



Ratatekniset ohjeet (RATO)

osa 2

Radan geometria

RATATEKNISET OHJEET (RATO)

Osa 2 Radan geometria

Liikenneviraston ohjeita 3/2010

Liikennevirasto
Helsinki 2010

Kannen kuvat: Markku Nummelin

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-663X

ISBN 978-952-255-504-5

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-505-2

Edita Prima Oy

Helsinki 2010

Julkaisua myy/saatavana:

asiakaspalvelu.prima@edita.fi

Faksi 020 450 2470

Puhelin 020 450 011

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelinvaihte 020 637 373

Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 2 Radan geometria

Korvaa Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO) osa 2 Radan geometria,
Dnro 894/731/00
Voimassa 26.4.2010 alkaen toistaiseksi
Asiasanat raidegeometria, ohjeet

Ohjeet ovat voimassa Liikenneviraston tilaamissa ratarakenteen suunnitteluun liittyvissä toimeksiannoissa ja kunnossapidossa dokumentin voimaantulosta alkaen. 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.



Ossi Niemimuukko
ylijohtaja



Markku Nummelin
tekninen johtaja

ESIPUHE

Tämän Liikenneviraston Ratateknisten ohjeiden uudistetun osan 2 "Radan geometria" (RATO 2) tarkoituksena on saattaa ohjeet raidegeometrian suunnittelusta ajantasalle.

Ohjeessa on otettu huomioon eurooppalaiset normit, Liikenteen turvallisuusviraston määräykset, edeltäneestä ohjeesta ja suunnittelutyöstä saadut kokemukset ja näkemykset rautatieliikenteen ja -tekniikan tulevasta kehittämisestä ja Suomen rautatiejärjestelmää ylläpitävät ja kehittävät toimijat tehtävineen.

Ohjeen uudistustyö on toteutettu Liikenneviraston Oy VR-Rata Ab:n Rautatiesuunnittelulta tilaamassa projektissa vuoden 2009 aikana. Ohjeen sisällön kirjoittajina ovat olleet VR-Radan ja Sito Oy:n asiantuntijat. Työn projektipäällikkönä oli Seppo Sjöblom ja tekijöinä Miikka Tast, Reijo Taimela, Katriina Hassi ja Hannu Järvinen. Työtä ohjasi Matti Levomäki. Sisältöön on vaikuttanut paljon myös seminaareista, tarkastuksista ja muusta yhteydenpidosta saatu palaute. Palautetta ovat antaneet Liikenneviraston asiantuntijoiden lisäksi hyvin monen eri toimijan asiantuntijat. Palautteiden avulla ohjeen sisältöä on tarkennettu ja saatettu muiden ratateknisten ohjeiden (RATO) mukaiseksi.

Ohjetta on tiivistetty aikaisemmasta siirtämällä tietoa perusteista liitteisiin ja korvaamalla osia viittauksilla Ratateknisten ohjeiden muihin osiin. Ohjeen rakennetta on uusittu radan suunnitteluprosessin mukaiseksi. Geometrian ohjeiden lisäksi ovat ohjeet Aukean tilan ulottumasta (ATU), kilometrijärjestelmästä ja mittauksista. Geometrian ohjeissa on suurimpana muutoksena ohje kallistuksen vajauksesta, ohjeissa ATUsta on joukko muutoksia, kilometrijärjestelmä on kokonaan uutta ja mittauksista olevia ohjeita on tiivistetty.

Helsingissä, huhtikuussa 2010

Liikennevirasto
Rautatieosasto

SISÄLTÖ

2	RADAN GEOMETRIA	7
2.1	MÄÄRITELMÄT JA TUNNUKSET	7
2.1.1	Määritelmät.....	7
2.1.2	Tunnukset ja yksiköt	10
2.2	RAITEEN TEOREETTINEN ASEMA JA ASENTO RADAN SUUNNITTELUSSA	12
2.2.1	Raiteen teoreettinen asema radan suunnittelussa	12
2.2.1.1	Raiteen keskilinja	12
2.2.1.2	Raiteen korkeusviiva	13
2.2.1.3	Raiteen kallistus	13
2.2.2	Raiteen teoreettinen asento radan suunnittelussa	14
2.3	RADAN GEOMETRIAN SUUNNITTELU	16
2.3.1	Suunnitteluparametrit	16
2.4	RAIDELEVEYS.....	18
2.5	PYSTYGEOMETRIA.....	20
2.5.1	Pituuskaltevuus ratalinjalla	21
2.5.2	Pituuskaltevuus rautatieliikennepaikalla.....	22
2.5.3	Pystygeometrian suunnittelu	22
2.5.4	Nousut.....	22
2.5.4.1	Määrävä nousu	22
2.5.4.2	Vauhtinousu	23
2.5.4.3	Jarrutusraja	23
2.5.4.4	Hukkanous.....	23
2.5.5	Kaltevuustaitteiden pyöritys	23
2.6	VAAKAGEOMETRIA.....	27
2.6.1	Mitoitusperiaatteet.....	27
2.6.2	Kaarresäteet	27
2.6.2.1	Kaarresäteet läpikuluraiteilla	27
2.6.2.2	Kaarresäteet rautatieliikennepaikan muilla raiteilla.....	28
2.6.3	Raiteen kallistus	28
2.6.3.1	Kallistuksen vajuus	30
2.6.4	Raiteen yhdensuuntaissiirrot ja pienet suuntamuutokset.....	32
2.6.5	Siirtymäkaari ja kallistusviiste.....	32
2.6.5.1	Klotoidi ja suora kallistusviiste	33
2.6.5.2	Helmertin siirtymäkaari ja S-kallistusviiste.....	36
2.6.6	Korikaari ja S-kaari.....	38
2.6.6.1	Korikaari.....	38
2.6.6.2	S-kaari	40
2.6.7	Elementtien minimipituudet	40
2.6.8	Pyörityssäännöt	41
2.6.9	Suurnopeusradat ≥ 250 km/h	42
2.6.10	Mitoitus poikittaiskiihtyvyydellä.....	42
2.6.10.1	Poikittaiskiihtyvyys.....	43
2.6.10.2	Siirtymäkaari ja kallistusviiste	44
2.6.10.3	Korikaari.....	45
2.7	AUKEAN TILAN ULOTTUMA	47
2.7.1	Aukean tilan ulottuman päämitat.....	47
2.7.1.1	Leveysmitat	47
2.7.1.2	Korkeusmitat.....	50
2.7.1.3	Ovi- ja porttiaukot.....	50

