta mitoitusnopeudesta poikkeava esimerkiksi yhdyskuntarakenteesta tai tasoristeyksestä johtuen.

**Tasapainonopeus** on kulkunopeus, millä kaarteissa kulkevaan junaan ei kohdistu poikittaiskiihtyvyyttä raiteen tasossa. Kaarteissa on tällöin kulkunopeuden mukainen tasapainokallistus.

**Tavoitenopeus** määritellään kullekin rataosalle tulevaa liikkuvan kaluston ja radan kehitystä silmällä pitäen. Tämä tarkoittaa, että radan kaarregeometria kallistusta lukuun ottamatta pyritään suunnittelemaan tavoitenopeuden mukaan. Tällöin tavoitenopeuden mukainen geometria voidaan saavuttaa lisäämällä kallistusta.

**Suurnopeusradat.** Suurnopeusradoilla tarkoitetaan ratoja, joiden nopeus on vähintään 250 km/h /1/. Ohjeissa on yksi kappale suurnopeusratojen geometrian mitoituksen lisävaatimuksista.

**Nopean liikenteen radat** ovat ratoja, joilla suurin sallittu nopeus on yli 160 km/h.

Pääraiteiden nopeudet mitoitetaan täysille nopeuden 10 km/h kerrannaisen arvoille. Sivuraiteiden nopeus mitoitetaan vähintään 40 km/h:n nopeudelle, mutta toistaiseksi on käytössä suuripanan nopeutena yleisimmin 35 km/h. Liikenteelle nopeuden ilmoittavat JKV, opastimen Aja 35 -opaste ja nopeusmerkit. Ne eivät voi valvoa eivätkä ilmoittaa muita nopeuksia.

Nopeus lasketaan mitoituskaavoilla vähintään yhden desimaalin eli 0,1 km/h:n tarkkuudella. Nopeustasot ja nopeusarvojen pyöristyssäännöt käsitellään kohdissa 4.3 ja 4.5.

Matkustajajunien suurin Suomessa käytössä oleva nopeus on veturijunilla 200 km/h ja kallistuvakorilla moottorijunilla 220 km/h. Tavarajunien suurin nopeus riippuu vaunujen akselipainosta ja voi olla eri päällysrakenneluokissa enintään taulukossa 10 esitetty ja suurin tavarajunien käytössä oleva nopeus on 120 km/h.

Nopeustietoihin liittyy oleellisesti kalustolaji, jota nopeusmääritys koskee. Raidegeometrian mitoituksen ohjeissa on erilaisia mitoitusohjeita mm. seuraaville kalustolajeille /1/ :

**Tavanomainen kalusto** on muuta kuin kallistuvakorista kalustoa. Suurin osa ohjeista koskee mitoitusta tavanomaiselle kalustolle.

**Kallistuvakorinen kalusto** tarkoittaa kalustoa, jossa käytetään korin kallistusta suuremman kaarrenceuden saavuttamiseksi. Ohjeet ovat tyyppikohtaisia ja koskevat kalustoa Sm3 (Pendolino) ja Sm6 (Allegro).

Pääperiaate on, että vaakageometria mitoitetaan ja rakennetaan niin, että nopeus voidaan myöhemmin nostaa tavoitenopeuden arvoon ilman suurempia muutoksia. Tämä tarkoittaa sitä, että kaarresäteet ja siirtymäkaaren pituudet mitoitetaan tavoitenopeuden mukaan. Raiteen kallistus toteutetaan paikallisen mitoitusnopeuden mukaan, mutta on tarkastettava, että se voidaan nostaa myöhemmin tavoitenopeuden vaatimaan arvoon. Kallistusviisteen ja siirtymäkaarien pituuden on oltava riittävä myös tavoitenopeuden mukaiselle kallistukselle.

Raiteen pystygeometria mitoitetaan ja rakennetaan lähtökohtaisesti aina tavoitenopeudelle. Näin nopeus voidaan nostaa myöhemmin tavoitenopeuden arvoon lisäämällä raiteen kallistusta, eikä vaaka- tai pystygeometriaan tarvitse tehdä muutoksia /1/.

Tavoitenopeuden määrittelyyn ja geometrian mitoitukseen liittyy tärkeänä tietona kalustotyyppi, jolle määrittely ja mitoitus tehdään. Matkustajajunien kalusto on joko tavanomaista kalustoa, jolla tarkoitetaan veturivetoisia junia tai kallistuvakorista kalustoa ja näille kummallekin voi olla määritelty oma tavoitenopeus. Lisäksi tavara-junille määritellään omat tavoitenopeudet eri akselipainoille, mutta koska nämä ovat matkustajajunien nopeutta alhaisempia, ne eivät yleensä vaikuta raidegeometrian suunnitteluun.

## 3.1 Junan kulku kaarteessa

Tähän liittyvät tärkeät käsitteet on määritelty kohdassa 1.3 .

### 3.1.1 Junaan vaikuttavat voimat kaarteessa

Kun juna kulkee kaarteessa, junaan kohdistuu poikittaiskiihtyvyyttä, jonka suuruus riippuu junan nopeudesta ja kaarteiden geometriasta. Poikittaiskiihtyvyyden vaikutukset pyritään pitämään hallinnassa oikealla kaarteiden mitoituksella. Vaikutukset ovat lievimmillään matkustusmukavuuteen vaikuttavia, mutta voivat pahimmillaan aiheuttaa väärin mitoitetuissa kaarteissa tai ylinopeudella pahoja vaurioita kalustossa tai radassa.

Poikittaiskiihtyvyyden haitallisia vaikutuksia voivat olla mm:

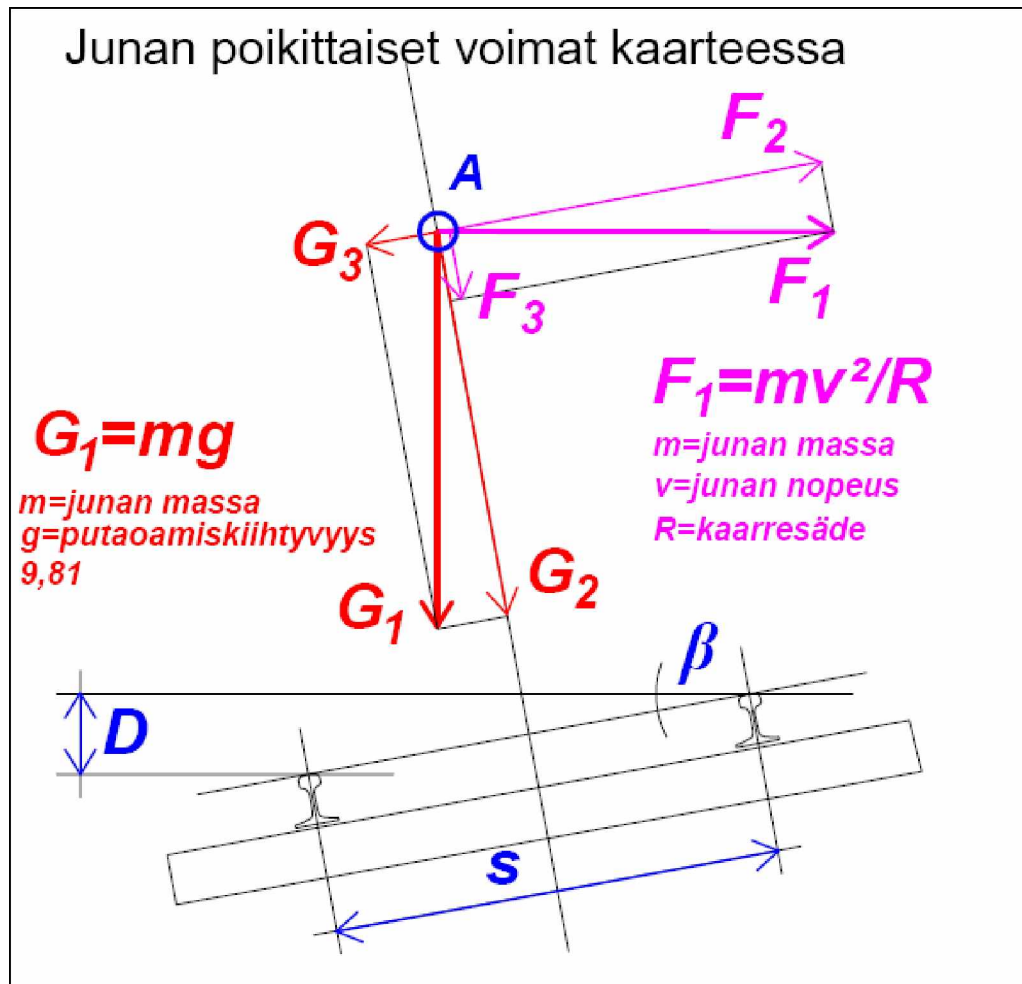
- Matkustusmukavuus huononee
- Junan kulku huononee
  - Kaluston kaarrevastus kasvaa
  - Kaluston ja raiteiden kuluminen kasvaa
- Tavaravaunujen kuorma vaurioituu
  - Kuorman tukeminen pettää
  - Kuorma kaatuu tai vaurioituu
- Raiteiden rakenne ylikuormittuu
  - Kiskonkiinnitykset pettävät ja kisko kaatuu
  - Raiteiden päällysrakenne tai alusrakenne antaa periksi
  - Sivuvoimat siirtävät raidetta
- Pyörän laippa nousee ulkokaarteiden kiskon päälle ja suistaa vaunun raiteelta
- Kalusto kaatuu

Tässä kappaleessa tarkastellaan asian teoreettista puolta ja sen vaikutusta raidegeometrian mitoituksen perusteisiin. Kaarteiden geometrian mitoitus tehdään yksinkertaisemmin myöhemmin esitettävillä käytännön mitoituksaavoilla, jotka perustuvat sekä teoriaan että käytännön kokemuksiin.

Junan poikittaiset voimat ovat raidegeometrian perusteiden tarkastelussa hyvin teoreettisia ja yksinkertaistettuja. Liikkuvan kaluston ja radan rakenteen mitoituksessa pyörä- ja muut mitoittavat voimat määritellään aivan eri perusteiden. Tarkasteluissa on oltava mukana mm. staattiset tekijät (pysyvät, kaluston massa), kvasistaattiset tekijät (näennäisesti pysyvät, keskihakuvoima, tuulivoima), dynaamiset tekijät (jousitetut



massat, jousittamattomat massat, kisko jatkokset, vaihteet, pyöräviat, kiskoviato, raitteen geometrian virheet, päälly- ja alusrakenteen jousto), olosuhteet (lämpötilat, kosteus), varmuuskertoimet ja muut vaikutukset, jotta kaluston ja radan rakenteet eivät petä missään todellisessa käyttötilanteessa.



Kuva 36 Junaan vaikuttavat poikittaiset voimat kaarteessa (R Taimela 2011)

Junan kulkiessa ympyränkaarteessa, siihen vaikuttavat poikkileikkauksen tasossa kuvassa 36 esitettävät voimat. Kuvassa ja myöhemmin esitettävissä kaavoissa käytetään termejä:

$D$  = raitteen kallistus [mm]

$D_{EQ}$  = raitteen tasapainokallistus [mm]

$s$  = junan pyörien kulkuympyröiden väli 1600 [mm]

$R$  = kaarresäde [m]

$\beta$  = raitteen kallistuskulma

$a_R$  = poikittaiskiihtyvyys vaakasuorassa tasossa [ $m/s^2$ ]

$a_q$  = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän ja vaunun lattian tasossa [ $m/s^2$ ].

$I$  = kallistuksen vajoitus [mm]

$m$  = junan massa

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

$v$  = junan nopeus [m/s]

$V$  = junan nopeus [km/h]

$G_1$  = pystysuora voima

$G_2$  = pystysuoran voiman vaunun lattiaa vasten kohtisuora komponentti

$G_3$  = pystysuoran voiman vaunun lattiatason suuntainen komponentti

$F_1$  = keskihakuvoiman vastainen vaakasuora keskeiskiihtyvyysoima

$F_2$  = vaakasuoran keskihakuvoiman vastaisen vaakasuoran keskeiskiihtyvyysoiman vaunun lattian suuntainen komponentti

$F_3$  = vaakasuoran keskihakuvoiman vastaisen vaakasuoran keskeiskiihtyvyysoiman kohtisuoraan vaunun lattiaa vastaan oleva komponentti

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus [m]

$L_D$  = kallistusviisteen pituus [m]

$da_q/dt$  = nykäys eli kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutos aikayksikössä [m/s<sup>3</sup>]

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

Kun juna seisoo paikallaan kaarteessa, junan massa  $m$  ja maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys  $g$  muodostavat pystysuoran voiman  $G_1$ . Arkikielessä tämä on junan paino. Jos raiteessa on kallistusta, tämä pystysuora voima  $G_1$  voidaan jakaa vaunun lattiaa vastaan kohtisuoraan voimaan  $G_2$  ja vaunun lattiatason suuntaiseen voimaan  $G_3$ . Nämä pystyvoimat säilyvät samoina myös junan liikuessa.

Kun juna kulkee ympyränkaaressa, ympyränkaaren keskipistettä kohti vaikuttava keskihakuvoima pitää junan kaartavalla radalla. Sen vastainen samansuuruinen keskeiskiihtyvyysoima  $F_1$  pyrkii suistamaan junan vastakkaiseen suuntaan, ulkokaarteeseen päin. Jos raiteessa on kallistusta, tämä vaakasuora voima  $F_1$  voidaan jakaa vaunun lattian tason suuntaiseen voimaan  $F_2$  ja vaunun lattian tasoa vastaan kohtisuoraan voimaan  $F_3$ .

Raiteen kallistus kasvattaa junan massasta aiheutuvaa vaunun lattian tason suuntaista voimaa  $G_3$ . Tämä kumoaa keskeiskiihtyvyysoiman lattian tason suuntaista voimaa  $F_2$ . Erotus jää kompensoimatta. Tietyllä nopeudella nämä vaunun lattian tason suuntaiset voimat,  $G_3$  ja  $F_2$  ovat samansuuruiset ja kumoavat toisensa. Tämä nopeus on tällä kaarresäteen  $R$ , raiteen kallistuksen  $D$  ja junan nopeuden  $V$  yhdistelmällä tasapainonopeus. Samoin tämä raiteen kallistuksen arvo  $D_{EQ}$  on tällä kaarresäteen  $R$  ja junan nopeuden  $V$  yhdistelmällä tasapainokallistus.

Raidegeometrian mitoituskaavoissa ei käytetä voimaa, koska se riippuu massan suuruudesta. Voima on fysiikan lakien mukaan massan ja kiihtyvyyden tulo. Kun asiaa tarkastellaan kiihtyvyytenä, massa ei vaikuta asiaan. Raidegeometrian mitoituksessa käytetään mitoittavana tekijänä vaunun lattian tason kompensoimatonta poikittaiskiihtyvyyttä  $a_q$ . Tämä on voimien  $G_3$  ja  $F_2$  erotuksen kiihtyvyyssarvo. Poikittaiskiihtyvyyden kanssa on toinen rinnakkainen mitoitusmenetelmä, kallistuksen vajaus  $I$ , joka on nykyisten ohjeiden mukainen pääasiallinen mitoitusmenetelmä  $/1/$ .

Kaavoilla esitettynä edellä selitetty asia on seuraava:

Junan massan ja maan vetovoiman aiheuttama pystysuora voima:

$$G_1 = mg \quad (3.1:1)$$

Keskeiskiihtyvyys ympyränkaaressa:

$$a_R = \frac{v^2}{R} \quad (3.1:2)$$

Keskihakuvoiman vastainen vaakasuora keskeiskiihtyvyysoima:

$$F_1 = m \frac{v^2}{R} \quad (3.1:3)$$

Raitteen kallistuskulma  $\beta$  voidaan laskea likiarvokaavalla, kun  $\beta$  on melko pieni:

$$\sin \beta = \frac{D}{s} \quad (3.1:4)$$

$$\tan \beta \approx \frac{D}{s} \quad (3.1:5)$$

$$\cos \beta \approx 1 \quad (3.1:6)$$

Näin voidaan kirjoittaa seuraavat kaavat:

$$F_2 \approx F_1 \times \cos \beta \approx F_1 \times 1 \approx m \frac{v^2}{R} \quad (3.1:7)$$

$$G_3 \approx G_1 \sin \beta \approx mg \frac{D}{s} \quad (3.1:8)$$

Näistä saadaan kompensoimattomaksi voimaksi kiskon selän ja vaunun lattian ta-  
soon:

$$F_2 - G_3 \approx m \frac{v^2}{R} - mg \frac{D}{s} \quad (3.1:9)$$

Kun voimat muutetaan kiihtyvyydeksi, tekijöistä voidaan poistaa junan massa  $m$ :

$$a_q \approx \frac{v^2}{R} - g \frac{D}{s} \quad (3.1:10)$$

Nopeus  $v$  [m/s] muutetaan nopeudeksi  $V$  [km/h]:

$$V = \frac{60 \times 60 \times v}{1000} = 3,6 \times v \quad [\text{km/h}] \quad (3.1:11)$$

Pyöräkerran kulkuympyröiden välinen etäisyys raitteessa on  $s = 1600$  mm.

Näistä saadaan kompensoimattomaksi poikittaiskiihtyvyydeksi kiskon selän ja vaunun lattian tasossa:

$$a_q \approx \frac{v^2}{R} - g \frac{D}{s} \approx \frac{V}{3,6} \times \frac{V}{3,6} \times \frac{1}{R} - 9,81 \frac{D}{1600} \quad [\text{m/s}^2] \quad (3.1:12)$$

Tästä poikittaiskiihtyvyyden kaava saa muodon /1/:

$$a_q \approx \frac{V^2}{12,96R} - \frac{D}{163} \quad [\text{m/s}^2] \quad (3.1:13)$$

Kaavan viimeisen tekijän mittayksiköt näyttävät yhteen sopimattomilta. Tekijä kuvaa raiteen kallistuksen kompensoimaa poikittaiskiihtyvyyttä. Mittayksiköt tulevat kaavan 3.1:12 viimeisen tekijän kertoimista. Viimeisen tekijän mittayksiköt ovat  $[\text{m/s}^2]$ , jotka sisältyvät jakajan arvoon 163. Kun jaettavaksi sijoitetaan  $D$  [mm], tekijän mittayksiköt ovat samat kuin muussa kaavassa. Viimeisen tekijän mittayksiköt jätetään yksinkertaisuuden vuoksi pois jatkossa ja ne on jätetty pois myös RATOn osan 2 kaavoissa.

$$9,81[\text{m/s}^2] \frac{D[\text{mm}]}{1600[\text{mm}]} = \frac{D}{163,0989} [\text{m/s}^2] \approx \frac{D}{163} [\text{m/s}^2] \quad (3.1:14)$$

Termin  $D/163$ , raiteen kallistuksen kompensoima poikittaiskiihtyvyys, dimensio on  $[\text{m/s}^2]$  kaikissa tämän dokumentin kaavoissa.

### 3.1.2 Poikittaiskiihtyvyys

Matkustajaan kohdistuu kaarteessa vaunun lattian tason suunnassa kaavan 3.1:15 mukainen poikittaiskiihtyvyys /1/. Tarkemmin sanottuna tämä on kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän ja vaunun lattian tasossa. Siitä puhutaan yleensä poikittaiskiihtyvyytenä, mutta jos on sekaantumisvaaraa, on hyvä käyttää tarkentavia termejä.

$$a_q = \frac{V^2}{12,96R} - \frac{D}{163} \quad [\text{m/s}^2] \quad (3.1:15)$$

Kun tästä kaavasta ratkaistaan nopeus  $V$ , voidaan laskea sallittu nopeus kaarteessa poikittaiskiihtyvyyden perusteella:

$$V = \sqrt{12,96R \left( a_q + \frac{D}{163} \right)} \quad [\text{km/h}] \quad (3.1:16)$$

Jos raiteessa ei ole kallistusta, matkustajiin kohdistuu täysimääräisenä keskihakuvoiman vastaisen voiman aiheuttama poikittaiskiihtyvyys:

$$a_q = \frac{V^2}{12,96R} \quad [\text{m/s}^2] \quad (3.1:17)$$

Kaarteen tasapainonopeudella  $V_{EQ}$  raiteen kallistus kompensoi kokonaan matkustajan tuntemaan poikittaiskiihtyvyyden. Voidaan merkitä, että kaavan 3.1:15 arvo on 0.

$$a_q = \frac{V_{EQ}^2}{12,96R} - \frac{D}{163} = 0 \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (3.1:18)$$

$D/163$ =raiteen kallistuksen kompensoima poikittaiskiihtyvyys, kaava 3.1:14 [m/s<sup>2</sup>]

$$\frac{D}{163} \text{ [m/s}^2\text{]} = \frac{V_{EQ}^2}{12,96R} \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (3.1:19)$$

$$D = \frac{163V_{EQ}^2}{12,96R} = \frac{12,5V_{EQ}^2}{R} \text{ [mm]} \quad (3.1:20)$$

Tällöin raiteessa on tämän kaarresäteen  $R$  ja nopeuden  $V_{EQ}$  tasapainokallistus  $D_{EQ}$  on:

$$D_{EQ} = \frac{12,5V_{EQ}^2}{R} \quad \text{[mm]} \quad (3.1:21)$$

Suunnittelun raja-arvoiksi annetaan poikittaiskiihtyvyyden ja negatiivisen poikittaiskiihtyvyyden arvot. Suurin mahdollinen nopeus ympyränkaareissa sille määritellyllä raiteen kallistuksella on sillä nopeudella, jolla poikittaiskiihtyvyys eli ulkokaarteen puolelle vaikuttava kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys  $a_q$  on maksimi-arvossaan. Negatiivinen kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys  $a_q$  ei saa alittua yleensä 60 km/h:n nopeudella. Jos alittuu, silloin kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys sisäkaarteeseen päin on liian suuri, ja raiteen kallistusta on pienennettävä.

### 3.1.3 Nykäys

Nykäys tarkoittaa kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutosta aikayksikköä kohden. Kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutos suoran 0-arvosta kaarteeseen  $a_q$ -arvoon tapahtuu siirtymäkaaren matkalla ja sinä aikana, kun siirtymäkaaren matkan kulkemiseen menee.

Juna käyttää siirtymäkaaren pituisen matkan  $L_K$  ajamiseen nopeudella  $V$  aikaa matka jaettuna nopeudella. Kertomalla nopeus km/h 1000:lla, saadaan se muotoon m/h. Jakamalla nopeus m/h 3600:lla (1 tunti = 3600 sekuntia), saadaan nopeus m/s.

$$\frac{L_K}{v} = \frac{3600L_K}{1000V} = \frac{3,6L_K}{V} \quad \text{[s]} \quad (3.1:22)$$

#### 3.1.3.1 Klotoidi

Klotoidin muotoisessa siirtymäkaareissa kaarevuus muuttuu suoraviivaisesti suoran arvosta kaarteeseen arvoon siirtymäkaaren matkalla. Poikittaiskiihtyvyys muuttuu kaarevuuden muutoksen perusteella suorana ja tasaisena koko siirtymäkaaren matkalla.

Kun siirtymäkaarena on klotoidi tai kolmannen asteen käyrä, nykäys lasketaan kaavalla 3.1:23 tai 3.1:24 /1/. Nykäys on poikittaiskiihtyvyyden muutosnopeus siirtymäkaareissa ja se saadaan jakamalla poikittaiskiihtyvyys ympyränkaareissa (=siirtymäkaaren lopussa) siirtymäkaaren matkaan käytetyllä ajalla.

Jos raiteen poikittaiskiihtyvyys  $a_q$  on laskettu, voidaan käyttää kaavaa:

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{a_q V}{3,6L_K} \quad [\text{m/s}^3] \quad (3.1:23)$$

$a_q$  = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän ja vaunun lattian tasossa [ $\text{m/s}^2$ ].

$V$  = junan nopeus [ $\text{km/h}$ ]

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus [ $\text{m}$ ]

$da_q/dt$  = nykäys eli kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutos aikayksikössä [ $\text{m/s}^3$ ]

Nykäys klotoidin muotoisessa siirtymäkaaressa, jos kaarteeseen poikittaiskiihtyvyyttä  $a_q$  ei ole laskettu, lasketaan kaavat 3.1:15 ja 3.1:23 yhdistämällä saadulla kaavalla:

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{V^3}{46,656RL_K} - \frac{VD}{586,8L_K} \quad [\text{m/s}^3] \quad (3.1:24)$$

$D$  = raiteen kallistus [ $\text{mm}$ ]

$R$  = kaarresäde [ $\text{m}$ ]

### 3.1.3.2 Helmertin siirtymäkaari

Helmertin eli 4. asteen siirtymäkaaressa kaarevuus muuttuu eri tavalla. Kaarevuuden muutos on siirtymäkaaren alussa ja lopussa pienempää ja keskellä siirtymäkaarta suurempaa ja kaksinkertaista klotoidiin verrattuna. Tämä kaksinkertainen arvo on mitoitettava ja se lasketaan kaavalla 3.1:25 tai 3.1:26.

Jos raiteen poikittaiskiihtyvyys  $a_q$  on laskettu, voidaan käyttää kaavaa:

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{a_q V}{1,8L_K} \quad [\text{m/s}^3] \quad (3.1:25)$$

Nykäys Helmertin siirtymäkaaressa, jos kaarteeseen poikittaiskiihtyvyyttä  $a_q$  ei ole laskettu, lasketaan kaavat 3.1:15 ja 3.1:25 yhdistämällä saadulla kaavalla:

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{V^3}{23,328RL_K} - \frac{VD}{293,4L_K} \quad [\text{m/s}^3] \quad (3.1:26)$$

### 3.1.3.3 Siirtymäkaareton kaarre

Siirtymäkaarettomien kaarteiden nykäys lasketaan niin, että siinä oletetaan olevan 17 metriä pitkä siirtymäkaari. Tämä mitta tulee yleisestä vaunujen telikeskiövälisestä. Oletetaan, että pistemäisesti muuttuva poikittaiskiihtyvyys muuttuu sillä matkalla, kun koko vaunu siirtyy suoralta ympyränkaarelle ja siinä ajassa, kuin tämän matkan kulkemiseen menee. Koska siirtymäkaarettomissa kaarteissa ei ole raiteen kallistusta, kaava 3.1:24 voidaan kirjoittaa muotoon:

$D$  = raiteen kallistus = 0

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus = 17,000

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{V^3}{46,656RL_K} - \frac{VD}{586,8L_K} = \frac{V^3}{46,656R17,000} - \frac{V \times 0}{586,8 \times 17} = \frac{V^3}{793R} \quad (3.1:27)$$

Siirtymäkaarettomissa kaarteissa nykäys lasketaan kaavalla 3.1:28:

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{V^3}{793R} \quad [\text{m/s}^3] \quad (3.1:28)$$

### 3.1.4 Kallistuksen vajuus

Kallistuksen vajuus on poikittaiskiihtyvyyden seuraus ja kuvaa poikittaiskiihtyvyyden suuruutta. Kallistuksen vajuus tarkoittaa sitä kallistuksen millimetrimäärää, joka puuttuu tasapainokallistuksen  $D_{EQ}$  ja todellisen kallistuksen  $D$  välistä kyseisessä kaarresäteen  $R$ :n ja nopeuden  $V$ :n yhdistelmässä. Jos kallistuksen vajuusta ei olisi ollenkaan eli kallistusta olisi tasapainokallistuksen verran, kuvan 36 voimat  $G_3$  ja  $F_2$  kumoaisivat toisensa.

Jos muutetaan aiemmin esitettyyn kaavaan 3.1:10 poikittaiskiihtyvyys  $a_q$  -termin tilalle kallistuksen vajuuksen  $I$  käsittävä tekijä, kaava tulee muotoon 3.1:29. Kallistuksen vajuuksen käsittävä tekijä on samanmuotoinen kuin kaavassa 3.1:10 oleva kallistuksen käsittävä tekijä, joka kompensoi poikittaiskiihtyvyyttä.

$$g \frac{I}{s} \approx \frac{v^2}{R} - g \frac{D}{s} \quad (3.1:29)$$

Tämä voidaan kirjoittaa edelleen muotoon:

$$9,81 \frac{I}{1600} \approx \frac{v^2}{R} - g \frac{D}{s} \approx \frac{V}{3,6} \times \frac{V}{3,6} \times \frac{1}{R} - 9,81 \frac{D}{1600} \quad (3.1:30)$$

$$\frac{I}{163} [m/s^2] \approx \frac{V^2}{12,96R} [m/s^2] - \frac{D}{163} [m/s^2] \quad (3.1:31)$$

$$I \approx \frac{163V^2}{12,96R} - D \quad [\text{mm}] \quad (3.1:32)$$

Saadaan kallistuksen vajuksen kaava:

$$I = \frac{12,5V^2}{R} - D \quad [\text{mm}] \quad (3.1:33)$$

Kun kaavasta 3.1:33 ratkaistaan nopeus  $V$ , voidaan laskea nopeus kallistuksen vajuksen perusteella /1/:

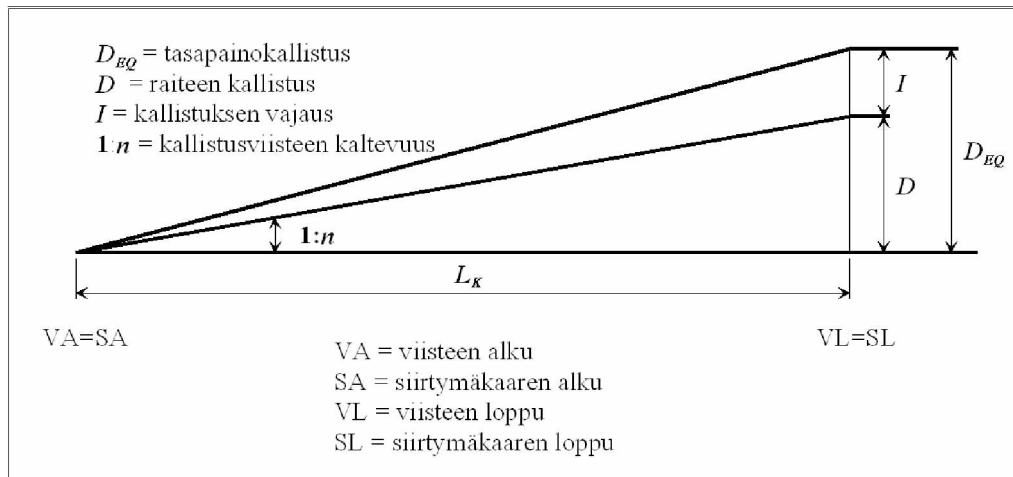
$$V = \sqrt{\frac{R(D+I)}{12,5}} \quad [\text{km/h}] \quad (3.1:34)$$

Poikittaiskiihtyvyyden ja kallistuksen vajauksen välinen yhteys on kaavan 3.1:35 mukainen  $1/$ . Tämä tulee kaavasta 3.1:10, kun kallistuksen  $D$  paikalle muutetaan kallistuksen vajaus  $I$ .

$$a_q \approx \frac{gI}{1600} \approx \frac{I}{163} \quad (3.1:35)$$

### 3.1.5 Kallistuksen vajauksen muutosnopeus

Kallistuksen vajauksen muutosnopeus tarkoittaa kallistuksen vajauksen muutosta aikayksikköä kohden. Kallistuksen vajauksen muutos suoran 0-arvosta ympyränkaaren  $I$ -arvoon tapahtuu siirtymäkaaren matkalla ja sinä aikana, kun siirtymäkaaren matkan kulkemiseen menee. Siirtymäkaaren matkalla on myös kallistusviiste, jossa suoran 0-kallistus muuttuu kaarteeseen  $D$ -kallistukseksi. Kallistuksen lisääntyminen kallistusviisteessä kompensoi osan lisääntyvästä kallistuksen vajauksesta. Klotoidin ja sen yhteydessä käytettävän suoran kallistusviisteen matkalla muutokset ovat suoraviivaisia (kuva 37).



Kuva 37 Kallistuksen vajauksen muutos klotoidin ja kallistusviisteen matkalla  $1/$

Klotoidin muotoisessa siirtymäkaareissa kaarevuus muuttuu suoraviivaisesti suoran arvosta ympyränkaaren arvoon siirtymäkaaren matkalla. Klotoidin yhteydessä käytettävässä suorassa kallistusviisteessä myös raiteen kallistus muuttuu suoraviivaisesti suoran 0-arvosta ympyränkaaren  $D$ -arvoon. Kallistuksen vajaus muuttuu kaarevuuden muutoksen ja raiteen kallistuksen muutoksen tavoin suorana ja tasaisena koko siirtymäkaaren matkalla suoran 0-arvosta ympyränkaaren  $I$ -arvoon.

Juna käyttää siirtymäkaaren pituisen matkan  $L_K$  ajamiseen nopeudella  $V$  aikaa matka jaettuna nopeudella. Kertomalla nopeus km/h 1000:lla, saadaan se muotoon m/h. Jakamalla nopeus m/h 3600:lla (1 tunti = 3600 sekuntia), saadaan nopeus m/s.

$$\frac{L_K}{v} = \frac{3600L_K}{1000V} = \frac{3,6L_K}{V} \quad [\text{s}] \quad (3.1:36)$$



### 3.1.5.1 Klotoidi

Kun siirtymäkaarena on klotoidi tai kolmannen asteen käyrä, kallistuksen vajauksen muutosnopeus lasketaan kaavalla 3.1:37 tai 3.1:38 /1/. Kallistuksen vajauksen muutosnopeus siirtymäkaareissa saadaan jakamalla kallistuksen vajoitus ympyränkaareissa (=siirtymäkaaren lopussa) siirtymäkaaren matkaan käytetyllä ajalla.

Jos kaarteiden kallistuksen vajoitus  $I$  on laskettu, voidaan käyttää kaavaa:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{IV}{3,6L_K} \quad [\text{mm/s}] \quad (3.1:37)$$

$I$  = kallistuksen vajoitus [mm].

$V$  = junan nopeus [km/h]

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus [m]

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

Jos kaarteiden kallistuksen vajoitusta  $I$  ei ole laskettu, kallistuksen vajauksen muutosnopeus klotoideissa lasketaan kaavat 3.1:33 ja 3.1:37 yhdistämällä saadulla kaavalla:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{3,47V^3}{RL_K} - \frac{VD}{3,6L_K} \quad [\text{mm/s}] \quad (3.1:38)$$

$D$  = raiteiden kallistus [mm]

$R$  = kaarresäde [m]

### 3.1.5.2 Helmertin siirtymäkaari

Helmertin eli 4. asteen siirtymäkaareissa kaarevuus muuttuu eri tavalla. Kaarevuuden muutos on siirtymäkaaren alussa ja lopussa pientä ja keskellä siirtymäkaarta suurta ja kaksinkertainen klotoidiin verrattuna. Tämä aiheuttaa kaksinkertaisen kallistuksen vajauksen muutosnopeuden ja se lasketaan kaavalla 3.1:39 tai 3.1:40.

$$\frac{dI}{dt} = \frac{IV}{1,8L_K} \quad [\text{mm/s}] \quad (3.1:39)$$

Kallistuksen vajauksen muutosnopeus Helmertin siirtymäkaareissa, jos kaarteiden kallistuksen vajoitusta  $I$  ei ole laskettu, lasketaan kaavat 3.1:33 ja 3.1:39 yhdistämällä saadulla kaavalla:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{6,94V^3}{RL_K} - \frac{VD}{1,8L_K} \quad [\text{mm/s}] \quad (3.1:40)$$

### 3.1.5.3 Siirtymäkaareton kaarre

Siirtymäkaarettomien kaarteiden kallistuksen vajauksen muutosnopeus lasketaan niin, että oletetaan siinä olevan 17,000 metriä pitkä siirtymäkaari. Tämä mitta tulee yleisestä vaunujen telikeskiövälistä. Oletetaan, että pistemäisesti muuttuva kallistuksen vajoitus muuttuu sillä matkalla ja sen matkan kulkemiseen menevällä ajalla, kun koko vaunu siirtyy suoralta ympyränkaarelle. Koska siirtymäkaarettomissa kaarteissa ei ole raiteiden kallistusta, kaava 3.1:38 voidaan kirjoittaa muotoon:

$$D = \text{raiteen kallistus} = 0 \text{ [mm]}$$

$$L_K = \text{siirtymäkaaren pituus} = 17,000 \text{ [m]}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{3,47V^3}{RL_K} - \frac{VD}{3,6L_K} = \frac{3,47V^3}{R \times 17,000} - \frac{V0}{3,6L_K} = \frac{0,204V^3}{R} \text{ [mm/s]} \quad (3.1:41)$$

Siirtymäkaarettomissa kaarteissa kallistuksen vajauksen muutosnopeus lasketaan kaavalla:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{0,204V^3}{R} \quad \text{[mm/s]} \quad (3.1:42)$$

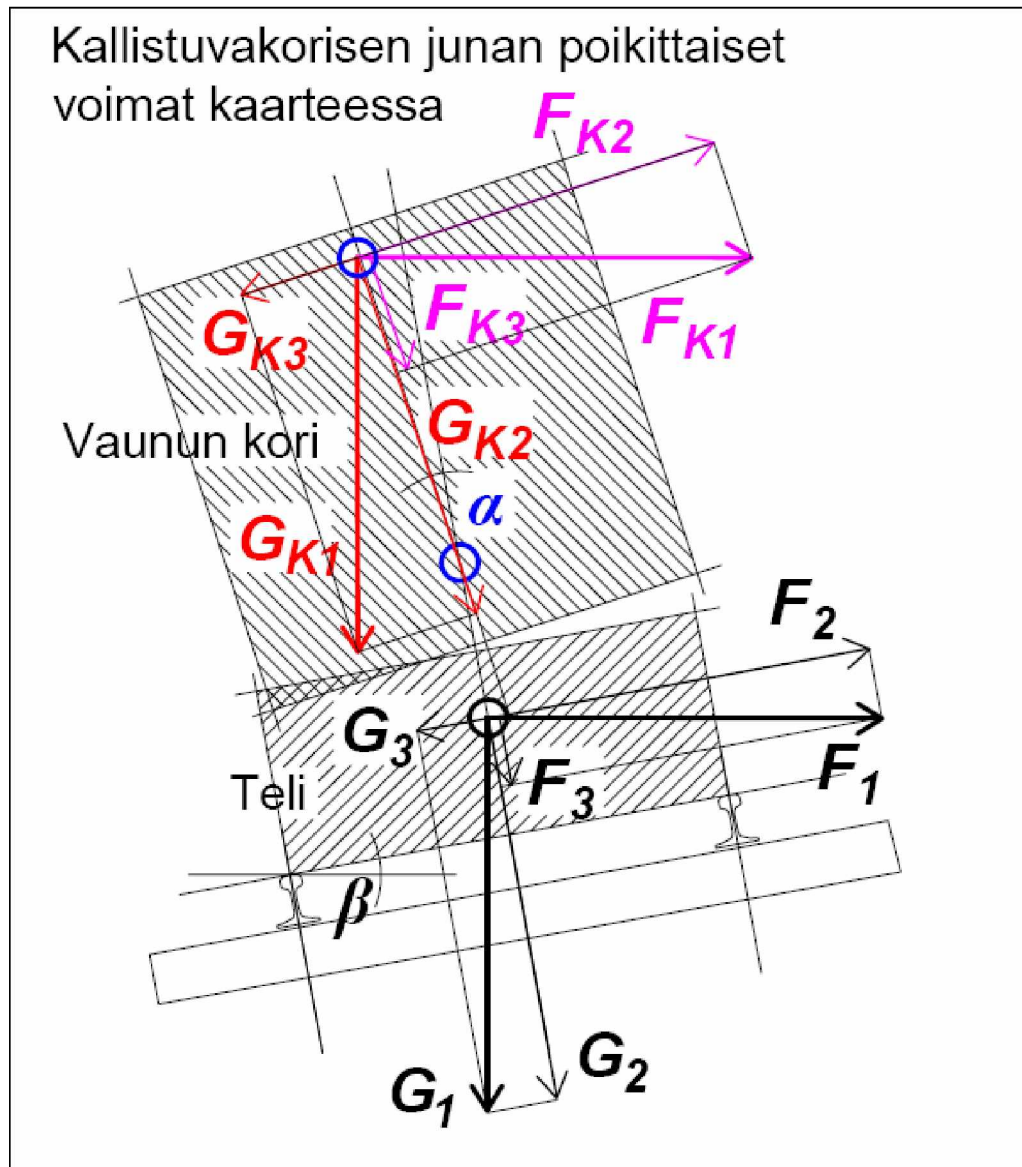
### 3.1.6 Kallistuvakorinen kalusto

Kallistuvakorisella kalustolla voidaan ajaa kaarteet suuremmalla nopeudella kuin perinteisellä kalustolla. Korin kallistuminen pienentää matkustajiin vaikuttavaa kompensoimatonta poikittaiskiihtyvyyttä ja nopeutta voidaan tämän vuoksi nostaa huonontamatta matkustusmukavuutta. Korin kallistuminen parantaa vain matkustusmukavuutta, mutta se ei pienennä kiskon tasolla vaikuttavia voimia.