2.7.1.4	Laippaura	51
2.7.1.5	Raideväli.....	51
2.7.1.6	Pylväät.....	52
2.7.1.7	Sillat.....	52
2.7.1.8	Aidat.....	53
2.7.1.9	Johtimien etäisyydet.....	53
2.7.1.10	Kiskon selän alapuolella olevat rakenteet	53
2.7.1.11	Laiturit	53
2.7.1.12	Suurkuljetusraide	53
2.7.1.13	Muut rakenteet.....	54
2.8	JARRUPAINOJÄRJESTELMÄ	55
2.9	JUNAN AJODYNAAMINEN KÄYTTÄYTYMINEN	56
2.9.1	Junan vastusvoimat.....	56
2.9.2	Radan ja liikkuvan kaluston vuorovaikutus	58
2.9.3	Raidevällys ja tehollinen kartiokkuus	58
2.10	RAITEEN MITTAUS- JA MERKITSEMISJÄRJESTELMÄ.....	62
2.10.1	Koordinaattijärjestelmät	62
2.10.2	Mittausperusta	63
2.10.2.1	Ratatekniset erityisvaatimukset.....	63
2.10.2.2	Pisteiden rakentaminen	63
2.10.3	Mittaustyöt.....	65
2.10.3.1	Kartoitus.....	65
2.10.3.2	Vaaitus.....	66
2.10.3.3	Paikalleenmittaus.....	66
2.10.3.4	Laadunvarmistus	66
2.10.4	Raitteen asemaa osoittavat merkinnät	67
2.10.5	Raitteen aseman laatuvaatimukset	67
2.11	RATAKILOMETRIJÄRJESTELMÄ	69
	VIITTEET	73

LIITELUETTELO

Liite 1	Kallistuvakorisen kaluston Sm3 ja Sm6 (Pendolino ja Allegro) nopeus
Liite 2	Aukean tilan ulottuma (ATU)
Liite 3	ATUn levitys kaarteessa
Liite 4	ATUn levitys vaihteissa
Liite 5	Raidejarrun, raiteensulun sekä vaihteen vastakiskon ja kääntölaitteen auraussuojan sijoitus
Liite 6	Suurkuljetusraiteen ulottuma

2 RADAN GEOMETRIA

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

Ohjeet koskevat ratoja, joiden nopeus on alle 250 km/h. Vähintään 250 km/h nopeuden suurnopeusratojen lisävaatimukset on esitetty kohdassa 2.6.9.

Liikennevirasto seuraa alan eurooppalaista standardisointia (CEN) ja ylläpitää ohjeita standardien mukaisina. RATO2:ssa on otettu huomioon ohjeet CEN 13803-1, SFS-EN 13803-2 /1, 2/.

Liikenteen turvallisuusvirasto antaa raidegeometriaan liittyvät määräykset.

2.1 MÄÄRITELMÄT JA TUNNUKSET

Kohdassa 2.1 on määritelty RATO 2:ssa käytettävät tärkeimmät käsitteet sekä niiden tunnuksat ja yksiköt. Muut RATO 2:n kohdat määrittelevät käsitteet yksityiskohtaisemmin ja täydellisemmin.

2.1.1 Määritelmät

Kaarevuus on säteen käänteisarvo ($1/R$). Ympyränkaarella kaarevuus on vakio, ja siirtymäkaarella kaarevuus muuttuu. Klotoidin muotoisella siirtymäkaarella kaarevuus muuttuu suoraviivaisesti.

Kaari on vaakatasossa oleva ympyrän kaari. Kaaren säde määritellään raiteen keskilinjan mukaan.

Kaarre käsittää vaakatasossa tapahtuvan suunnanmuutoksen geometriset elementit. Yleisimmin se on ympyränkaari ja siihen liittyvät siirtymäkaaret. Kaarre voi olla myös pelkkä ympyränkaari tai useammista ympyränkaarista ja siirtymäkaarista koostuva korikaari.

Kallistuksen muutos ajan funktiona tarkoittaa kallistuksen muutosta kulkuajan suhteen. Esimerkiksi 35 mm/s tarkoittaa, että 1 sekunnin aikana kuljetulla matkalla kallistuksen muutos on 35 mm.

Kallistuksen muutos pituuden funktiona tarkoittaa kallistuksen muutosta kuljetun matkan suhteen. Esimerkiksi 1:1000 tarkoittaa 1 mm kallistuksen muutosta metrin matkalla.

Kallistuksen vajauksella tarkoitetaan sitä tasapainokallistuksen ja todellisen kallistuksen välistä puuttuvaa kallistusta, joka aiheuttaa poikittaiskiihtyvyyttä ulko-kaarteeseen päin, kun kallistus on teoreettista kallistusta pienempi.

Kallistuksen vajauksen muutos ajan funktiona tarkoittaa kallistuksen vajauksen muutosta kulkuajan suhteen ja vastaa samaa ilmiötä kuin nykäys. Esimerkiksi 35 mm/s tarkoittaa, että yhden sekunnin aikana kuljetulla matkalla kallistuksen vajauksen muutos on 35 mm.

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

Kaltevuusjakso tarkoittaa kaltevuustaitepisteiden välistä jaksoa. Raiteen korkeusviivan pituuskaltevuus on pyöristyskaarien välisessä suorassa osassa sama, kuin kaltevuusjakson pituuskaltevuus.

Korikaari muodostuu kahdesta tai useammasta samansuuntaisesta, toisistaan jatkuvasta, erisäteisestä kaaresta. Kaarien välissä ja niiden päissä käytetään tarvittaessa siirtymäkaaria.

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

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.

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.

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

Määrävä nousu tarkoittaa sellaista pituuskaltevuutta, jossa on huomioitu ominaiskaarrevastuksen vaikutus ja joka määrittää rataosalla käytettävän junapainon tietylle vetovoimakokoonpanolle.

Normaalikaari on kaarre, jossa on vain yhden kaarresäteen ympyränkaari ja mahdolliset siirtymäkaaret. Sitä käytetään korikaareen verrattaessa vaihtoehtona, "ei korikaari".

Nykyäys tarkoittaa kallistuksen vajauksen muutosta kulkuajan suhteen eli poikittaiskiihtyvyyden muutosta.

Ominaiskaarrevastus on kaarrevastus jaettuna junan painovoimalla. Ominaiskaarrevastus kasvaa kaarresäteen pienentyessä.

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

Pituuskaltevuus ilmoittaa raiteen pituussuuntaisen kaltevuuden vaakatasoon nähden. Pituuskaltevuus ilmoitetaan yleensä promilleina (‰) tai desimaalilukuna.

Poikittaiskiihtyvyys tarkoittaa keskeisvoiman aiheuttamaa vaakasuuntaista kiihtyvyyttä. Kaarteessa poikittaiskiihtyvyyttä kompensoidaan raiteen kallistuksella.

Pyöristyskaarella yhdistetään kaltevuusjaksot toisiinsa. Pystysuorissa pyöristyskaarissa ei käytetä siirtymäkaarta.

Raideleveys on lyhin etäisyys kiskojen kulkureunojen välillä 14 mm kiskon selän alapuolella.

Raideväli tarkoittaa kahden raiteen keskilinjojen välistä etäisyyttä vaakatasossa.

Raiteen asema ilmaistaan koordinaatteina. Se kertoo raiteen keskilinjan absoluuttisen sijainnin vaakatasossa ja raiteen korkeusviivan sijainnin pystytasossa.

Raiteen asento tarkoittaa raiteen todellisen keskilinjan geometristä muotoa, sen suhteellista sisäistä geometriaa itseensä nähden.

Raiteen kallistus on raiteen kiskojen selkien välinen korkeusero. Raiteen kallistus tehdään normaalisti korottamalla kaarteeseen ulkopuolista kiskoja.

Raiteen keskilinja, vaakageometria määrittää raiteen keskilinjan sijainnin vaakatasossa. Keskilinja tarkoittaa linjaa, jonka etäisyys raideleveydeltään nimellismittaisessa raiteessa molempien kiskojen kulkureunaan on sama.

Raiteen korkeusviiva määrittelee raiteen korkeusaseman. Raiteen korkeusviiva sijaitsee raiteen aluslevyn tai välilevyn alapinnan tasossa kiskon kulkureunan kohdalla. Kaarteessa korkeusviiva määritellään alemman kiskon mukaan.

Siirtymäkaari on vaakageometrian elementti, jossa raiteen kaarevuus muuttuu. Siirtymäkaarta käytetään tarvittaessa suoran ja ympyränkaaren välissä, sekä kaarteiden välillä.

Suosittelava arvo on hyvän suunnittelutavan mukainen arvo, jolla varmistetaan maksimi- ja minimiarvoja parempi matkustusmukavuus.

S-kaari muodostuu kahdesta vastakkaisuuntaisesta kaarteesta. Eri säteisten kaarien välissä ja päissä käytetään tarvittaessa siirtymäkaaria.