Kalustolle sallitaan kuitenkin tavanomaista kalustoa suuremmat kaarrenopeedet ja tämä kasvattaa kiskon tasolla vaikuttavia voimia. Nämä kiskon tason voimat voidaan pitää hallinnassa vetureita alhaisemman akselipainon ja teknisten ratkaisujen avulla. Ratkaisuna ovat kevyet moottorijunat ja niiden kehittyneet telit, joissa on mm. säteen suuntaisesti ohjautuvat pyörät, hyvä jousitus ja vaimennus, alhainen joustamaton massa ja matalalla oleva painopiste.

Kallistuvakorisella kalustolla vaunun teli kallistuu raiteen mukaan kuten tavanomaisella kalustolla ja poikittaiset voimat telin tasolla käyttäytyvät samoin. Mitoituksessa toisena tekijänä tulee mukaan vaunun korin kallistuminen, joka kompensoi osan telin tason poikittaiskiihtyvyydestä. Korin kallistuksen vaikutus matkustajiin on periaatteessa sama kuin raiteen kallistuksen eli se pienentää lattian tason suuntaista kompensoimatonta poikittaiskiihtyvyyttä.

Jos korin kallistus ei ole käytössä, poikittaisvoimien tilanne ja geometrian mitoitus on sama kuin tavanomaisella kalustolla.



Kuva 38 Kallistuvakoriseen junaan vaikuttavat poikittaiset voimat kaarteessa (R Taimela 2011)

Kallistuvakorisella kalustolla käytetään kuvassa 38 ja alla olevan luettelon muuttujia. Näissä on aiempien termien lisäksi uusia termejä korin kallistuskulma raiteen kallistetusta keskiviivasta  $\alpha$  ja poikittaiskiihtyvyyden vaunun lattian tasossa  $a_K$ , joka poikkeaa kyseisellä kalustolla kiskon selän tason poikittaiskiihtyvyydestä  $a_q$ :sta.

$\alpha$  = korin kallistuskulma raiteen kallistetusta keskiviivasta

$\beta$  = raiteen kallistuskulma

$a_K$  = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kallistuvakorisen vaunun lattian tasossa [ $m/s^2$ ]

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

Kallistuvakoriselle kalustolle sallitaan tavanomaista kalustoa suuremmat kiskon selän tason poikittaiskiihtyvyydet. Korin kallistuminen pienentää nämä suuremmat poikittaiskiihtyvyydet matkustajille siedettäväksi. Sm3 (Pendolino) ja Sm6 (Allegro)-kalustoissa kori kallistuu  $8^\circ$ . Tämä mahdollistaa noin 30–40 % suuremmat kaarrepeudet.

Vaunun kori kallistuu suoran raiteen pystytasosta kaarteeseen siirtymäkaaren matkalla. Korin kallistuminen ja erityisesti korin kallistuksen muutos ja suuri kallistusnopeus aiheuttavat osalle matkustajille epämukavuutta ja pahoinvoinnin tunnetta. Kaarrenopeuden mitoituksessa tulee tämän vuoksi tarkastaa myös korin kallistusnopeus. Mitoittavana kallistusnopeutena on  $5^\circ/\text{s}$  maksimi kallistusnopeus. Arvo on määritetty kokeellisesti niin, että tämän jälkeen matkustajien huonot tuntemukset alkavat lisääntyä merkittävästi.

### 3.1.7 Kaarteen mitoittaminen

Kaarteen, jossa on ympyränkaari ja siihen liittyvät siirtymäkaaret, on mitoittettava vähintään seuraavat asiat huomioiden:

#### Kallistuksen vajakseen perustuva mitoitusmenetelmä

- Kallistuksen vajoitus ympyränkaareissa
- Kallistuksen vajoitus ympyränkaareissa hitailla tavarajunilla
- Kallistuksen vajakseen muutosnopeus siirtymäkaareissa
- Kallistusviisteen jyrkkyys

#### Poikittaiskiihtyvyyteen perustuva mitoitusmenetelmä

- Poikittaiskiihtyvyys ympyränkaareissa
- Negatiivinen poikittaiskiihtyvyys ympyränkaareissa hitailla tavarajunilla
- Nykäys siirtymäkaareissa
- Kallistusviisteen jyrkkyys

## 3.2 Ympyränkaaret

### 3.2.1 Pääraiteen kaarresäteet

Kaarresäde yhdessä raiteen kallistuksen kanssa vaikuttaa siihen, mikä nopeus kaarteessa voidaan sallia. Raiteen kaarresäteet on valittava niin, että tavoitenopeuden mukainen nopeus ja liikenne ovat mahdollisia. Linjaraiteen ja rautatieliikennepaikan läpikulkuraiteen kaarresäteet on pyrittävä valitsemaan niin, että pääasiassa tavaraliikenteen radalla normaalikallistus on enintään 40...80 mm ja pääasiassa matkustajaliikenteen radoilla enintään 80...110 mm. Taulukossa 1 on normaalikallistuksia 110, 80 ja 40 mm vastaavat kaarresäteet eri nopeuksille /1/. Normaali kallistus on raiteen kallistus, joka jättää osan poikittaiskiihtyvyydestä kompensoimatta, kaava 3.3:6. Taulukon 1 kaarresäteet on laskettu normaalikallistuksen kaavasta 3.3:6 muokatulla kaavalla, josta on ratkaistu kaarresäde  $R$ .

Näiden suositeltavien kaarresäteiden yhteydessä on käytettävä siirtymäkaaria ja raiteen kallistusta.

Taulukko 1 Suositeltavat kaarresäteet /1/

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

Vaakageometrian mitoitusnopeutena käytetään tavoitenopeutta.

Suositteluvia kaarresäteitä voidaan yleensä käyttää vain uutta ratalinjaa suunniteltaessa. Valmiina olevan ratalinjan perusparannusten yhteydessä kaarresäteet ovat sitä mitä ovat, eikä niitä voi kohtuullisin kustannuksin suurentaa. Jos tavoitteena on mahdollisimman suuri nopeus nykyisellä ratalinjalla, joudutaan usein käyttämään normaalikallistusta suurempia raiteen kallistuksia.

Minimikaarresäde määräytyy maksimikallistuksen (kohta 3.3) ja kallistuksen vajauksen perusteella kaavasta 3.3:4 tai poikittaiskiihtyvyyden perusteella kaavasta 3.3:9 johdetuilla kaavoilla.

Minimikaarresäde kallistuksen vajausta käyttävällä menetelmällä:

$$R = \frac{12,5V^2}{(D + I)} \quad [\text{m}] \quad (3.2:1)$$

Minimikaarresäde poikittaiskiihtyvyyttä käyttävällä menetelmällä:

$$R = \frac{V^2}{12,96 \left( a_q + \frac{D}{163} \right)} \quad [\text{m}] \quad (3.2:2)$$

$R$  = kaarresäde [m]

$V$  = junan nopeus [km/h]

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$I$  = kallistuksen vajoitus [mm]

$a_q$  = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän ja vaunun lattian tasossa [m/s<sup>2</sup>].

Raiteen yhdensuuntaissiirrot ja pienet suuntamuutokset on pyrittävä tekemään kaarteilla, joissa on siirtymäkaaret ja raiteen kallistus. Jos kulmat ovat pienet ja elementtien pituudet jäävät lyhyiksi, voidaan nämä tehdä myös ilman siirtymäkaaria ja raiteen kallistusta. Kaarresäteiksi suositellaan tällöin seuraavia arvoja /1/ :

$R = 30\,000 \text{ m} \dots 40\,000 \text{ m}$ , 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  $V \leq 140 \text{ km/h}$ .

Matkustajalaituri on pyrittävä sijoittamaan suoran kohdalle. Jos laiturin joudutaan sijoittamaan kaarteeseen, raiteen geometrialle on annettu raja-arvot, jotta vaunun as-timen ja laiturin väli pysyy hyväksyttävänä kaikilla eri ovisijoituksilla. Kaarresäteen on oltava vähintään 600 metriä. Raiteen kallistus saa olla matkustajalaiturin kohdalla enintään 100 mm ja suositeltava arvo on korkeintaan 60 mm /5/. Arvot ovat samat sisä- ja ulkokaarteiden puolella olevalle laiturille.

### 3.2.2 Sivuraiteiden kaarresäteet

Sivuraiteiden kaarresäteet mitoitetaan RATOn osan 7 mukaan seuraavasti:

Suunnittelussa on pyrittävä käyttämään vähintään 200 metrin kaarresädettä ja mini-miarvo on uusilla ja muutettavilla raiteilla 150 metriä. Suositeltavaa on käyttää yli 250 metrin kaarresädettä. Kaikki liikkuva kalusto voi käyttää raidetta, jonka kaarresäde on vähintään 180 metriä /4/.

Vaihteeseen liittyvän poikkeavan raiteen geometria on mitoitettava niin, että sillä voidaan käyttää vähintään vaihteen sallimaa nopeutta. Vaihteen kaarresäde ei riitä raiteen geometrian mitoitukseen, koska vaihteiden mitoituksessa on eri raja-arvot. Poikittaiskiihtyvyys vaihteessa saa olla korkeintaan 0,65 m/s<sup>2</sup>, joka voi olla myös raiteen poikittaiskiihtyvyyden arvo. Nykäys saa vaihteessa olla 1,10 m/s<sup>3</sup> kun raiteen nykäys saa olla korkeintaan 0,45 m/s<sup>3</sup>.

Raiteilla, joilla kytketään kalustoa, on käytettävä vähintään seuraavia kaarresäteitä:

- 500 metriä, kun käytössä on ruuvikytkimet ja automaattikytkimet
- 600 metriä, ruuvikytkimen kiristäminen ja kaksoislenkkikytkimen kytkeminen
- 300 metriä, moottorijunien automaattikytkimet

S-kaarteet ja vastakkaisiin suuntiin kääntyvät kaarteet /4/:

- Kun kummankin kaarteiden kaarresäde on vähintään 275 metriä, kaarteet voivat olla peräkkäin kiinni toisissaan. Suositeltavaa on käyttää kaarteiden välissä vähintään 20 metrin suoraa tai kaarteissa siirtymäkaaria.
- Kun vastakkaiseen suuntaan kääntyvien kaarteiden kaarresäteet ovat vähintään 200 metriä mutta alle 275 metriä, kaarteiden väliin on tehtävä vähintään 10 metrin välisuora.
- Kun vastakkaiseen suuntaan kääntyvien kaarteiden kaarresäteet ovat vähintään 160 metriä mutta alle 200 metriä, kaarteiden väliin on tehtävä vähintään 15 metrin välisuora.

Pakottavissa tapauksissa välisuoran pituuden  $L$  voi laskea kaavoilla 3.2:3, 3.2:4 tai 3.2:5:

Kun samansuuruiset kaarresäteet  $R$  ovat vähintään 230 metriä:

$$L = 2 \times \sqrt{83,99 - 0,3075R} \quad [\text{m}] \quad (3.2:3)$$

Kun samansuuruiset kaarresäteet  $R$  ovat alle 230 metriä mutta vähintään 150 metriä:

$$L = 22,7 - \sqrt{2,534R - 347,31} \quad [\text{m}] \quad (3.2:4)$$

Kun kaarresäteet  $R_1$  ja  $R_2$  ovat erisuuret, välisuoran voi jättää pois, jos kaavan 3.2:5 ehto täyttyy:

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} > 137 \quad (3.2:5)$$

Kun kaarresäteet  $R_1$  ja  $R_2$  ovat erisuuret, välisuoran pituus on laskettava kaavoilla 3.2:3 tai 3.2:4. Kaavoissa käytetään pienemmän kaarresäteen  $R$ -arvoa.

Kun kaksi vaihdetta on etujatkokset toisiinsa päin ja vaihteen poikkeavat raiteet muodostavat S-kaaren, on niiden väliin jätettävä välisuora. Välisuoran pituus on käsitelty kohdassa 3.8 Elementin pituus.

### 3.2.3 Nopeus ympyränkaaressa jossa ei ole raiteen kallistusta

Jos ympyränkaaressa ei ole raiteen kallistusta, kaarteeseen suurin nopeus lasketaan seuraavilla kaavoilla.

Jos mitoitus perustuu kallistuksen vajaukseen, käytetään kaavaa 3.2:6. Kallistuksen vajauksen maksimiarvot ovat kohdassa 3.3.3.

$$V = \sqrt{\frac{RI}{12,5}} \quad [\text{km/h}] \quad (3.2:6)$$

$V$  = nopeus [km/h]

$R$  = kaarresäde [m]

$I$  = kallistuksen vajaus [mm]

Jos mitoitus perustuu poikittaiskiihtyvyyteen, käytetään kaavaa 3.2:7. Poikittaiskiihtyvyyden maksimiarvot ovat kohdassa 3.3.4.

$$V = \sqrt{12,96R a_q} \quad [\text{km/h}] \quad (3.2:7)$$

$V$  = nopeus [km/h]

$R$  = kaarresäde [m]

$a_q$  = poikittaiskiihtyvyys [m/s<sup>2</sup>]

Jos tarkasteltavana on pelkästä ympyränkaaresta muodostunut kaari, on tarkastettava, voiko siirtymäkaarettomassa kaareissa käyttää tätä nopeutta nykyksen perusteella kaavalla 3.1:28 tai kallistuksen vajauksen muutoksen perusteella kaavalla 3.1:42.

### 3.3 Raiteen kallistus

Kaarteissa käytetään raiteen kallistusta, jolla voidaan pienentää poikittaiskiihtyvyyden haittavaikutuksia ja voidaan käyttää suurempia nopeuksia. Raiteen kallistusta mitoitettaessa on otettava huomioon mm. seuraavat seikat:

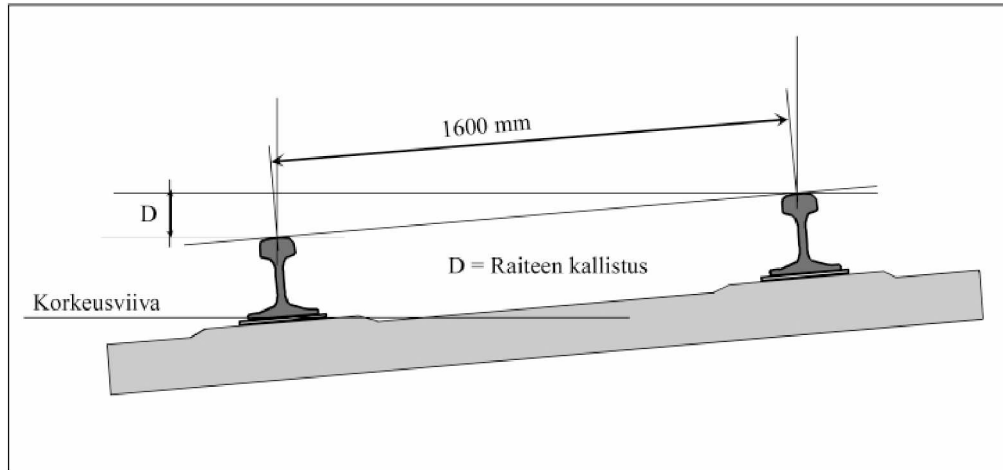
- Junan kulku ja matkustusmukavuus on hyvää kaarteessa käytetyillä nopeuksilla.
- Junan kulku on turvallista kaikilla kaarteiden nopeuksilla.
- Raiteen sisä- ja ulkokaarteiden puoleisen kiskon kuluminen on mahdollisimman tasaista.
- Hitaasti kulkevat ja pysähtyvät junat eivät juutu pitkän kaarteiden liian suureen kallistukseen.
- Kallistus mitoitetaan liikennemäärillä painotetulle nopeudelle ja varmistetaan, että se sopii myös maksimi- ja miniminopeudelle.

Teoreettisesti ihanteellinen raiteen kallistus olisi tasapainokallistus todelliselle juna-nopeudelle. Tällöin matkustajiin ei kohdistu mitään poikittaista kiihtyvyyttä. Tasapainokallistus, kaavan 3.3:7 mukaan, voi kuitenkin tuntua matkustajista epämiellyttävältä aistihavaintojen ristiriidasta johtuen. Tämän vuoksi käytetäänkin yleensä normaalikallistusta matkustajajunien mitoitusnopeudelle. Normaalikallistus (kaava 3.3:6) jättää kompensoimatta osan poikittaiskiihtyvyydestä ja kiihtyvyyden tunne tukee matkustajien näköhavaintoja.

Jos radalla kulkee hitaampia tavarajunia, matkustajajunien mukaan mitoitettu kallistus voi olla näille liian suuri ja hitaisiin juniin kohdistuu liikaa negatiivista poikittaiskiihtyvyyttä sisäkaarteiden puolelle. Tämä voi aiheuttaa sisäkaarteiden puoleisen kiskon nopeampaa kulumista. Kallistuksen mitoitus on tehtävä koko radan liikenteen huomioon ottavana ja liikenteen tonnimäärien mukaan painotettuna kompromissina eri vaatimusten suhteen.

Hyvänä mitoitusperiaatteena voi pitää, että kallistus mitoitetaan normaalikallistuksena kaarteiden todelliselle matkustajajunien nopeudelle ja varmistetaan, että kallistus riittää kaarteiden mitoitusnopeudelle ja että kallistus ei ole liian suuri hitaimmille tavarajunille. Jos hitaiden ja raskaiden tavarajunien määrä radalla on suuri, ja suurimman mahdollisen nopeuden saavuttaminen radan kaarteissa ei ole niin tärkeää, on vältettävä yli 120 mm kallistuksen käyttöä.





Kuva 39 Raiteen kallistus /1/

Raiteen kallistus tehdään korottamalla ulkokaarteiden puoleista kiskoa raiteen korkeusviivasta ylöspäin (kuva 39). Ulkokaarteiden puoleisen kiskon korotus on kallistuksen positiivinen arvo. Negatiivinen kallistus tarkoittaa sitä, että ulkokaarteiden puoleinen kisko on sisäkaarteiden puoleista kiskoa alempana. Negatiivista kallistusta ei suunnitella kuin aivan poikkeustapauksiin. Esimerkiksi kallistetun ulkokaarrevaihteen poikkeavaan raiteeseen voidaan joutua suunnittelemaan negatiivista kallistusta. Suunnitteluohjelmissa voi olla eri merkitys kallistuksen +-arvolla.

Raiteen kallistus muuttuu suoran nolla-kallistuksesta ympyränkaaren kohdan kallistukseksi siirtymäkaaren kohdalla olevassa kallistusviisteessä. Raiteen kallistus on mitoitettava yhdessä kallistusviisteiden kanssa niin, että kallistusviisteiden pituus on riittävä suunnitellulle kallistukselle jotta kallistusviisteestä ei tule liian jyrkkä. Kallistusviisteiden mitoitus käsitellään kohdassa 3.7.

### 3.3.1 Raiteen kallistuksen arvot

Raiteen kallistuksen mitoituksesta on seuraavat ohjeet /1/ :

Raiteen kallistuksen maksimiarvo on sepeliraiteella 150 mm ja maksimi lupa-arvo on 180 mm.

Raiteen kallistuksen maksimiarvo soraraitteella on 120 mm, eikä suurempaa kallistusta sallita.

Vajaasti sepelöidyllä raiteella maksimiarvo on 120 mm ja maksimi lupa-arvo on 150 mm.

Pienin käytettävä kallistus on 20 mm. Jos laskennallinen arvo on 0...20 välillä, on harkittava, kumpi arvo, 0 mm vai 20 mm on parempi.

Kallistuksen tarkkuutena käytetään millimetriä.

Kun raiteen mitoitussnopeus on suurempi kuin 35 km/h ja kaarteissa on siirtymäkaaret, voidaan kaarteissa käyttää raiteen kallistusta.

Laitureiden kohdalla raiteen kallistus saa olla enintään 100 mm ja suositeltava arvo on 0...60 mm /5/ (Maksimi matkustajalaiturin kohdalla on Trafi:n määräyksen mukaan 110 mm /9/). Arvo on sama sekä ulkokaarteen että sisäkaartein puoleisella laiturilla.

Kaarrevaihteissa raiteen kallistus saa olla enintään 60 mm.

Tasoristeyksen kohdalla raiteen kallistus saa olla enintään 100 mm /9/.

Jos juna voi joutua pysähtymään opastimien tai muiden syiden vuoksi usein kaarrealueelle, käytetään enintään 120 mm kallistusta.

Sivuraiteilla ja liikennepaikalle päättyvillä pääraiteilla raiteen kallistusta on vältettävä ja kallistus saa olla enintään 80 mm /4/.

Huoltoraiteilla ja radanpidon raiteilla ei saa käyttää raiteen kallistusta /4/.

Pienissä kaarresäteissä ei saa käyttää liian suurta raiteen kallistusta. Suuret raiteen kallistukset pienisäteisissä kaarteissa lisäävät vääntöjäykkien tavaravaunujen suistumisriskiä. Kun kaarresäde  $R < 320$  metriä, raiteen kallistus saa olla korkeintaan kaavan 3.3:1 mukainen:

$$D_{\text{lim}} = (R - 50) \times 0,7 \quad [\text{mm}] \quad (3.3:1)$$

$$D_{\text{lim}} = \text{maksimikallistus} [\text{mm}]$$

$$R = \text{kaarresäde} [\text{m}]$$

### 3.3.2 Raiteen kallistuksen mitoitus

Yleensä kallistusta käytetään, kun kaartein mitoitusnopeus on yli 35 km/h ja kaarteissa on siirtymäkaaret /1/.

Raiteen kallistuksen mitoitus perustuu kallistuksen vajuusta tai poikittaiskiihtyvyyttä käyttävään menetelmään.

Liikakallistuksen tarkastelu tehdään raskaan tavarajunan nopeudella, jona käytetään RATOn ohjeiden mukaisesti 60 km/h:ta. Liikakallistuksen arvo voi rajoittaa suurien raiteen kallistusten käyttöä.

Kallistuksen vajuuksella ja poikittaiskiihtyvyydellä on kaavassa 3.1:35 esitetty vastavuus /1/:

$$a_q = \frac{g \times I}{1600} = \frac{I}{163} \quad [\text{m/s}^2] \quad (3.3:2)$$

$$a_q = \text{poikittaiskiihtyvyys} [\text{m/s}^2]$$

$$g = \text{putoamiskiihtyvyys} 9,81 [\text{m/s}^2]$$

$$I = \text{kallistuksen vajuus} [\text{mm}]$$

$$I/163 = D/163 = \text{raiteen kallistuksen kompensoima poikittaiskiihtyvyys, kaava 3.1:14} [\text{m/s}^2]$$

### 3.3.3 Mitoitus kallistuksen vajauksella

Kallistuksen vajauksen raja-arvot ovat 1/:

Yli 120 km/h nopeudella, D- ja C<sub>2</sub>-päällysrakenneluokan raiteilla on matkustajaliikenteessä maksimi kallistuksen vajoaus 130 mm. Päällysrakenneluokat esitetään taulukossa 7.

Sepeliraiteilla muissa tapauksissa maksimi kallistuksen vajoaus on 105 mm.

Soraraiteella maksimi kallistuksen vajoaus on 73 mm.

Kallistuksen vajauksen ehdoton minimiarvo nopeudella 60 km/h on -105 mm ja suositeltava minimiarvo on -73 mm. Tämä tarkoittaa, että liikakallistusta saa olla tarkastelunopeudella 60 km/h korkeintaan 73 tai 105 mm.

Kallistuksen vajoaus lasketaan kaavalla:

$$I = \frac{12,5V^2}{R} - D \quad [\text{mm}] \quad (3.3:3)$$

$I$  = kallistuksen vajoaus [mm]

$V$  = nopeus [km/h]

$R$  = kaarresäde [m]

$D$  = raiteen kallistus [mm]

Suurin sallittu nopeus kaarteessa lasketaan kallistuksen vajauksen perusteella kaavalla:

$$V = \sqrt{\frac{R(D+I)}{12,5}} \quad [\text{km/h}] \quad (3.3:4)$$

Pienin sallittu raiteen kallistus lasketaan kaavalla:

$$D = \frac{12,5V^2}{R} - I \quad [\text{mm}] \quad (3.3:5)$$

Raiteella käytetään yleensä normaalikallistusta, joka jättää osan poikittaiskiihtyvyydestä kompensoimatta ja matkustajille tunteen, että mennään kaarteessa. Raiteen normaalikallistus lasketaan sepeliraiteella kaavalla:

$$D = \frac{8V^2}{R} \quad [\text{mm}] \quad (3.3:6)$$

Raiteen tasapainokallistus lasketaan kaavalla:

$$D_{EQ} = \frac{12,5V^2}{R} \quad [\text{mm}] \quad (3.3:7)$$

$D_{EQ}$  = raiteen tasapainokallistus [mm]

### 3.3.4 Mitoitus poikittaiskiihtyvyydellä

Poikittaiskiihtyvyyden raja-arvot ovat /1/:

Yli 120 km/h:n nopeudella, D- ja C<sub>2</sub>-päälysrakenneluokan raiteilla matkustaja-liikenteessä maksimi poikittaiskiihtyvyys on 0,80 m/s<sup>2</sup>. Päälysrakenneluokat esitetään taulukossa 7.

Sepeliraiteilla muissa tapauksissa maksimi poikittaiskiihtyvyys on 0,65 m/s<sup>2</sup>.

Soraraiteella maksimi poikittaiskiihtyvyys on 0,45 m/s<sup>2</sup>.

Negatiivisen poikittaiskiihtyvyyden ehdoton minimiarvo nopeudella 60 km/h on -0,65 m/s<sup>2</sup> ja suositeltava minimiarvo on -0,45 m/s<sup>2</sup>.

Poikittaiskiihtyvyys kiskon selän tasossa on:

$$a_q = \frac{V^2}{12,96R} - \frac{D}{163} \quad [\text{m/s}^2] \quad (3.3:8)$$

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$R$  = kaarresäde [m]

$a_q$  = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän tasossa [m/s<sup>2</sup>]

$V$  = junan nopeus [km/h]

Nopeus kaarteessa poikittaiskiihtyvyyden perusteella on:

$$V = \sqrt{12,96R \left( a_q + \frac{D}{163} \right)} \quad [\text{km/h}] \quad (3.3:9)$$

Pienin sallittu raiteen kallistus lasketaan kaavalla:

$$D = \frac{12,5V^2}{R} - 163a_q \quad [\text{mm}] \quad (3.3:10)$$

## 3.4 Geometrian mitoitus kallistuvakoriselle kalustolle

Kallistuvakorisen kaluston Sm3 ja Sm6 (Pendolino ja Allegro) ohjeet geometrian mitoitukseen ovat seuraavat /1/:

Junan kallistusjärjestelmä kallistaa vaunun koria kaarteessa sisäkaarteeseen päin. Tämä pienentää poikittaiskiihtyvyyden vaikutusta matkustajiin ja sallii suuremman kaarrenceuden. Suurin korin kallistuskulma on 8° ja tämä kompensoi noin 70–80 % kiskon selän tason kompensoimattomasta poikittaiskiihtyvyydestä. Vaunun lattian tasoon jää kompensoimatta noin 20–30 % kiskon selän tason poikittaiskiihtyvyydestä.

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 enintään 70 km/h, järjestelmä ei kallista vaujuja ja suurin sallittu nopeus määräytyy tavanomaisen kaluston ohjeiden mukaan. Tilanteissa, joissa junan kallistusjärjestelmä on kytketty pois käytöstä, suurin sallittu nopeus on sama kuin tavanomaisen kaluston suurin nopeus.

Suurin mahdollinen nopeus kaarteissa määräytyy joko nopeudesta ympyränkaareissa tai nopeudesta siirtymäkaareissa. Suurin mahdollinen nopeus ympyränkaareissa lasketaan kiskon selän tason kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden tai kallistuksen vajauksen perusteella. Korin kallistuminen kaartein kallistukseen tapahtuu siirtymäkaaren matkalla. Suurin mahdollinen nopeus siirtymäkaareissa tulee korin kallistusnopeuden perusteella /1/.

Kallistuksen vajauksen maksimi on 293 mm ja vastaava kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän tasossa on 1,80 m/s<sup>2</sup>.

Suurin sallittu korin kallistusnopeus raiteeseen verrattuna on 5,0°/s.

Kallistuksen vajauksen ja poikittaiskiihtyvyyden laskenta tehdään aiemmin esitellyllä kaavoilla mutta näillä raja-arvoilla.

Kallistuksen vajoaus lasketaan kaavalla:

$$I = \frac{12,5V^2}{R} - D \quad [\text{mm}] \quad (3.4:1)$$

$I$  = kallistuksen vajoaus [mm]

$V$  = junan nopeus [km/h]

$R$  = kaarresäde [m]

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$a_q$  = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän tasossa [m/s<sup>2</sup>]

$L_K$  = klotoidin muotoisen siirtymäkaaren pituus [m]. Helmertin siirtymäkaaren tapauksessa todellinen pituus jaetaan 1,4:llä ja sijoitetaan arvo kaavaan  $L_K$ :ksi.

$L_D$  = kallistusviisteen pituus [m]. S-kallistusviisteen tapauksessa todellinen pituus jaetaan 1,4:llä ja sijoitetaan arvo kaavaan  $L_D$ :ksi.

$\alpha$  = korin kallistuskulma raiteen kallistetusta keskiviivasta [°]

$\alpha'$  = korin kallistusnopeus raiteeseen verrattuna [°/s]

Suurin mahdollinen nopeus kaarteissa lasketaan kallistuksen vajauksen perusteella:

$$V = \sqrt{\frac{R(D+I)}{12,5}} \quad [\text{km/h}] \quad (3.4:2)$$

Poikittaiskiihtyvyys kiskon selän tasossa on:

$$a_q = \frac{V^2}{12,96R} - \frac{D}{163} \quad [\text{m/s}^2] \quad (3.4:3)$$

Suurin mahdollinen nopeus kaarteissa lasketaan poikittaiskiihtyvyyden perusteella:

$$V = \sqrt{12,96R \left( a_q + \frac{D}{163} \right)} \quad [\text{km/h}] \quad (3.4:4)$$

Siirtymäkaarissa ja kallistusviisteissä tulee mitoittavaksi suurin sallittu korin kallistusnopeus raitteeseen verrattuna, joka on  $5,0^\circ/\text{s} /1/$ .

Korin kallistusnopeutta laskettaessa lasketaan ensin kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän tasossa  $a_q$  ja sen avulla korin kallistuskulma  $\alpha$  raitteeseen verrattuna.

Kallistuskulma  $\alpha$  on Sm3:lla:

$$\alpha = 4,67a_q \text{ [}^\circ\text{]} \quad \text{kun } a_q \leq 1,706 \quad (3.4:5)$$

$$\alpha = 8 \text{ [}^\circ\text{]} \quad \text{kun } a_q > 1,706 \quad (3.4:6)$$

ja Sm6:lla:

$$\alpha = 4,09a_q \text{ [}^\circ\text{]} \quad \text{kun } a_q \leq 1,95 \quad (3.4:7)$$

$$\alpha = 8 \text{ [}^\circ\text{]} \quad \text{kun } a_q > 1,95 \quad (3.4:8)$$

tästä voidaan laskea korin kallistusnopeus  $\alpha'$ , joka saa olla korkeintaan  $5,0^\circ/\text{s} /1/$ .

$$\alpha' = \frac{\alpha V}{3,6L_D} \quad \text{[}^\circ/\text{s}\text{]} \quad (3.4:9)$$

## 3.5 Suurnopeusradat

Suurnopeusradoista on seuraavat ohjeet /1/:

Suurnopeusratoja, joiden nopeus on vähintään 250 km/h, koskevat yleisesti kaikki RATOn osan 2 ohjeet seuraavin lisävaatimuksin:

Pituuskaltevuuden lupa-arvo on 35 ‰ taulukossa 6 olevan 40 ‰ sijaan.

Sivuraiteiden pyöristyssäteen minimi kuperassa taitteessa on 600 metriä ja koverassa taitteessa 900 metriä kohdassa 3.12 mainitun 600 metriä sijaan.

Kallistuksen vajauksen maksimi-arvot ovat kohdasta 3.3.3 poiketen 100 mm ja 80 mm. Jos näitä ei voi toteuttaa erityisen vaikean maaston asettamien rajoitusten vuoksi, voi tällaisissa paikoissa käyttää lupa-arvoina taulukossa 2 esitettyjä maksimiarvoja.

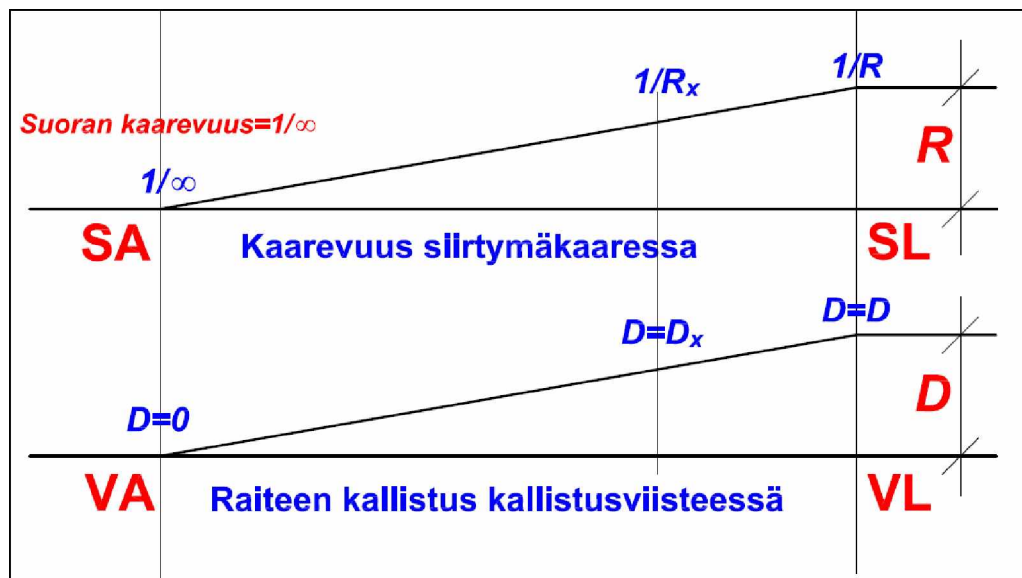
Taulukko 2 Suurnopeusratojen kallistuksen vajauksen ja poikittaiskiihtyvyyden maksimi- ja lupa-arvot /1/

Mitoitusnopeus [km/h]	Kallistuksen vajaus [mm]	Poikittaiskiihtyvyys [m/s <sup>2</sup> ]
<b>Maksimi-arvot:</b>		
$250 \leq V \leq 300$ km/h	100	0,61
$V > 300$ km/h	80	0,49
<b>Lupa-arvot:</b>		
$V \leq 160$ km/h	180	1,10
$160 < V \leq 230$ km/h	165	1,01
$230 < V \leq 250$ km/h	150	0,92
$250 < V \leq 300$ km/h	130	0,80
$250 < V \leq 300$ km/h kiintoraiteessa	150	0,92

### 3.6 Siirtymäkaaret

Suoran ja ympyränkaaren välissä käytetään siirtymäkaaria, jotta raiteen kaarevuus muuttuu jouhevasti suorasta ympyränkaareksi ilman äkillistä kaarevuuden muutosta.

Jos ympyränkaaressa on raiteessa kallistusta, siirtymäkaaren kohdalla käytetään kallistusviistettä, jossa raiteen kallistus muuttuu suoran nolla-kallistuksesta ympyränkaaren kohdan kallistukseksi.



Kuva 40 Siirtymäkaari ja kallistusviiste (R Taimela 2010)

Pääsäännön mukaan siirtymäkaari ja kallistusviiste ovat samanpituiset ja kallistusviiste sijoitetaan siirtymäkaaren alueelle (kuva 40). Näin raiteen kallistus lisääntyy samassa suhteessa, kun kaarresäde muuttuu suorasta ympyränkaaren arvoon. Junan kallistuksen vajaus (poikittaiskiihtyvyys) muuttuu suoran nolla-arvosta kaarteeseen arvoon siirtymäkaaren matkalla. Jos kaarteessa ei ole siirtymäkaarta, kallistuksen vajauksen (poikittaiskiihtyvyyden) muutos tapahtuu pistemäisesti suoran ja ympyränkaaren rajapisteessä. Kallistuksen vajauksen muutosnopeus (poikittaiskiihtyvyyden muutosnopeus, jota kutsutaan nykyksekseksi) tulee suureksi.

Kaarteen kummankin pään siirtymäkaaret tehdään yleensä samanpituisiksi. Jos kaarteen lähellä on jotain esteitä tai kaarre liittyy suoraan muihin kaarteisiin, voidaan joutua käyttämään eripituisia siirtymäkaaria.

Siirtymäkaaren vähimmäispituus määräytyy niin, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus (tai nykäys) ei nouse liian suureksi. Kallistusviisteen vähimmäispituus määräytyy niin, että kallistusviisteen jyrkkyys ei tule liian suureksi. Se kumpi näistä vähimmäispituusvaatimuksista on pidempi, joko siirtymäkaari tai kallistusviiste, määrittää yhdistetyn siirtymäkaari-kallistusviiste-elementin vähimmäispituuden.

Siirtymäkaaria käytetään myös korikaarissa eri säteisten ympyränkaarien välissä, jos niiden kaarresäteissä on suuri ero tai/ja jos ympyränkaarien välillä on kallistuseroa.

Siirtymäkaaren minimipituus on 20 metriä ja suositeltava pituus vähintään 30 metriä /1/.

Raiteen kaarteessa voidaan harkita siirtymäkaarten käyttöä, kun nopeus on yli 40 km/h ja jos nopeus on yli 60 km/h, siirtymäkaarien käyttö on suositeltavaa. Siirtymäkaarta on käytettävä jos kaarteessa on raiteen kallistusta tai jos kohdan 3.6.1 tai 3.6.2 ehdot sitä edellyttävät.

Poikkeuksena on kohdan 3.2.1 yhdensuuntaissiirrot ja pienet suuntamuutokset, jotka voidaan tehdä ilman siirtymäkaaria ja raiteen kallistusta.

### 3.6.1 Mitoitus kallistuksen vajauksen muutosnopeudella

Siirtymäkaaren pituus mitoitetaan niin, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus ei nouse liian suureksi. Suositeltava kallistuksen vajauksen muutosnopeuden arvo on enintään 49 mm/s ja maksimiarvo on 73 mm/s /2/.

Siirtymäkaari voidaan jättää pois jos kaavojen 3.6:1, 3.6:2 ja 3.6:3 ehdot toteutuvat:

$$R > \frac{V^2}{2} \quad [\text{m}] \quad (3.6:1)$$

$$I = \frac{12,5V^2}{R} \leq 25 \quad [\text{mm}] \quad (3.6:2)$$

$$dI / dt = \frac{0,204V^3}{R} \leq 73 \quad [\text{mm/s}] \quad (3.6:3)$$

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$R$  = kaarresäde [m]

$a_q$  = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän ja vaunun lattian tasossa [m/s<sup>2</sup>].

$I$  = kallistuksen vajuus [mm]

$V$  = junan nopeus [km/h]

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus [m]

$da_q/dt$  = nykäys eli kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutos aikayksikössä [m/s<sup>3</sup>]

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



Korikaaren ympyränkaarten välinen siirtymäkaari voidaan jättää pois jos kaavojen 3.6:4, 3.6:5 ja 3.6:6 ehdot toteutuvat:

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2} > \frac{V^2}{2} \quad (3.6:4)$$

$$I = 12,5V^2 \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \leq 25 \text{ [mm]} \quad (3.6:5)$$

$$dI / dt = 0,204V^3 \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \leq 73 \text{ [mm/s]} \quad (3.6:6)$$

$R_1$  = korikaaren ensimmäisen ympyränkaaren säde [m]

$R_2$  = korikaaren toisen ympyränkaaren säde [m]

Korikaaren kaarreosien välisen siirtymäkaaren pituus  $L_k$  mitoitetaan niin, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus (tai nykäys) on riittävän pieni.