Tasapainonopeus on kulkunopeus, millä kaarteessa kulkevaan junaan ei kohdistu poikittaiskiihtyvyyttä raiteen tasossa. Kaarteessa 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.

Tasapainokallistus eli teoreettinen kallistus on raiteen kallistus, millä tietyllä nopeudella kulkevaan junaan ei kohdistu poikittaiskiihtyvyyttä raiteen tasossa.

Poikittaiskiihtyvyyden kaareissa tällä nopeudella on kompensoitu kokonaan raiteen kallistuksella ja kallistuksen vajauksen arvo on nolla.

2.1.2 Tunnukset ja yksiköt

Taulukossa 2.1:1 ovat RATO:n osassa 2 käytetyt tunnukset. Rautatiealan tunnukset ja yksiköt ovat kansainvälisten CEN normien mukaisia /1, 2/. Matemaattisten suureiden yksiköt ja tunnukset ovat yleisesti käytössä olevia. Numero 24 suuntakulma (t) on maanmittauksessa yleisesti käytetty tunnus, jonka yksikkö on gooni (gon).

Taulukko 2.1:1 Käytetyt tunnukset ja yksiköt

Nro	Tunnus	Selite (aiemmin käytetty tunnus)	Yksikkö
1	a_q	poikittaiskiihtyvyyden	m/s^2
2	D	raiteen kallistus (h)	mm
3	da_q/dt	nykäys eli kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutos aikayksikössä	m/s^3
4	dD/ds	raiteen kallistuksen muutos kuljetun matkan suhteen	mm/m
5	dD/dt	raiteen kallistuksen muutos kulkuajan suhteen	mm/s
6	D_{EQ}	raiteen tasapainokallistus	mm
7	dI/dt	kallistuksen vajauksen muutos kulkuajan suhteen	mm/s
8	e	pyörien kulkuympyröiden välinen etäisyys (1585mm käytettäessä 1524mm raideleveyttä)	mm
9	E	liikakallistus	mm
10	g	putoamiskiihtyvyyden $9,81 m/s^2$	m/s^2
11	G	raideleveys	mm
12	I	kallistuksen vajaus	mm
13	L_D	kallistusviisteen pituus	m
14	L_K	siirtymäkaaren pituus (L)	m
15	L_i	kaari- ja suoraelementtien pituus	m
16	Q	pyörän/kiskon dynaaminen pystyvoima	N
17	Q_N	pyörän/kiskon staattinen pystyvoima	N
18	R	kaaren säde	m
19	R_v	pyörästyskaaren säde (S)	m
20	s	pituuskaltevuus	‰ tai desimaaleina

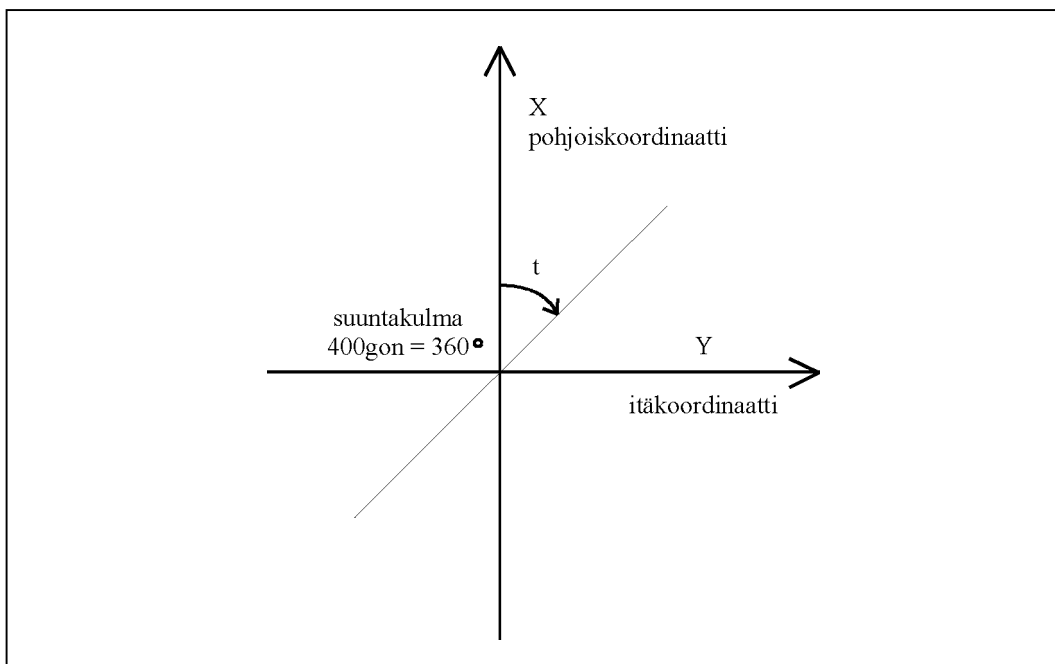
21	s_m	määrävän nousun pituuskaltevuus suoralla	‰ tai desimaaleina
22	s_r	määrävän nousun pituuskaltevuus kaarteessa	‰ tai desimaaleina
23	t	aika	s (h)
24	t	suuntakulma	gon
25	v	nopeus	m/s
26	V	nopeus	km/h
27	V_{\max}	maksiminopeus	km/h
28	V_{\min}	miniminopeus	km/h
29	w_r	ominaiskaarrevastus	‰

2.2 RAITEEN TEOREETTINEN ASEMA JA ASENTO RADAN SUUNNITTELUSSA

Raiteen asema määrittää raiteen sijainnin ja asento suunnan, kallistuksen ja pituus-kaltevuuden. Kohdassa 2.2.1 on määritelty raiteen asema ja kohdassa 2.2.2 raiteen asento. Raiteen teoreettinen asema sidotaan koordinaatistoon ja ratakilometri-järjestelmään (kohdan 2.11 mukaisesti).