### 3.6.1.1 Klotoidin mitoitus kallistuksen vajauksen muutosnopeudella

Klotoidin muotoisen siirtymäkaaren pituus mitoitetaan niin, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus ei nouse liian suureksi. Kallistuksen vajauksen muutosnopeus lasketaan kaavalla 3.6:7, jos kallistuksen vajoaus  $I$  on laskettu. Se jaetaan siirtymäkaaren matkaan kuluvalle ajalle.

$$\frac{dI}{dt} = \frac{IV}{3,6L_K} \quad [\text{mm/s}] \quad (3.6:7)$$

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus [m]

$I$  = kallistuksen vajoaus [mm]

$V$  = junan nopeus [km/h]

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

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$R$  = kaarresäde [m]

Kallistuksen vajauksen muutosnopeus klotoidin muotoisessa siirtymäkaareissa lasketaan kaavalla 3.6:8, jos kaarteiden kallistuksen vajoasta  $I$  ei ole laskettu.

$$\frac{dI}{dt} = \frac{3,47V^3}{RL_K} - \frac{VD}{3,6L_K} \quad [\text{mm/s}] \quad (3.6:8)$$

Nämä klotoidin kaavat pätevät myös kolmannen asteen käyrälle.

### 3.6.1.2 *Helmertin siirtymäkaaren mitoitus kallistuksen vajauksen muutosnopeudella*

Helmertin eli 4. asteen siirtymäkaareissa kaarevuus muuttuu eri tavalla kuin klotoidissa. Kallistuksen vajauksen muutosnopeus Helmertin siirtymäkaareissa, jos kaarteeseen kallistuksen vajoitus  $I$  on laskettu, jaetaan siirtymäkaaren matkaan kuluvalle ajalle jolloin voidaan käyttää kaavaa 3.6:9.

$$\frac{dI}{dt} = \frac{IV}{1,8L_K} \quad [\text{mm/s}] \quad (3.6:9)$$

$I$  = kallistuksen vajoitus [mm]

$V$  = junan nopeus [km/h]

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus [m]

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

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$R$  = kaarresäde [m]

Kallistuksen vajauksen muutosnopeus Helmertin siirtymäkaareissa, jos kaarteeseen kallistuksen vajoitusta  $I$  ei ole laskettu, lasketaan kaavat 3.3:3 ja 3.6:9 yhdistämällä saadulla kaavalla 3.6:10:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{6,94V^3}{RL_K} - \frac{VD}{1,8L_K} \quad [\text{mm/s}] \quad (3.6:10)$$

### 3.6.1.3 *Korikaaren välisiirtymäkaaren mitoitus kallistuksen vajauksen muutosnopeudella*

Korikaaren kaarreosien välisen siirtymäkaaren pituus  $L_k$  mitoitetaan niin, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus ei nouse liian suureksi. Kallistuksen vajauksen muutosnopeus lasketaan edellä esitetyillä klotoidin kaavalla 3.6:7. Kallistuksen vajauksena kaavassa käytetään viereisten ympyränkaarten kallistuksen vajoitusten erotusta ja siirtymäkaaren pituutena siirtymäkaaren todellista pituutta.

Korikaaren ympyränkaarten välisen siirtymäkaaren kohdalle tulee siirtymäkaaren lisäksi myös kallistusviiste, jos viereisissä ympyränkaarissa on erisuuruiset raiteen kallistukset. Viisteen pituus on pääsäännön mukaan sama, kuin siirtymäkaaren pituus, ja näistä pidemmän vaatimus on määräävä.

Korikaaren välisiirtymäkaaren kohdalla olevan viisteen pituus mitoitetaan kohdan 3.7.1 mukaan.

### 3.6.1.4 *Kallistuksen vajauksen muutosnopeus siirtymäkaarettomissa kaarteissa*

Siirtymäkaarettomien kaarteiden kallistuksen vajauksen muutosnopeus lasketaan kohdan 3.1.5.3 mukaisesti kaavalla 3.6:11.

$$\frac{dI}{dt} = \frac{0,204V^3}{R} \quad [\text{mm/s}] \quad (3.6:11)$$

### 3.6.2 Mitoitus poikittaiskiihtyvyyden muutosnopeudella

Siirtymäkaaren pituus mitoitetaan niin, että poikittaiskiihtyvyyden muutosnopeus eli nykäys ei nouse liian suureksi. Suositeltava nykäyksen arvo on enintään 0,17...0,30 m/s<sup>3</sup> ja maksimiarvo on 0,45 m/s<sup>3</sup> /2/.

Siirtymäkaari voidaan jättää pois jos kaavojen 3.6:1 ja 3.6:12 ehdot toteutuvat.

$$da_q / dt = \frac{V^3}{793R} \leq 0,45 \quad [\text{mm/s}^3] \quad (3.6:12)$$

$R$  = kaarresäde [m]

$V$  = junan nopeus [km/h]

$da_q/dt$  = nykäys eli kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutos aikayksikössä [m/s<sup>3</sup>]

Korikaaren ympyränkaarten välinen siirtymäkaari voidaan jättää pois jos kaavojen 3.6:4 ja 3.6:13 ehdot toteutuvat.

$$da_q / dt = \frac{V^3}{793 \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2}} \leq 0,45 [\text{mm/s}^3] \quad (3.6:13)$$

$R_1$  = korikaaren suuremman ympyränkaaren säde [m]

$R_2$  = korikaaren pienemmän ympyränkaaren säde [m]

#### 3.6.2.1 Klotoidin mitoitus poikittaiskiihtyvyyden muutosnopeudella

Siirtymäkaaren pituus mitoitetaan niin, että nykäys ei nouse liian suureksi. Kun siirtymäkaarena on klotoidi tai kolmannen asteen käyrä, nykäys lasketaan kaavalla 3.6:14 tai 3.6:15 /1/.

Jos kaarteeseen poikittaiskiihtyvyys  $a_q$  on laskettu, poikittaiskiihtyvyys jaetaan siirtymäkaaren matkaan kuluvalle ajalle ja nykäys voidaan laskea kaavalla 3.6:14. Rajat ja kaavat pätevät myös kolmannen asteen käyrälle.

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{a_q V}{3,6L_K} \quad [\text{m/s}^3] \quad (3.6:14)$$

$a_q$  = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän ja vaunun lattian tasossa [m/s<sup>2</sup>].

$V$  = junan nopeus [km/h]

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus [m]

$da_q/dt$  = nykäys eli kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutos aikayksikössä [m/s<sup>3</sup>]

Jos kaarteeseen poikittaiskiihtyvyyttä  $a_q$  ei ole laskettu, nykäys lasketaan kaavat 3.3:8 ja 3.6:14 yhdistämällä saadulla kaavalla 3.6:15.

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{V^3}{46,656RL_K} - \frac{VD}{586,8L_K} \quad [\text{m/s}^3] \quad (3.6:15)$$

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$R$  = kaarresäde [m]

Kaavat pätevät myös kolmannen asteen käyrälle.

### 3.6.2.2 *Helmertin siirtymäkaaren mitoitus poikittaiskiihtyvyyden muutosnopeudella*

Helmertin eli 4. asteen siirtymäkaaren pituus mitoitetaan niin, että nykäys ei nouse liian suureksi. Nykäyksen arvo lasketaan kaavalla 3.6:16 tai 3.6:17 /1/.

Jos kaarteeseen poikittaiskiihtyvyys  $a_q$  on laskettu, poikittaiskiihtyvyys jaetaan siirtymäkaaren matkaan kuluvalle ajalle ja nykäys voidaan laskea kaavalla:

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{a_q V}{1,8L_K} \quad [\text{m/s}^3] \quad (3.6:16)$$

$a_q$  = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän ja vaunun lattian tasossa [ $\text{m/s}^2$ ].

$V$  = junan nopeus [km/h]

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus [m]

$da_q/dt$  = nykäys eli kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutos aikayksikössä [ $\text{m/s}^3$ ]

Nykäys Helmertin siirtymäkaareissa, jos kaarteeseen poikittaiskiihtyvyyttä  $a_q$  ei ole laskettu, lasketaan kaavat 3.3:8 ja 3.6:16 yhdistämällä saadulla kaavalla:

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{V^3}{23,328RL_K} - \frac{VD}{293,4L_K} \quad [\text{m/s}^3] \quad (3.6:17)$$

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$R$  = kaarresäde [m]

### 3.6.2.3 *Korikaaren välisiirtymäkaaren mitoitus poikittaiskiihtyvyyden muutosnopeudella*

Korikaaren kaarreosien välisen siirtymäkaaren pituus  $L_k$  mitoitetaan niin, että nykäys ei tule liian suureksi. Nykäys lasketaan edellä esitetyillä klotoidin nykäyksen kaavalla 3.6:14 ja poikittaiskiihtyvyytenä kaavassa käytetään viereisten ympyränkaarten poikittaiskiihtyvyyksien erotusta.

Korikaaren ympyränkaarten välisen siirtymäkaaren kohdalle tulee siirtymäkaaren kohdalle myös kallistusviiste, jos viereisissä ympyränkaarissa on erilaiset raiteen kallistukset. Viisteen pituus on pääsäännön mukaan sama kuin siirtymäkaaren pituus, ja näistä pidemmän vaatimus on määräävä.

Korikaaren välisiirtymäkaaren kohdalla olevan viisteen pituus mitoitetaan kohdan 3.7.1 mukaan.

#### 3.6.2.4 Poikittaiskiihtyvyyden muutosnopeus siirtymäkaarettomissa kaarteissa

Siirtymäkaarettomien kaarteiden nykäys lasketaan kohdan 3.1.3.3 mukaisesti kaavalla:

$$\frac{da_q}{dt} = \frac{V^3}{793R} \quad [\text{m/s}^3] \quad (3.6:18)$$

## 3.7 Kallistusviisteet

Jos ympyränkaareessa on raiteessa kallistusta, siirtymäkaaren kohdalla käytetään kallistusviistettä, jossa raiteen kallistus muuttuu suoran nolla-kallistuksesta ympyränkaaren kohdan kallistukseksi.

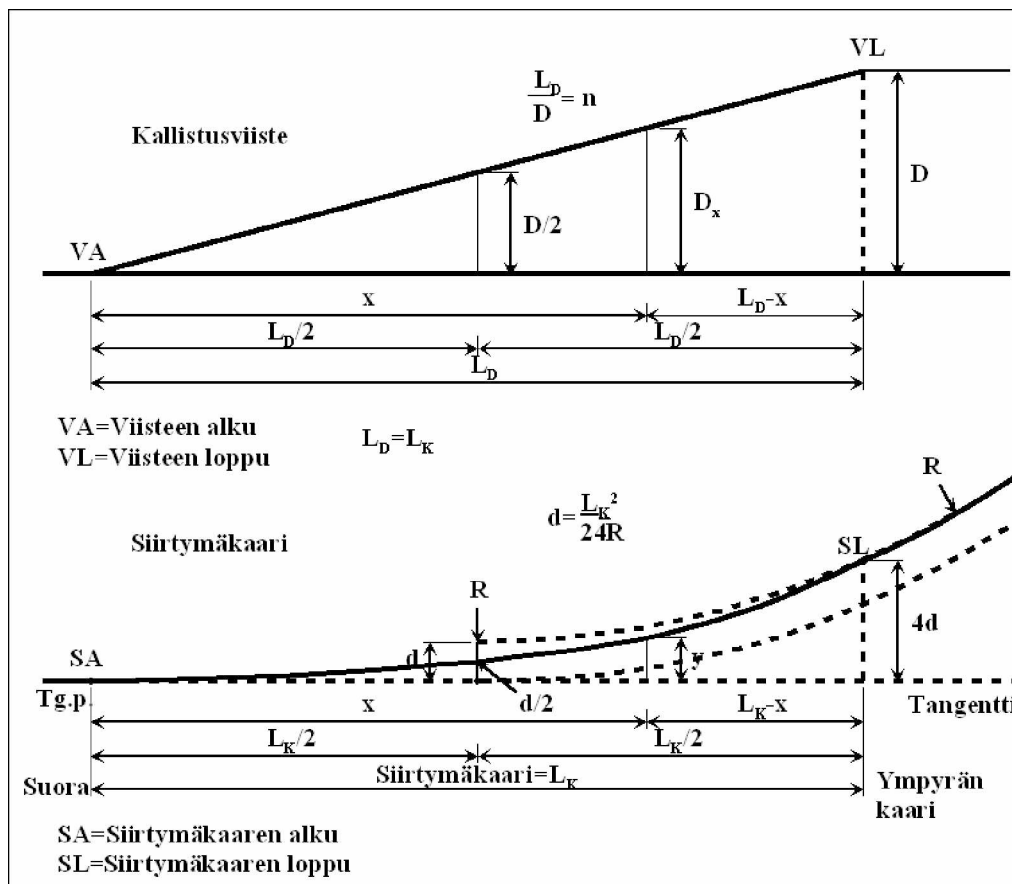
Pääsäännön mukaan siirtymäkaari ja kallistusviiste ovat samanpituisia ja kallistusviiste sijoitetaan siirtymäkaaren alueelle. Siirtymäkaaren vähimmäispituus määräytyy niin, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus (tai nykäys) ei nouse liian suureksi. Kallistusviisteen vähimmäispituus määräytyy niin, että kallistusviisteen jyrkkyys ei tule liian suureksi. Näistä pidempi vaatimus, joko siirtymäkaari tai kallistusviiste määrittää yhdistetyn siirtymäkaaren ja kallistusviisteen vähimmäispituuden.

Kallistusviisteen mitoitus tehdään samalla tavalla riippumatta siitä, käytetäänkö kaarteiden mitoituksessa kallistuksen vajaukseen vai poikittaiskiihtyvyyteen perustuvaa menetelmää.

Kallistusviisteen jyrkkyyden mitoituksen raja-arvot perustuvat käytännön kokemuksen perusteella vakiintuneisiin arvoihin. Niille ei ole suoraa geometrista laskennallista perustetta. Viisteen kallistuksen muutosnopeuden mitoituskaavat on määriteltä niin, että ei ole vaaraa kaluston suistumiselle kallistusviisteen kohdalla.

Kallistusviisteessä vaarallisin tilanne on kaksiakselinen vaunu, jossa samansuuntaisten akselien väli on pitkä. Pitkän akselivälin matkalla kallistusviisteestä johtuva raiteen kierous on suuri ja pyörien kohtauskulma kaarevaan raiteeseen kasvaa. Tämä voi johtaa pyörän laipan ja kiskon kohtaamiseen, jolloin laipan ja kiskon välinen kitka pyrkii nostamaan pyörää kiskon päälle. Vaunun kevyt akselipaino ja vaunun takana oleva raskas juna pahentavat tilannetta. Telivaunuissa telien kääntyminen ja pituusakselin suuntainen kiertymismahdollisuus tekevät viisteessä kulun paremmin raiteeseen mukautuvaksi.

## 3.7.1 Suora kallistusviiste



Kuva 41 Klotoidi ja suora kallistusviiste /1/

Klotoidin ja kolmannen asteen käyrän muotoisten siirtymäkaarien yhteydessä käytetään suoraa kallistusviistettä (kuva 41). Suorassa kallistusviisteessä raiteen kallistus muuttuu suoraviivaisesti koko kallistusviisteen matkalla. Kallistus muuttuu viisteen alun VA 0-arvosta viisteen lopun VL kaarteeseen kallistuksen  $D$ -arvoon. Kallistuksen muutos /1/:

$$\frac{dD}{dx} = \frac{\text{kallistuksen muutos}}{\text{kallistusviisteen pituus}} = \frac{\Delta D}{L_D} = \frac{1}{n} \quad (3.7:1)$$

$$\text{suositeltava minimi} \quad n = 10V \quad (3.7:2)$$

$$\text{minimi} \quad n = 8V \quad (3.7:3)$$

$$\text{lupa-arvo} \quad n = 6V \quad (3.7:4)$$

$V$  = nopeus [km/h]

$L_D$  = kallistusviisteen pituus [m]

$x$  = tarkastelukohdan etäisyys kallistusviisteen alusta VA [m]

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$\Delta D$  = raiteen kallistuksen muutos [m]

$n$  = viistekerroin

Viistekerroin  $n$  lasketaan kaavalla:

$$n = 1000 \frac{L_D}{D} \quad (3.7:5)$$

Kallistusviisteen pituus lasketaan kaavalla:

$$L_D = \frac{nD}{1000} \quad [\text{m}] \quad (3.7:6)$$

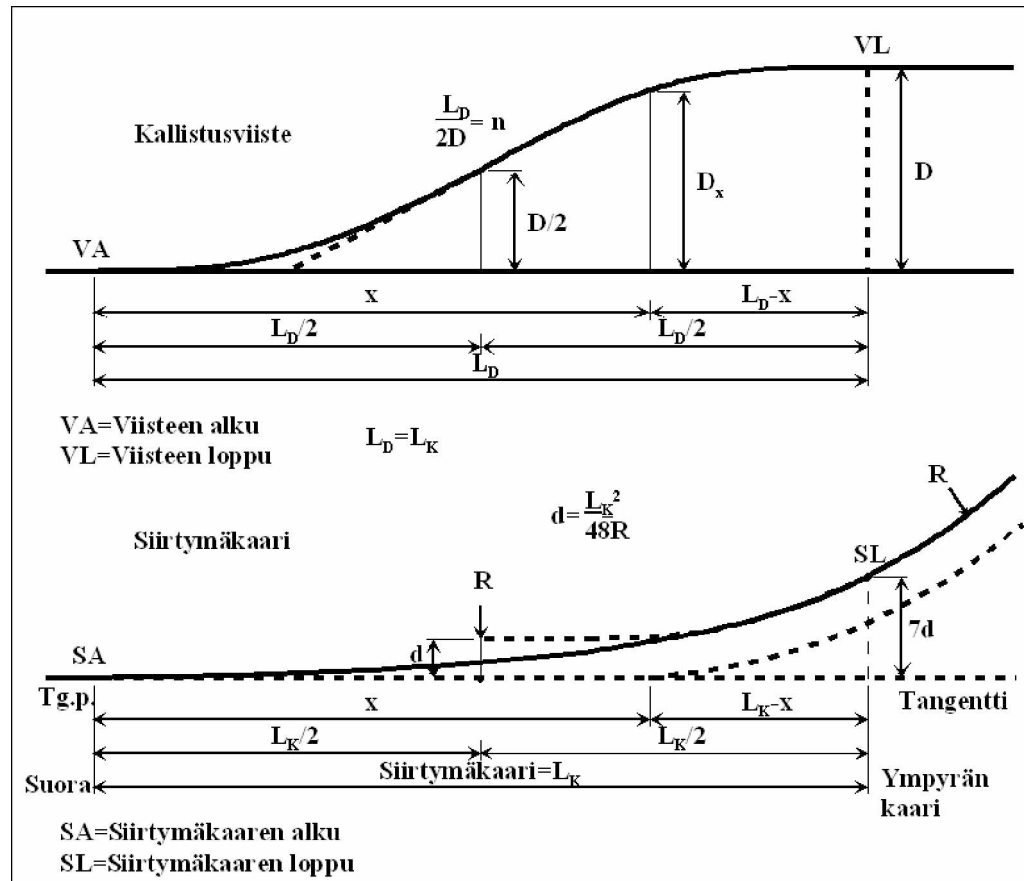
Viistekerroin  $n$  ei saa olla pääraiteella pienempi kuin 400 ja sivuraiteella pienempi kuin 300 /1/.

Kaavan 3.7:4 mukaista lupa-arvon viistekerrointa  $n=6V$  pyritään välttämään, jos raiteessa on normaalikallistusta pienempi kallistus /1/.

Raitteen kallistus  $D_x$  kohdassa  $x$  suoran kallistusviisteen alusta VA lasketaan kaavalla:

$$D_x = \frac{xD}{L_D} \quad [\text{mm}] \quad (3.7:7)$$

### 3.7.2 S-kallistusviiste



Kuva 42 Helmertin siirtymäkaari ja S-kallistusviiste /1/

Helmertin eli 4. asteen siirtymäkaaren yhteydessä tulee käyttää S-kallistusviistettä (kuva 42). Siinä kallistusviiste on alussa ja lopussa loiva ja suurinta viisteen kaltevuus on viisteen keskikohdassa. Jyrkin kohta on määräävä ja se on suoraan kallistusviisteseen verrattuna kaksinkertainen samanpituuisissa kallistusviisteissä.

$$\text{suositeltava minimi} \quad n=6V \quad (3.7:8)$$

$$\text{minimi} \quad n=5V \quad (3.7:9)$$

$$\text{lupa-arvo} \quad n=4V \quad (3.7:10)$$

$V$  = nopeus [km/h]

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus [m]

$L_D$  = kallistusviisteen pituus [m]

$x$  = tarkastelukohdan etäisyys kallistusviisteen alusta VA [m]

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$n$  = viistekerroin

Viistekerroin  $n$  lasketaan kaavalla:

$$n = 500 \frac{L_D}{D} \quad (3.7:11)$$

Kallistusviisteen pituus lasketaan kaavalla:

$$L_D = \frac{nD}{500} \quad [\text{m}] \quad (3.7:12)$$

S-kallistusviisteen viistekerroin  $n$  ei saa olla pienempi kuin 400 /1/.

Raiteen kallistus  $D_x$  kohdassa  $x$  S-kallistusviisteen alusta VA lasketaan kaavoilla:

$$D_x = 2D \frac{x^2}{L_D^2} \quad [\text{mm}] \text{ kun } x \leq L_D/2 \quad (3.7:13)$$

tai

$$D_x = \frac{D - 2D(L_D - x)^2}{L_D^2} \quad [\text{mm}] \text{ kun } x > L_D/2 \quad (3.7:14)$$

### 3.7.3 Korikaaren väliviisteen mitoitus

Korikaaren ympyränkaarten välisen siirtymäkaaren kohdalle tulee myös kallistusviiste, jos viereisissä ympyränkaarissa on erisuuruiset raiteen kallistukset. Viisteen pituus on pääsäännön mukaan sama, kuin siirtymäkaaren pituus, ja näistä pidemmän vaatimus on määräävä. Siirtymäkaaren pituus mitoitetaan kohdan 3.6.1.3 tai 3.6.2.3 mukaan.

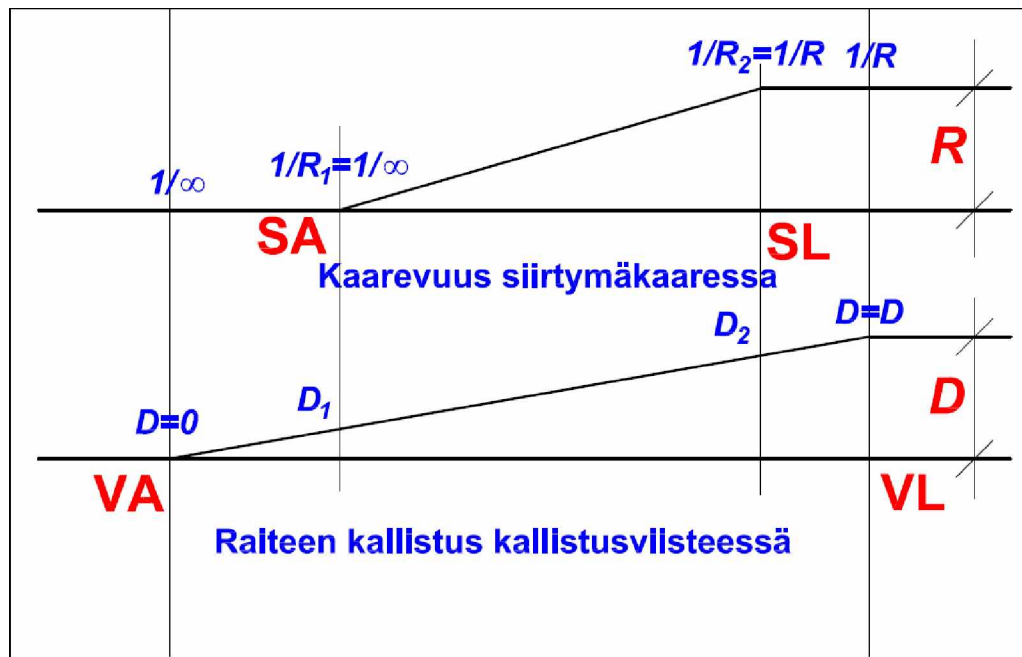


Korikaaren väliviisteen kaavat ja raja-arvot ovat samat kuin edellä kohdissa 3.7.1 ja 3.7.2 on esitetty. Kallistuksen arvon kohdalla käytetään viereisten ympyränkaarten kallistusten erotusta.

### 3.7.4 Eripituinen siirtymäkaari ja kallistusviiste

Pääsäännön mukaan siirtymäkaari ja kallistusviiste ovat samanpituiset ja kallistusviiste sijoitetaan siirtymäkaaren alueelle. Näin raiteen kallistus lisääntyy samassa suhteessa, kun kaarevuus pienenee. Joissain tapauksissa, esimerkiksi jos tukikerroksen teräsilta on liian lähellä kaarretta tai ahtaan paikan geometriassa ei ole tilaa pidemmälle siirtymäkaarelle tms., siirtymäkaari ja kallistusviiste joudutaan tekemään eripituisiksi. Tämä on junan kulun kannalta huono ratkaisu, koska siirtymäkaaren ja kallistusviisteen alueelle tulee monia nykyksen muutoskohtia. Myös tällaisen monimutkaisen raiteen geometrian kunnossapito on vaativampaa.

Jos siirtymäkaari ja kallistusviiste ovat eripituisia tai eri kohdassa, on mitoitus tarkastettava tapauskohtaisesti mitoittavista pisteistä. Tarkastelussa on siirtymäkaaren pituuden ja kallistusviisteen jyrkkyyden lisäksi tarkastettava raiteen kallistuksen riittävyys tarvittaessa kaikissa siirtymäkaaren ja kallistusviisteen alku- ja loppupisteissä.



Kuva 43 Eripituinen siirtymäkaari ja kallistusviiste (R Taimela 2010)

Esimerkkinä on kuvan 43 tapaus, jossa siirtymäkaari on lyhyempi kuin kallistusviiste. Tässä yhteydessä on tarkastettava seuraavat asiat:

1. Siirtymäkaaren alkupisteessä SA raide on suora, mutta raiteessa on jo  $D_1$  verran kallistusta. Tämä on liikakallistusta (tai negatiivista poikittaiskiihtyvyyttä) ja on tarkastettava, että arvo ei alita kallistuksen vajuksen minimiä (tai negatiivista poikittaiskiihtyvyyttä).
2. Siirtymäkaaren alkupisteessä SA on liikakallistusta eli negatiivista kallistuksen vajuusta (tai negatiivista poikittaiskiihtyvyyttä)  $D_1$ :n verran, joka on tullut kallistusviisteen alkupisteestä VA ja siirtymäkaaren alkupisteestä SA

välisellä matkalla. Tarkastetaan, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus (tai poikittaiskiihtyvyys) ei nouse tällä välillä liian suuriksi. Kallistuksenvajaus on SA -pisteessä oleva liikakallistus  $D_1$  ja matka on VA-SA väli.

3. Siirtymäkaaren loppupisteessä SL kaarresäde on  $R$  mutta raiteen kallistus  $D_2$  ei ole vielä täydessä  $D$ :n arvossa. Tässä on tarkastettava, että kallistuksen vajaus (tai poikittaiskiihtyvyys) ei tule liian suureksi.
4. Kallistuksen vajauksen muutosnopeus (tai nykäys) lasketaan SA-SL pisteiden kallistuksen vajauksen (poikittaiskiihtyvyyksien) eroista ja muutosmatka on siirtymäkaaren pituus, SA-SL. Tarkastetaan, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus (tai poikittaiskiihtyvyys) ei nouse tällä välillä liian suuriksi.
5. Siirtymäkaaren loppupisteessä SL raiteen kallistus on  $D_2$ :n suuruinen mutta kaarresäde on ympyränkaaren arvossa  $R$ . Kallistuksen vajaus on suurempi, kuin kallistusviisteen lopussa VL. SL-VL välille tulee kallistuksen vajauksen muutosta. Tarkastetaan, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus (tai poikittaiskiihtyvyys) ei nouse tällä välillä liian suuriksi. Kallistuksen vajaus on SL ja VL pisteiden välinen kallistuksen vajauksen erotus ja matka on SL-VL väli.
6. Kallistusviisteen jyrkkyys lasketaan normaalisti kallistusviisteen pituuden VA-VL mukaan. Tarkastetaan, että viisteen jyrkkyys on sopiva.
7. Nopeus ympyränkaareissa, jossa kaarresäde on  $R$  ja raiteen kallistus on  $D$ . Tarkastetaan, että kallistuksen vajaus (tai poikittaiskiihtyvyys) on sopiva.

## 3.8 Elementtien pituus

### Suoran pituus

Kahden pääraiteen kaarten, joko siirtymäkaarellisten tai pelkkien ympyränkaarien välisen suoran pituuden on oltava vähintään 30 metriä /1/.

Jos S-kaaren kaarteiden väliin ei saada vähintään 30 metrin pituista välisuoraa, on kaarteiden alut pyrittävä yhdistämään ilman välisuoraa. Lyhyt välisuora huonontaa matkustusmukavuutta.

Nämä vaatimukset eivät koske raiteen yhdensuuntaissiirtojen eivätkä pienien suuntamuutoksien yhteydessä olevia välisuoria, jos niiden kaarresäde on vähintään kohdan 3.2.1 vaatimusten mukainen /1/.

Välisuoran suositeltava pituus on kaikilla raiteilla vähintään:

$$L = \frac{V_{TAVOITE}}{2} \quad [\text{m}] \quad (3.8:1)$$

$$V_{TAVOITE} = \text{tavoitenopeus} \quad [\text{km/h}]$$

Sivuraiteilla S-kaareissa, kun kaarresäteet ovat alle 275 m, välisuoran pituus on oltava vähintään kohdan 3.2.2 mukainen.

Kun raiteen tavoitenopeus on vaihteen suorassa raiteessa yli 120 km/h, on koko vaihteen alue suoran raiteen suuntaan pyrittävä suunnittelemaan suoraksi /2/. Vaihte-

alueella tarkoitetaan vaihteen aluetta ja vaihteen jatkosten ulkopuolella olevia alueita, joiden kaikkien suositeltava pituus on  $V/2$  metriä, ja vähintään 50 metriä.  $V$  on vaihteen mitoitettavan raiteen nopeus, kohta 3.13.

Vaihteen etujatkosalueella on yksinkertaisessa vaihteessa ja kaksoisvaihteessa käytettävä pääraiteella vähintään 5,000 metriä pituista suoraa /2/.

### Ympyränkaaren pituus

Ympyränkaaren pituuden on oltava vähintään 30 metriä /1/.

Tämä vaatimus ei koske raiteen yhdensuuntaissiirtojen tai pienten suuntamuutoksien yhteydessä olevia ympyränkaaria, jos niiden kaarresäde on vähintään kohdan 3.2.1 vaatimusten mukainen /1/.

Ympyränkaaren suositeltava pituus on kaikilla raiteilla vähintään:

$$L = \frac{V_{TAVOITE}}{4} \quad [m] \quad (3.8:2)$$

$$V_{TAVOITE} = \text{tavoitenopeus [km/h]}$$

### Siirtymäkaaren pituus

Siirtymäkaaren minimipituus on 20 metriä ja suositeltava pituus vähintään 30 metriä /1/.

### Raideosuuden pituus

Turvalaitteen raideosuuden pituuden on oltava vähintään 30 metriä /7/. Raideosuus on esitetty kohdassa 3.9.2.

### Vaihteiden väliset osuudet

Pääraiteella vaihteiden välialueen pituuden on oltava vähintään 6,0 metriä /4/.

Raiteenvaihtopaikan vaihteiden kaarien välissä olevan suoran pituuden  $L$  on oltava vähintään kaavan 3.8:3 mukainen. Käytettäessä raiteenvaihtopaikalla vaihteita YV60-900-1:18 tai YV60-500-1:14 saa vaihteissa olevien kaarien väliseen pituuteen laskea suoran osuuden, joka on vaihteessa ennen takajatkosta /4/.

$$L = 0,15 \times V \quad [m] \quad (3.8:3)$$

$$V = \text{vaihteiden välisen raiteen nopeus [km/h]}$$

Kun kaksi vaihdetta, joiden kaarresäde on enintään 300 m, ovat etujatkokset toisiinsa päin ja vaihteiden poikkeavat raiteet muodostavat S-kaaren, on niiden väliin jätettävä välisuora, jonka pituuden on oltava vähintään /4/:

- 10 metriä kun vaihteiden kaarresäteet ovat enintään 275 m.
- 6 metriä kun vaihteiden kaarresäteet ovat enintään 300 m.

Muut vaihteiden välisen alueen elementtien minimipituudet käsitellään kohdassa 3.13.4.

### **Kallistuvakorinen kalusto**

Kallistuvakoriselle kalustolle suunniteltavan raiteen elementtien, suoran, ympyräkaaren ja siirtymäkaaren suositeltava minimipituus on vähintään 0,5...1,0 sekunnin ajoaikaan vastaava pituus. Tämä tarkoittaa 200 km/h:n nopeudella 28...56 metriä /1/. Lyhyet elementit huonontavat matkustusmukavuutta junan jatkuvien kallistusmuutosten takia ja tämän vuoksi on pyrittävä käyttämään näitä minimejä pidempiä elementtejä.

Kallistusjärjestelmä aktivoituu, kun junan nopeus on yli 70 km/h ja kun raiteessa on raiteen kallistusta. Muuten järjestelmä ei kallista vaunuja ja suurin sallittu nopeus ja elementin pituus määräytyy tavanomaisen kaluston ohjeiden mukaan.

### **Elementtien pituus ja nopeus elementissä**

Nämä elementtien pituusvaatimukset ovat suunnitteluohjeita. Niiden perusteella ei yleensä rajoiteta nopeutta.

## **3.9 Raiteen pituus**

Rautatieliikennepaikalla raiteelle tarvittava pituus perustuu liikennöinnin tarpeisiin. Pituuden määrittelyssä on mukana liikennöinnin sanastoa. Tässä on muutama rautatieliikenteeseen liittyvä termi:

**Liikennöinti** on joko junaliikennettä tai vaihtotyötä /6/.

**Junaliikenteellä** tarkoitetaan yksiköiden liikkumista junaliikenteestä annettujen määräysten mukaan /6/. Tämä tarkoittaa mm. että:

Junaliikenne on aikataulunmukaista liikennettä liikennepaikkojen välillä.  
Liikenteenohjaus turvaa junalle junakulkutien.  
Junakulkutiellä on päätekohta.

**Vaihtotyöllä** tarkoitetaan liikennöintiä vaihtotyöstä annettujen määräysten mukaan /6/. Vaihtotyö on yleensä kaluston paikallista siirtämistä. Liikenteenohjaus antaa vaihtotyölle luvan ja työskentelyalueen. Vaihtotyönjohtaja huolehtii vaihtotyöyksikön liikkumisesta.

**Kulkutiellä** tarkoitetaan yksikölle turvattua reittiä /6/.

**Junakulkutien päätekohta** on /6/:

pää- tai suojustusopastin tai  
junakulkutien päätekohta-merkki tai  
määräpaikalla myös raidepuskin

**Junakulku**tie on junakulcutien ehdoin varmistettu kulcutie /7/.

Junakulcutien aloittavan opastimen on oltava pääopastin tai pääopastimeen kytketty raideopastin.

Junakulcutien on päätyttävä

- kulcutien suuntaan opasteita näyttävään pääopastimeen
- kulcutien suuntaan opasteita näyttävään suojustusopastimeen
- kulcutien suuntaan opasteita näyttävään raideopastimeen
- suojustusjärjestelmällä varustetulle raiteelle
- raidepuskimella varustetun raiteen raideosuudelle tai
- liikennepaikalta tai sen osalta pois johtavalle suojustamattomalle raiteelle.

**Rautatieliikennepaikka** on junaliikenteen ohjaamista tai asiakaspalvelua varten nimetty paikka. Rautatieliikennepaikka on liikennepaikka, linjavaihde tai seisake /6/.

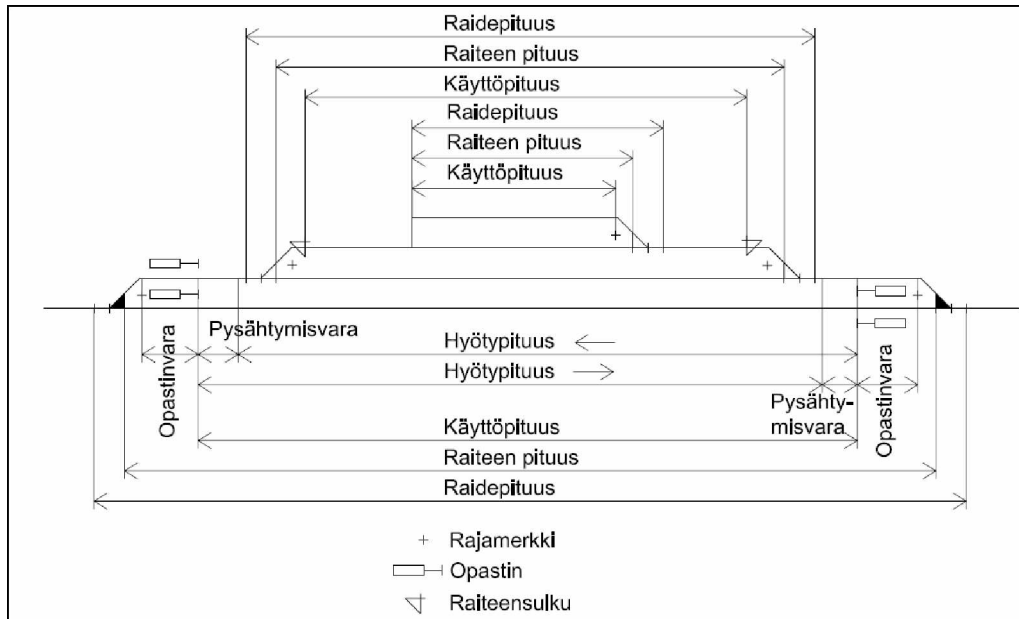
**Liikennepaikka** on alue, jonka infranhaltija on määritellyt liikennepaikaksi. Liikennepaikka voi koostua liikennepaikan osista /6/.

**Linjavaihde** on liikennepaikan ulkopuolella oleva vaihde tai vaihteita ja niihin liittyvät raiteet. Linjavaihteen alueen pituus on rataa pitkin mitattuna enintään 2 km. Linjavaihteet on mainittu rautatieliikennepaikkarekisterissä. Linjavaihteeseen kuuluvat vaihde tai vaihteet liikennöinnissä ja kunnossapidossa tarvittavine laitteineen. Linjavaihteeseen kuuluvat myös pääraiteen liikenteen turvaamiseen käytettävät turvalaitteet ja raiteet. Linjavaihteella ei ole käytössä olevaa matkustajalaituria /6/.

**Seisake** on rautatieliikennepaikka, jolla on käytössä oleva matkustajalaituri. Seisakkeella voi olla vaihde tai vaihteita, jotka on varustettu kuten linjavaihde /6/. Tarkoituksena tähän, myös liikennepaikalla voi olla käytössä oleva matkustajalaituri ja seisake on rautatieliikennepaikka, jolla on matkustajalaituri ja joka ei ole liikennepaikka.

### 3.9.1 Raiteen pituuskäsitteitä

Raiteen pituuteen liittyy monia eri käsitteitä, joista tärkeimmät esitetään kuvassa 44. Ne määritellään lyhyesti kuvan alla ja selitetään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



Kuva 44 Raiteen pituuskäsitteitä (R Taimela 2011)

**Hyötypituus** ilmoittaa sen pituuden raiteesta, jota voidaan käyttää junaliikenteessä silloin, kun junan on mahdollista pysähtymään kyseiselle raiteelle /4/.

**Mitoittava hyötypituus** on suunnitteluperusteissa määrättävä vaatimus raiteen hyötypituudelle /4/.

**Käyttöpituus** on se osa raidetta, jolla liikuvaa kalustoa voi olla sen estämättä liikennöimistä viereisillä raiteilla /4/.