2.2.1 Raiteen teoreettinen asema radan suunnittelussa

Raiteen asema määritellään paikallisesti yleisesti käytetyssä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä (RATO 2.10.1). Raiteen asema määritetään vaakatasossa raiteen keskiviivalle ja pystytasossa raiteen korkeusviivalle. Tasossa koordinaatteina käytetään geodeettisia koordinaatteja, joissa X on pohjoiskoordinaatti ja Y itäkoordinaatti.



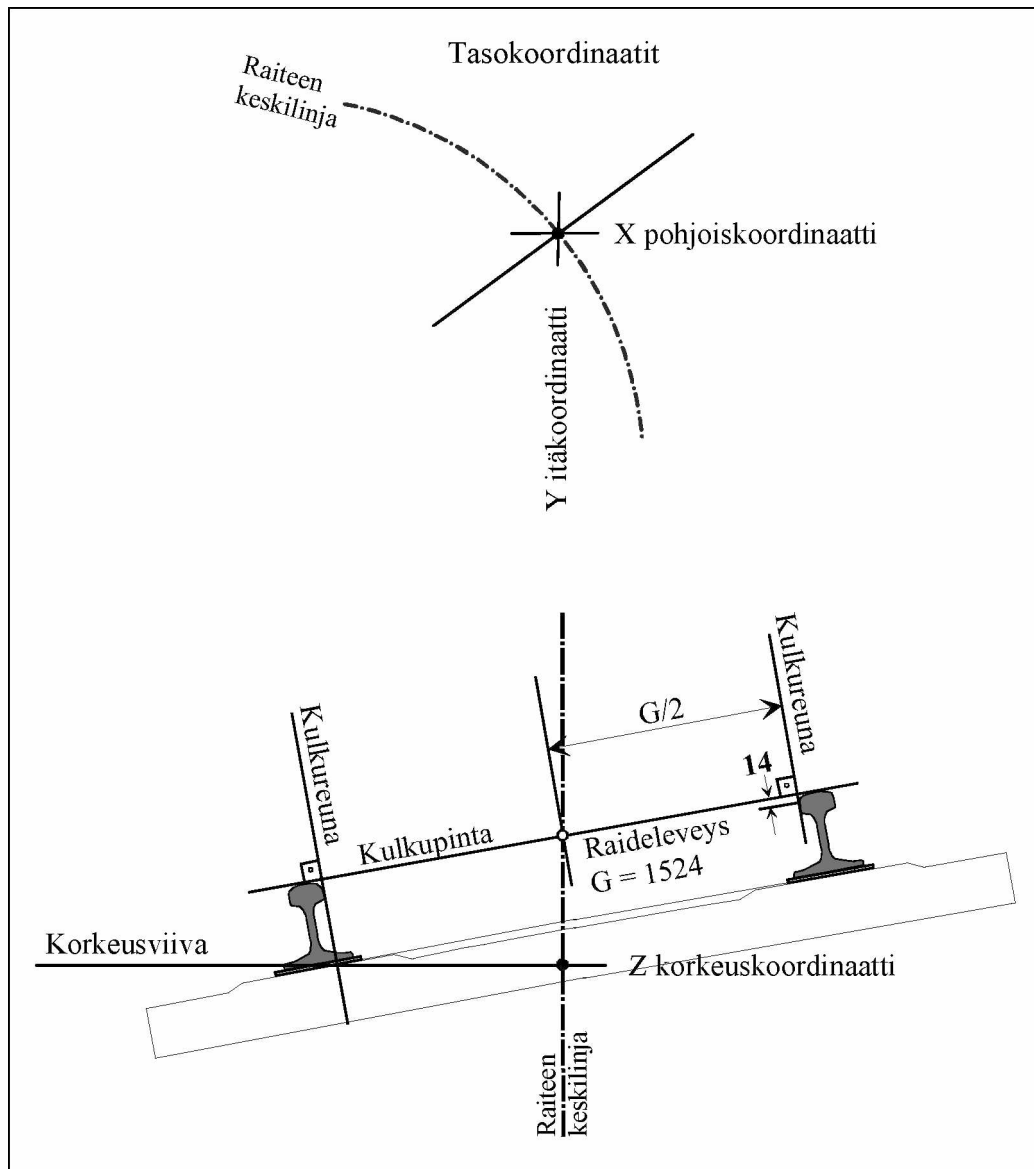
Kuva 2.2:1 Geodeettiset koordinaatit

2.2.1.1 Raiteen keskilinja

Raiteen keskilinjalla tarkoitetaan linjaa, jonka etäisyys nimellismittaisessa raiteessa molempien kiskojen kulkureunasta on sama. Suoralla teoreettinen etäisyys on 762 mm. Kallistetussa raiteessa keskilinjän sijainti on kuvan 2.2:2 mukainen.