**Opastinvara** on kulkutien päättävän opastimen takana oleva matka, jolle pysähtyvä opastimen ohittava yksikkö ei aiheuta vaaraa viereisten raiteiden liikennöinnille /4/.

**Pysähtymisvara** on raiteen se pituus, joka hyötypituuden lisäksi on osa raiteen käyttöpituuksi /4/.

**Raidepituus** on etäisyys raiteeseen liittyvän vaihteen etujatkoksesta toisen vaihteen etujatkokseen tai ratakiskojen päättymiskohtaan raidetta pitkin mitattuna. Yksi- tai kaksipuolisessa risteysvaihteessa ja raideristeyksessä raidepituus määräytyy etujatkoksen sijaan vaihteen matemaattiseen pisteeseen. Raidepituus voi sisältää vaihteita /4/.

**Raiteen pituus** on raiteen alku- ja päättymiskohtan välinen etäisyys. Alku- tai päättymiskohta on lähin vaihteen etu- tai takajatkos tai ratakiskojen päättymiskohta. Raiteen pituus ei sisällä vaihteita /4/.

### 3.9.2 Raiteen pituuden osatekijät

Raiteen mitoittava hyötypituus annetaan lähtötiedoksi raidegeometrian suunnitteluun. Raidepituudet tulevat tarkasti määritellyiksi raidegeometrian suunnittelun valmistuessa. Raiteen turvalaitesuunnittelu tehdään raidegeometrian pohjalta ja tässä vaiheessa selviää tarkemmin raiteen turvalaitevarustelu ja -sijoittelu. Turvalaitteen määrittävät raiteen käyttöpituuksi. Raiteen hyötypituuden riittävyys ja raiteiston

käytettävyys on tarkastettava vielä tässä vaiheessa kaikkien suunnitelmien valmistuksessa. Lisäksi tulee varmistaa, että suunnitelmat voidaan myös sellaisenaan toteuttaa.

Rajamerkkien paikat selviävät raidegeometrian valmistuttua. Raidegeometria tulostetaan mittapiirukseen mittatarkkana kuvana. Rajamerkit merkitään mittapiirustukseen. Mittapiirustusta käytetään turvalaitesuunnittelun pohjana ja rajamerkkien paikat ovat tärkeä tieto turvalaitesuunnittelussa.

**Mitoittava hyötypituus** määritetään projektin suunnitteluperusteissa tarvittaessa raidekohtaisesti. Tämä liikennetekninen mitoitusperuste saadaan suunnitteluperusteisiin tarveselvityksen liikennesuunnittelusta. Mitoittava hyötypituus on yksi tärkeimmistä lähtötiedoista, kun aloitetaan raiteiston suunnittelu.

Hyötypituus pyritään saamaan noin 50 metriä pidemmäksi kuin mitoittava hyötypituus /4/. Mitoittavaan hyötypituuteen lisätään suunnittelussa noin 50 metriä ylimääräistä pituutta erilaisia toleransseja ja työnaikaisia esteitä, muutoksia ja yllätyksiä varten. Pysähtymisvara on eri asia ja se mitoitetään raiteen pituuteen vielä erikseen.

hyötypituus = mitoittava hyötypituus + ~ 50 m

**Hyötypituus** on junaliikenteelle tarkoitettu raidepituus. Se tarkoittaa pituutta, jonka mittainen juna raiteelle sopii ja jonka mittaiselle junalle raide on suunniteltu. Hyötypituus määrätään sellaiselle raiteelle, jolle voidaan varmistaa junakulkutie päättymään turvalaitosta käyttämällä tai jolle on asetettu Junakulkutien päätekohta -merkki. Muilla raiteilla on vain käyttöpituus.

Raiteelle ilmoitettava hyötypituus on samanpituinen kumpaankin suuntaan. Kun raiteella on hyötypituus, se esitetään raiteen pituutena raiteistokaavioissa. Raiteistokaaviossa on merkintä hp xxx m.

Vähentämällä raiteen käyttöpituudesta pysähtymisvara, saadaan raiteen hyötypituus.

Hyötypituus = käyttöpituus – pysähtymisvara

**Käyttöpituus** on kaikilla raiteilla. Se on pituus, jolla liikkuva kalusto voi olla pysäköitynä niin, että se ei estä liikennettä viereisillä raiteilla. Raiteen käyttöpituus on tarpeellinen tieto raiteen hyötypituutta määritettäessä. Raiteilla, joille määritellään hyötypituus, ei käyttöpituutta merkitä raiteistokaavioon. Raiteille, joille ei määritetä hyötypituutta, käytetään jatkossakin käyttöpituutta. Se kuvaa käytettävissä olevaa raidepituutta. Vaihtotöissä ja kuormausalueilla hitaissa nopeuksissa voidaan työskennellä tarkemmin kuin junaliikenteessä ja pituus voidaan käyttää tarkemmin hyväksi.

Raiteen käyttöpituus on samanmittainen kumpaankin suuntaan.

Käyttöpituus esitetään raiteistokaavioissa raiteelle, joilla ei ole hyötypituutta. Raiteistokaaviossa on merkintä kp xxx m.

Raiteen käyttöpituus päättyy ensimmäiseen seuraavista kohteista tässä järjestyksessä /4/:

1. seismerkkiin
2. keskitettyä raiteensulkua edeltävään raideosuuden alkukohtaan
3. raiteensulkuun
4. junakulkutien päätekohtan muodostavaan merkkiin tai tunnukseen
5. pääopastimeen tai raideopastimeen
6. ennen rajamerkkiä olevaan raideosuuden alkukohtaan
7. rajamerkkiin
8. kolme metriä ennen kääntöpöytä
9. raidepuskimeen, seislevyyn
10. raiteen päätekohtaan

Käyttöpituus voi rajoittua myös tasoristeykseen tai porttiin. Esimerkiksi raiteilla, joissa junat voivat joutua seisomaan pidempään ja tasoristeyksen sulkeminen ei ole sen käytön kannalta toivottavaa. Varoituslaitoksella varustetuissa tasoristeyksissä on huomattava varoituslaitoksen toiminta.

**Raideosuus** on turvalaitoksessa vapaanaolon valvonnalla varustettu yksittäinen ja yhtenäinen osuus raiteesta. Vapaanaolon valvonta on toteutettu raidevirtapiireillä tai akselinlaskennalla. Raideosuuden raja on vastaavasti raide-eristys tai akselinlaskija

**Opastinvara** on huomioitava junakulkutieraiteen pituuden mitoittamisessa. Kun rai-teelle määritetään hyötypituus, sillä on oltava myös opastinvara.

Opastinvara muodostetaan sijoittamalla junakulkutien päättävä opastin tai junakul-kutien päätekohta riittävän pitkälle ennen opastimen takana olevaa kulkutievaihdetta. Matka määritetään etujatkoksesta, jos vaihde on vastavaihde, ja rajamerkistä, jos vaihde on myötävaihde.

Suunnittelussa on pyrittävä sujuvan liikennöinnin edellyttämään valvontanopeuteen. Lyhyet opastinvarat johtavat yleensä 10 km/h:n valvontanopeuteen ja tämä vie radan välityskapasiteettia. Valvontanopeudeksi muodostuu 10 km/h, jos opastimen etäisyys turvattavaan kohtaan on vähemmän kuin 50 m. Mikäli tavoitteena on suurempi val-vontanopeus, opastinvarana tai etäisyytenä turvattavaan kohtaan on käytettävä vä-hintään RATO:n osan 6 mittoja. Suositeltavaa on käyttää opastinvarana 150 metriä /4/.

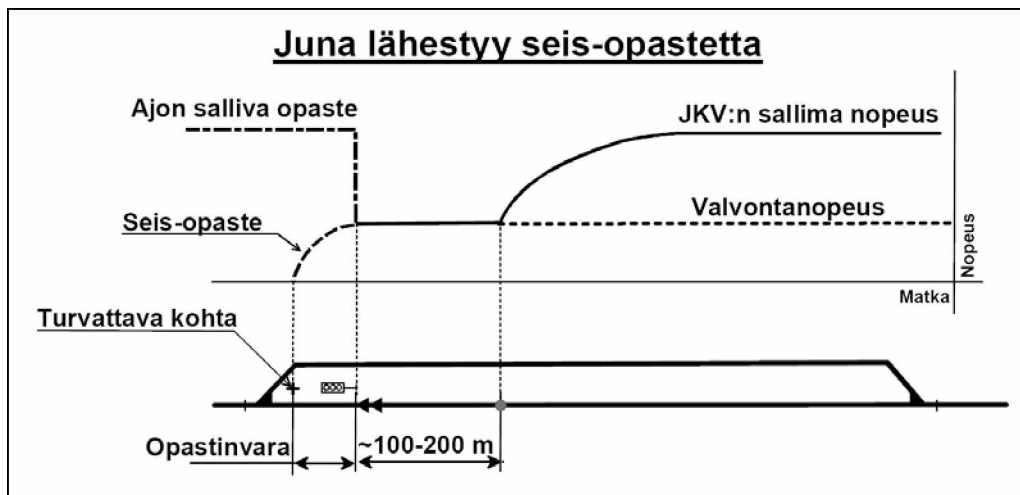
Opastinvaran tarkoituksena on se, että JKV voi pysäyttää mahdollisen Seis-opasteen ohittavan junan turvallisesti opastinvaran alueelle vaarantamatta muuta liikennettä. Toimintaperiaate on selitetty näiden määritysten jälkeen:

**Junien kulunvalvonta (JKV)**, on järjestelmä, joka valvoo suurinta nopeutta /10/.

**Valvontanopeus**, on nopeus, jonka tasolle Seis-opastetta näyttävän opasti-men kohdalle laskettuja jarrukäyriä valvotaan. JKV sallii lähestyä Seis-opastetta näyttävää opastinta enintään valvontanopeudella alkaen pisteestä, jossa käyttäjarrutuksen aloituskäyrä leikkaa valvontanopeuden ylinopeuden valvonnan käyttäjarrutuksen rajan, ellei JKV:llä ole valvottavana muuta pie-



nempää nopeutta. Nopeus voi opastimen kohdalla olla suurempi kuin valvontanopeus vain, kun JKV on saanut tiedon ajon sallivasta opasteesta /10/.



Kuva 45 Valvontanopeus (R Taimela 2011)

Kuvan 45 alareunassa on raiteistokaavio ja yläreunassa on matka/nopeus käyrä. Siinä esitetään JKV:n käsitteitä junan lähestyessä opastinta.

Junan JKV-laite saa pistemäisessä JKV:ssa ulkopuolista tietoa vain baliisien kohdalla. Sen tiedon varassa edetään seuraaville baliiseille.

Kun junan JKV on saanut tiedon Seis-opasteesta, se valvoo nopeuden hidastamisen valvontanopeuteen noin 100 - 200 metriä ennen opastinta.

Tästä eteenpäin opastimelle edetään korkeintaan valvontanopeutta. Vaikka kuljettaja näkisi, että opastin on vaihtunut ajon sallivaksi, junan JKV ei sitä vielä tiedä. Se saa tiedon asiasta vasta opastimella olevilta baliiseilta (tai toistopisteen baliiseilta) ja sallii sitten ajon jatkamisen junalle ja raiteelle sallitulla nopeudella.

Jos opastin näyttää Seis-opastetta ja kuljettaja jatkaa siitä huolimatta ajoa, JKV pysäyttää junan. Jarruttaminen alkaa opastimen baliisien kohdalla ja junan on pysähdyttävä ennen kuin se aiheuttaa vaaraa viereisen raiteen liikenteelle. Pysähtyminen tapahtuu opastimen takana olevalla, vapaaksi valvotulla ja muiden raiteiden liikennettä vaarantamattomalla raiteen osalla, opastinvaralla.

Valvontanopeus määräytyy niin alhaiseksi, että junan pysäyttäminen onnistuu käytettävissä olevalla opastinvaran matkalla. Opastinvaran pituus on kuvan 45 tapauksessa vähintään 60 metriä, ja ohjeissa on vähimmäispituudet muissa eri tapauksissa /4/, /7/.

**Ohiajovara** on turvalaitteessa varmistetun kulkutien päättävän opastimen takana oleva raideosuus tai raideosuudet, jotka on lukittu ja valvotaan vapaaksi varmistetun kulkutien ehdoissa. Ohiajovaran varmistumisen ehdot ovat samat kuin junakulkutien varmistumisen ehdot. Ohiajovarylukituksen on estettävä varmistetulle kulkutielle ristikkäiset ja vastakkaiset kulkutiet ohiajovaralla olevan raideosuuden kautta.

Ohijovara on turvalaitesuunnitteluun liittyvä asia. Kun raiteiston suunnittelija huolehtii siitä, että opastinvara on riittävän pitkä, ohijovaraa ei tarvitse käsitellä raiteiston suunnittelussa.

**Pysähtymisvara** mitoitetaan vain raiteille, joille määritellään hyötypituus. Se on vain raiteilla, joille voidaan turvalaitosta käyttämällä turvata junakulkutie, tai joilla on junakulkutien päätekohta. Pysähtymisvara on jarrutuksen pysähtymispaikkatoleranssia ja pysähtyvän junan mahdollisesta kytkinten löysyydestä johtuva junan venymistä varten oleva vara. Pysähtymisvara sisältää opastimen näkemiseen tarvittavan matkan.

Pysähtymisvaran minimimita on 30 metriä, kun käyttöpituus on enintään 800 metriä ja 40 metriä, kun käyttöpituus on yli 800 metriä /9/. Pysähtymisvaraan lisätään 10 metriä, jos vähintään raiteen toisessa päässä keskimääräinen alamäki opastimelle päin 200 metrin matkalla ennen opastinta on jyrkempi kuin 2,5 ‰.

**Raidepituus** on raiteen ja sen vaihteiden päällysrakenteen yhteispituus alkaen raiteen erkanemisvaihteen etujatkoksesta päättyen raiteen liityntävaihteen etujatkokseen. Raidepituus määritellään kaikille raiteille, joilla on oma tunnus (numero). Raidepituus on turvalaitteiden raidemäärityä pidempi. Turvalaitteiden raidemääritys päättyy raideosuuden rajaan ja raidepituus jatkuu tästä vielä eteenpäin raiteen erkanemiskohtaan asti. Raidepituus alkaa yleissäännön mukaan jostain raiteen jatkeella olevan vaihteen poikkeavan raiteen etujatkoksesta. Risteysvaihteissa alku- ja loppupiste on matemaattinen piste. Vaihtealueet ja vaihteet ovat yleensä mukana jonkun raiteen pituudessa. Raidepituuteen kuuluvat vaihdekujan osat ja raiteen sisällä olevat vaihteet, esimerkiksi turvavaihteet tai seuraavan, lyhyemmän raiteen erkanemisvaihteet.

Kun raiteet ovat peräkkäin eli peräkkäisillä raiteilla on eri tunnuksia, niiden raja määräytyy perussäännön mukaan, raiteen aloittavan ja päättävän vaihteen etujatkokseen tai risteysvaihteissa sen matemaattiseen pisteeseen. Raiderekisteriin määritellään lisäksi kaikki raiteiden ulkopuolelle jäävät vaihdekujat tms. omiksi raiteiksi, jotta myös niiden tiedot tulevat rekisteröityä.

**Raiteen pituus** on raiteen alku- ja päättymiskohdan välinen etäisyys. Alku- tai päättymiskohta on raidetta lähimpänä olevan vaihteen etu- tai takajatkos tai rataaksojen päättymiskohta /4/. Tässä käytetään lähtökohtana raidepituutta, josta vähennetään siinä olevat vaihteiden osuudet.

### 3.9.3 Raiteen pituuden suunnittelu

Mitoittavasta hyötypituudesta on ja on ollut monia erilaisia pituusvaatimuksia. Liikennesuunnittelun pitää tuottaa projektin suunnitteluperusteisiin rataosan, liikennepaikan ja tarvittaessa raidekohtaisen pituuden mitoitusohjeen. Kun raiteiston suunnittelija saa mitoitusohjeen liikennesuunnittelusta, hänen ei tarvitse tulkita erilaisia pituusvaatimuksia ja välttyä turhilta investoinneilta ja mahdollisilta pullonkaulapaikoilta. Ohjeissa on seuraavat mitoittavan hyötypituuden vaatimukset:

Suunnitteluperusteissa määrätyillä tavaraliikenneraiteilla mitoittavan hyötypituuden on oltava vähintään 750 metriä. Muutettavan tavaraliikenneraiteen mitoittavan hyötypituuden on oltava vähintään 700 metriä. Jos muutettavan tavaraliikenneraiteen 700 metriä mitoittava hyötypituusvaatimus ei täyty, muutostyössä on käytettävä mitoittavaa hyötypituutta 750 metriä. Liikennevi-

raston erikseen päättämällä tavaraliikenneraiteilla mitoittava hyötypituus on 925 metriä tai 1100 metriä /4/.

Kohtausraiteen vähimmäishyötypituudeksi on valittava pisin suunniteltavalla reitillä käytössä oleva mitoittava hyötypituus, ellei suunnitteluperusteissa toisin määrätä /4/.

Matkustajaliikenneraiteen mitoittava hyötypituus perustuu suunnitteluperusteissa ilmoitettavaan laituripituuteen, johon lisätään 40 metriä veturivarat kumpaankin suuntaan /4/.

Rataverkon kuvauksen mukaan rataosien mitoituksessa käytetyt junapituudet ovat 550, 625, 725, 825 ja 925 metriä /8/.

#### **Raiteen pituuden suunnitteluperiaate:**

Junaliikenteelle tulevan raiteen pituus suunnitellaan ottaen huomioon kaikki seuraavan luettelon osat 1–4. Jos suunnitellaan raidetta, jolle tulee vain käyttöpituus, riittää käyttöpituusvaatimus, 4-kohdan käyttöpituuden rajaaman kohteen vaatima pituus ja vähän ylimääräistä toleranssia. Raiteet on suunniteltava yhteistyönä turvalaite- ja sähköratasuunnittelijan kanssa, jotta näiden kaikkien vaatimukset tulevat huomioon otetuiksi ja raiteen pituus on edelleen riittävä turvalaitteiden määrittämän käyttöpitäuden jälkeen.

**1. Mitoittava hyötypituus** määritetään suunnitteluperusteissa tarvittaessa raidekohtaisesti.

**2. Hyötypituus** pyritään saamaan noin 50 metriä pidemmäksi kuin mitoittava hyötypituus. Mitoittavaan hyötypituuteen lisätään noin 50 metriä ylimääräistä ja tätä pituutta pidetään raiteen suunnittelun lähtöarvona.

**3. Pysähtymisvaran** minimimita on 30 metriä, kun käyttöpituus on enintään 800 metriä, ja 40 metriä, kun käyttöpituus on yli 800 metriä. Pysähtymisvara lisätään 10 metriä, jos raiteen pituuskaltevuus 200 metrin matkalla ennen opastinta on enemmän kuin 2,5 ‰ alamäkeä opastimelle päin. Tämä tarkoittaa, että koko välin kaltevuus on keskimäärin jyrkempi kuin 2,5 ‰. Eli lasketaan opastimen kohdan ja sitä 200 metriä ennen olevan kohdan korkeusviivan pisteiden välinen kaltevuus. Raiteen pysähtymisvara määritellään mahdollisen pitemmän pysähtymisvaran mitan antavan raiteen pään mukaan. Raiteen käyttöpituus on sama kumpaankin suuntaan ja näin hyötypituus määritellään samanpituisiksi kumpaankin suuntaan.

**4. Käyttöpituus** päättyy ensimmäiseen seuraavan luettelon kohteista. Suunnittelu- vaiheessa käyttöpituuden päättävillä kohteilla on varattava raiteen pituussuunnassa tilaa vähintään tässä luetellut minimimitat. On huomattava, että useiden opastimien yhteinen sijoittelu ja kokonaisuus, maasto, esteenä olevat rakenteet tai ATU voivat vaikuttaa sijoitteluun ja kasvattaa näitä mittoja:

1. Seismerkkiin

2. Keskitettyä raiteensulkua edeltävän raideosuuden alkukohtaan

Keskitetyn raiteensulun raideosuuden raja on sijoitettava 1–2 metrin etäisyydelle raiteensulusta raiteeseen päin /7/. Raiteensulku on sijoitettava vähintään 5 metrin etäisyydelle suojattavalle raiteelle johtavan vaihteen rajamerkistä /7/.

### 3. Raiteensulkuun

Raiteensulku on sijoitettava vähintään 5 metrin etäisyydelle suojattavalle raiteelle johtavan vaihteen rajamerkistä raiteeseen päin /7/.

Raiteensulku on sijoitettava vähintään 2 metrin etäisyydelle suojattavalle raiteelle johtavan vaihteen raideosuudesta raiteeseen päin /7/.

### 4. Junakulkutien päatekohdan muodostavaan merkkiin ja tunnuksen

Merkki on sijoitettava rajamerkistä raiteeseen päin kohtaan, jossa merkki mahtuu ATUn ulkopuolelle. Jos merkki tulee raideopastimen yhteyteen, se asennetaan raideopastimen päälle, mikä on huomioitava raideopastimen sijoittamisessa ATUun nähden.

### 5. Pää- tai raideopastimeen

Raiteistosuunnittelu on tehtävä yhteistyössä turvalaitesuunnittelijan kanssa, jotta turvalaitteista ja raiteistosta saadaan yhdessä toimiva kokonaisuus. Tässä on eräitä esimerkkejä opastimien vaikutuksista raiteiston suunnitteluun:

Liikennepaikan opastimia on tarkasteltava yhtenä kokonaisuutena. Ne voivat olla esimerkiksi samassa portaalissa tai muuten sijoitettu samalle kohdalle. Tällöin lyhyin raide määrää niiden paikan.

Pääopastin on sijoitettava uusissa kohteissa myötävaihteena olevan kulkutievaihteen rajamerkin etupuolelle vähintään 60 metrin etäisyydelle. Olemassa olevissa kohteissa on myös pyrittävä 60 metrin etäisyyteen. Tätä opastinvaraa voidaan kuitenkin lyhentää, jos mitoittava hyötypituus ei muuten täyty. Opastinvaran on kuitenkin oltava vähintään 20 metriä /7/. Suositeltavaa on käyttää opastinvarana 150 metriä /4/.

Alle 60 metrin opastinvarat estävät toisen samanaikaisen kulkutien käytön tai yli 140 km/h:n nopeuden opastimen takaisella raiteella. Asia voidaan hoitaa turvavaihteella.

Pääopastin on sijoitettava vastavaihteena olevan kulkutievaihteen etujatkoksen etupuolelle, lyhyillä vaihteilla vähintään 10 metrin etäisyydelle, pitkillä vaihteilla vähintään 35 metrin etäisyydelle ja turvavaihteilla vähintään 5 metrin etäisyydelle /7/. Turvavaihte on esitetty kohdassa 3.13.3.

Nämä ovat minimimittoja ja johtavat yleensä 10 km/h:n valvontanopeuteen. Alhainen valvontanopeus vie radan välityskapasiteettia. Mikäli tavoitteena on suurempi valvontanopeus, opastinvarana tai etäisyy-

tenä turvattavaan kohtaan on käytettävä vähintään RATO:n osan 6 mittoja.

Raideopastin on sijoitettava myötävaihteena olevan kulkutievaihteen rajamerkin etupuolelle vähintään 20 metrin etäisyydelle jos raideopastin päättää junakulkutien, muuten vähintään 5 metrin etäisyydelle.

Raideopastin on sijoitettava vastavaihteena olevan kulkutievaihteen etujatkoksen etupuolelle, lyhyillä vaihteilla vähintään 10 metrin etäisyydelle, pitkillä vaihteilla vähintään 35 metrin etäisyydelle ja turvavaihteilla vähintään 5 metrin etäisyydelle.

#### 6. Ennen rajamerkkiä olevan raideosuuden alkukohtaan

Keskitetyn vaihteen raideosuuden raja on pyrittävä sijoittamaan vähintään 5 metrin etäisyydelle vaihteen rajamerkistä.

#### 7. Rajamerkkiin

Rajamerkin paikan määräytyminen on esitetty kohdassa 2.1.7.9.

#### 8. 3 metriä ennen kääntöpöytää

#### 9. Raidepuskimeen, seislevyyn

#### 10. Raiteen päätekohtaan

Käyttöpituus voi rajoittua myös tasoristeykseen tai porttiin.

## 3.10 Raidevälit

Raideväli on määritelty seuraavasti /1/ :

**Raideväli** tarkoittaa kahden raiteen keskilinjojen välistä etäisyyttä vaakatasossa.

Käsitettä raideväli voidaan käyttää vähintään kahdessa eri merkityksessä. Ensimmäinen merkitys on pienin raideväli, joka on pienin kahden raiteen keskilinjojen välinen etäisyys. Tässä kappaleessa annetut raidevälin mitat ovat pienimpien raidevälien vähimmäismittoja. Toinen raidevälin merkitys on raideväli tietyssä poikkileikkauksessa. Poikkileikkauksen raidevälit voivat olla jotain muuta kuin pienempiä raidevälejä. Poikkileikkauksen paikka ja suunta vaikuttavat siinä esiintyviin raideväleihin ja raiteet voivat olla keskenään erisuuntaisia ja erimuotoisia. Ainoastaan samansuuntaisten suorien raiteiden kohtisuorassa poikkileikkauksessa raidevälit ovat myös pienimpiä raidevälejä tällä kohdalla.

Raidevälit mitoitetaan millimetrin tarkkuudella. Esitettäessä mittoja esimerkiksi piirustuksissa tai teksteissä yksikköinä voidaan käyttää sekä metrejä että millimetrejä riippuen siitä, missä yhteydessä mittoja käytetään ja miten dokumentin muut mitat ilmoitetaan.

### 3.10.1 Raidevälit linjalla

Rautatieliikennepaikkojen väliset rataosuudet ovat linjaosuuksia. Useampiraiteisten ratojen rautatieliikennepaikkojen välisillä linjaosuuksilla pääraiteiden raidevälin tulee olla suoralla radalla vähintään /1/ :

Uusia ratoja rakennettaessa 4500 mm

Muutettaessa olemassa olevia ratoja 4100 mm ja vaihteiden kohdalla yleensä vähintään 4300 mm. Käytettäessä pitkiä vaihteita on kukin tapaus tutkittava erikseen.

Pääraiteiden vähimmäisraidevälit on esitetty taulukossa 3. Raideväliä on levitettävä kaarteissa taulukon 4 mukaisesti.

Rautatieliikennepaikkojen kohdalla raidevälin on oltava kohdan 3.10.2 mukainen.

Mikäli linjalla on enemmän kuin kaksi raidetta, vähintään yksi raideväli on pyrittävä saamaan suuremmaksi muun muassa sähköratapylväiden sijoitusta varten/1/. Sähköratapylväille tarvittavat raidevälit esitetään kohdassa 4.10.

Taulukko 3 Pääraiteiden vähimmäisraidevälit /1/

Raideväli [mm]	Suurin sallittu nopeus [km/h]
4100 <sup>1)3)</sup>	140 <sup>2)</sup>
4300 <sup>1)3)</sup>	200
4500	250
4700	>250

- 1) Raidevälin levitys kaarteissa taulukon tehdään taulukon 4 mukaisesti
- 2) Raidevälillä 4100 mm nopeuden lupa-arvona voidaan sallia enintään 160 km/h.
- 3) Uudet raiteet rakennetaan vähintään raidevälille 4500 mm.

Taulukko 4 Pääraiteen raidevälin levitys kaarteessa /1/

Kaarteen säde R [m]	Raidevälin levitys [mm]			
	Raideväli [mm]			
	4100	4300	4500	4700
> 4000	-	-	-	-
4000...1500	50	-	-	-
1499...800	100	-	-	-
799...400	200	-	-	-
399...250	300	100	-	-
220...249	400	200	-	-

Vierekkäisillä raiteilla, joilla on eri kallistus tai eri kaarresäde, tulee raideväliä kasvattaa ATUn levitysten vuoksi. Kaarteissa, joissa raiteilla on erilainen kaarresäde tai raiteen kallistus, raideväliä tulee kasvattaa ATUn kaavojen 4.6:1 (tarkastelupisteen korkeus  $H = 4100$  mm) ja 4.6:3 mukaisesti siten, että raideväli on vähintään 4100 mm + levitys.

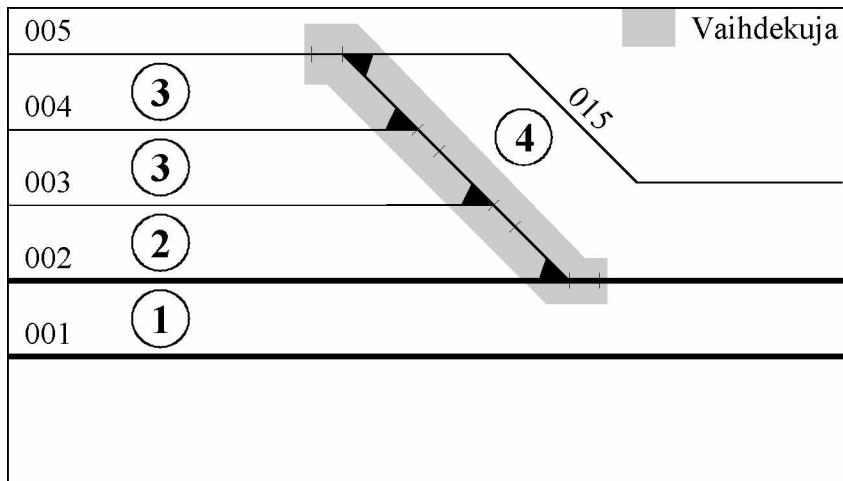
### 3.10.2 Raidevälit rautatieliikennepaikoilla

Ratapihan raiteiston raidevälit on suunniteltava käytettävissä olevan tilan puitteissa niin, että ne täyttävät minimiraidevälivaatimukset ja että niihin mahtuvat tarvittavat rakenteet ja laitteet. Tärkeitä raidevälin kasvattamista vaativia rakenteita voivat olla esimerkiksi laiturit, sähköradan pylvää, opastinmastot ja -portaalit, valaisinmastot, huoltoraiteen varusteet ja huolto- ym. tiet. Suuremmilla ratapihoilla on lisäksi mietittävä mahdolliset lumitilan tarpeet. Eri järjestelmien vaatimat tilat ja raidevälit on tarkastettava yhdessä ko. suunnittelijan kanssa.

Uusien pääraiteiden välisten vaihteiden kohdalla on raidevälin oltava suoralla radalla vähintään 4500 mm. Muutettavien pääraiteiden välisten vaihdeyhteyksien kohdalla raidevälin on oltava suoralla radalla vähintään 4300 mm /4/.

Käytettäessä 1:26-vaihteita on raidevälin oltava pääraiteiden välisten vaihdeyhteyksien kohdalla vähintään 5300 mm /4/.

Jos kahden pääraiteen väliin asennetaan pää-, suojustus- tai esiopastinmasto tai kahden pääraiteen raideväliä suunnitellaan käytettäväksi junanmuodostustehtäviin, on raidevälin oltava työturvallisuuden vuoksi nopeudesta riippuen 5300 - 7000 mm. Junanmuodostus on junien kokoamista ja valmistelua lähtökuntoon, jolloin joudutaan liikkumaan jalan koottavan junan vierellä. Muussa tapauksessa kahden pääraiteen välissä on käytettävä kohdan 3.10.1 mukaisia raidevälejä /4/.



Kuva 46 Raidevälit /4/

Kuvassa 46 raiteet 001 ja 002 ovat pääraiteita. Raidevälit ovat seuraavat:

- 1 = kahden pääraiteen väli
- 2 = pääraiteen ja sivuraiteen väli
- 3 = kahden sivuraiteen raideväli
- 4 = vaihdekujan ja viereisen raiteen raideväli

Pääraiteen ja sivuraiteen välinen raideväli on oltava vähintään 5300 mm, kun toinen tai molemmat raiteet ovat uusia. Muutettavalla radalla voi pääraiteen ja sivuraiteen välissä käyttää vähintään raideväliä 5100 mm, jos sitä on käytetty ennen muutosta /4/.

Kahden sivuraiteen raidevälin on oltava vähintään 4800 mm, kun toinen tai molemmat raiteet ovat uusia. Jos raideväliin on sijoitettava vesipisteitä tai sähköpistorasioita, raidevälin on oltava vähintään 5300 mm. Jos raideväliä varaudutaan käyttämään lumitilana, on raidevälin oltava vähintään 6500 mm /4/.

Jos raidevälissä on ajoneuvojen käyttöä varten määritetty kulkureitti, on raidevälin oltava vähintään 5800 mm /4/. Jos raiteiden välissä on huoltotie, raidevälin on oltava vähintään 7000 mm. Jos raidevälissä on pelastuskalustolle tarkoitettu huoltotie, on raidevälin oltava vähintään 8500 mm /4/.

Vaihdekujan (kuva 46) ja viereisen raiteen raidevälin on oltava vähintään 5300 mm. Vaihdekujan ja viereisen raiteen raideväli saa Liikenneviraston erikseen myöntämällä luvalla olla vähintään 4500 mm /4/.

Jos vaunuja kuormataan sivusta tai ylhäältä pää- ja sivuraiteen välistä, on etäisyyden kuormauspaikan reunasta pääraiteen ATUun oltava vähintään 5,0 metriä paitsi raakapuun kuormauksessa, jolloin etäisyyden on oltava vähintään 10,0 metriä /4/.

Kuormausraiteen ja sen takana olevan seuraavan raiteen raidevälin on oltava vähintään taulukon 5 mukaiset /4/. Takana oleva raide voi olla sähköistetty.



Taulukko 5 Kuormausraiteen ja viereisen raiteen minimiraideväli [mm] /4/

Kuormaus- tai purkutapahtuma	Pääraide	Sivuraide
Raakapuuta kuormataan vaunuun yläkautta	8000	8000
Irtotavaraa kuormataan vaunuun yläkautta	6100	6100
Tavaraa kuormataan umpivaunuun sivusta	5100	4800
Tavaraa kuormataan nostamalla avovaunuun sivusta	5300	5300
Ajoneuvoja kuormataan kuljetusvaunuihin ajamalla	6800	6800
Säiliövaunuja kuormataan yläpuolelta	5300	5300
Henkilöliikenneraiteen ja ensisijaisesti vaarallisten aineiden kuormaukseen tarkoitettujen raiteiden väli	7000	7000

### 3.11 Pituuskaltevuudet

Taulukossa 6 on pituuskaltevuuden raja-arvot suoralla raiteella rautatieliikennepaikkojen välisillä rataosilla ja sivuraiteilla. Sivuraiteen tarkemmat ohjeet esitetään myöhemmin tekstissä. Raja-arvot koskevat uusia ratoja ja raiteita. Nykyisillä raiteilla olevia maksimiarvon ylittäviä pituuskaltevuuksia ei saa huonontaa /1/.

Taulukko 6 Pituuskaltevuuden raja-arvot suoralla radalla ja sivuraiteella /1/, /4/

Rata	Pituuskaltevuus [‰]		
	Suositteltava	Maksimiarvo	Lupa-arvo
Sekaliikenne radat	≤ 10	12,5	25,0
Matkustajaliikenne radat	≤ 10	15,0	35,0 / 40,0 *)
Tavaraliikenne radat	≤ 10	12,5	25,0
Sivuraiteet	≤ 12,5	15,0	30,0

\*) Trafan määräyksissä raiteen pituuskaltevuus saa olla enintään 35 ‰ /9/. RATO:n osan 2 lupa-arvo on 40 ‰, joka on käytössä Kehäradan suunnitteluperusteissa /1/.

Taulukon raja-arvot koskevat suoraa raidetta. Kaarteissa raja-arvoja on pienennettävä kaarrevastuksen määrällä, kaava 3.11:1. Tunneleissa arvoja on pienennettävä suuremman kulkuvastuksen takia 1–4 ‰ riippuen tunnelin pituudesta, mitoitusnopeudesta, tunnelin poikkipinta-alasta yms. /1/.

$$w_r = \frac{650}{R - 55} \text{ [‰]} \quad (3.11:1)$$

$R$  = kaarresäde [m]

$w_r$  = ominaiskaarrevastus [‰]

Suurnopeusradoilla, joiden nopeus on vähintään 250 km/h, pituuskaltevuuden maksimi lupa-arvo on 35 ‰ /1/.

Rautatieliikennepaikan raiteen pituuskaltevuus saa olla enintään 30 ‰ /4/.

Matkustajaliikenneraiteen, joissa juna pysähtyy ja on koko ajan kuljettajan valvonnassa, pituuskaltevuus saa olla enintään 5 ‰. Suositeltava pituuskaltevuus tällaisella raiteella on enintään 1,5 ‰ /4/.

Uuden pysäköintiin tai kuormaukseen tarkoitetun raiteen pituuskaltevuus on pyrittävä suunnittelemaan käyttöpituuden matkalla enintään 1,5 ‰ kaltevuuteen. Pituuskaltevuus voi käyttöpituuden alueella olla paikoin suurempi, mutta keskimääräinen pituuskaltevuus saa olla korkeintaan 1,5 ‰. Toisin sanoen käyttöpituuden päiden välinen korkeusero saa olla 1000 metrin matkalla korkeintaan 1,500 metriä.

Liikennepaikan ohittamiseen pääasiassa käytettävälle läpikulkuraiteelle on muodostettava sivusuoja vaihdetta käyttäen, kun:

- raiteen keskimääräinen laskeva pituuskaltevuus on käyttöpituuden matkalla suurempi kuin 2,5 ‰ alamäkeä turvattavan raiteen suuntaan /4/.
- raiteen pituuskaltevuus on turvattavan raiteen suuntaan 200 metrin matkalla ennen käyttöpituuden rajaavaa opastinta suurempi kuin 2,5 ‰ alamäkeä opastimelle päin. Raiteen pituuskaltevuus ei saa olla tällä alueella yli 15 ‰ /4/.

Uuden huoltoraiteen suurin pituuskaltevuus saa olla enintään 1,5 ‰ /4/. Pysäköintiin käytettävä raide on suositeltavaa sijoittaa tasaiseen kaltevuuteen tai koveraan taitteeseen. Raiteen sijoittamista kuperaan taitteeseen on vältettävä, jotta vaunuja ei pääse karkaamaan raiteelta.

Raiteen kuivatussuunnittelu on otettava huomioon raiteen pystygeometrian suunnittelussa. Kohdassa 4.12 esitetään eräitä pituusleikkauksen kuivatussuunnittelun yleisiä periaatteita.

Suunnittelun lähtötietoja ovat numeeristen raja-arvojen ja kuivatuksen lisäksi projektista riippuen esimerkiksi liikenteelliset, taloudelliset perusteet, rakenteelliset vaatimukset, nykyinen korkeusviiva, ympäristöstä tulevat ehdot, maasto, geotekniikka, sillat, tiet, rummut ja vesistöt.

Pystygeometrian suunnittelussa on otettava huomioon seuraavat seikat /1/:

- Vältetään lyhyitä, alle 600 metriä pituisia, lähellä maksimipituuskaltevuutta olevia erisuuntaisia pituuskaltevuuksia.
- Vältetään pitkiä yli 2000 metriä pituisia, lähellä maksimipituuskaltevuutta olevia kaltevuusjaksoja.
- Kaltevuusjaksojen on oltava niin pitkiä, että pyöristyskaarien väliin jäävän suoran osan pituus [m] on vähintään  $V_{TAVOITE}$  [km/h], poikkeuksellisesti  $V_{TAVOITE} / 2$ .
- Vältetään pieniä pituuskaltevuusien muutoksia, etenkin samansuuntaisten kaltevuusjaksojen muutoksia, joissa kaltevuuden muutos on enintään 2 ‰.
- Korkeusviivan suunnittelussa on pyrittävä yksinkertaiseen ja selkeään ratkaisuun.

Liikennöinti määrää pituuskaltevuuden raja-arvot. Pystygeometrian muodolla on pyrittävä tukemaan muutenkin liikenteen tarpeita esimerkiksi radan kiihdytys- ja jarru-

tusalueiden sopivan suuntaisilla kaltevuuksilla energiansäästön ja turvallisuuden kannalta. Raiteen kiihdytysalueen pituuskaltevuus on tarkasteltava koko liikennepaikalta alkavan ylämäen matkalta junan liikkeellelähdon varmistamiseksi. Ylämäkeä on tarkasteltava kokonaisuutena ja se voi sisältää myös lyhyitä laskevia kaltevuusjaksoja.

Rataosan määrävällä nousulla tarkoitetaan sellaista pituuskaltevuutta, joka määrittää rataosalla käytettävän junapainon tietylle vetovoimakokoonpanolle. Määrävän nousun mittakantana käytetään yleensä 500...1200 metriä liikenteen lajista ja nopeudesta sekä nousun jyrkkyydestä riippuen /1/. Mittakanta tarkoittaa lyhintä matkaa, jolta kaltevuus määritetään eli keskimääräinen pituuskaltevuus määritellään vähintään 500 metriä etäisyydellä toisistaan olevista pisteistä.

## 3.12 Pyöristyskaarresäteet

Kaltevuusjaksojen taitepisteen kohdalla raiteen korkeusviiva pyöristetään ympyränkaarella. Siirtymäkaaria pyöristyskaarissa ei käytetä. Eri ohjeissa käytetään pyöristyskaaren säteestä mm. nimityksiä pyöristyskaarresäde tai pyöristyssäde.

Pääraiteen pyöristyskaarresäteen on oltava vähintään 2000 metriä /1/.

Sivuraiteilla pyöristyskaarresäteen on oltava vähintään 500 metriä ja suositeltava arvo on vähintään 2000 metriä. Käytettäessä kuperaa pyöristyskaarresädettä joka on alle 1000 m, on liikkuvan kaluston ulottuman kohdalla madallettava kiskon kulkupinnan yläpuolella olevat esteet suoraviivaisesti pyöristyskaarresäteen mukaan siten, että pyöristyskaarresädeellä 500 m kiskon kulkupinnan yläpuolella ei ole kiinteitä esteitä /4/.

Pyöristyskaarresäteen on oltava vähintään 500 metriä /9/.

Vähimmäispyöristyskaarresäteet vaihteiden kohdalla esitetään taulukossa 9.

Suurnopeusradoilla, joiden nopeus on vähintään 250 km/h, sivuraiteiden pyöristyskaarresäteen minimi on kuperassa taitteessa 600 metriä ja koverassa taitteessa 900 metriä /1/.

Pyöristyskaarresäteen arvo  $R_V$  [m] määritetään kaavoilla 3.12:1, 3.12:2 ja 3.12:3 /1/.

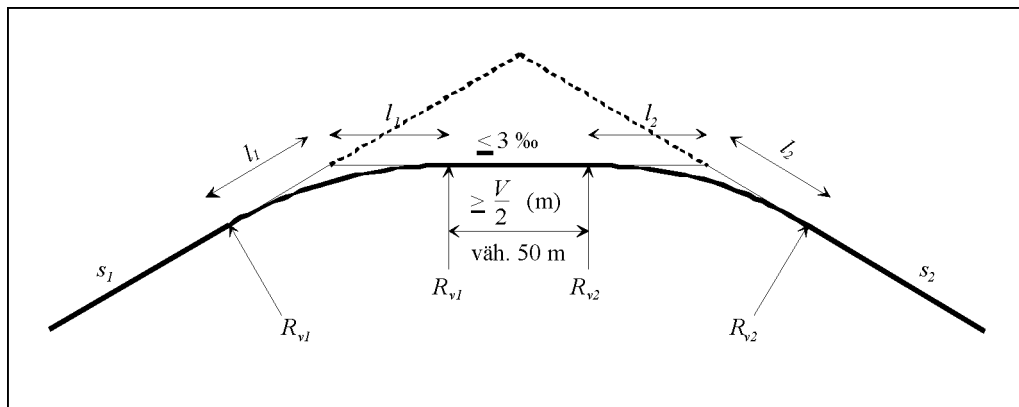
suositeltava	$R_V = V^2/1...1,5$ [m]	(3.12:1)
--------------	-------------------------	----------

minimi	$R_V = V^2/3$ [m]	(3.12:2)
--------	-------------------	----------

maksimi	$R_V = 50\ 000$ [m]	(3.12:3)
---------	---------------------	----------

$$R_V = \text{pyöristyskaarresäde [m]}$$

$$V = \text{nopeus [km/h]}$$



Kuva 47 Korkeusviivan pyöristyskaaret jos kaltevuuden muutos on  $\geq 16 \text{ ‰}$  /1/

Suurissa kaltevuuden muutoskohdissa, joissa muutos on vähintään  $16 \text{ ‰}$ , on pyrittävä käyttämään pyöristyskaarresädettä, joka on yli  $10\,000$  metriä. Jos taitteessa kaltevuuden muutos on vähintään  $16 \text{ ‰}$  ja pyöristyskaarresäde on korkeintaan  $10\,000$  m, pyritään taitteeseen sijoittamaan suora osuus, jonka kaltevuus on korkeintaan  $3 \text{ ‰}$  ja pituus vähintään  $V_{TAVOITE} / 2$  [m], missä  $V_{TAVOITE}$  on tavoitenopeus [km/h]. Välisuoran on joka tapauksessa oltava vähintään  $50$  m (kuva 47).

Jos kupera taite joudutaan sijoittamaan siirtymäkaaren alueelle, pyöristyskaarresäteen tulee olla uusilla radoilla ja mahdollisuuksien mukaan olemassa olevilla radoilla kaavan 3.12:4 mukainen ja viistekertoimen vähintään kaavan 3.7:2 mukainen  $10V$ .

$$R_v \geq V^2 \quad [\text{m}] \quad (3.12:4)$$

### 3.13 Vaihteet

**Vaihteen alue** tarkoittaa vaihteen äärimmäisten jatkosten sisäpuolelle jäävää aluetta /2/.

**Vaihdealue** tarkoittaa vaihteen aluetta ja vaihteen jatkosten ulkopuolella olevia alueita, joiden kaikkien suositeltava pituus on  $V/2$  [m], jossa  $V$  on nopeus [km/h], ja vähintään  $50$  metriä /2/. Nopeus  $V$  tarkoittaa nopeutta mitoitettavassa vaihteen haarassa.

Lyhyt vaihde ja pitkä vaihde on määritelty kahdella eri tavalla ilmeisesti erilaisesta käyttötarkoituksesta johtuen:

Yksinkertaiset vaihteet jaetaan lyhyisiin ja pitkiin vaihteisiin risteysuhteen ja poikkeavan raiteen kaarresäteen perusteella. Pitkissä vaihteissa poikkeavan raiteen kaarresäde on yli  $300$  metriä /2/.

**Lyhyt vaihde** on vaihde, jonka rakenteesta johtuva suurin nopeus vaihteen poikkeavalla raiteella on enintään  $40$  km/h. **Pitkä vaihde** on vaihde, jonka rakenne mahdollistaa yli  $40$  km/h nopeuden vaihteen poikkeavalla raiteella /6/.

### 3.13.1 Vaihdetyypit

Eri vaihdetyypit ja niiden päämitat esitetään RATOn osassa 4. Vaihteen tarkempi mitoitus esitetään vaihteen linjakuviossa. Geometriasuunnittelun kannalta eri vaihde-  
muotojen määrittävät ja määrittävät pisteet on esitetty kohdassa 2.1.7.

Eri vaihdetyypeillä on oma tyyppimerkintä, joka muodostuu osista:

- vaihteen muodosta
- kiskopainosta
- kaarresäteestä
- risteysuhteesta
- kätisyydestä

esim. YV60-300-1:9-O

Vaihde muoto on YV, SKV, UKV, TYV, KV, YRV, KRV, RR tai SRR.

Kiskopaino on vaihteen kiskotyypin paino kg/m.

Kaarresäde on poikkeavan raiteen kaarresäde. Yksinkertaisessa pitkässä YV-vaihteessa oleva merkintä 5000/3000 tai 5000/2500 tarkoittaa, että poikkeava raide muodostuu ympyränkaarista, joiden säde on 2500 tai 3000 metriä ja klotoidista, jotka päättyvät 5000 m kaarresäteeseen kohdalla. Kaarrevaihteissa SKV ja UKV kaarresäteeseen on merkitty myös suuremman raiteen kaarresäde. Esimerkiksi merkintä 1000/474 tarkoittaa, että suuremman raiteen kaarresäde on 1000 metriä ja poikkeavan raiteen kaarresäde on 474 metriä.

Jos vaihdetyypistä on eri versiot sekä raidelevyyden levityksellä että ilman levitystä, säteen perässä olevalla N:llä merkitään ilman levitystä oleva tyyppi.

Jos vaihdetyypistä on eri versiot sekä kallistetulla kiskon lepopinnalla että kallistamattomalla kiskon lepopinnalla, säteen perässä olevalla P:llä merkitään kallistamattoman kiskon lepopinnan version tyyppi. Tämä tarkoittaa, että vaihdetyypistä on olemassa sekä pystysuorilla että kallistetuilla kiskoilla olevat vaihdetyypit.

Risteysuhte tarkoittaa poikkeavan raiteen erkanemiskulmaa suorasta raiteesta, kohta 2.1.7. Risteysuhteen kulma ilmoitetaan suhdelukuna, esimerkiksi 1:9.

Vaihteen kätisyydellä tarkoitetaan poikkeavan raiteen erkanemispuolta vastavaihteeseen katsottuna (O=oikea, V=vasen), kohta 2.1.7. Kun tarkoitetaan yleisemmin vaihdetyyppejä, silloin merkinnässä ei ole mukana kätisyyttä.

Esimerkiksi tyyppimerkinnässä YV54-200N-1:9-O eri osat tarkoittavat seuraavaa:

- YV = vaihde muoto on YV
- 54 = vaihteen kiskopaino 54 kg/m
- 200 = vaihteen poikkeavan raiteen kaarresäde on 200 m
- N = vaihdetyyppi on ilman raidelevyyden levitystä
- 1:9 = poikkeavan raiteen risteysuhte
- O = poikkeava raide poikkeavaa oikealle puolelle vastavaihteeseen katsottaessa

Sovitettussa raideristeyksessä tyyppimerkinnässä on tyyppi, kiskopaino, risteyskulma ja raideväli. Esimerkiksi tyyppissä SRR54-2x1:9-6,0 raideväli on 6,000 m (kuva 25).

Kun puhutaan vaihteen nopeudesta, tarkoitetaan yleensä vaihdetyypin poikkeavan raiteen suurinta sallittua nopeutta ( $S_n$ ). Raiteeseen asennetun vaihteen nopeus riippuu vaihdetyypin lisäksi vaihteen asennuspaikan raiteen nopeudesta ja päällysrakenteesta, kaluston akselipainosta ja vaihteeseen välittömästi liittyvästä raiteen geometriasta. Myös suoran raiteen suurin sallittu nopeus riippuu samoista tekijöistä.

Eri vaihdetyypeissä sallitut suoran ja poikkeavan raiteen suurimmat sallitut nopeudet on esitetty RATOn osassa 4 ja Liikenneviraston puolivuositain julkaistavassa väylätiedoissa Rataverkon kuvaus, josta on kopioitu taulukot 7 ja 8. Taulukossa 7 kuvataan päällysrakenneluokat ja niiden päällysrakenne. Taulukossa 8 kuvataan eri tyyppin vaihteissa sallittu suoran ja poikkeavan raiteen nopeus eri päällysrakenneluokissa.

Taulukko 7 Ratojen luokitus päällysrakenneluokkiin /8/

Päällysrakenneluokka	Päällysrakenne		
	kiskot	ratapölkkyt	tukikerros
A	K30, K33	puu	raidesora tai vastaava
B <sub>1</sub>	K43, 54 E1, K60, 60 E1	puu	raidesora tai vastaava
B <sub>2</sub>	K43, K60	puu, betoni	raidesepeli
C <sub>1</sub>	54 E1	puu, betoni ennen 1987 valmistetut	raidesepeli
C <sub>2</sub>	54 E1	betoni 1987 ja jälkeen valmistetut	raidesepeli
D	60 E1	betoni	raidesepeli

Taulukko 8 Suurin nopeus vaihteissa ja raideristeyksissä /8/

	Päättysrakenneluokka					
	A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	D
<b>Suora raide</b>						
Yksinkertaiset vaihteet, 60 E1 lyhyet	70	100	110	180	200	200
Yksinkertaiset vaihteet, 60 E1 pitkät	—	100	110	180	200	220
Yksinkertaiset vaihteet, 54 E1 pitkät	70	100	110	140	140	140
Yksinkertaiset vaihteet, muut	70	100	110	160	160	160
Kaksoisvaihteet	70	100	110	120	120	120
Risteysvaihteet	35	90	90	90	90	90
Raideristeykset	35	90	90	90	90	90
<b>Poikkeava raide</b>						
Lyhyet vaihteet R = 165 m <sup>1</sup>	20	20	20	20	20	20
Lyhyet vaihteet	35	35	35	35	35	35
Lyhyet vaihteet, kun akselipaino on yli 225 kN	—	20	20	20	20	35
Pitkät vaihteet						
R = 500 m	—	—	—	60	60	60
R = 530 m	70	70	70	—	—	—
R = 900 m, akselipaino enintään 225 kN	—	80	80	80	80	80
R = 900 m, akselipaino yli 225 kN	—	—	—	60	60	60
R = 1600 m	—	—	—	110	110	110
R = 2500 m	—	—	—	140	140	140
R = 3000 m	—	—	—	—	—	160
<b>Varmuuskäytöstä riippumaton vaihde<sup>2</sup></b>						
Suora ja poikkeava raide	30	30	30	30	30	30

<sup>1,2</sup> Nopeus merkitään nopeusmerkein.

<sup>2</sup> Varmuuskäyttö lukitsee vaihteen kielet sille asetetussa asennossa. Jos varmuuskäytöstä ei ole, nopeus vaihteen suorassa ja poikkeavassa raiteessa on 30 km/h.

Seuraavassa on eräiden vaihdetyyppien poikkeavan raiteen suurin sallittu nopeus:

YV54-165-1:7	20 km/h
YV43-300-1:9,514	35 km/h
YV54-200-1:9	35 km/h
YV60-300-1:9	35 km/h
YV60-500-1:11,1	60 km/h
YV60-500-1:14	60 km/h
YV60-900-1:15,5	80 km/h
YV60-900-1:18	80 km/h
YV54-1600-1:25	110 km/h
YV60-5000/2500-1:26	140 km/h, jos vaihteen poikkeavan raiteen jälkeen ei ole siirtymäkaarta 130 km/h
YV60-5000/3000-1:28	160 km/h, jos vaihteen poikkeavan raiteen jälkeen ei ole siirtymäkaarta 140 km/h
KV43-300-1:9,514	35 km/h
KV54-200-1:9	35 km/h
KRV43-300-1:9,514	35 km/h
KRV54-200-1:9	35 km/h

SRR-sovitetuissa raideristeyksissä nopeus on sama kuin nopeus sen osissa

Eräiden vaihdetyyppien suoran raiteen suurin sallittu nopeus:

KRV-vaihteissa suorien raiteiden suurin nopeus on KRV30-vaihteella 35 km/h ja muilla 90 km/h

RR-raideristeyksissä suorien raiteiden suurin nopeus on RR30-risteyksissä 35 km/h ja muilla 90 km/h

Vaihdetyyppi valitaan käyttöpaikan mukaan. Vaihteen valintaan vaikuttavat mm. suoran ja poikkeavan raiteen mitoitusnopeus ja liikenteen kuormitus, akselipaino ja liikennemäärä. Raiteiston muoto vaikuttaa vaihteen valintaan ja toisinpäin, valitut vaihteet vaikuttavat merkittävästi raiteiston muotoon. Ratapihan päiden vaihdealueet on pyrittävä suunnittelemaan lyhyiksi kuitenkin käyttämällä vähintään tarvittavia vaihteiden välisiä osuuksia. Vaihdealueelle ei jätetä turhaa ylimäärästä pituutta, koska tämä syö radan kapasiteettia. Lyhyen vaihteen lähellä olevan pitkän vaihteen nopeutta ei voi täysin hyödyntää niillä kulkuteillä, jotka menevät kummankin vaihteen poikkeavaa raidetta pitkin.

Yleisperiaate on että uusina hankitaan vain 60 E1 ja 54 E1 vaihteita. Pitkinä vaihteina hankitaan vain 60 E1 vaihteita. Uusia K43 vaihteita ei hankita. Radasta poistuvat puetaan varaosiksi.

Pääraiteilta poistuvia 60 E1 ja 54 E1 vaihteita käytetään sellaisenaan tai kunnostettuna vähemmän kuormitetuilla sivuraiteilla.

Vaihteen suoran raiteen nopeus vaikuttaa niin, että yli 200 km/h nopeudella kaikkien vaihteiden on oltava pitkiä 60 E1 vaihteita. Lyhyet 60 E1 vaihteet riittävät 200 km/h:n nopeudelle. Lyhyet 54 E1 vaihteet riittävät 160 km/h:n nopeudelle ja pitkät 54 E1 vaihteet suoran raiteen 140 km/h:n nopeudelle.

Raskaasti kuormitettuna lyhyinä vaihteina käytetään 60 E1 vaihteita.

Vaihdemuotoja valittaessa yleisperiaate on, että pyritään käyttämään kaikkialla yksinkertaisia (YV) vaihteita. Pääraiteilla käytetään muita vaihdetyyppejä vain pakottavissa tilanteissa ja vain Liikenneviraston luvalla /4/. Muita vaihdemuotoja voidaan tarvittaessa käyttää sivuraiteilla. Suurilla ratapihoilla KV, KRV ja SRR -vaihteita käyttämällä voidaan vaihdealuetta lyhentää, millä saavutetaan tilansäästöä ja vältetään ylimääräisen raidepituuden rakentamiselta.

Sovitetuissa raideristeyksissä on yhtenäiset kummankin raiteen alle ulottuvat pitkät vaihdepölkkyt, jotka siirtävät virheet kaikille raiteille ja joiden kunnossapito on vaikeaa.

Kaarrevaihteita käytetään vain pakottavissa tilanteissa.

Käytettävät vaihdetyypit esitetään yleensä suunnitteluperusteissa ja aikaisemman vaiheen suunnitelmissa. Seuraavassa on esimerkkejä eräiden vaihdetyyppien käyttökohteista:

YV54-165-1:7, käyttö vain Liikenneviraston luvalla

YV54-200-1:9, matkustajaliikenneraiteet, huoltoraiteet /4/.

YV54-200N-1:9, matkustajaliikenneraiteet, tavaraliikenneraiteet, huoltoraiteet /4/.

KRV54-200-1:9, tavaraliikenneraiteet, huoltoraiteet /4/.



KV54-200-1:9, huoltoraiteet /4/.

KV54-200N-1:9, tavaraliikenneraiteet, huoltoraiteet /4/.

YV60-300-1:9, raskaasti kuormitetut sivuraiteet, matkustajaliikenneraiteet /4/.

YV60-500-1:11,1, YV60-500-1:14, YV60-900-1:15,5, YV60-900-1:18: raiteenvaihtopaikat, kohtausraiteet, matkustajaliikenneraiteet, raiteen haarautumiskohdat /4/.

1:14 ja 1:18 -vaihteet. Raiteenvaihtopaikoilla voidaan hyödyntää 1:18 suurempaa nopeutta mutta raiteilla, joilla pysähdytään riittää hyvin 1:14 -vaihteet koska raiteelle pysähtyvillä junilla nopeuseron hyöty on pieni.

1:11,1 ja 1:15,5 -vaihteet raiteen haarautumiskohtiin, koska vaihteen kaari ulottuu poikkeavan raiteen takajatkokseen ja siitä voi jatkua heti perään saman säteinen, joko R=500 tai 900 kaarre. Toinen käyttökohde näille on 1:14 ja 1:18 vaihteiden sijassa paikoissa, missä on tarpeen saada kaarre jatkumaan heti vaihteen poikkeavan raiteen jälkeen. Esimerkiksi vakiomuodosta poikkeavissa raiteenvaihtopaikoissa, kohtausraiteissa ym.

YV60-5000/3000-1:28, päärajojen erkanemiskohdat, kaksoisraiteen alkukohdat

YV60-5000/2500-1:26, päärajojen erkanemiskohdat, kaksoisraiteen alkukohdat

K43-vaihteita käytetään vain toisarvoisissa ja vähemmän kuormitetuissa raiteissa

### 3.13.2 JKV:n vaihdenopeus

Jos kulkutiellä on poikkeavalle raiteelle olevia vaihteita, JKV voi välittää opastimelta tiedon kerrallaan enintään kahdesta eri vaihdenopeusalueen vaihdenopeudesta, jotka eroavat raiteen suurimmasta nopeudesta. Jos kulkutiellä on esimerkiksi kolmen nopeuden vaihteita, nämä on ryhmiteltävä kahdeksi vaihdenopeusalueeksi. Yhdistettyjen vaihdealueiden nopeus määräytyy pienemmän vaihdenopeuden mukaan, joten kaikilla kulkuteilla ei voida hyödyntää niin suurta nopeutta kuin kaikki vaihdetyypit sallisivat. Asia on esitetty RATOn osassa 6.

Tällainen kulkutie voi olla tyypillisesti liikennepaikan rajalla sijaitsevalta tulo-opastimelta liikennepaikan raiteelle ja toisinpäin liikennepaikan raiteella sijaitsevalta lähtöopastimelta linjalle. Esimerkiksi jos ratapihan päässä on 80, 60 ja 35 km/h:n vaihteet, JKV voi ilmoittaa kerrallaan vaihdenopeuksiksi vain joko 80, 80 ja 60 tai 60 ja 35 km/h mutta ei kaikkia yhdelle kulkutielle. JKV:n vaihdenopeustieto sisältää tiedot matkasta vaihteelle, sallitusta nopeudesta vaihteessa, vaihdealueen pituudesta, kaltevuudesta sekä nopeudesta vaihdealueen jälkeen.

Tämän vuoksi kannata miettiä, voiko sijoittaa kolmen eri nopeuden vaihteita saman opastimen suojaamalle alueelle. Käyttö on mietittävä eri kulkuteiden käytön perusteella liikennepaikan toiminnallisuutta kokonaisuutena ajatellen. Edellisen kappaleen esimerkissä pitkiä vaihteita voi olla kuitenkin hyvä käyttää, jos suurin osa ratapihan pään vaihteiden poikkeavan raiteen liikenteestä ajaa vain 80 tai/ja 60 km/h:n vaihteiden kautta menevistä kulkuteistä ja vain harvoin ajetaan kaikkien eri nopeuden vaihteista 80, 60 ja 35 km/h reunimmaisille raiteille.

### 3.13.3 Vaihteen sijoittaminen raiteeseen

Vaihte on osa raiteen päällysrakennetta ja geometriaa. Vaihteen rakenteen ja geometrian on oltava sellainen, että se sallii turvallisen liikennöinnin ilman akselipaino- tai nopeusrajoituksia vaihteen eri haaroille.

Kun vaihdealueella ei vaihteen jälkeen ole toista vaihdetta, vaihdealueen raide on rakennettava käyttäen samanlaista päällysrakennetta kuin vaihteessa /2/.

Vaihteen sijoittamisesta on seuraavat ohjeet /4/.

Vaihde on sijoitettava kokonaisuudessaan tasalaatuisen pohja- ja alusrakenteen päälle.

Vaihteen sijoittamista rautatietunneliin tai sen välittömään läheisyyteen on vältettävä.

Vaihteen tasoristeyksen puoleisesta lähimmästä jatkoksesta on oltava vähintään 5 metriä tasoristeyksen kannen lähimpään reunaan.

Vaihdetta ei saa sijoittaa osittain sillalle. Vaihteen saa sijoittaa kokonaisuudessaan sillalle, kun tukikerros sillalla on RATO:n osan 8 mukainen.

Vaihteen ylikulkusillan puoleinen lähin jatkos on pyrittävä sijoittamaan vähintään 5 metriä päähän ylikulkusillan reunasta.

Turvavaihdetta on käytettävä, jos vaihde vaaditaan sivusuojaksi ja muuta vaihdetta käyttäen ei voida muodostaa kulkutielle sivusuojaa. Sivusuojan antava vaihde on pyrittävä suunnittelemaan siten, että se on sivusuojan antavassa asennossa poikkeavalle raiteelle. Turvavaihteen käytöstä on ohjeet RATO:n osassa 7.

### 3.13.4 Vaihteen sijoittaminen geometriaan

Pystygeometrian suunnittelussa vaihteiden kohdalla pyöristyskaarresäteiden käyttö on rajoitettu seuraavasti /4/.

Vaihde on pyrittävä sijoittamaan muualle kuin kaltevuustaitteeseen, koska kielisovituksen kohdalla oleva kaltevuustaitte vaikeuttaa kielien kääntymistä. Jos vaihde on sijoitettava kaltevuustaitteen kohdalle, kaltevuustaitteen pyöristyskaarresäteen on oltava vähintään taulukon 9 mukainen.

Taulukko 9 Vaihteen kohdalla sallittu pienin kaltevuustaitteen pyöristyskaarresäde /4/

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.	

Kun raiteen tavoitenopeus on vaihteen suorassa raiteessa yli 120 km/h, on koko vaihdealue suoran raiteen suuntaan pyrittävä suunnittelemaan suoraksi /2/.

Raiteenvaihtopaikan vaihteiden kaarien välissä olevan suoran pituuden on oltava vähintään kaavan 3.13:1 mukainen /4/.

$$L = 0,15 \times V \quad [m] \quad (3.13:1)$$

$L$  = vaihteen kaarien välisen suoran vähimmäispituus [m]

$V$  = vaihteiden välisen raiteen nopeus [km/h]

Vaihteen liittymiseen raiteeseen vaikuttaa vaihteen jatkosten ulkopuolelle tuleva raiteen normaalista poikkeava pölkkytys. Se on erilaista kuin muualla raiteessa, koska vaihteen pitkät pölkkyt, raideleveys, kiskon kallistus, kiinnitykset, poikkileikkaus ja kiskopainot ym. voivat erota raiteessa käytetystä ja tämä voi vaatia siirtymäaluetta. Siirtymäalueen on oltava geometrialtaan tietyn muotoinen, jotta siihen käyvät siirtymäalueen pölkkyt.

Tähän liittyvät seuraavat käsitteet /2/:

**Välialue** on kahden vaihteen etu- ja/tai takajatkosalueen väliin jäävä alue.

**Etujatkosalue** on alue vaihteen etujatkoksen edessä, jolla raideleveys ja kiskon kallistus muutetaan normaaliraidetta vastaavaksi.

**Takajatkosalue** on alue vaihteen takajatkoksen takana, jolla raideleveys ja kiskon kallistus muutetaan normaaliraidetta vastaavaksi ja jolla pölkkytys on normaaliraidteesta poikkeava.

Vaihteen ulkopuolinen pölkkytys vaikuttaa tämän alueen raiteen geometrian suunnitteluun. Vaihdeyppikohtaiset ohjeet esitetään vaihteen sijoittamista koskeissa ohjeissa RATO osissa 4 ja 7. Tässä on esimerkkeinä muutamia näistä ohjeista:

Vaihteen etujatkosalueella on yksinkertaisessa vaihteessa ja kaksoisvaihteessa käytettävä pääraiteessa vähintään 5,0 metriä pituista suoraa /4/.

Pääraiteella vaihteiden välialueen pituuden on oltava vähintään 6,0 metriä.

Vaihteissa YV60-5000/2500-1:26 ja YV60-5000/3000-1:28 on sijoitettava siirtymäkaari heti poikkeavan raiteen takajatkoksen jälkeen. Muissa vaihteissa siirtymäkaarta ei saa sijoittaa takajatkosalueen vaihdepölkkyille, jotka ulottuvat molempien raiteiden alle.

Vaihteessa YV60-300-1:9 kaari saa alkaa 3,0 metriä takajatkosten jälkeen, mutta on suositeltavampaa käyttää vähintään 5,0 metriä pituisia suoraa. Vaihtoehtoisesti poikkeavan raiteen takajatkoksesta voi jatkaa kaari 300 metriä säteellä.

Vaihteessa YV60-900-1:18 kaaret saavat alkaa 6,0 metriä takajatkosten jälkeen, mutta on suositeltavampaa käyttää vähintään 11,0 metriä pitkiä suoraa.

Vaihteessa YV60-900-1:15,5 poikkeavan raiteen takajatkoksesta voi jatkaa vaihteen kaaren suuntaan jatkuva kaari 900 metriä säteellä ja suoralla raiteella on oltava vähintään 10,0 metriä pituinen suora. Vaihtoehtoisesti kummallakin raiteella on oltava vähintään 10,0 metriä pituinen suora.

### 3.13.5 Vaihteen geometrian mitoitus

Raidegeometrian suunnittelijalle vaihteet ovat valmiina annettuja elementtejä eikä hänen tarvitse niitä mitoittaa. Vaihteen suunnittelija on mitoittanut vaihteen sisäisen geometrian vaihdetyypin suunnitellessaan. Raidegeometrian suunnittelijan on tunnettava eri vaihdetyypit ja niiden käytön periaatteet ja ohjeet. Käytettävät vaihdetyypit esitetään yleensä projektin suunnitteluperusteissa. Vaihteiden ominaisuudet ja käyttökohteet esitetään kohdassa 3.13.1.

Vaihteen sisäinen geometria mitoitetaan RATOn osan 4 mukaan seuraavasti:

Nopeus vaihteen poikkeavassa raiteessa tai kaarrevaihteen suuremmassakin raiteessa määräytyy poikittaiskiihtyvyyden ja nykyksen perusteella. Muissa kuin kaarrevaihteissa ei käytetä raiteen kallistusta.

Poikittaiskiihtyvyyys vaihteessa saa olla korkeintaan 0,65 m/s<sup>2</sup>.

Nykyys saa olla korkeintaan 1,10 m/s<sup>3</sup>.

Kun vaihteissa ei ole yleensä raiteen kallistusta, poikittaiskiihtyvyyden kaava on:

$$a_q = \frac{V^2}{12,96R} \quad [\text{m/s}^2] \quad (3.13:2)$$

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$R$  = kaarresäde [m]

$a_q$  = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyyys kiskon selän ja vaunun lattian tasossa

$V$  = junan nopeus [km/h]

$L_K$  = siirtymäkaaren pituus [m]

$da_q/dt$  = nykyys eli kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutos aikayksikössä [m/s<sup>3</sup>]

Tästä kaavasta voi ratkaista nopeuden  $V$ , joka lasketaan kaavalla:

$$V = \sqrt{12,96Ra_q} \quad [\text{km/h}] \quad (3.13:3)$$

Vain kaarrevaihteissa voi olla raiteen kallistusta. Kaarrevaihteissa raiteen kallistus saa olla enintään 60 mm. Jos raiteessa on kallistusta, poikittaiskiihtyvyyys lasketaan kaavalla:

$$a_q = \frac{V^2}{12,96R} - \frac{D}{163} \quad [\text{m/s}^2] \quad (3.13:4)$$

Tästä kaavasta voi ratkaista nopeuden  $V$ :

$$V = \sqrt{12,96R \left( a_q + \frac{D}{163} \right)} \quad [\text{km/h}] \quad (3.13:5)$$

Vaihteissa ei ole yleensä siirtymäkaaria ja nykäys lasketaan tällöin olettaen, että vaihteissa on 17,000 metriä pitkä siirtymäkaaret.

$$\frac{d\alpha_q}{dt} = \frac{V^3}{46,656RL_K} = \frac{V^3}{46,656R \times 17} = \frac{V^3}{793R} \quad [\text{m/s}^3] \quad (3.13:6)$$

Vastaavat arvot mitoitettaessa kallistuksen vajauksen perusteella ovat:

Vaihteen mitoituksen poikittaiskiihtyvyys  $0,65 \text{ m/s}^2$  vastaa kallistuksen vajauksista  $105 \text{ mm}$ .

Vaihteen mitoituksen nykäyksen arvo  $1,10 \text{ m/s}^3$  vastaa kallistuksen vajauksen arvoa  $179 \text{ mm/s}$ .

Kun vaihteissa ei ole yleensä raiteen kallistusta, kallistuksen vajauksen kaava on:

$$I = \frac{12,5V^2}{R} \quad [\text{mm}] \quad (3.13:7)$$

$I$  = kallistuksen vajaus [mm]

Kallistuksen vajauksen muutosnopeus vaihteissa, jossa ei ole siirtymäkaaria lasketaan kaavalla 3.13:8 olettaen, että vaihteissa on 17,000 metriä pitkä siirtymäkaaret.

$$\frac{dI}{dt} = \frac{3,47V^3}{RL_K} = \frac{3,47V^3}{R \times 17} = \frac{0,204V^3}{R} \quad [\text{m/s}^3] \quad (3.13:8)$$

$dI/dt$  = kallistuksen vajauksen muutosnopeus aikayksikössä [m/s<sup>3</sup>]

Vaihteen nopeudet koskevat myös kallistuvakorista kalustoa. Kallistuvakorisen kaluston nopeus vaihteen poikkeavassa raitteessa ja kaarrevaihteen suuremmassakin raitteessa on sama kuin tavanomaisen kaluston nopeus.

## 4 Raidegeometrian suunnittelu

Raidegeometrian suunnittelulla on keskeinen osa koko projektin suunnittelussa. Yhteinen raiteistopohja sitoo kaikki radan eri tekniset osa-alueet yhteen. Eri suunnittelualueiden keskinäinen yhteistyö ja niiden vaatimusten ymmärtäminen ja huomioon ottaminen auttavat parhaimman lopputuloksen saavuttamisessa. Näitä muita suunnittelualueita voivat olla mm. turvalaite-, sähköistys- ja radan rakenteiden (mm. pohjarakenteet, sillat, tunnelit) suunnittelu.

Geometrian suunnittelu on tehtävä yhteistyössä ja vuorovaikutuksessa muiden suunnittelualueiden kanssa. Raiteiston suunnittelijalla on suuri vastuu kokonaisuuden hallinnasta. Se antaa suunnittelijalle myös hyvän mahdollisuuden toimivan kokonaisuuden luomiseksi. Suunnittelu saa toiminnalliset tavoitteet ja lähtötiedot liikennesuunnittelusta ja lopputuloksen toiminnallisuus liikenteessä ratkaistaan pääosin turvalaitteiden ja raiteiston muodostamalla kokonaisuudella.

### 4.1 Suunnittelun ohjeet ja perusteet

Ratasuunnittelua on ohjeistettu monen eri tason dokumenteissa. Ylimpänä ovat EU:n asetukset, direktiivit ja päätökset. Seuraavina ovat kansallinen lainsäädäntö ja niiden alapuolella kansalliset viranomaisten määräykset ja ohjeet. Ohjeistus on hierarkialtaan seuraava:

- EU:n asetus
- EU:n direktiivi
- EU:n komission päätös, mm. YTE:t
- Suomen laki
- Suomen asetus
- Viranomaisten määräykset
- Viranomaisten ohjeet
- Oppaat, oppikirjat ja muu aineisto

EU:n ja Suomen lait, asetukset, direktiivit ja päätös koskevat yleensä enemmän toiminnan periaatteellisia ja organisaatioihin liittyviä asioita mutta esimerkiksi Yhteentoimivuuden tekniset eritelmat (YTE) ovat komission päätöksiä. Nämä sisältävät Euroopan laajuisia rautatiejärjestelmän yhteentoimivuuteen liittyviä teknisiä määräyksiä. Periaatteena on, että vaatimukset siirtyvät näistä viiveellä alemman tason määräyksiin ja ohjeisiin ja raidegeometrian suunnittelijan ei yleensä tarvitse tutkia näitä kaikkia dokumentteja.

Tärkeimpiä raidegeometrian suunnittelijalle ovat viranomaisten antamat määräykset ja ohjeet, jotka esittävät suunnittelun yleiset tekniset vaatimukset, ohjeet ja mitoituksen rajat. Työn tilaavat viranomaiset antavat näitä tarkentavia projektikohtaisia suunnitteluperusteita ym. projektin ohjeita.

Näiden lisäksi raidegeometrian suunnittelua on esitetty erilaisissa oppikirjoissa ja oppaissa. Ne käsittelevät raidegeometrian suunnittelua yleensä enemmän käytännön suunnittelutyön tekemisen kannalta kuin määräykset ja ohjeet. Niissä esitettävät asiat eivät kumoa mitään määräyksiä eivätkä ohjeita ja kaavat ja raja-arvot voivat olla vanhentuneita. Tämä dokumentti on luonteeltaan opas. Tämä eivätkä muutkaan oppaat

kumoa eivätkä korvaa raidegeometriaan liittyviä määräyksiä eikä ohjeita. Jos dokumenteissa on ristiriitaisuuksia, niiden pätevyys ja sitovuus määräytyy yleisen määräys - ohje - opas hierarkian mukaan.

Määräyksiä ja ohjeita päivitetään ja niissä on yleensä voimaantulosäännöt. Esimerkiksi RATO:n osassa 2 on sanottu "Ohjeet ovat voimassa Liikenneviraston tilaamissa ratarakenteen rakentamiseen liittyvissä toimeksiannoissa, jotka on tilattu dokumentin voimaantulon jälkeen. Ohjeiden käyttämistä Liikenneviraston tilaamissa ratarakenteen rakentamiseen liittyvissä toimeksiannoissa, jotka on tilattu ennen dokumentin voimaantuloa, on sovittava Liikenneviraston kanssa". Yleissääntönä voi pitää, että työn aikana voimaan tulevien uusien määräysten ja ohjeiden käytöstä on keskusteltava ja sovittava tilaajan kanssa.

#### 4.1.1 Määräykset

Määräykset ovat Liikenteen turvallisuusviraston (TraFi) julkaisemia säädöksiä, jotka perustuvat rautatiealan keskeiseen EU-lainsäädäntöön ja alan kansalliseen lainsäädäntöön. Ne määrittävät liikennöinnin ja ratateknisten asioiden osalta turvallisuuden ja yhtenäisyyden kannalta tärkeimmät asiat. TraFi:n määräykset koskevat kaikkia raitinfran haltijoita, myös yksityisraiteita. Eniten tässä tekstissä on viitattu seuraaviin määräyksiin:

Liikennöinti ja ratatyö rautatiejärjestelmässä,  
Liikenteen turvallisuusvirasto 2009 /6/  
Määräys radan rakenteesta ja kunnossapidosta,  
Liikenteen turvallisuusvirasto 2010 /9/

#### 4.1.2 Ohjeet

Ratatekniikkaa koskevat ohjeet ovat yleisimmin Liikenneviraston ja sitä edeltäneen Ratahallintokeskuksen (RHK) julkaisemia yleisiä ohjeita ja projektikohtaisia suunnitteluperusteita ja -ohjeita. Myös muut viranomaiset ja yhteisöt voivat julkaista oman alansa ohjeita, jota käytetään radan rakentamis- ja kunnossapito töissä. Esimerkiksi InfraRYL infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, jonka on koornut Rakennustietosäätiö RTS.

Ohjekokoelmasta tärkein suunnittelijalle on Ratatekniset ohjeet (RATO). Sen aiempi nimi ja vanhimmat osat ovat nimeltään Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO). Liikenneviraston ohjeet koskevat pääsääntöisesti valtion rataverkkoa. RATO on jaettu osiin ratatekniikan eri aihealueiden mukaan. Kukin osa sisältää ratatekniikan sen alan kaikki tärkeimmät ohjeet. Tämä teksti perustuu pääosin RATO:n osaan 2 mutta ohjeita on lainattu muistakin osista. Ohjeita päivitetään jatkuvasti ja lopussa olevassa viiteluettelossa on mainittu, minkä vuoden painokseen tämän tekstin lainaukset perustuvat. Lainauksia on ainakin seuraavista osista:

RATO 2 Radan geometria /1/  
RATO 4 Vaihteet /2/  
RATO 6 Turvalaitteet /7/  
RATO 7 Rautatieliikennepaikat /4/  
RATO 10 Junien kulunvalvonta JKV /10/  
RATO 13 Radan tarkastus /3/  
RATO 16 Väylät ja laiturit /5/

RATO 18 Rautatietunnelit /12/  
 RATO 19 Jatkuvakiskoraiteet ja -vaihteet /14/

Toisen ohjekokonaisuuden nimi on InfraRYL joka kuvaa infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia. Nämä on jaettu toimivuus- ja teknisiin vaatimuksiin.

InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset /11/

Rataverkon tekniset ominaisuudet kuvataan Liikenneviraston puolivuositain julkaisemassa rataverkon kuvauksessa ja vuosittain julkaisemassa Verkkoselostuksessa. Ne sisältävät valtion rataverkon perustiedot. Kuvauksien tärkeimmät asiat raidegeometrian suunnittelijalle ovat rataverkon kuvaus ja ominaisuudet, suurin nopeus vaihteissa ja eri rataosilla eri akselipainoilla sekä yhdysliikennettä koskevat ohjeet. Lisäksi mukana on luettelo rautatieliikennepaikoista.

Rataverkon kuvaus 1.7.2011, Liikennevirasto /8/

#### 4.1.3 Projektin ohjeet

Liikenneviraston tilaamissa valtion rataverkon töissä virasto antaa yleensä projektille vielä tarkemmat suunnitteluohjeet, jotka ovat nimeltään suunnitteluperusteet. Se on asiakirja työssä noudatettavista teknisistä ratkaisuksista, palvelutason tavoitteista ja paikkakohtaisista ratkaisuksista. Suunnitteluperusteissa voidaan tarkentaa RATO:n ohjeita, esittää muita ohjeita ja antaa lupa esimerkiksi poiketa RATO:n minimi- tai maksimiarvoista, sekä perustelut tälle ratkaisulle. Lupa tähän tulee kuitenkin vasta siinä vaiheessa, kun Liikennevirasto on hyväksynyt suunnitteluperusteet.

Jos suunnittelija päätyy tilanteeseen, että hänen mielestään voisi harkita poikkeamista RATO:n maksimi- tai minimiarvoista, voidaan edetä esimerkiksi seuraavasti. Suunnittelija tekee ensin vertailun, jossa verrataan RATO:n mukaista ratkaisua ja siitä poikkeavaa ratkaisua ja näiden vaihtoehtojen edut ja haitat. Vertailussa on selvitettävä myös ylempien tasojen määräykset ja ohjeet asiasta. Suunnittelija esittelee sitten vertailun hankkeen Liikenneviraston edustajalle. Liikenneviraston edustaja esittelee asian päättäjille ja jos asia hyväksytään, se voidaan joko kirjata suunnitteluperusteisiin ja hyväksyttää ne tai tehdä asiasta erillinen päätös.

Myös hankkeen aiemman vaiheen suunnitelmat ovat usein suunnittelun toiminnallisten ja teknisten asioiden suunnitteluperusteina. Ohjeita voidaan antaa suunnitteluperusteiden lisäksi myös tilauksen yhteydessä tai myöhemmin työnaikaisissa suunnittelu-, ohjaus- ym. neuvotteluissa. Muutokset tulee päivittää suunnitteluperusteisiin.

Kun suunnittelutyön tilaava organisaatio on joku muu, esimerkiksi kunta, satama tai teollisuuslaitos, suunnitteluperusteet ovat yleensä vain toiminnallisia tavoitteita ja ratateknisten perusteiden täydentäminen voi olla yhtenä osana suunnittelutyön sisältöä. Jos näillä raiteilla on tarkoitus liikennöidä valtion rataverkolla liikennöivällä kalustolla ja menetelmillä, on niilläkin hyvä käyttää soveltuvin osin Liikenneviraston ohjeita, ellei niille ole muita vastaavia ohjeita. Trafin määräykset ja osa YTE:jä ovat kaikkia radanpitäjiä sitovia.



#### 4.1.4 Oppikirjat, oppaat ym.

Oppikirjat, oppaat ym. kuvaavat yleensä määräyksiä ja ohjeita enemmän yleisiä perusteita, tavoitteita ja raidegeometrian suunnittelun periaatteita. Niissä voidaan esittää laajemmin myös kaavojen ja ohjeiden perusteita ja taustalla olevia tekijöitä. Niissä esitettävä kaavat ja mitoituksen raja-arvot eivät ole määräysten ja ohjeiden tavoin sitovia. Oppaat ovat asiaan tutustuville helppolukuisempia kuin asioita yksityiskohdaisesti ja monimutkaisesti määrittävät määräykset ja ohjeet.

## 4.2 Raja-arvot: maksimi-, minimi- ja suositeltava arvo

Suunnitteluun määräyksissä ja ohjeissa on määritelty monelle arvolle eritasoisia raja-arvoja. Ne on määritelty seuraavasti /1/ :

**Suosittelava arvo** on hyvän suunnittelutavan mukainen arvo, jolla varmistetaan maksimi- ja minimiarvoja parempi matkustusmukavuus. (Tämä on RATOn osan 2 määrittäminen. Suositeltavasta arvosta on yleensä muutakin hyötyä. Esimerkiksi suositeltavan kaarresäteen käyttö minimiarvon sijaan pienentää raiteen ja kaluston kulumista, pienentää kaluston kulkuvastusta, vähentää melua ym.)

**Maksimi- ja minimiarvot** ovat äärimmäisiä, mutta hyväksyttäviä arvoja. Näiden arvojen käyttö ei tarvitse lupaa, mutta niitä tulisi käyttää mahdollisimman vähän. Ne eivät aiheuta rajoituksia. Maksimi- tai minimiarvojen ylitykset tai alitukset edellyttävät aina Liikenneviraston luvan.

**Lupa-arvolla** tarkoitetaan maksimi- ja minimiarvojen ylittäviä tai alittavia arvoja ja niitä saa käyttää vain Liikenneviraston luvalla. Niiden käyttö saattaa aiheuttaa erikoisvaatimuksia radan rakenteeseen sekä geometrian mitoittamiseen.

Vastaavat määritykset voivat olla myös kuvattu tekstissä seuraavilla sanamuodoilla:

**On käytettävä..** on minimi- tai maksimiarvoa vastaava vaatimus.

**On pyrittävä käyttämään...** on suositeltavaa arvoa vastaava suositus.

**Voidaan käyttää Liikenneviraston luvalla...** on lupa-arvoa vastaava määrittäminen.

Onko arvo nimeltään minimi- vai maksimiarvo riippuu siitä, mitä tekijää arvo koskee ja kummalta puolelta arvoa lähestytään. Esimerkiksi kallistuksen vajoitus tai poikittaiskiihtyvyys kasvaa nolasta rajaan, kun nopeus nousee, ja arvot ovat maksimeja. Kaarresäteen rajat ovat taas minimiarvoja, koska nopeus voi olla suurempi, jos kaarresäde on suurempi.

Suunnittelussa on pidettävä mielessä, että määräysten ja ohjeiden minimi- tai maksimiarvot ovat viimeisimpiä hyväksyttävissä olevia arvoja. Niitä ei tule käyttää jatkuvana suunnitteluarvona. Tällöin pienikin virhe raiteen geometriassa johtaa arvonn ylitykseen ja matkustusmukavuuden tai raiteen rasituksen mitoituksen perusteena ole-

van rajan ylittävälle toleranssialueelle. Suositeltavaa arvoa voi käyttää suunnittelussa jatkuvana rajana. Mutta sekään ei tarkoita, että pitää suunnitella suositeltavan arvon mukaan. Lopputulos on parempi, jos suositeltavaankin arvoon jätetään vähän etäisyyttä, jos tästä ei aiheudu ylimääräisiä kustannuksia tai muuta haittaa. Riippuu myös suunnitteluvaiheesta, miten tarkasti geometria kannattaa mitoittaa. Alustavissa suunnittelun vaiheissa on paljon epävarmuustekijöitä ja puutteita lähtötiedoissa joten silloin kannattaa jättää näitä varten toleranssia.

Arvojen käyttö riippuu suunnittelukohteesta. Jos suunnitellaan uutta rataa tai raidetta, voidaan helpommin jättää etäisyyttä rajoihin ilman lisäkustannuksia tai muuta haittaa. Jos suunnitellaan nykyisen radan perusparantamista mahdollisimman suurelle nopeudelle, joudutaan käyttämään useimmin maksimi- ja minimiarvoja ja tarvittaessa lupa-arvojakin. Samoin, jos suunnitellaan esimerkiksi ratapihan parantamista, jatkamista, lisäraiteita tms. joudutaan käyttämään useimmin minimi- ja maksimiarvoja.

Suunnitteluperusteissa voidaan esittää projektissa käytettävät suositeltavat arvot. Lupa-arvojen käyttö edellyttää aina kirjallista lupaa Liikennevirastolta. Lupa-arvon käyttö on kirjattava suunnitteluperusteisiin ja merkittävä näkyviin suunnitelmiin. Merkintä voi olla esimerkiksi tähti (\*) ko. kohtaan ja selitys "(\*) Kallistusviisteen kaltevuuden lupa-arvo, 6.1.2010 Liikennevirasto Nummelin".

Lukuarvoltaan negatiivisten raja-arvojen määrittely on aina vähän hankalaa sekä lukuarvoina että tekstissä. Arvoille on yleensä olemassa lukuarvon lisäksi sanalla kuvattu ilmiö, joka itsessään vastaa jo negatiivista lukuarvoa. Joskus voi olla vaikeaa määrittellä, kuvataanko asia matemaattisina lukuna vai ilmiönä. On tehtävä itselle selväksi, tarkoitetaanko lukuarvoltaan pienempää vai suurempaa vai itseisarvoltaan pienempää vai suurempaa.

## 4.3 Nopeus

Junien kulunvalvonta JKV, opastimien Aja 35 -opaste ja nopeusmerkit ilmoittavat raitteen suurimman nopeuden ja nopeusrajoitukset. Ne voivat ilmoittaa vain tiettyjä nopeuksia. Geometrian mitoitus muille nopeuksille on hyödytöntä, koska niitä ei voi käyttää hyväksi.

Pääraiteilla nämä nopeudet ovat 10 km/h kerrannaisen arvoja ja sivuraiteiden nopeus on yleisesti 35 km/h:n, mutta niillä voi olla käytössä myös 10 km/h kerrannaisen arvoja.

Raidegeometrian mitoitus tehdään näille nopeuksille. Poikkeuksena näistä sivuraiteiden geometria on kuitenkin mitoitettava vähintään 40 km/h:n nopeudelle. Koko sivuraide on pyrittävä mitoitamaan samalle nopeudelle koska JKV:n kanssa tulee ongelmia, jos nopeusrajoitus on vain osalla raidetta.

Raiteella sallitut nopeudet ilmoitetaan liikenteelle täysinä kymmeninä km/h-arvoina, paitsi osalle sivuraiteita arvona 35 km/h /1/.

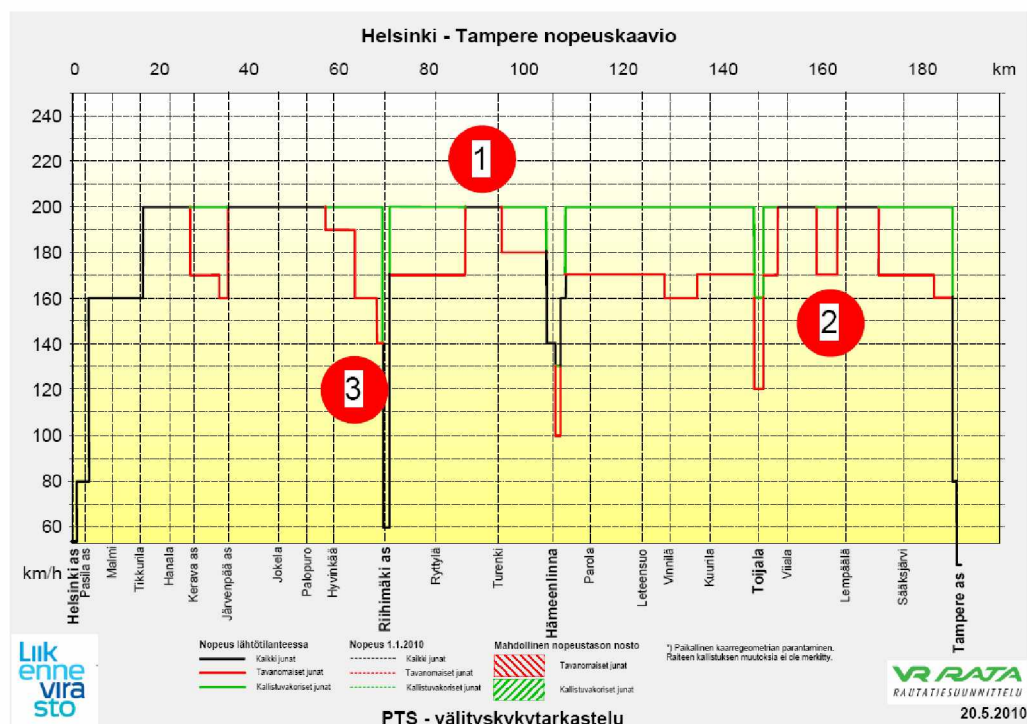
Pääraiteen mitoitusnopeus on määrättävä suunnitteluperusteissa. Sivuraiteen mitoitusnopeus on vähintään 40 km/h, ellei suunnitteluperusteissa toisin määrätä /4/.

### 4.3.1 Nopeusalueet

Raiteen nopeus on suunniteltava kokonaisuutena katsoen tilannetta yksittäistä geometrian elementtiä pidemmältä matkalta. Linjan läpikulkevilla pääraiteilla on tilannetta tarkasteltava usean kilometrin matkalta ja sivuraiteilla koko raiteen matkalta. Tilannetta voidaan tarkastella esimerkiksi raiteesta tehtävän nopeuskaavion avulla.

Pääraiteilla nopeusalueet on suunniteltava liikenteen tarpeiden mukaan yhtenäisiksi kokonaisuudeksi. Kuvan 48 nopeuskaaviossa on esitetty punaisella ja mustalla viivalla tavanomaisten junien suurin nopeus, johon seuraavassa viitataan.

1. Linjalla ei yleensä voida hyödyntää alle 4 km pitkiä vallitsevaa nopeustasoa suuremman nopeuden alueita, kuvassa 48 kohde 1. JKV ilmoittaa tällaisella lyhyellä alueella jo kiihdytysvaiheessa, että nopeutta pitää pian laskea ja pieni kiihdytys ja heti hiljentäminen ei nosta keskinopeutta merkittävästi ja lisää vain energian kulutusta. Tavoitteena tulisi olla vähintään 4 - 10 km pituiset nopeusalueet raiteen nopeudesta riippuen.
2. Sen sijaan vallitsevaa nopeustasoa alemmat rajoitukset on pyrittävä tekemään mahdollisimman lyhyiksi, kuvassa 48 kohde 2.
3. Suurempien liikennepaikkojen ja pysähdyspaikkojen läheisyydessä voidaan nopeutta laskea ja nostaa portaittain kiihdytystä ja jarrutusta mukailien, kuvassa 48 kohde 3. Kovin lyhyitä portaita ei kuitenkaan tehdä, vaan ne yhdistetään mielellään vähintään 1 km pituisiksi.



Kuva 48 Nopeuskaavion nopeusalueet (PTS-välityskykytarkastelu 2010)

Nopeuksia ja nopeuttamismahdollisuuksia selvitettyä on pidettävä mielessä, että pienten nopeuksien alueilla on mahdollisuudet suurempiin ajoaikasäästöihin. Esimerkiksi nopeudella 180 km/h yhden kilometrin ajamiseen menee aikaa 20 sekuntia, ja nopeudella 60 km/h 60 sekuntia. Lisäksi alemman nopeuden alueisiin liittyy pi-

demmät kiihdytys- ja jarrutusalueet, joilla mahdollinen nopeuden nosto vaikuttaa koko matkalla.

Sivuraiteilla koko raiteen nopeus on pyrittävä saamaan samalle tasolle. Vain osaa raideetta koskevien nopeusrajoitusten ilmoittaminen JKV:llä aiheuttaa ongelmia. Raiteen geometria on suunniteltava kokonaisuutena sen vaihteiden kanssa ja mitoitettava niin, että nopeus riittää vähintään vaihteiden sallimalle nopeudelle.

JKV voi ilmoittaa opastimen poikkeavan raiteen vaihdenopeustietona enintään kahden eri nopeustason vaihdealueet. Esimerkiksi jos ratapihan päässä tulo-opastimen ja ratapihan junakulkutieraiteiden välissä on 80, 60 ja 35 km/h:n vaihteet, JKV voi ilmoittaa kulkutien vaihdenopeuksiksi ja -alueiksi joko 80, 80 ja 60, tai 60 ja 35 km/h, mutta ei kaikkia 80, 60 ja 35 km/h yhdelle kulkutielle. JKV:n vaihdenopeustieto sisältää tiedot matkasta vaihteelle, sallitusta nopeudesta vaihteessa, vaihdealueen pituudesta, kaltevuudesta sekä nopeudesta vaihdealueen jälkeen. Asia on hyvä käsitellä turvalaitesuunnittelijan kanssa. Se on esitetty RATOn osissa 6 ja 10.

#### 4.3.2 Tilapäiset nopeusrajoitukset

Tilapäinen nopeusrajoitus on määräaikaisesti tietylle alueelle määrätty raiteen suurin nopeus. Tilapäisen nopeusrajoituksen voi määrätä enintään kuuden kuukauden ajaksi. Tämän jälkeen se muuttuu pysyväksi ja on päivitettävä tarpeellisiin dokumentteihin. Tilapäiset nopeusrajoitukset on tehtävä kohdekohtaisen nopeusrajoitussuunnitelman perusteella. Tässä on huomioitava mm. tilapäiset baliisit sekä nopeusmerkit ja niiden etumerkit.

## 4.4 Muut nopeuteen vaikuttavat tekijät

Raidegeometrian lisäksi monet muut syyt vaikuttavat raiteen suurimpaan nopeuteen. Näitä syitä voivat olla mm. seuraavat:

#### 4.4.1 Turvalaitteet

Suurin nopeus ilman toimivaan JKV:tä on nyt 80 km/h ja vuoden 2013 alusta 50 km/h /6/.

#### 4.4.2 Tasoristeykset

Tasoristeykset rajoittavat nopeuden korkeintaan 140 km/h:ksi 800 metrin matkalla ennen tasoristeystä /6/. Jos näkemä-alueet ovat lyhyet, nopeutta on rajoitettava vastaavasti. Jos raiteessa on urakisko tai vastaava rakenne, nopeus saa olla enintään 50 km/h /6/. Laituripolkujen kohdalla nopeus voi olla korkeintaan 80 km/h. Uuden laituripolun saa sijoittaa vain Liikenneviraston luvalla vain raiteelle, joka ei ole läpikulkuraide ja jonka nopeus on korkeintaan 80 km/h /5/. Huoltotien tasoristeyksessä on oltava lukittava portti, jos nopeus on korkeintaan 120 km/h ja jos nopeus on yli 120 km/h, huoltotie on varustettava huoltotien turvalaitoksella /5/.

#### 4.4.3 Radan päällysrakenne

Radan päällysrakenne (kohta 3.13) on oltava vähintään seuraava /8/:

- $V \leq 220$  km/h rataluokka D (60E1, betonipölkkyt, raidesepeleli)
- $V \leq 200$  km/h rataluokka C<sub>2</sub> (54E1, betonipölkkyt  $\geq 1987$ , raidesepeleli)
- $V \leq 160/180$  km/h rataluokka C<sub>1</sub> (54E1, puupölkkyt/betonipölkkyt  $< 1987$ , raidesepeleli)
- $V \leq 110$  km/h rataluokka B<sub>2</sub> (K43, K60, puupölkkyt/betonipölkkyt, raidesepeleli)
- $V \leq 100$  km/h rataluokka B<sub>1</sub> (K43, K60, 54E1, 60E1, puupölkkyt, raidesora)
- $V \leq 70$  km/h rataluokka A (K30, K33, puupölkkyt, raidesora)

Tuossa yllä on matkustajajunien suurin mahdollinen nopeus radan eri päällysrakenneluokissa. Tavarajunien suurin mahdollinen nopeus riippuu vaunujen suurimmasta akselipainosta ja oli aiemmissa ohjeissa taulukon 10 mukainen. Itäisen yhdysliikenteen vaunujen suurin sallittu nopeus määritetään Rataverkon kuvauksessa /8/. Yleisperiaate näille on, että matkustajavaunujen suurin sallittu nopeus on 120 km/h ja tavaravaunujen 80 km/h tyhjänä ja 60 km/h kuormattuna.

Taulukko 10 Tavarajunien suurin mahdollinen nopeus ja vaunun akselipaino

Rataluokka	Matkustajajunat km/h	Tavarajunat akselipaino nopeus					
		t	km/h	t	km/h	t	km/h
A	70	16	50	-	-	-	-
B1	100	12	100	20	60	22,5	50
B2	110	16	110	20	90	22,5	80
C1	*) 160/180	20	120	22,5	100	25	60
C2	200	20	120	22,5	100	25	80
D	220	20	120	22,5	100	25	100

\*) 160 puuratapölkkyt / 180 betoniratapölkkyt

#### 4.4.4 Vaihteet

Vaihteet rajoittavat suoran raiteen nopeuden seuraavasti /8/:

- $V \leq 90$  km/h, risteysvaihteet, raideristeykset
- $V \leq 120$  km/h, kaksoisvaihteet
- $110$  km/h  $< V \leq 140$  km/h, pitkät 54E1 -vaihteet
- $110$  km/h  $< V \leq 160$  km/h, lyhyet 54E1 -vaihteet
- $160$  km/h  $< V \leq 200$  km/h, kaikki vaihteet 60E1 -vaihteita
- $V > 200$  km/h, kaikki vaihteet pitkiä 60E1 -vaihteita

#### 4.4.5 Liikkuva kalusto

Liikkuvalle kalustolle on määritetty tyyppikohtaiset suurimmat sallitut nopeudet eri päällysrakenneluokissa. Vetokalustotyyppien nopeudet ilmoitetaan Rataverkon kuvauksessa /8/. Vaunuille määritetään kalustotyyppin maksiminopeudet ja tavaravaunuille akselipainon mukaiset maksiminopeudet eri päällysrakenneluokissa vaunurekisterissä.

#### 4.4.6 Laiturit

Jos nopeus on yli 200 km/h, raiteen vieressä ei saa olla laituria/4/. Suorareunaisen laiturielementin kohdalla nopeus saa olla korkeintaan 120 km/h ja tätä suuremmilla nopeuksilla on käytettävä kaapelikourusyvennyksellä varustettua laiturielementtiä. Kaapelikourun kansi on oltava betonia jos nopeus on vähintään 160 km/h. Jos nopeus on vähintään 140 km/h, laiturilla on varustettava suojavyöhykemerkein ja yli 160 km/h:n nopeudella junailmoittimella (automaattinen kuulutuslaite ja näyttötaulu). Laituripolkujen kohdalla nopeus voi olla korkeintaan 80 km/h. Uuden laituripolun saa sijoittaa vain Liikenneviraston luvalla vain raiteelle, joka ei ole läpikulkuraide ja jonka nopeus on korkeintaan 80 km/h /5/.

#### 4.4.7 Radan alusrakenne

Radan rakenteen on oltava riittävä käytettävälle nopeudelle ja suurimmalle akselipainolle mm. seuraavien ominaisuuksien osalta:

- pengerleveys
- vakavuus
- kantavuus
- routivuus
- kuivatus

#### 4.4.8 Sillat

Sillat rajoittavat nopeutta RATO:n osien 8 ja 11 mukaan seuraavasti:

- Rautatiesiltojen kaide-etäisyyden on oltava riittävä
- $V \leq 120$  km/h, teräsbetoni-laattaan kiinnitetyt kiskot
- $V > 140$  km/h, silloissa siirtymälaatat
- $V \leq 140$  km/h, terässillat ilman tukikerrosta, joustomassalla sillasta riippuen mahdollisesti  $V \leq 160$  km/h
- Avattavat sillat rajoittavat nopeuden yleensä  $V \leq 60$  km/h /8/

#### 4.4.9 Tunnelit

Tunnelit rajoittavat yleensä nopeutta:

- $V \leq 160$  km/h, RATO 18:ssä esitetty normaali poikkileikkaus on riittävä /12/
- $V > 160$  km/h, poikkileikkaus on mitoitettava tavoitenopeudelle /12/
- Olemassa olevat tunnelit, jotka on tehty vanhemmilla pienemmillä normaali poikkileikkauksilla, rajoittavat nopeuden eri kalustolla (1-kerrosvaunt, 2-kerrosvaunut, Pendolino) erilaisiksi esimerkiksi 120, 140, 160, 180 tai 200 km/h:si /8/

#### 4.4.10 Sähköistys

Ajojohtimen rakenteen, ryhmityseristimien ja erotusjaksojen on oltava mitoitettu käytettävälle nopeudelle. Ajojohtoja on rakennettu eri tyyppin rakenteilla ja rakennetyypeillä mm. seuraaville nopeusportaille:

- $V \leq 50$  km/h
- $V \leq 140$  km/h
- $V \leq 160$  km/h
- $V \leq 200$  km/h
- $V \leq 220$  km/h

#### 4.4.11 Ratarakenteiden kunto

Radan suurin nopeus määrää, mihin kunnossapitotasoon se kuuluu. Ratojen kunnossapitotasot esitetään Rataverkon kuvauksessa /8/. Eri kunnossapitotasot määritellään RATO:n osassa 13. Kunnossapitotaso riippuu radan suurimasta nopeudesta. Kunnossapitotaso määrittää radalla sallittujen geometristen virheiden suuruuden ja määrän sekä radan tarkastustarpeen. Eräille rataosuksilla on kunnossapidon kannalta niin hankalia kohtia, että niissä ei pystytä ylläpitämään rataosan kunnossapitotason mukaista kuntoa esimerkiksi huonojen pohjaolosuhteiden tai huonokuntoisen siltarakenteen vuoksi. Niille on asetettu radan kunnosta johtuen toistaiseksi voimassa oleva nopeusrajoitus. Nämä rajoitukset esitetään Rataverkon kuvauksessa /8/.

## 4.5 Pyörityssäännöt

Pääraiteiden nopeudet mitoitetaan täysille 10 km/h kerrannaisarvoille. Sivuraiteiden nopeus mitoitetaan vähintään 40 km/h:n nopeudelle, ellei ole toisin ohjeistettu.

Nopeus lasketaan mitoituskaavoilla vähintään yhden desimaalin, 0,1 km/h:n tarkkuudella.

Puupölkkyraiteilla voidaan mitoituskaavoilla saatu nopeus pyörittää yleisen pyörityssäännön mukaan ylöspäin 0,5 km/h. Eli jos kaavoista saadaan esimerkiksi 119,52, nopeus voidaan pyörittää 120 km/h:ksi ja jos kaavoista saadaan alle 119,5, nopeus pyöristetään alaspäin 110 km/h:ksi.

Määritettäessä kaarteiden suurinta sallittua nopeutta voi K43- ja K30-raiteilla ja 54E1-puupölkkyraiteella käyttää normaaleja pyörityssääntöjä. Kun kaavojen raja-arvoilla laskettu kaarteiden suurin nopeus on  $XX9,5$  km/h, sen voi pyörittää seuraavaan täyteen 10 km/h kerrannaisen arvoon /1/.

Betonipölkkyraiteilla voidaan mitoituskaavoilla saatu nopeus pyörittää ylöspäin 2,0 km/h seuraavaan täyteen 10 km/h kerrannaisen arvoon jos mitoituksen perusteena on kallistuksen vajoitus 105 mm (tai poikittaiskiihtyvyys  $0,65 \text{ m/s}^2$ ) ja kallistuksen vajoituksen muutosnopeuden arvo 73 mm/s (tai nykyksen arvo  $0,45 \text{ m/s}^3$ ) ei ylity. Jos mitoituksen perusteena on kallistuksen vajoitus 130 mm (tai poikittaiskiihtyvyys  $0,80 \text{ m/s}^2$ ), mitoituskaavoilla saatu nopeus voidaan pyörittää ylöspäin 0,5 km/h seuraavaan täyteen 10 km/h:n kerrannaisen arvoon.

Kun 60E1- ja 54E1-betonipölkkyraiteilla kallistuksen vajoituksen rajana on 105 mm (tai poikittaiskiihtyvyys  $0,65 \text{ m/s}^2$ ), laskennasta saadun arvon voi pyörittää ylöspäin 2 km/h, kunhan kallistuksen vajoituksen muutoksen arvo 73 mm/s (tai nykyksen arvo  $0,45 \text{ m/s}^3$ ) ei ylity /1/.

Kallistuvakorilla kalustolla mitoituskaavoilla saatu nopeus voidaan pyörittää ylöspäin 0,5 km/h seuraavaan täyteen 10 km/h:n kerrannaisen arvoon.

## 4.6 Aukean tilan ulottuma

Radan aukeasta tilasta käytetään kirjainlyhennettä ATU. Radan aukealla tilalla tarkoitetaan sitä raidetta pitkin ulottuvaa tilaa, jonka sisällä ei saa olla kiinteitä esteitä. Au-

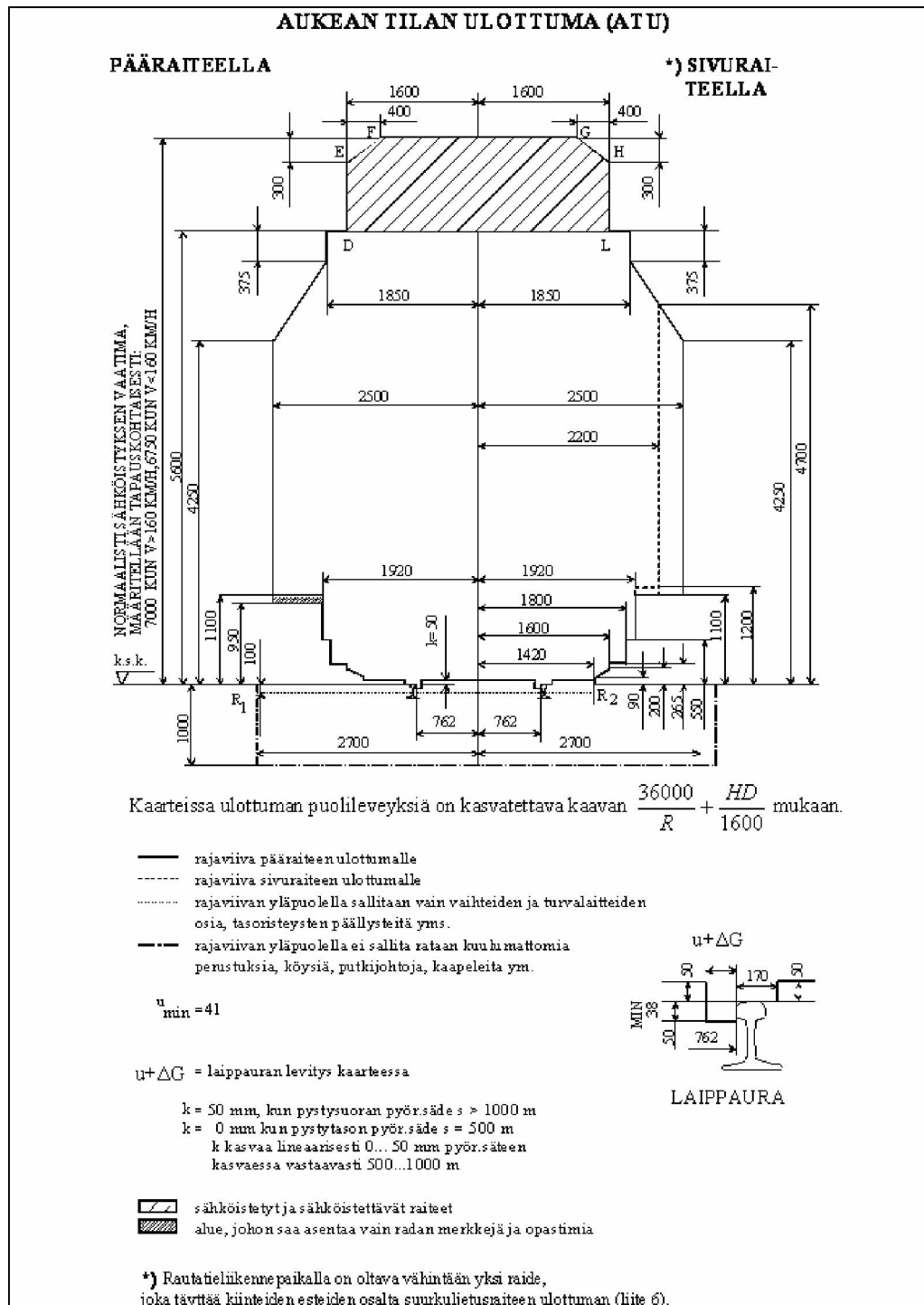
kea tila on oltava ATUn mukainen kaikilla normaalikalustolla liikennöitävillä raiteilla. Tässä esitellään ATU vain lyhyesti. Täydelliset ohjeet ovat RATOn osassa 2.

Raidegeometrian suunnittelussa on huolehdittava, että raiteen aukean tilan ulottuma pysyy esteettömänä. Tätä varten on kartoitettava suunnittelualueella olevat kiinteät esteet muiden lähtötietojen hankinnan yhteydessä. Raiteiden geometrian suunnittelun aikana on varmistettava, että suunniteltava raide on riittävän kaukana esteistä.

ATUn mitat ovat suoran raiteen minimimittoja, joiden tulee olla voimassa kaikissa olosuhteissa (kuva 49). Kaarteissa ja vaihteissa on huomioitava tarvittavat ATUn levietykset. Suunnittelussa on lisäksi otettava huomioon tarvittavat rakentamis- ja kunnossapitotoleranssit /1/.

Aukean tilan ulottuma mitoitetaan raiteen keskiviivaa vastaan kohtisuorassa tasossa. Leveys suunnan mitat ovat vaakasuoria mittoja raiteen pystysuorasta keskiviivasta. Korkeussuunnan mitat ovat pystysuoria mittoja raiteen kiskon selän korkeudesta (k.s.k).





Kuva 49 Aukean tilan ulottuma ATU /1/

Seuraavissa kohteissa ATUn osalta on huomioitava mm.:

### Sillat /1/

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

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

### **Aidat /1/**

Aitojen sijainti määritetään RATOn osan 7 mukaan.

Kun raideväli on vähintään 4300 mm, siihen voidaan rakentaa enintään 800 mm korkea väliaita.

Kun raideväli on vähintään 5100 mm, siihen voidaan rakentaa enintään 1400 mm korkea väliaita.

Raiteiden ulkopuolella oleva radanvarsiaita sijoitetaan vähintään 3600 mm:n etäisyydelle. Aidan korkeus voi olla 1400 tai 1800 mm.

Radan ulkopuolella olevan aidan portin ja lähimmän raiteen ATUn välissä on oltava vähintään 1,0 metrin etäisyys.

Raiteiden väliin rakennettavaan aitaan ei saa rakentaa porttia, jos vähintään toisen raiteen suurin nopeus on yli 140 km/h.

### **Laiturit /1/**

Matalat laiturit on suunniteltava vähintään 1600 mm:n, korkeat laiturit vähintään 1800 mm:n ja kuormauslaiturit vähintään 1920 mm:n etäisyydelle raiteen keskilinjasta.

Kuormauslaiturit voidaan kuitenkin sijoittaa 1750 mm etäisyydelle keskilinjasta 1200 mm korkeana suoralla raiteella RATOn osan 7 mukaan.

ATUn mitat ovat suoran raiteen mittoja. Mittoja on kasvatettava kaarteissa, siirtymäkaarissa ja vaihteissa ja niiden läheisyydessä RATOn osan 2 mukaan. Siirtymäkaaren osuudella levitys kasvaa suoraviivaisesti suoran arvosta kaarteiden arvoon. Kaarteissa, jossa ei ole siirtymäkaarta, levitys tehdään kuvan 50 mukaan. Vaihteiden kohdalla ATUn puolileveyden levitys tehdään RATOn osan 2 mukaan.

Huom.

Laskelmissa on oletettu veturin virroitimen DEFGHL olevan telikeskiön kohdalla ja tälle osalle ei tule kaarresäteen aiheuttamaa levitystä.

Laskelmien perustana on käytetty vaunua, jonka korin pituus on 24 metriä ja telikeskiöväli 17 metriä. Kaavakerroin 36000 vastaa 17 metrin telikeskiöväliä.

$$b = \frac{36000}{R} + \frac{HD}{1600} \text{ sisäkaarten levitys} \quad [\text{mm}] \quad (4.6:1)$$

$$b = \frac{HD}{1600} \quad \text{virroitintilan sisäkaarten levitys} \quad [\text{mm}] \quad (4.6:2)$$

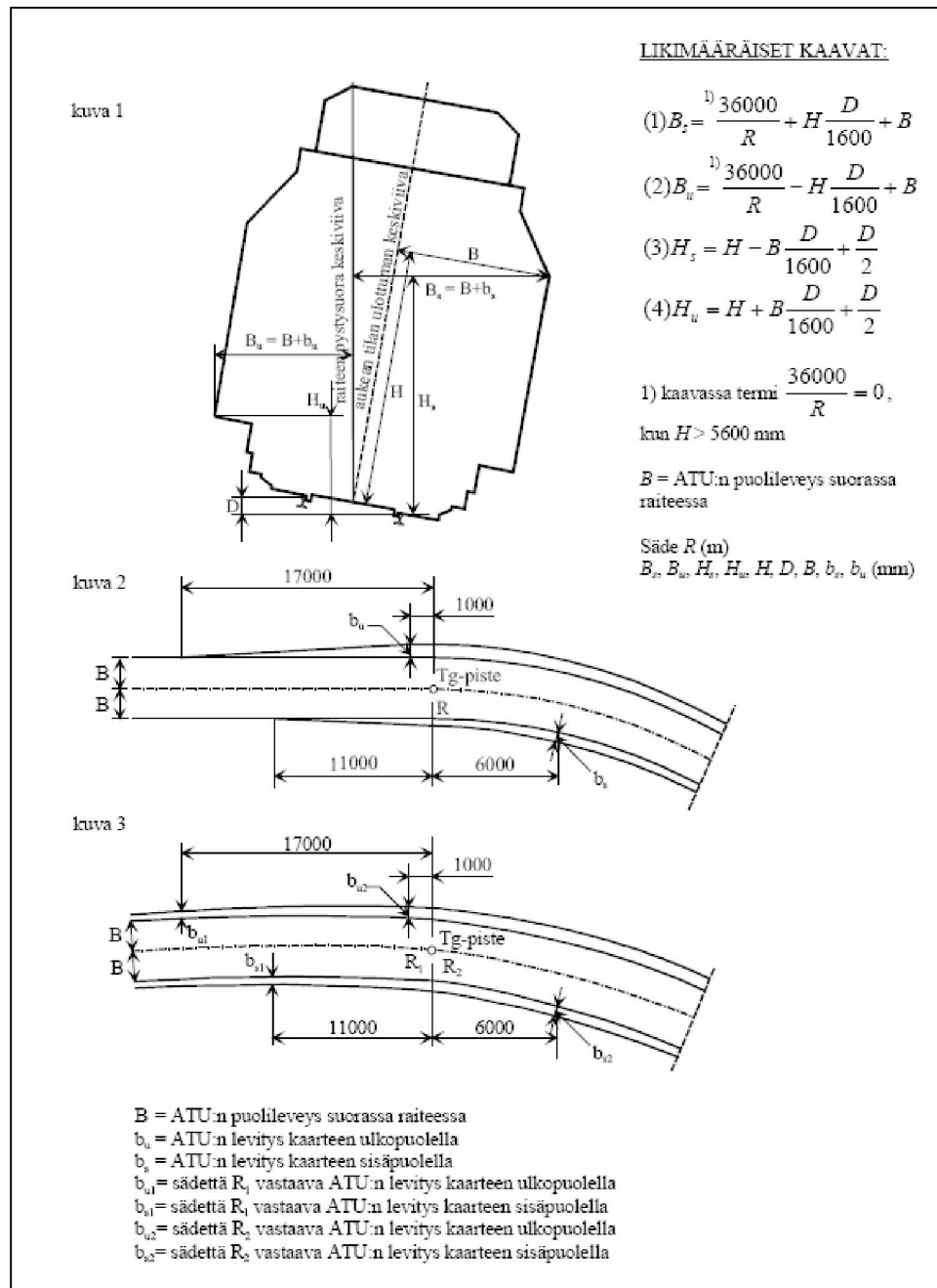
$$b = \frac{36000}{R} \quad \text{ulkokaarteen levitys} \quad [\text{mm}] \quad (4.6:3)$$

$R$  = kaarresäde [m]

$H$  = tarkastelupisteen korkeus [mm]

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$b$  = puolileveyden levitys [mm]



Kuva 50 ATUn levitys kaarteessa /1/

### Suurkuljetusraide /1/

Rautatieliikennepaikan ulkopuolella ja rautatieliikennepaikoilla vähintään yhdellä raiteella on oltava läpimenevä suurkuljetusraiteen ulottuma. Suurkuljetusraiteen ulottuma on pyrittävä saamaan vapaaksi kaikkien esteiden osalta,

mutta ATUn ja suurkuljetusraiteen ulottuman väliseen tilaan voidaan asentaa rakenteita, jotka ovat helposti siirrettävissä tai poistettavissa.