2.2.1.2 Raiteen korkeusviiva

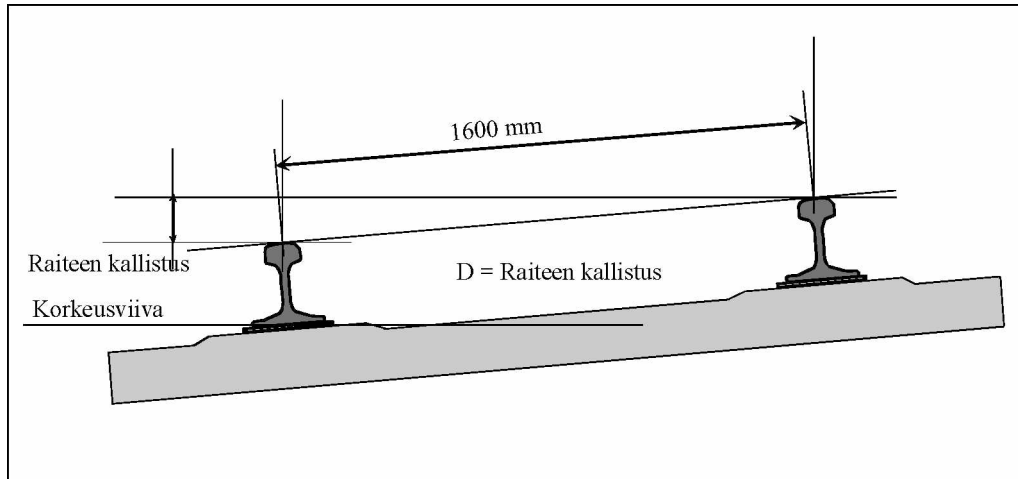
Raiteen korkeusviivalla tarkoitetaan viivaa, joka määrittelee raiteen korkeuden aluslevyn tai välilevyn alapinnan tasossa kiskon kulkureunan kohdalla. Suoralla ja kallistamattomassa kaarteessa määritellään korkeusviiva toisen kiskon kulkureunan kohdalla em. tasossa (kuvat 2.2:3 ja 2.2:4). Kallistetuissa kaarteissa määritellään korkeusviiva alemman kiskon kulkureunan kohdalta kuvan 2.2:2 mukaan.



Kuva 2.2:2 Raiteen korkeusviiva ja keskilinja kallistetussa raiteessa

2.2.1.3 Raiteen kallistus

Raiteen kallistuksella tarkoitetaan sisä- ja ulkokiskon välistä korkeuseroa kiskojen kulku-pintojen kohdalta, kuva 2.2:3. Määritelmän mukaan korkeusero mitataan kiskojen keskeltä kulkupintojen kohdalta, 1600 mm:n etäisyydeltä toisistaan. Käytännön mittaustarkkuudella ja menetelmillä raiteen kallistus mitataan yleensä kiskojen korkeimpien kohtien korkeuserona.