Suurkuljetusraiteen ulottuma on esitetty kuvassa 51. Suurkuljetusraiteena ei voi toimia raide, jolla on kuormauslaituri tai korkea matkustajalaituri sisäkaarteiden puolella. Kuvan 51 mitat pätevät suoralla raiteella. Kaarteessa ulottuman mittoja on kasvatettava kaavan 4.6:4 mukaan. Huom. suurkuljetusraiteen ulottuman kaarrelevitys poikkeaa normaali ATUn levityskaavasta. Se on määritetty pidemmälle Osg-muuntajakuljetusvaunulle.

$$b = \frac{190000}{R} + \frac{HD}{1600} \quad [\text{mm}] \quad (4.6:4)$$

Suunnittelussa voidaan suurkuljetusraiteen ulottuman leveys  $B$  laskea kaavalla:

$$B = 2350 + \frac{190000}{R} + \frac{4250D}{1600} \quad [\text{mm}] \quad (4.6:5)$$

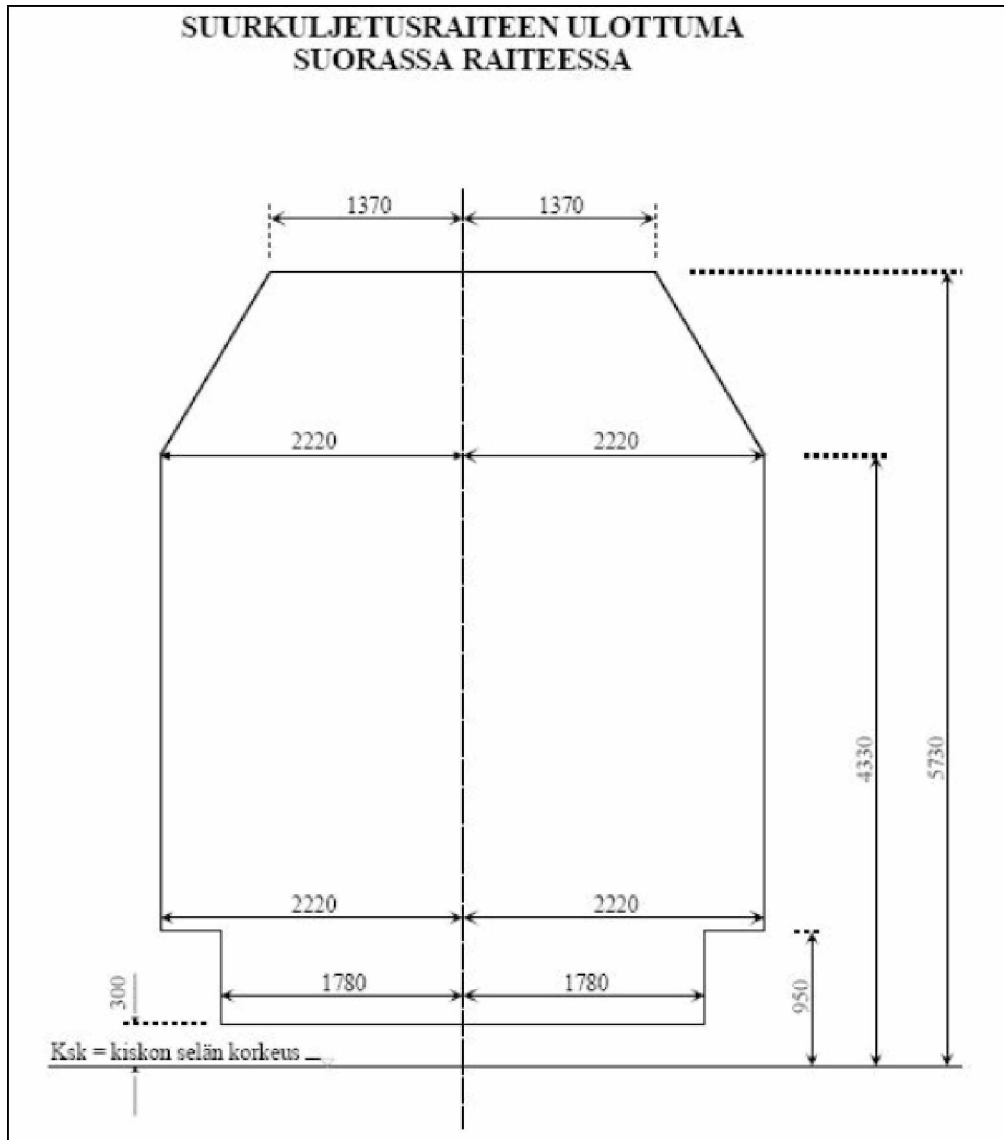
$b$  = ulottuman kaarrelevitys [mm]

$B$  = ulottuman leveys [mm]

$R$  = kaarresäde [m]

$D$  = raiteen kallistus [mm]

$H$  = tarkastelupisteen korkeus sisäkiskon selästä [mm]



Kuva 51 Suurkuljetusraiteen ulottuma /1/

## 4.7 Raiteiden suunnittelu

Raiteiden ja raiteiston suunnittelun pohjaksi hankitaan tarvittava ajantasainen karttamateriaali ja kartoitustietoa olemassa olevista raiteista ja muista suunnittelualueen kohteista.

### 4.7.1 Suunnittelun karttapohjat

Suunnittelussa tarvitaan yleensä ajantasaista pohjakarttaa. Se hankitaan joko kunnan tai kaupungin kartoista tai maastokartoituksen perusteella. Pienemmissä kohteissa voidaan käyttää maastomittausta, fotogrammetrista kartoitusta tai ilmakuvausta ja tehdä niiden pohjalta kartta.

Alustavissa suunnitteluvaiheissa voidaan käyttää yleistä karttamateriaalia. Tarkemmassa geometrian suunnittelussa tarvitaan yleensä niin tarkkaa tietoa alueella olevista raiteista ja muista kohteista, että alue on kartoitettava tätä tarkoitusta varten, en-

nekuin voidaan tehdä tätä suunnittelua. Kartoituksen on oltava siinä muodossa että se voidaan ottaa suunnittelujärjestelmään pohjatiedoksi.

Olemassa olevan raiteen suunnittelu perustuu maastosta kartoitettuun tietoon. Maastosta kartoitetaan säilyvät, uusittavat ja poistuvat raiteet. Niistä kartoitetaan raiteen keskilinja esim. 20 metrin välein, kaikki vaihteiden jatkokset ja raiteen kallistus. Raiteiden lisäksi kartoitetaan muut raiteen rakenteet kuten pylväät, sillat, rummut, laiturit, kaapelireitit ym. kaikki muut kohteet, joita voidaan tarvita geometrian suunnittelussa. Kartoitettavista kohteista määritetään koordinaatit Y, X ja korkeus Z. Raidegeometrian suunnittelussa on huolehdittava, että raiteen aukean tilan ulottuma pysyy esteettömänä ja tätä varten on kartoitettava suunnittelualueella olevat kiinteät esteet muiden lähtötietojen hankinnan yhteydessä.

Suunnittelu tehdään pääasiassa maastokartoituksesta laadittavan maastomallin avulla. Maastomalli on kolmiulotteinen malli maastosta. Mallin tiedot on saatu esimerkiksi laserkeilauksella, ilmakuvauksesta tai maastomittauksista. Malli voi olla pelkkä maanpintaa kuvaava malli tai myös maanalaisia kerroksia ja niiden rajapintoja kuvaava malli. Maaperän tiedot on hankittu niihin pohjatutkimuksista. Mallissa pinnat on kuvattu tunnettujen pisteiden välillä olevina kolmioina. Liikennevirastolla on radan maastomallin mittaushje, Dnro 1262/731/2003.

Lisäksi voidaan hyödyntää ortokuvia, jotka voidaan asemoida maastomittausten perusteella. Tällöin voidaan laatia havainnollisia esityksiä suunniteltavasta ratalinjasta esimerkiksi hankkeen esittelymateriaaliin.

#### 4.7.2 Raiteiden suunnittelu

Suunnittelussa määritetään raiteille tavoitteiden mukainen geometria. Raiteiden ja raiteiston geometria on pyrittävä suunnittelemaan yksinkertaisen selkeäksi ilman pienipiirteisiä ratkaisuja ja käyttäen vaihteiden perustyyppisiä. Kun suunnitellaan uusia raiteita ja raiteistoja puhtaalle pohjalle, on helpompi suunnitella selkeän ja yksinkertaisia ratkaisuja. Olemassa olevan raiteiston geometrian suunnittelussa on välillä pakko tehdä kompromisseja ja tinkiä selkeydestä ja yksinkertaisuudesta yleensä kustannusten nousun takia.

Vältettävä pienipiirteisyys tarkoittaa paljon ja tiheästi pieniä, lähellä toisiaan olevia elementtejä, joille ei ole ulkoista tarvetta eikä syytä. Vaakageometriassa on vältettävä tiheästi toistuvia lyhyitä elementtejä. Pystygeometriassa on vältettävä pieniä kaltevuuden muutoksia ja lyhyitä kaltevuusjaksoja. Pienistä elementeistä on pyrittävä eroon yhdistämällä lähekkäin olevia, arvoiltaan lähellä toisia olevia lyhyitä elementtejä. Lyhyet elementit huonontavat matkustusmukavuutta ja junan kulkudynamiikkaa siinä tapahtuvien jatkuvien muutosten vuoksi. Myös raiteiden kunnossapito vaikeutuu. Lyhyiden elementtien kunnossapito geometrisesti oikeassa muodossaan on vaikeaa. Lukuisat elementit vaikeuttavat koneellisen kunnossapidon automatisointia ja lisäävät työmäärää ja kustannuksia koneellisen kunnossapidon töissä ja kunnossapitoa ohjaavissa mittaustöissä.

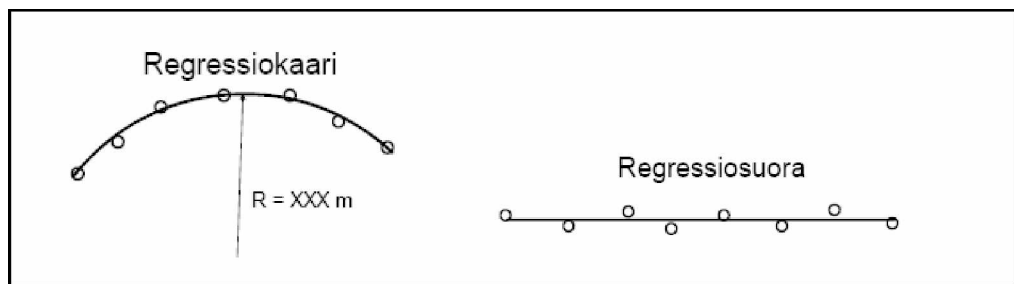
Ratapihan raiteet suunnitellaan noudattamaan ratapihan yleismuotoa. Suorilla ratapihoilla raiteet on pyrittävä saamaan suoriksi ja samansuuntaisiksi. Pienet kulma-  
muutokset tulisi pyrkiä siirtämään ja yhdistämään vaihdekujan ja raiteiden hyöty-  
tuuden väliselle alueelle raiteen päähän yleensä tulevaan kaarteeseen. Myös vaihde-  
kujat on pyrittävä tekemään suoraksi. Jos ratapihan yleismuoto on kaareva, on kaikki

raiteet kaarrettava samalla kohdalla ja suunnilleen samankeskeisillä ympyränkaarilla. Opastimien näkyvyys on varmistettava erityisesti kaarevia ratapihoja suunniteltaessa.

Useampiraiteisten ratojen linjaraiteet suunnitellaan pääsääntöisesti samalle korkeusviivatasolle. Ratapihalla viereisten raiteiden korkeusviiva on pyrittävä suunnittelemaan samalle korkeusviivatasolle. Samalla tasolla olevat raiteet tekevät ratapihat ja linjan selkeäksi ja mm. helpottavat sähköradan ja turvalaitteiden portaalien ja tasoristeyksien rakentamista, ratapihalla kulkemista, lumitöitä ym. Jos vierekkäisillä raiteilla on korkeuseroa, on tarkastettava, että raiteet eivät mene toistensa ATUun.

#### 4.7.3 Regressiolaskenta

Kun määritellään olemassa olevalle raiteelle geometriaa, se perustuu nykyisen raiteen kartoitukseen ja sen perusteella tehtävään suunniteluun. Suunnittelussa etsitään regressiosuorien ja kaarteiden avulla mahdollisimman hyvin nykyistä raidetta seuraavaa geometriaa. Kartoituspisteistä pyritään löytämään suorien alueella olevat pisteet ja kaarteiden alueella olevat pisteet. Näille voidaan sitten sovittaa pienimmän neliösumman menetelmällä niitä mahdollisimman hyvin noudattava suora tai kaarre ja kaarresäde (kuva 52).



Kuva 52 Regressiokaari ja suora (R Taimela 2007)

Geometrian ei tarvitse seurata kartoitusta aivan tarkasti, vaan raiteille sallitaan tietty poikkeamaa suunnitelman geometriasta. Vaakapoikkeaman toleranssi on 20...120 mm ja korkeuspoikkeaman toleranssi 10...250 mm /3/. Näitä ja tarvittaessa suurempiakin mittoja voidaan käyttää suunnittelussa hyväksi jos on tarkoitus oikoa raidetta seuraavan kunnossapidon tukemisen yhteydessä kohti teoreettista asemaansa.

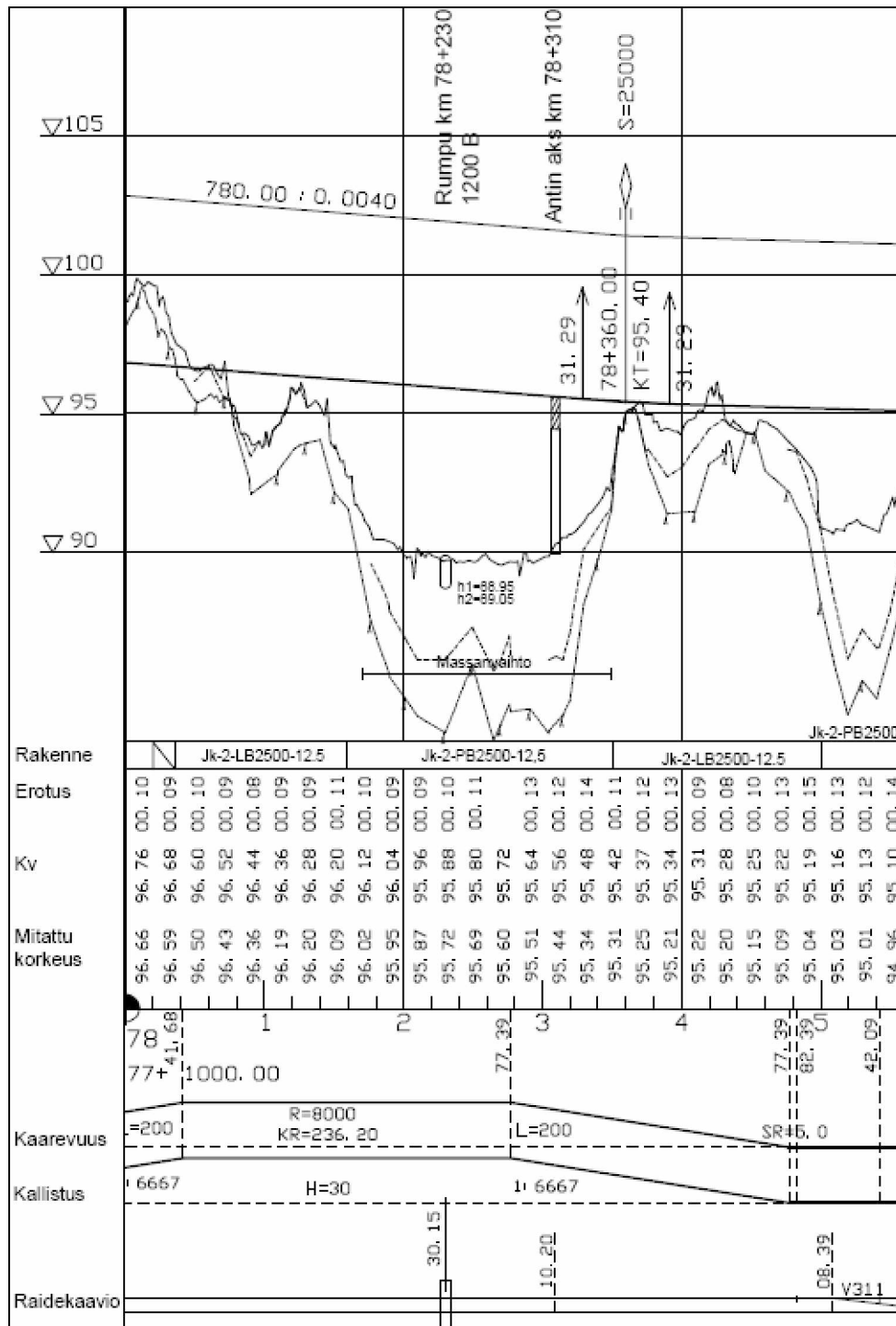
#### 4.7.4 Uuden raiteiston suunnittelu

Uuden raiteiston ja linjan suunnittelu on raidegeometrian puolesta vapaampaa, kun se ei ole riippuvaista nykyisistä raiteista muualla kuin liityntäkohdissa. Liityntäkohdan nykyisistä raiteista hankitaan tarvittavat tiedot liitynnän suunnittelua varten.

Uudella alueella raidegeometrian suunnittelua ei ohjaa vanha raiteisto, mutta siellä saattaa olla muita ehtoja ja esteitä suunnittelulle. Raidegeometria tehdään näitä ehtoja ja esteitä väistellen suunnitteluperusteiden mukaiseksi. Uuden raiteen suunnittelun tavoitteena on, että raidegeometria tehdään mahdollisimman hyväksi. Suunnittelijan on mietittävä, mikä ero on hyväksyttävällä ja hyvällä raidegeometrialla. Uuden raiteen suunnittelussa pitää pyrkiä hyväksyttävän lisäksi hyvään, koska tämä ei aiheuta uudella alueella yleensä lisäkustannuksia. Hyvän geometrian eräitä tunnusmerkkejä on, että suunnittelussa käytetään korkeintaan suositeltavia raja-arvoja ja geometria on yksinkertaisen selkeää.







Kuva 55 Raidegeometria pituusleikkauksessa (Liikennevirasto 2008)

Pituusleikkauksen osasuurennoksessa (kuva 55) raidegeometria esitetään seuraavasti:

#### Korkeusviiva korkeusasteikolla

780.00	kaltevuusjakson pituus [m]
0.0040	kaltevuusjakson kaltevuus (tässä suhteellinen kaltevuus)
31.29	tangenttipisteiden etäisyys kulmapisteestä [m]
78+360.00	taitepisteen paikka, km+m 78 + 360.00
KT=95.40	taitteen kulmapisteen korkeus (korkeusjärjestelmä N60 nimi-lapussa)

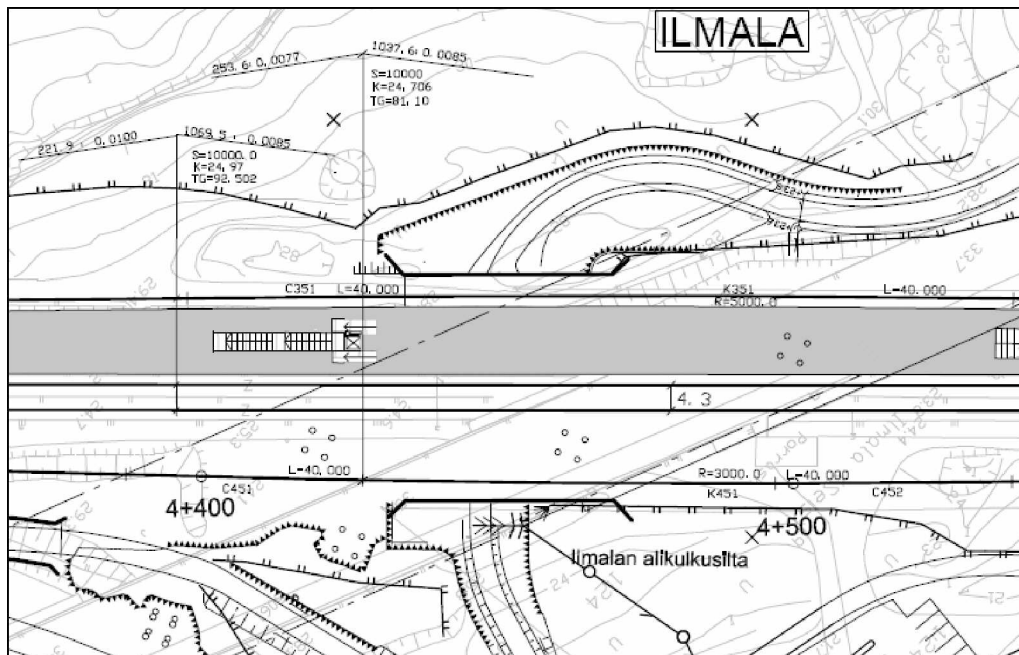
S=25000 pyöristyskaarresäde [m]  
 Kv 96.76 korkeusviivan korkeus km+m 78+020

#### Vaakageometria, kaarevuusviiva

R=8000 Kaarresäde [m]  
 KR=236.20 ympyränkaaren pituus [m]  
 L=200 siirtymäkaaren pituus [m]  
 SR=5.0 suoran pituus [m] jonka jälkeen on raidekaavion mukaan V311 etujatkos  
 41.68 siirtymäkaaren loppu/ympyränkaaren alku km+m 78+041.68  
 77.39 ympyränkaaren loppu/siirtymäkaaren loppu km+m 78+277.39  
 77.39 siirtymäkaaren alku/suoran alku km+m 78+477.39  
 08.39 vaihteen V311 matemaattinen piste km+m 78+508.39

#### Vaakageometria kallistusviiva

1:6667 kallistusviisteen kaltevuus 1:n  
 H=30 raiteen kallistus [mm]



Kuva 56 Raidegeometria suunnitelmakartassa (Liikennevirasto 2008)

Suunnitelmakartan osasuurenoksessa (kuva 56) raidegeometriasta on esitetty mm. seuraavat tiedot:

#### Korkeusviiva

Kolmen ylimmän raiteen taitepiste

taitepisteelle tuleva kaltevuus, taitepisteen vasemmalla puolella  
 kaltevuusjakson viiksen suunta, ylämäkeä oikealle päin

221.9 kaltevuusjakson pituus [m]

0.0100 kaltevuusjakson kaltevuus (tässä suhteellinen kaltevuus)

taitepisteen tiedot

S=10000	pyöristyskaarresäde [m]
K=24.97	taitteen kulmapisteen korkeus
TG=31.29	tangenttipisteiden etäisyys kulmapisteestä [m]

taitepisteeltä lähtevä kaltevuus, taitepisteen oikealla puolella  
kaltevuusjakson viiksen suunta, alamäkeä oikealle päin  
1069.5 kaltevuusjakson pituus [m]  
0.0085 kaltevuusjakson kaltevuus (tässä suhteellinen kaltevuus)

Seuraava taite koskee vain alinta raidetta

#### Vaakageometria

ylimmän raiteen geometria, elementtien rajat ohuissa pystyviivoissa

C351	siirtymäkaaren tunnus
L=40.000	siirtymäkaaren pituus [m]
K351	ympyränkaaren tunnus
R=5000.0	kaarresäde [m]
C352	siirtymäkaaren tunnus
L=40.000	siirtymäkaaren pituus [m]

#### Km+m -mittaus

4+400	pituusmittaus pituusmittausraiteella
-------	--------------------------------------

#### 4.7.7 Suunnitteluohjelmat

Raidegeometrian ja raiteiston suunnittelu tehdään lähes yksinomaan tietokoneen suunnitteluohjelmilla. Markkinoilla on käytössä useita eri tuottajan ohjelmistoja, esimerkiksi Tekla Xstreet, Novapoint Railway ja Bentley RailTrack. Laajimmat ohjelmistopakettit ovat yleisiä suunnitteluohjelmistoja, jota voidaan käyttää sekä teiden että ratojen suunnitteluun. Näihin ohjelmistoihin voidaan liittää tarpeen mukaan eri osia moduuleina. Yksi tällainen moduuli voi olla esimerkiksi ratasuunnittelumoduuli.

Ratasuunnittelumoduulin avulla voidaan suunnitella sekä ratalinjaa että ratapihoja. Ohjelmisto käsittää raidegeometrian mitoitusfunktiot ja mahdollistaa paikallisten ohjeiden mitoitusarvojen sekä projektikohtaisten tarkennusten tallentamisen ohjelmiston käyttöön. Ratasuunnittelumoduuli voi sisältää esimerkiksi mahdollisuuden luoda tietokantaan kirjaston vaihteista, tasoristeyksistä ym. toistuvista rakenneosista. Ohjelmistojen tärkeimpiä ominaisuuksia on mahdollisuus sijoittaa graafisesti ja vapaasti raiteen elementtejä suunnittelupohjalle. Raiteiston geometrian elementtien määrittely voidaan tehdä graafisesti osoittamalla tai määrittämällä mittoja graafisista elementeistä. Käyttäjä voi valita ja vaihdella osoitusmenetelmää tilanteen mukaan. Geometrian elementit, suorat, ympyränkaaret, siirtymäkaaret ja vaihteet voidaan sijoittaa, määritellä, kopioida ja liittää toisiinsa. Käyttäjä voi määritellä näitä tietoja tai ohjelma huolehtii niistä. Ohjelmistot tekevät elementtien mitoituksen, yhteensopivuuden ja yhdistämisen määriteltyjen ohjeiden mukaisesti. Tärkeimpänä ohjelmistojen käytössä on tuloksena saatava kolmiulotteinen raiteiston geometrian malli.

Ohjelmistopaketti sisältää mahdollisuuden luoda kartoituspisteille regressioelementtejä ja analyysin siirtymistä. Tällä voidaan tehdä nykyistä raiteistoa mahdollisimman hyvin kuvaava geometria raiteiston kartoituksen pohjalta.

Ohjelmistopakettit perustuvat maastomallissa tehtävään suunnitteluun mutta niillä voidaan työskennellä myös kaksiulotteisella kartta- tai pistepohjalla. Maastomallissa, johon on talletettu pohjatutkimustietoa, voidaan tehdä alusrakenteen rakennesuunnittelua ja massalaskentaa.

Ohjelmistoilla voidaan suunnitella myös pystygeometriaa samoin joko antamalla numeerisia arvoja tai osoittamalla graafisena suunnitteluna.

Ohjelmistot mahdollistavat suunnitelman esittämisen ja tulostamisen erilaisina suunnitelmakarttoina, pituusleikkauksina, siirtymäkuvina, poikkileikkauksina ja yksityiskohtien piirustuksina. Ohjelmat pystyvät lukemaan lähtötietoja ja tulostamaan laskennan tulokset yleisesti käytetyissä tiedostoformaateissa.

## 4.8 Kaarteen suunnittelu

Geometrian suunnittelussa on katsottava tilannetta aina yhtä elementtiä laajemman kokonaisuuden kannalta. Läpikulkevalla linjaraitteella on asiaa katsottava usean kilometrin osuuksissa ja sivuraitteilla koko raiteen matkalla vaihteet mukaan lukien. Katso kohtaa 4.3.1.

Kaarteen, jossa on ympyränkaari ja siihen liittyvät siirtymäkaaret, on mitoitettava vähintään seuraavat asiat huomioiden:

### **Kallistuksen vajakseen perustuva mitoitusmenetelmä**

- Kallistuksen vakausta ympyränkaareessa
- Kallistuksen vakausta ympyränkaareessa hitailla tavarajunilla
- Kallistuksen vajakseen muutosnopeus siirtymäkaareissa
- Kallistusviisteen jyrkkyys

### **Poikittaiskiihtyvyyteen perustuva mitoitusmenetelmä**

- Poikittaiskiihtyvyys ympyränkaareessa
- Negatiivinen poikittaiskiihtyvyys ympyränkaareessa hitailla tavarajunilla
- Nykäys siirtymäkaareissa
- Kallistusviisteen jyrkkyys

### **Kaarteen optimointi normaaliarvoille**

Uuden kaarteen mitoitus normaali- ja suositeltaville arvoille voidaan tehdä esim. seuraavasti:

1. Valitaan ympyränkaarelle suositeltava kaarresäde.
2. Lasketaan, mikä on mitoitusnopeuden mukainen raiteen normaalikallistus tässä kaarresäteessä.
3. Lasketaan raiteen kallistuksen ja mitoitusnopeuden mukainen kallistuksen vajakseen arvo ja tarkastetaan, että se riittää mitoitusnopeudelle.
4. Tarkastetaan, että liikakallistuksen arvo hiljaisella nopeudella ei ole liian suuri. Lasketaan, mikä on kallistuksen vakausta nopeudella 60 km/h ja katsotaan, että se ei ole (negatiiviselta) lukuarvoltaan kallistuksen vajakseen suositeltavaa (negatiivista) arvoa pienempi.

- 4.1. Jos on, mitoitusnopeuden mukainen normaalikallistus on liian suuri, ja mitoitusnopeutta ei saavuteta normaaliarvoilla.
- 4.2. Kaarresädettä on suurennettava, jotta voidaan käyttää normaaliarvoa. Aloitetaan alusta uudella kaarresäteellä.
- 4.3. Onko kallistus muuten liian suuri? Pysähdyspaikka opastimelle, 120 mm, laiturilla 60–100 mm, rajoittaako tavaraliikenne kallistuksen esim. 120 mm, ym.?
5. Määritetään kallistusviisteen/siirtymäkaaren pituus lasketulle kallistukselle ja mitoitusnopeudelle niin, että viistekerroin  $n$  on vähintään 10V.
6. Tarkastetaan siirtymäkaaren pituuden riittävyys. Lasketaan, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus on korkeintaan suositeltava arvo.
  - 6.1. Jos kallistuksen vajauksen muutosnopeus on yli suositeltavan arvon, siirtymäkaari/kallistusviistettä on pidennettävä.
7. Tarkastetaan vielä, että geometria riittää myös tavoitenopeudelle. Tehdään sama tarkastelu tavoitenopeudelle ja sen mukaiselle raiteen kallistukselle. Riippuu suunnitteluperusteista, onko tavoitteena suositeltavat arvot myös tavoitenopeudelle, mutta vähintään minimiarvojen on täytyttävä.
8. Jos siirtymäkaaren/kallistusviisteen pituus on aivan suositeltavan arvon rajalla, elementtiä voisi vielä pidentää vähän, jos se on mahdollista, niin ollaan reilusti suositeltavalla arvoalueella.

#### **Maksimi kaarrenopeus, optimointi minimiarvoilla**

Maksiminopeuden ja raiteen kallistuksen optimointi olemassa olevaan kaarteeseen, jossa kaarresäde ja siirtymäkaari/kallistusviisteen pituudet ovat nykyiset, voidaan tehdä seuraavasti käyttäen minimiarvoja:

1. Lasketaan, mikä on kaarteessa sallittu maksiminopeus raiteen maksimikallistuksella 150 mm ja kallistuksen vajauksen raja-arvolla.
2. Alennetaan mitoitusnopeus edelliseen tasaan 10 km/h:n kerrannaiseen ja lasketaan sitä vastaava minimikallistus ja kallistuksen vajaus.
3. Tarkastetaan, että liikakallistuksen arvo hiljaisella nopeudella ei ole liian suuri. Lasketaan, mikä on kallistuksen vajaus nopeudella 60 km/h ja katsotaan, että se ei ole (negatiiviselta) lukuarvoltaan kallistuksen vajauksen suositeltavaa (negatiivista) arvoa pienempi.
  - 3.1. Jos on, kallistus on liian suuri, sitä pienennetään ja lasketaan uusi maksiminopeus.
  - 3.2. Tätä jatketaan, kunnes todetaan, että kallistus ei ole liian suuri.
  - 3.3. Onko kallistus muuten liian suuri? Pysähdyspaikka opastimelle, 120 mm, laiturilla 60–100 mm, rajoittaako tavaraliikenne kallistuksen esim. 120 mm ?
4. Tarkastetaan kallistusviisteen pituuden riittävyys. Tarkastetaan, onko viisteen kaltevuus lasketulla kallistuksella ja nopeudella vähintään  $n = 8V$ .
  - 4.1. Jos kerroin on alle 8, palataan kohtaan 2, lasketaan nopeus edelliseen 10 km/h:n kerrannaiseen ja tehdään näillä raiteen kallistuksen ja mitoitusnopeuden arvoilla uusi yritys.
5. Tarkastetaan siirtymäkaaren pituuden riittävyys. Lasketaan, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus ei ylitä maksimiarvoa.
  - 5.1. Jos ylittyy, palataan kohtaan 2, lasketaan nopeus edelliseen 10 km/h:n kerrannaiseen ja tehdään näillä raiteen kallistuksen ja mitoitusnopeuden arvoilla uusi yritys.
6. Jos kallistusviiste/siirtymäkaaren pituus ei ole rajana, kallistusta voidaan hieman lisätä, jolloin ei olla ihan minimiarvossa. Tarkastetaan sitten vielä kaikki kohdat tällä uudella kallistuksen arvolla.

7. Jos kaarre mitoitetaan nyt jo maksiminopeudelle, siinä ei ole myöhemmin varaa nostaa mahdollisesti suuremmalle tavoitenopeudelle.

### Maksiminopeuden laskenta

Lasketaan, mikä on maksiminopeus kaarteessa, jonka kaarresäde, raiteen kallistus ja siirtymäkaaren ja kallistusviisteen pituus on jo määrätty. Tällaisissa tapauksissa lasketaan yleensä nopeuden tarkka arvo, jos esimerkiksi halutaan katsoa kuinka lähelle seuraavaa 10 km/h:n kerrannaista se on. Maksiminopeutta laskettaessa käytetään minimiarvoja esim. seuraavasti:

1. Lasketaan, mikä on kaarteessa sallittu maksiminopeus olemassa olevalla raiteen kallistuksella ja kallistuksen vajauksen raja-arvolla.
2. Kokeillaan saadulla maksiminopeudella, riittääkö kallistusviiste ja siirtymäkaaren pituus sille.
3. Todetaan, liikakallistuksen arvo hiljaisella nopeudella. Lasketaan, mikä on kallistuksen vajoaus nopeudella 60 km/h. Kallistus on jo määritetty, sitä ei nyt muuteta, vaikka kallistus olisi liian suuri.
4. Tarkastetaan kallistusviisteen pituuden riittävyys. Tarkastetaan, onko viisteen kaltevuus vähintään  $n = 8V$ . Jos viiste on jyrkempi, lasketaan mikä on nopeus kaltevuudella  $8V$ .
5. Tarkastetaan siirtymäkaaren pituuden riittävyys. Lasketaan, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus ei ylitä maksimiarvoa. Jos ylittyy, pudotetaan nopeutta, lasketaan uusi kallistuksen vajoaus ja uusi kallistuksen vajauksen muutosnopeus.

## 4.9 Turvalaitteet

Turvalaitteilla ja liikennöinnin määräyksillä varmistetaan liikennöinnin turvallisuus. Turvalaitteet yhdessä muun ratainfraan kanssa muodostavat ja mahdollistavat radan liikenteen toiminnallisen perustan ja liikenteen välityskyvyn.

Raiteiston suunnittelu ja sähköradan laitteet vaikuttavat merkittävästi turvalaitteiden toimintaan ja sijoitteluun. Parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi nämä on suunniteltava yhteistyönä kaikkien eri osa-alueiden kesken.

Turvalaitteiden vaikutuksesta raiteiston suunnitteluun on jo käsitelty mm. raiteen pituuden, raidevälien ja nopeusasioiden yhteydessä.

Turvalaitteet on ohjeistettu RATO:n osissa 6 Turvalaitteet ja 10 Junien kulunvalvonta JKV. Tässä on muutamia niissä esitettyjä määritelmiä:

**Junakulkutieraide** on raide, jolla ovat raideosuudet voivat olla osana juna-kulkutietä.

**Junien kulunvalvonta (JKV)** on järjestelmä, joka valvoo yksikön suurinta nopeutta.

**Kulkutie**, tässä RATO:n osassa kulkutiellä tarkoitetaan turvalaitejärjestelmän varmistamaa reittiä kulkutien alku- ja päätepisteen välille. Kulkutiehen kuuluvat sillä olevat opastimet, vaihteet, raiteensulut ja raideosuudet. Kulkutiehen liittyvät mahdolliset sivusuoja- ja ohiajovaraelementit. Kulkutie voidaan var-

mistaa juna- tai vaihtokulkutien ehdoin. Suojastusjärjestelmän varmistettu suojaväli rinnastetaan varmistettuun kulkutiehen.

**Kulkutieraide** on raide, jolla olevat raideosuudet voivat olla osana juna- tai vaihtokulkutietä.

**Kulkutievaihde** on sellainen kulkutiellä oleva vaihde, jonka kautta voidaan varmistaa juna- tai vaihtokulkutie molempiin vaihteen haaroihin.

**Näkemä** on raiteen keskeltä  $2000 \pm 1000$  mm kiskon selän yläpuolelta todettu etäisyys, jolta opastin tai merkki on nähtävissä. Näkemää arvioitaessa on oletettava, että viereiset raiteet ovat täynnä umpinaista kalustoa.

**Opastimen edessä** tarkoittaa radan suuntaista aluetta, jonka suuntaan opastinlamput ovat nähtävissä.

**Opastimen takana** tarkoittaa aluetta, jonka suuntaan opastinlamput eivät ole nähtävissä.

**Sivusuoja** on elementti, jolla suojataan varmistettua kulkutietä tai paikallisluparyhmää, jonka paikallislupa on annettuna, muulta liikennöinniltä.

**Valvontanopeus** on nopeus, jolla JKV sallii lähestyä Seis-opastetta näyttävää opastinta, ellei JKV samalla valvo valvontanopeutta pienempää nopeutta. Nopeus voi opastimen kohdalla olla suurempi kuin valvontanopeus vain, kun JKV on saanut tiedon ajon sallivasta opasteesta. Valvontanopeus voi olla kiinteä tai yksikön jarrutuskykyyn ja baliisisanomman ohiajovaratietoon perustuva laskennallinen valvontanopeus.

Raiteiston suunnittelussa tärkeimpiä ovat ehkä pääopastimet, mutta esimerkiksi ATUn vaatimukset koskevat kaikkia opastimia. Pääopastimen opasteilla välitetään tieto kyseiseltä opastimelta alkavasta kulkutiestä seuraavalle pää- tai suojastusopastimelle tai junakulkutien päätekohtaan asti. Pääopastimen opasteella voidaan välittää myös tieto siitä, onko kulkutiellä sallittu nopeus pienempi kuin raiteen suurin nopeus esim. kulkutiellä olevan poikkeavaan asentoon käännetyn vaihteen vuoksi.

Ratapihan raidevälit on suunniteltava niin, että opastimet saadaan sijoitettua tarvittaville paikoilleen. Opastimet on sijoitettava ATUn ulkopuolelle. Liikennepaikalla opastimet on sijoitettava raiteen oikealle puolelle. Opastinmasto on pyrittävä sijoittamaan vähintään 2500 mm etäisyydelle raiteesta. Pääraiteella etäisyyden on oltava vähintään 2500 mm ja sivuraiteella vähintään 2200 mm. Opastimet voidaan sijoittaa myös ulokkeeseen tai portaaliin, jolloin jokaiselle opastimelle ei tarvita omaa mastoa sen raiteen viereen, vaan opastin ripustetaan portaalista ja sijoitetaan ATUn kapean yläosan kohdalle. Ulokkeen ja portaalin pylväät on pyrittävä sijoittamaan ensisijaisesti 3100 mm etäisyydelle. Etäisyyden on oltava liikennepaikalla vähintään 2500 mm ja linjalla vähintään 2750 mm. Suurkuljetusraiteella opastinmasto on pyrittävä sijoittamaan vähintään 2500 mm etäisyydelle. Opastinulokkeen ja -portaalin pylväät on pyrittävä sijoittamaan 3100 mm etäisyydelle ja vähimmäismitta on liikennepaikalla 2500 mm ja linjalla 2750 mm /7/.

Linjalla opastimien sijoittamiseen vaikuttavat mm. seuraavat syyt:

- Kolmi- tai useampiraiteisella radalla kaikkien raiteiden opastimet pyritään sijoittamaan samaan kohtaan radan poikkileikkaukseen.
- Eri suunnan opastimet pyritään sijoittamaan samaan kohtaan.
- Opastin on sijoitettava ensisijaisesti raiteen oikealle puolelle
- Opastimelta on jätävä tarvittava etäisyys turvattavaan kohtaan.
- Opastimelle on saatava riittävä valvontanopeus.
- Opastimen näkemä on oltava riittävä.
- Opastimelle saadaan riittävä esiopastinetäisyys.
- Radan korkeusviiva on oltava sopiva. Ennen opastinta ei saa olla jyrkkää alamäkeä ja opastimen jälkeen ei saa olla jyrkkää ylämäkeä.

Pääopastinta ei saa sijoittaa kohtaan, jossa raiteen pituuskaltevuus on yli 15 ‰ ja pääopastimen sijoittamista kohtaan, jossa raiteen pituuskaltevuus on yli 7,5 ‰ on vältettävä. Pituuskaltevuuden tarkastelussa on huomioitava suurin pituuskaltevuus molempiin suuntiin tarkasteltuna 1000 metriä osuudella, joka alkaa 500 metriä ennen opastinta ja päättyy 500 metriä opastimen jälkeen /7/.

Pääopastin on sijoitettava vähintään seuraavan matkan päähän ennen vaihteen rajamerkkiä:

- uusi tai muutettava raiteisto 60 m
- olemassa oleva raiteisto 20 m
- opastin ei päätä junakulkutietä 5 m

Pääopastin on sijoitettava vähintään seuraavan matkan päähän ennen vaihteen etujatkosta:

- pitkä vaihde 35 m
- lyhyt vaihde 10 m
- turvavaihde 5 m

Esiopastimen etäisyys pääopastimesta on oltava riittävä. Esiopastinetäisyyteen vaikuttavat raiteen suurin nopeus ja opastimen jarrutusalueen määräävä kaltevuus /7/.

Jos nopeus on 500 metrin matkalla ennen pääopastinta korkeintaan 35 km/h, esiopastinetäisyyden on oltava vähintään 500 metriä.

Jos nopeus on 800 metrin matkalla ennen pääopastinta korkeintaan 50 km/h, esiopastinetäisyyden on oltava vähintään 800 metriä.

Muuten esiopastinetäisyyden on oltava vähintään 1200 metriä.

Jos opastimen jarrutusalueen määräävä kaltevuus on jyrkkää alamäkeä opastimelle päin, näihin mittoihin on lisättävä seuraava matka:

- $\leq 5 \text{ ‰}$ , lisättävä 0 metriä
- $\leq 7,5 \text{ ‰}$ , lisättävä 150 metriä
- $\leq 10 \text{ ‰}$ , lisättävä 300 metriä
- $> 10 \text{ ‰}$ , lisättävä 800 metriä

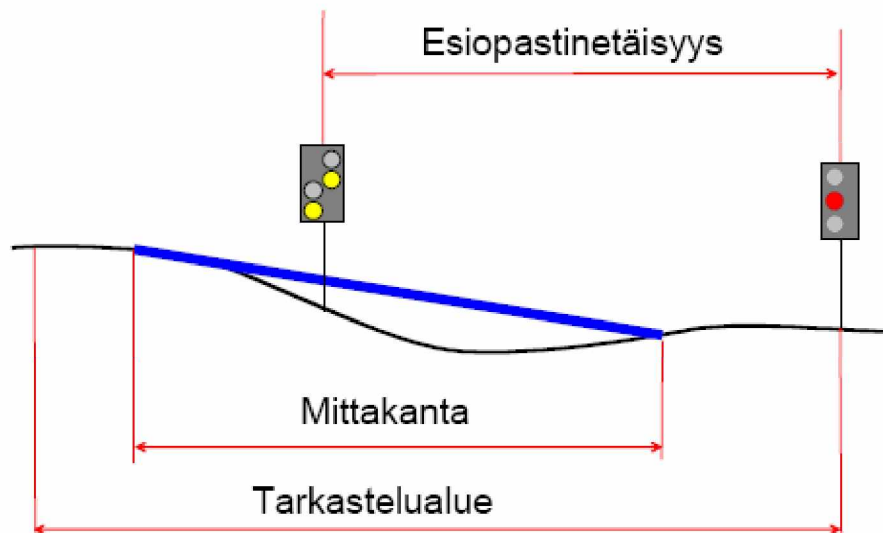
Opastimen määräävä kaltevuus on ennen opastinta olevalla tarkastelualueella oleva mittakannan pituisen alueen jyrkin laskennallinen kaltevuus opastimelle päin (kuva 57). Mittakannan kaltevuus on mittakannan etäisyydellä toisistaan olevien radan korkeusviivan pisteiden välinen kaltevuus.



## Opastinvälin määräävä kaltevuus

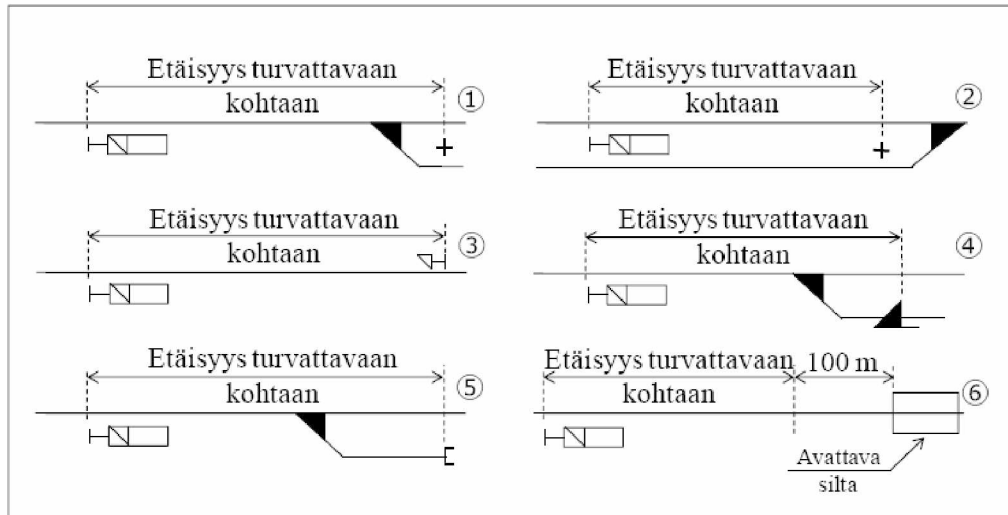
Opastinvälin määräävä kaltevuus on jyrkin laskennallinen mittakannan kaltevuus tarkastelualueella ennen opastinta.

- A) Jos esiopastinetäisyys on vähintään 1200 m  
tarkastelualue on 1800 m  
mittakanta on 1200 m
- B) Jos esiopastinetäisyys on alle 1200 m  
tarkastelualue on esiopastinetäisyys + 600 m  
mittakanta on esiopastinetäisyys



Kuva 57 Opastimen määräävä kaltevuus /7/

Opastimen sijoittamisessa on tärkeää, että opastimelle saadaan riittävä valvontanopeus. Valvontanopeus riippuu opastimen takana olevan ohiajovaran pituudesta. Ohiajovara on opastimen takana oleva matka opastimelta turvattavaan kohtaan. Jos matka jää lyhyeksi, valvontanopeus jää alhaiseksi, se vie radan kapasiteettia. RATO:n osassa 7 on esimerkkejä opastimen ja turvattavan kohdan välisen etäisyyden vaikutuksesta junien valvontanopeuteen. Valvontanopeutta on käsitelty tarkemmin kohdassa 3.9.2 ja RATO:n osissa 6 ja 10.



Kuva 58 Opastimen ja turvattavan kohdan välinen etäisyys /10/

Sähköradalla erotusjaksot ja imumuuntajat vaikuttavat toistensa sijoitukseen. Pääopastimelta on jäätävä riittävä kiihdytysmatka opastimen takana olevalle erotusjaksolle ja opastin on sijoitettava niin pitkälle erotusjaksosta, että pääopastimen eteen jää pysähtyvälle junalle riittävästi tilaa erotusjaksosta jälkeen. Suositeltava mitta on vähintään 500 metriä ja minimi 320 metriä /7/. Pääopastimelle pysähtyvä juna ei saa oikosulkea imumuuntajakenttää. Pääopastimen on oltava vähintään 320 metrin päässä imumuuntajan jälkeen ja imumuuntajan on oltava vähintään 30 metriä päässä opastimen jälkeen. Sivusuunnassa opastimesta on jäätävä riittävä etäisyys jännitteisiin johtimiin /7/. Pituussuunnassa opastimen ja ratajohtopylvään välin suositeltava vähimmäismitta on 5 metriä.

Pääopastin on pyrittävä sijoittamaan siten, että pääopastimelle pysähtynyt juna ei estä tieliikennettä ennen opastinta olevassa tasoristeyksessä. Pääopastimen sijoittamista tasoristeyksen hälytysosuudelle on pyrittävä välttämään.

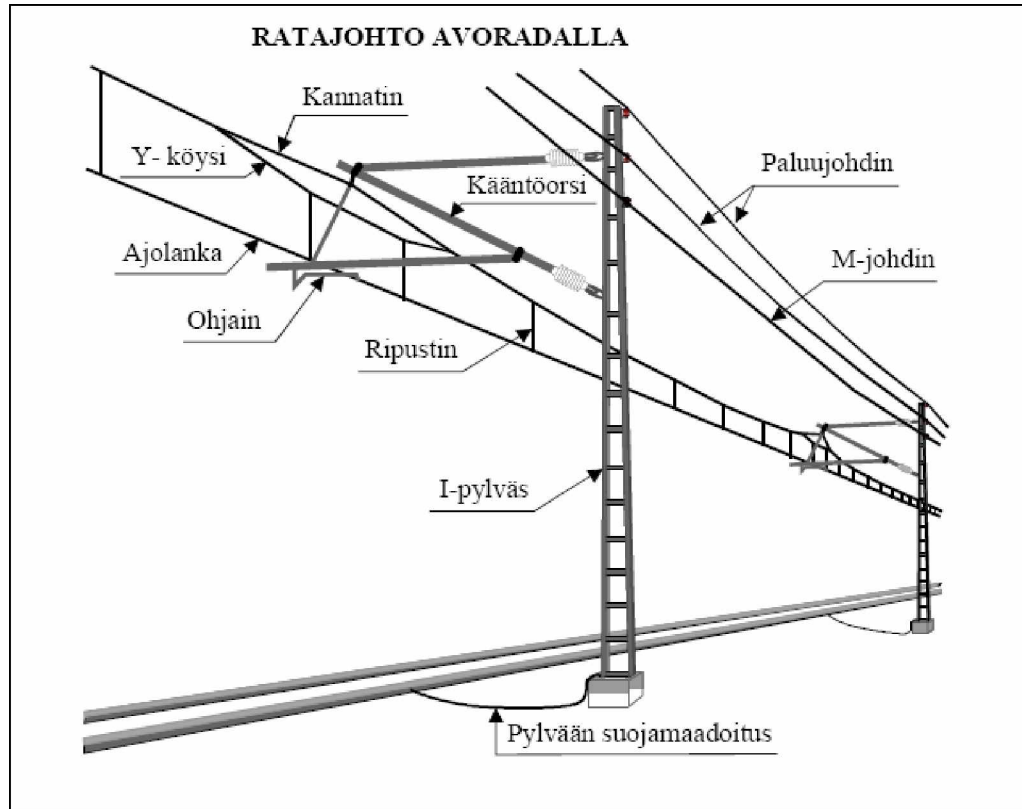
Pääopastinta ei saa sijoittaa laituriraiteelle matkustajalaiturin kohdalle ja pääopastimen on oltava vähintään 40 metriä laiturin päästä eteenpäin. Ennen laituria olevan pääopastimen suositeltava etäisyys laiturin päähän on vähintään 350 metriä /7/.

## 4.10 Sähkörata

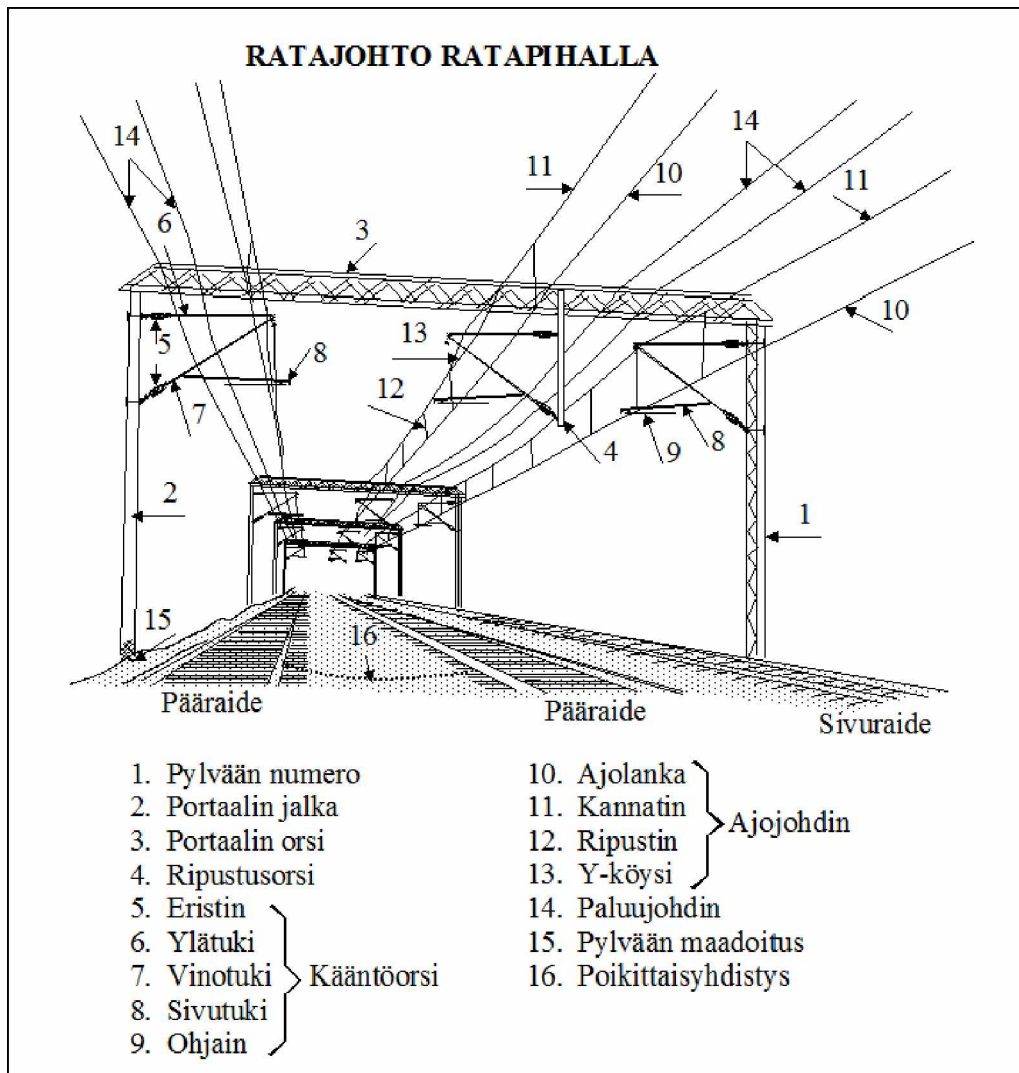
Raiteiston geometrian suunnittelijan on otettava radan sähköistys huomioon raiteiston suunnittelussa. Ratapihasuunnittelijan on mietittävä sähköradan vaatimukset ja parhaiten tämä käy yhteistyössä sähköradan suunnittelijan kanssa. Ratapihan sähköistäminen käy helpommin ja päästään selkeämpään ja edullisempaan ratkaisuun, kun asiat mietitään jo ratapihasuunnittelun alussa. Tärkeitä asioita ovat raidevälit sähköradan pylväille ja vaihteiden pituussuuntainen sijoittelu.

Korkeusviivan suunnittelussa on huomioitava, että sähköistettävillä raiteilla jää vähintään ATUn mukainen sähköistykseen vaatima vapaa aukon korkeus ylikulkusiltojen ja muden kohteiden alle. Kaikilla uudisrakennuksilla varaudutaan sähköistykseen lukuun ottamatta kuormaus- ja purkausraiteita tai muita erikoiskäyttöön tarkoitettavia raiteita /1/.

Sähkörataan kuuluvat kytkinlaitokset ja ratajohto. Kytkinlaitoksilla hoidetaan sähkön syöttö järjestelmään ja ratajohto on radalla näkyvä osa sähkörataa. Ratajohto on se osa sähkörataa, jonka kanssa raiteiden suunnittelija on tekemisissä. Seuraavana on kaksi yleiskuvaa sähköradan ratajohdosta, toinen avoradalta ja toinen ratapihalta.



Kuva 59 Ratajohto avoradalla (Sähkörataohjeet, Liikennevirasto 2009)



Kuva 60 Ratajohto ratapihalla (Sähkörataohjeet, Liikennevirasto 2009)

Ratajohtopylväiden sijoituspaikkojen tarve määräytyy tarvittavista ajolangan ripustuspisteistä. Ajolangan ripustuspisteiden paikat määräytyvät siitä, että ajolanka pysyy sivusuunnassa junan virroittimen toiminta-alueella. Suurin ajolangan jännepituus on suoralla raiteella 70 metriä, mutta ratapihoilla käytetään yleensä korkeintaan 50–65 metriä jännepituutta. Erikoisrakenteet pienentävät suurinta mahdollista pituutta. Käytännössä ajolangan jännepituus tarkoittaa sähköradan pylväsväliä.

Raiteen kaarre vaikuttaa maksimijännepituuteen. Kun kaarresäde on 1200 metriä, maksimijännepituus on 70 metriä, ja kun kaarresäde on 600 metriä, maksimijännepituus on noin 50 metriä ja kun kaarresäde on 300 metriä, maksimijännepituus on 40 metriä.

Vaihteen poikkeavan raiteen ajolanka on saatava ripustettua suunnilleen vaihteen matemaattisen pisteen kohdalla. Vaihteen poikkeavan raiteen seuraava ripustuskohta on suunnilleen vaihteen jälkeisen vastakaaren kulman kohdalla. Tämän vuoksi on edullista sijoittaa vaihteet pituussuunnassa samalle kohdalle, vastakaaren kulman kohdalle tai jännevälin välein.

Ratajohtopylväille on jätettävä riittävästi tilaa mitoittamalla pylväille tarkoitetut raidevälit vähintään taulukon 11 mukaan.

Taulukko 11 Ratajohtopylvään vaatima raidevälisuoralla raiteella /4/

	Raideväli [mm]		
	pääraide-pääraide	pääraide-sivuraide	sivuraide-sivuraide
Uusi pylväs	3100 + P + 3100	3100 + P + 3100	<b>3100 + P + 3100</b>
Käytössä oleva pylväs	2750 + P + 2750	2750 + P + 2500	<b>2500 + P + 2500</b>
<b>Liikenneviraston erikseen myöntämällä luvalla</b>	<b>2500 + P + 2500</b>	<b>2500 + P + 2500</b>	<b>2200 + P + 2200</b>

Taulukossa pylväiden vaatima tila, P on erilainen eri pylvästyypeille. Pylvästyyppejä ovat I-, P- ja R -pylväät. Pylvästyyppejä voidaan käyttää esimerkiksi alla luetelluissa kohteissa. Ajolangan ripustus voidaan tehdä joko yksittäisestä pylvästä tai portaalin orresta:

Yksittäinen pylväs on nimeltään I-pylväs. Se on sijoitettava sähköistettävän raiteen viereen. I-pylvästä voidaan ripustaa sen kummallakin puolella olevan raiteen ajolanka. Pylvään leveys on 460 mm ja rataa vastaan kohtisuoran etäisyyden toleranssi on  $\pm 30$  mm. Taulukon P=520 mm.

Portaalista voi sähköistää useita raiteita. Sen jalkaväli pylvään keskeltä mitaten voi olla korkeintaan 28 metriä. Se voi ulottua ratapihalla viiden normaaliraidevälin etäisyydellä olevan raiteen yli. Jalkaväli voi olla portaattomasti lyhyempi, kuin 28 metriä. Portaalin jalka on nimeltään P-pylväs. Sen leveys on 200...280 mm ja rataa vastaan kohtisuoran etäisyyden toleranssi on  $\pm 30$  mm. Taulukon P=340 mm. P-pylväitä käytetään myös yksittäisinä pylväinä erikoistapauksissa.

Kehäportaalin jalkaväli voi olla pylvään keskeltä mitaten korkeintaan 48 metriä. Se voi ulottua ratapihalla yhdeksän normaaliraidevälin etäisyydellä olevan raiteen yli. Jalkaväli voi olla tätä lyhyempi pylvään keskeltä keskelle mitaten vain tasametrien pituinen. Kehäportaalin jalka on nimeltään R-pylväs. Sen leveys on 610 mm ja rataa vastaan kohtisuoran etäisyyden toleranssi on  $\pm 30$  mm. Taulukon P=670 mm.

Periaatteena niin sähkörataa kuin kaikkea muutakin raiteen rakenteita rakennettaessa on, että raide ja sähkörata rakennetaan teoreettisen geometrian mukaan koordinaattien pohjalta. Valmiin ajolangan ajettavuus tarkastetaan tarkastusvaunulla todellisesta raiteesta. Raide ja ajolanka voivat poiketa toleranssien verran teoreettisesta koordinaattien määräämästä asemastaan. Kunnossapitotöissä muotoaan ja sijaintiaan muuttanut raide pyritään korjaamaan aina teoreettiseen asemaansa ja oikeaan muotoonsa päin. Samoin ajolankaan tulleet poikkeamat pyritään korjaamaan aina teoreettiseen sijaintiinsa päin.

Sekä raiteella että ajolangalla on tietyt toleranssit ja normaalitilanteessa ne riittävät niin, että ajolankaa ei tarvitse säätää uudelleen jokaisen raiteen kunnossapitotoimen jälkeen. Näin kunnossapitotyöt jäävät pienemmiksi. Jos sähkörata rakennetaan ja säädetään raiteen todellisen sijainnin mukaan, ei tiedetä sähköradan todellista sijaintia. Sen toleranssialueen keskipiste voi tulla väärään paikkaan ja sitä joudutaan sää-

tämään useammin radan kunnossapitotoimien jälkeen. Jos sähköistystä rakennettaessa säästetään hieman mittaustöistä, säästöt voidaan joutua maksamaan myöhemmin lisääntyneiden kunnossapitotöiden yhteydessä.

Sähköradan ajojohtimia on rakenteeltaan eri tyyppisiä. Ne eroavat toisistaan mm. rakenteen, ryhmitseristimien, erotusjaksojen ja säätöjen osalta. Eri tyypit on mitoitettu eri nopeuksille.

## 4.11 Liikennepaikan raiteistosuunnittelu

Liikennepaikan raiteiston suunnittelun lähtökohtana on liikennöinnin tarve. Se riippuu liikennepaikan käyttötarkoituksen, kapasiteettivaatimusten ja käytettävissä olevan alueen mukaan. Nämä tarpeet on yleensä selvitetty aikaisempien suunnitteluvaiheiden ja liikennesuunnittelun yhteydessä. Raidegeometrian suunnittelussa nämä aiemmin selvitetty periaatteet ovat suunnittelun lähtötietoina. Tällöin tiedetään yleensä ratapihan perusmuoto, raidelukumäärä ja pituus sekä tarvittavat kulkutieyhetydet.

Pääraiteessa olevat ratapihan pään vaihteet on pyrittävä sijoittamaan mahdollisimman lyhyelle alueelle. Tämä parantaa radan kapasiteettia, kun poikkeavalle raiteelle rajoitetulla nopeudella kulkevat junat poistuvat pääraiteilta mahdollisimman nopeasti. Muita hyötyjä ovat pienempi tilantarve ja ylimääräisen raidepituuden vähäisempi rakentamistarve.

Ratapiharaiteiden suunnittelun tärkeimpiä perusteita on mitoittavan hyötypituuden mukaisen pituuden saavuttaminen raiteiden suunnittelussa. Toisena tärkeänä asiana varsinkin suuremmilla ratapihoilla on tarvittavien raidevälien suunnittelu. Raiteen pituus on käsitelty kohdassa 3.9 ja raideväli kohdassa 3.10 .

Sivuraiteiden vaihdekuja suunnitellaan näiden tavoitteiden pohjalta yksinkertaiseksi ja lyhyeksi. Tämä vähentää tilantarvetta ja turhan raidepituuden rakentamista suhteessa raidepituustarpeeseen. Eri nopeuden vaihteissa on erilainen kulma ja jos niitä sijoitetaan samaan vaihdekujaan, vaihdekujan muoto tulee mutkikkaaksi. Vaihdekuja suunniteltaessa on otettava huomioon asennettavien opastimien ja merkkien sijoittamis- ja näkemävaatimukset. Vaatimukset on opastimien osalta esitetty RATOn osassa 6 ja merkkien osalta RATOn osassa 17 /4/.

Suunnitteluperusteissa määritetään yleensä turvavaihteiden käytöstä. Jos ei ole määritetty, käytön perusteet esitetään RATOn osassa 7. Turvavaihdetta on käytettävä, jos vaihde vaaditaan sivusuojaksi ja muuta vaihdetta käyttäen ei voida muodostaa kulkutielle sivusuojaa.

**Turvavaihde** on vaihde, jonka ainoa tehtävä on antaa sivusuoja. Myös muuta vaihdetta kuin turvavaihdetta voi käyttää antamaan sivusuoja /4/.

Sivusuojan antava vaihde on pyrittävä sijoittamaan niin, että se on sivusuojan antavassa asennossa poikkeavalle raiteelle. Turvavaihteen takaisen raiteen pituuden on oltava vaihteen takajakoksesta ratakiskojen päähän vähintään 40 metriä. Turvavaihteen takana olevalla raiteella ei tarvitse käyttää raidepuskinta. Turvavaihteen takaisen raiteen takana ei saa olla rata-, sähköistys- tai turvalaitteita. Turvavaihteen sijoittamisessa on pyrittävä välttämään ratkaisua, jossa turvavaihteen takaisen raiteen taka-

na on muu rakenne kuten silta, yleinen tie, katu tai talo. Turvavaihte on suunniteltava siten, että turvavaihteen takaisen raiteen päästä suistuva kalusto ei ohjaudu suojattavalle raiteelle /4/.

Raiteiston suunnittelussa on otettava huomioon turvalaitteiden ja sähköistyksen tarpeet mm. kohdissa 4.9 ja 4.10 esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

#### **4.11.1 Raiteiden ja vaihteiden tunnuks**

Rautatieliikennepaikan ja liikennepaikan osan nimenä on käytettävä Liikenneviraston niille vahvistamaa virallista nimeä ja lyhenteinä on käytettävä niille vahvistettua virallista lyhennettä. Alustavissa suunnitteluvaiheissa, jos ei ole vielä mitään vahvistettuja nimiä, voidaan käyttää jotain sopivaa työnimeä.

Raiteille, vaihteille ja opastimille annetaan turvalaitesuunnittelussa yksilöivät tunnuks. Raiteen tunnus koostuu kolmesta arabialaisesta numerosta. Vaihteen tunnus koostuu yhteen kirjoitettuna kirjaimesta V ja kolmesta tai neljästä arabialaisesta numerosta. Nämä tunnuks on otettava käyttöön myös raiteistosuunnittelussa ja raidegeometrian suunnittelussa heti, kun ne on määritelty. Tämä vähentää sekaantumista ja väärinymmärtämisvaaraa. Raiteen ja vaihteen tunnuks määritellään RATOn osan 6 periaatteiden mukaisesti.

#### **4.11.2 Kuormausraiteet**

Kuormausraiteen ja viereisen raiteen minimiraideväli on esitetty taulukossa 5. Raidevälin on oltava 8–8,5 m, kun raidevälistä voi kuormata kummallekin raiteelle. Jos kuormauspaikka on pää- ja sivuraiteen välissä, on etäisyyden kuormauspaikan reunasta pääraiteen ATUun oltava vähintään 5,0 metriä ja raakapuun kuormauksessa 10,0 metriä. Kuormauspaikan reuna on merkittävä aidalla tai kaiteella.

Kuormausraiteen sähköistämisen mahdollisuus riippuu kuormaustavasta ja ohjeet esitetään RATOn osassa 7.

Ajoneuvoyhdistelmien kuormauspaikalla on oltava riittävästi tilaa ajoneuvoyhdistelmille. Ajo vaunuihin tapahtuu päätylaiturista ja raiteiden on oltava mieluummin suoria, jotta pitkän ajoneuvoyhdistelmän pystyy ajamaan vaunujen läpi vaikeuksitta.

Konttien kuormauspaikalle on kuormausraiteen viereen varattava vähintään 4 metriä levyinen ajotie. Kuormauspaikan mitoitus ja tilantarpeet mitoitetaan paikallisten tarpeiden mukaan.

Raakapuun kuormauspaikalle on kuormausraiteen viereen varattava vähintään 4 metriä levyinen ajotie, jonka lähin reuna on vähintään 2,2 metriä etäisyydellä kuormausraiteen keskilinjasta. Ajotien toiselle puolelle on varattava vähintään 8,0 metriä levyinen alue raakapuun varastointia varten. Raakapuun kuormausraiteen kuormaukseen käytettävän osan pituudeksi on pyrittävä rakentamaan vähintään 700 metriä.

Autojenkuormausraide on sijoitettava ja suunniteltava siten, että autovaunu voidaan siirtää mahdollisimman nopeasti junaan tai junasta autojenkuormausraiteelle. Katu- tai tieverkosta on oltava opastettu reitti autojenkuormausalueelle. Autojenkuormausraiteelta on oltava opastettu kävelyreitti matkustajalaiturille ja takaisin.

### 4.11.3 Laiturit

Laiturit jaotellaan käyttötarkoituksen mukaa matkustajalaitureiksi, kuormauslaitureiksi ja huoltolaitureiksi. Laitureiden etäisyydet, korkeudet ja muut ohjeet esitetään RATOn osassa 16. Tässä on muutamia muita raidegeometrian suunnittelun kannalta tärkeimpiä ohjeita.

#### Matkustajalaiturit

Matkustajalaituria ei saa rakentaa sellaisen raiteen viereen, jossa raiteen suurin nopeus on yli 200 km/h /4/.

Laituripolku rajoittaa nopeuden 80 km/h:ksi /5/.

Matkustajalaituri on pyrittävä sijoittamaan suoralle. Jos laituri joudutaan sijoittamaan kaarteeseen, kaarresäteen on oltava vähintään 600 metriä. Raiteen kallistus saa matkustajalaiturin kohdalla olla enintään 100 mm ja suositeltava arvo on korkeintaan 60 mm. Arvot ovat samat sisä- ja ulkokaarten puolella olevalle laiturille. /5/

Matkustajalaiturin pituus määräytyy RATOn osan 16 mukaan. Laituriraiteen lyhin mahdollinen käyttöpituus muodostuu matkustajalaiturin pituuden lisäksi veturivaroista. Veturivaran pituus on vähintään 40 metriä. Veturivara on vetureita varten, joiden ei ole tarpeen pysähtyä laiturin kohdalle /4/.

Matkustajalaiturin leveyden mitoitus ja sen vaatima raideväli mitoitetaan RATOn osan 16 mukaan.

Matkustajalaiturille on oltava esteettömät kulkuyhteydet.

#### Kuormauslaiturit

Kuormauslaiturin saa sijoittaa sellaisen raiteen viereen, jonka nopeus on enintään 50 km/h ja joka ei ole junakulkutieraide /5/.

Kuormauslaituri mitoitetaan paikallisen käyttötarpeen mukaan.

Kuormausraidetta koskevia ohjeita on enemmän kohdassa 4.11.2.

#### Huoltolaiturit

Liikkuvan kaluston huoltoon käytettävän raiteen viereen vähintään toiselle puolelle on rakennettava huoltolaituri, kun kulku liikkuvaan kalustoon on säännöllistä ja mukana on työkaluja, siivousvälineitä tai vastaavia välineitä. Raiteen toiselle puolelle on rakennettava kävelykulkutie. Huoltolaiturille asetetut vaatimukset on esitetty RATOn osassa 16.

### 4.11.4 Suurkuljetusraide

Rautatieliikennepaikalla on oltava raide, jonka kautta kuormauttamaa suuremmat kuljetukset voidaan hoitaa. Suurkuljetusraiteena ei voi käyttää raidetta, jolla on sisäkaarten puolella 550 mm korkea matkustajalaituri tai raiteiden välissä oleva aita.



Suurkuljetusraiteella on noudatettava kohdassa 4.6 esitettyä suurkuljetusraiteen ulottumaa. Kaarteen aiheuttama ulottuman levitys lasketaan suurkuljetusulottuman levityskaavoilla 4.6:4 ja 4.6:5. Levitykset ovat normaali ATUn levityksiä suuremmat, koska suurkuljetusvaunu on normaalivaunuja pidempi.

## 4.12 Kuivatussuunnittelu

Raiteen pystygeometria vaikuttaa ratkaisevasti radan kuivatussuunnitteluun ja kuivatussuunnittelun vaatimukset on otettava pituuskaltevuutta suunniteltaessa huomioon. Kuivatussuunnittelu on sekä radan rakenteiden kuvatuksen suunnittelua että radan ulkopuolisten alueiden kuivatuksen suunnittelua.

Maaleikkauksen oja seuraa radan pituuskaltevuutta. Leikkauksen korkeusviiva on suunniteltava pituuskaltevaksi kuivatuksen ehdoilla. Ojan pituuskaltevuuden on oltava vähintään 4 ‰ ja poikkeustapauksissa vähintään 1 ‰ /11/.

Kallioleikkauksissa oja seuraa radan pituuskaltevuutta, ellei ojista ole tehty erillistä suunnitelmaa. Leikkauksen korkeusviiva on suunniteltava pituuskaltevaksi kuivatuksen ehdoilla. Ojan pituuskaltevuuden on oltava kallioleikkauksessa vähintään 3 ‰ ja poikkeustapauksissa vähintään 2 ‰ /11/.

Tunneleissa korkeusviiva on pyrittävä suunnittelemaan mahdollisuuksien mukaan suuaukolle päin laskeviksi. Tällöin kuivatus on mahdollista hoitaa ilman pumppaamoja. Toinen etu on, että vetovoimansa menettänyt juna voi rullata ulos tunnelista. Sukeltavaa pituusleikkausmuotoa on mahdollisuuksien mukaan vältettävä /12/. Pituuskaltevuuden suositeltava minimi tunneleissa on 3,5 ‰.

Alueellisen kuivatuksen rummut on otettava huomioon korkeusviivan suunnittelussa. Suunnittelija esittää aukon korkeuden ja mitat Ely-keskukselle, joka puoltaa (tai ei) esityksen. Vesijuokusun korkeus on rumpuaukon pohjan kynnykskorkeus ja aukon koko on rummun poikkileikkauksen koko. InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset -ohjeessa rumpujen työselityksessä on esitetty tarvittava peitesyvyys (mitta rummun yläpinnasta radan korkeusviivaan).

Myös vesiväylät ja muut vesistöjen ylitykset on otettava huomioon. Vesistön ylittävät sillat vaativat vesioikeuden luvan. Ely-keskukset antavat luvat pienemmille silloille ja vesiväylien silta-aukon vähimmäismitat ja vesiväylän vapaan korkeuden mitat. Korkeusviivan alustavissa määrittelyssä on jo oltava tietoa vesiväylästä, vesistöylityksistä ja kuivatusjärjestelyistä. Nämä vaikuttavat niin paljon korkeusviivan suunnitteluun ja jos niistä ei ole tietoa, joudutaan myöhemmin vaikeuksiin ilman tarvittavia tietoja asetetun korkeusviivan kanssa. Korkeusviiva voidaan joutua suunnittelemaan uudelleen ja se voi muuttaa myös monia muita asioita.

## 4.13 Radan päällysrakenne

Radan päällysrakenteesta tulee eräitä vaatimuksia, jotka voivat vaikuttaa raidegeometrian suunnitteluun. Tässä niistä eräitä:

- Raiteen miniminosto on tukemisen yhteydessä 20 mm. Tähän on varauduttava raiteen korkeusviivan suunnittelussa. Myös jos raiteeseen tehdään sivusiirtoa, sitä on nostettava miniminoston verran.
- Raiteen korkeusviivan laskeminen tai kallistuksen pienentäminen on vaikeaa, koska tukikerrosta pitäisi kaivaa pölkkyjen alta. Helpoimmin muutokset ovat tehtävissä nostamalla korkeusviivaa, mikäli tälle ei ole esteitä esim. muista rakenteista johtuen.
- Tukikerroksen mittojen on oltava nopeuden ja päällysrakenteen komponenttien mukaiset /13/.
- Lyhyempiä kaarrekiskoja käytetään Lk (lyhytkisko)- ja Pk (pitkäkisko)-raiteissa tasaamaan kaarteiden sisä- ja ulkokaarteiden puoleisen kiskojonon pituuseroa /13/.
- Jos kaarresäde  $R \leq 450$  m, kiskot taivutetaan etukäteen kaarteiden muotoon /13/.
- Eri kiskopainojen väliset liityntäkiskot vaativat tilaa tyyppiinrakennuksen mukaan /13/, esimerkiksi 60E1 - K43 15,000 metriä tai  $2 \times (3..10)$  metriä /14/.
- Turvalaitteiden vaatima kiskojen eristysjatkos voidaan asentaa eristyskiskolementtinä tai koota raiteeseen maastossa. Elementin minimipituus on 10 metriä nopeudelle yli 160 km/h, 8 metriä nopeudelle korkeintaan 160 km/h, sivuraiteella 5 metriä nopeudelle alle 80 km/h ja 3 metriä nopeudella korkeintaan 35 km/h. vaihteen jatkokseen tehtäessä pääraiteessa 3.6 metriä ja sivuraiteessa 1.8 metriä /14/. Akselinlaskentajärjestelmässä ei näitä tarvita.
- Jatkuvakiskoraiteessa tulee säilyttää se kiskojen pituus, mikä siinä on loppuhitsattaessa ollut. Pituuden muutos voi johtaa raiteen jännitystilän muutokseen ja heikentää raiteen vakavuutta /14/.
- Jos raiteen:
  - painuma on  $> 80$  mm
  - sivusiirtymä on  $> 40$  mm
  - sivusiirto  $> 30$  mm ja kaarresäde  $R \leq 1000$  m
  - sivusiirto  $> 40$  mm ja kaarresäde  $R > 1000$  m
 tulee raide katkaista, neutraloida uudestaan ja loppuhitsata

## Lähdeluettelo

- /1/ RATO 2 Radan geometria, Liikennevirasto 2010
- /2/ RAMO 4 Vaihteet, Ratahallintokeskus 2000
- /3/ RAMO 13 Radan tarkastus, Ratahallintokeskus 2004 ja 2006
- /4/ RATO 7 Rautatieliikennepaikat, Liikennevirasto 2011
- /5/ RATO 16 Väylät ja laiturit, Liikennevirasto 2009
- /6/ Liikennöinti ja ratatyö rautatiejärjestelmässä, Liikenteen turvallisuusvirasto 2009
- /7/ RATO 6 Turvalaitteet, Liikennevirasto 2010
- /8/ Rataverkon kuvaus 1.1.2011, Liikennevirasto 2010
- /9/ Määräys radan rakenteesta ja kunnossapidosta, Liikenteen turvallisuusvirasto 2010
- /10/ RATO 10 Junien kulunvalvonta, Ratahallintokeskus 2009
- /11/ InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Rakennustietosäätiö RTS
- /12/ RATO 18 Rautatietunnelit, Ratahallintokeskus 2008
- /13/ RAMO 11 Radan päällysrakenne, Ratahallintokeskus 2002
- /14/ RAMO 19 Jatkuvakiskoraiteet ja -vaihteet, Ratahallintokeskus 1998