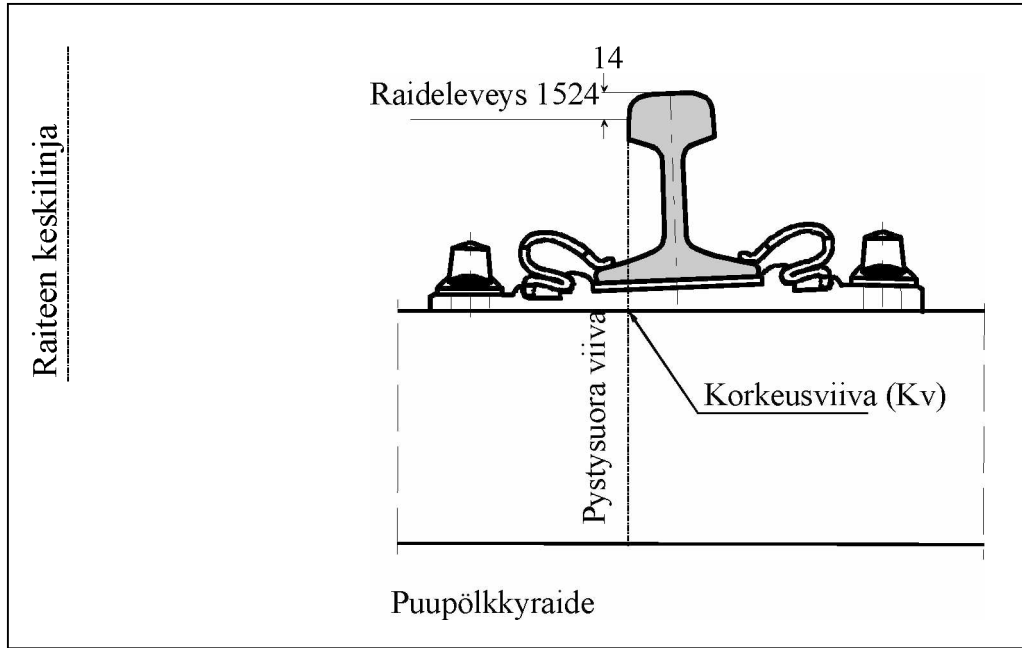
Kuva 2.2:3 Raiteen kallistus

2.2.2 Raiteen teoreettinen asento radan suunnittelussa

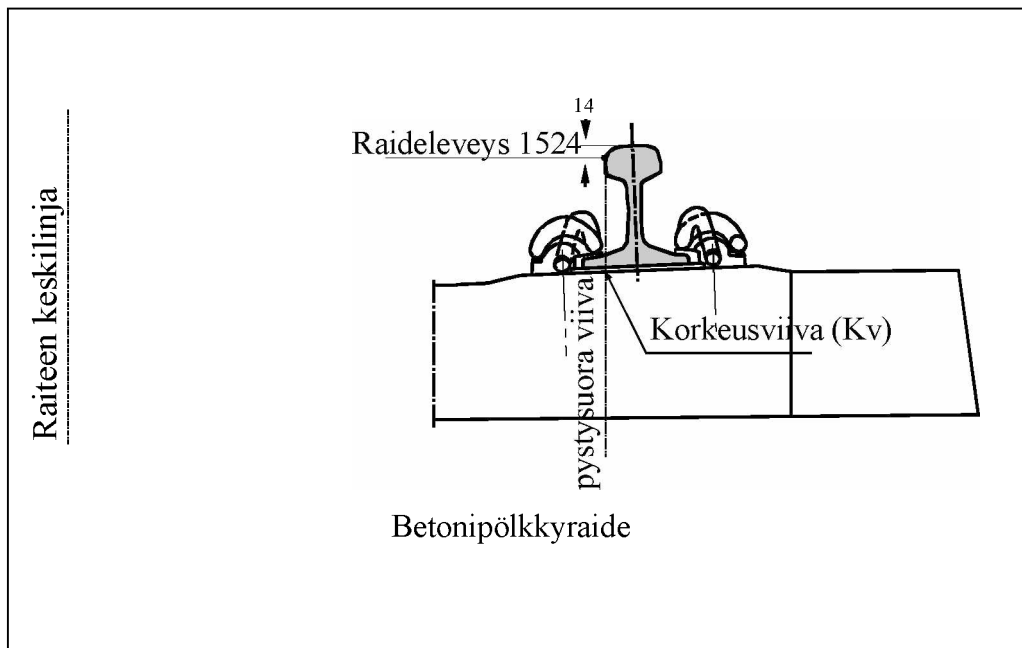
Raiteen asento määritellään raiteen suunnalla sekä pysty-, että vaakatasossa ja raiteen kallistuksella. Vaakatasossa raiteen suunta määritellään raiteen keskilinjalle ja ilmaistaan suuntakulmana, jonka yksikkö on gooni (gon). Pystytasossa suunta ilmaistaan raiteen korkeusviivalle ja suunta ilmoitetaan suhteessa vaakatasoon nähden. Suunta ilmoitetaan yleensä promilleina. Esimerkiksi 1 ‰ tarkoittaa 1 metrin nousua 1000 metrin matkalla.

Raiteen kallistus tarkoittaa raiteen kallistusta sivuttaissuunnassa. Kallistus ilmoitetaan millimetreinä. Kallistus on raiteen kiskojen välinen korkeusero.

Radan korkeusviivalla tarkoitetaan viivaa, joka määrittelee raiteen korkeuden aluslevyn tai välilevyn alapinnan tasossa kiskon kulkureunan kohdalla. Suoralla ja kallistamattomassa kaarteissa määritellään korkeusviiva toisen kiskon kulkureunan kohdalla em. tasossa (kuvat 2.2:4 ja 2.2:5). Kallistetuissa kaarteissa määritellään korkeusviiva sisäkiskon kulkureunan kohdalta kuvan 2.2:2 mukaan.



Kuva 2.2:4 Radan korkeusviiva kallistamattomassa puuratapölkkyraiteessa



Kuva 2.2:5 Radan korkeusviiva kallistamattomassa betoniratapölkkyraiteessa

2.3 RADAN GEOMETRIAN SUUNNITTELU

Yleiset geometrian suunnitteluohjeet esitetään tässä RATO:n osassa. Projekti-kohtaiset suunnitteluohjeet kirjataan projektin suunnitteluperusteisiin.

Radan geometrisen mitoituksen lähtökohtina ovat liikenteellisten tarpeiden, kaluston, ympäristön, turvallisuuden ja radan rakentamisen sekä kunnossapidon asettamat tavoitteet ja vaatimukset sekä pitkällä, että lyhyellä aikavälillä. Radan pysty- ja vaakageometria vaikuttavat toisiinsa, ja tämän vuoksi radan geometria on suunniteltava yhtenä kokonaisuutena.

Radan geometrian suunnittelussa on pyrittävä elinkaarikustannusten minimoointiin ottamalla rakentamis- ja kunnossapitokustannusten lisäksi mukaan liikennöinnin energian kulutus ja kustannukset.

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

RATO:n rajat ovat minimi-, ja maksimi raja-arvoja. Niiden mukaan suunnittelu on äärimmäisin hyväksyttävä ratkaisu. Niitä ei tule käyttää jatkuvana mitoituksena, vaan on käytettävä korkeintaan suositeltavia maksimi-, ja minimiarvoja. Suositeltavien arvojen ja raja-arvojen välisiä arvoja voidaan kuitenkin käyttää ilman erillistä Liikenneviraston lupaa. Hyvä suunnittelu löytää tasapainoisen ratkaisun kustannusten ja toimivuuden sekä raja-arvojen väliltä. Hyvän suunnittelun ratkaisut ovat yksinkertaisen selkeitä ja säilyvät perusteiltaan samana läpi koko suunnittelu-hankkeen.

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

2.3.1 Suunnitteluparametrit

Radan geometrian suunnittelussa on otettava tilanteen mukaan huomioon seuraavat parametrit:

- kaarresäde R [m] *
- raiteen kallistus D [mm] *
- raiteen kallistuksen vajoaus I [mm] *
- liikakallistus E [mm]
- kallistuksen muutos aikayksikössä dD/dt [mm/s]
- kallistuksen muutos pituusyksikköä kohti dD/ds [mm/m] *
- kallistuksen vajouksen muutos aikayksikössä dI/dt [mm/s]
- kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys raiteen tasossa a_q [m/s²]

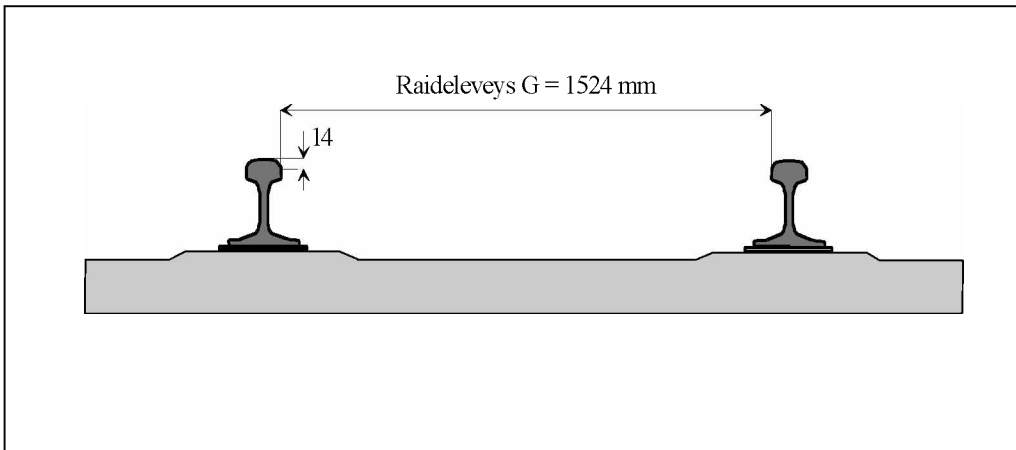
- kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutos da_g/dt [m/s³]
- suunnittelulementin pituus (ympyränkaari, suora) L_i [m]
- siirtymäkaaren pituus L_K [m]
- kallistusviisteen pituus L_D [m] *
- pyöristyskaaren säde R_V [m]
- pystysuora kiihtyvyys a_v [m/s²]
- nopeus V [km/h] *

Turvallisuuden kannalta merkittävimmät suunnitteluparametrit on merkitty (*).

2.4 RAIDELEVEYS

Raidelevyden nimellismitta on 1524 mm kiskojen kulkureunojen välillä, 14 mm kiskon selän alapuolella (kuva 2.4:1). Raidelevyys mitataan kiskon selän tason alapuolelta alueelta 0-15 mm.

Raidelevyden sallitut poikkeamat ovat kunnossapitotasojen laatuvaatimuksissa (RATO 13).



Kuva 2.4:1 Raidelevyys

Suorassa raiteessa ja kaarteissa, joiden säde $R \geq 220$ m raidelevyden nimellismittana käytetään arvoa 1524 mm.

Kaarteissa, joiden säde $R < 220$ m, on raidelevyden nimellisarvoa suurennettava taulukon 2.4:1 mukaan. Vaihteiden raidelevydestä on annettu omat ohjeet, jotka on otettava huomioon raidegeometrian suunnittelussa.

Raitteen levitys kaarteessa tehdään siirtämällä sisäpuolista kiskoja kaarteeseen keskipisteeseen päin. Siirryttäessä kaarteesta vastakaarteeseen on ulkokiskoa siirrettävä tarpeen mukaan. Levityksen tasaus tehdään suoraviivaisesti. Jos raitteen rakenne vaatii, on tasaus tehtävä portaittain. Levitys on tällöin ulotettava vähintään 5 m kaarteeseen ympyräosan ulkopuolelle ja raidelevyden muutos saa olla korkeintaan 5 mm porrasta kohden. Kuitenkin 16 mm levitys voidaan tehdä kolmessa portaassa.

Raidelevyden täyden levityksen on oltava normaalikaaren osuudella. Sen ulkopuolella levitys tasataan taulukosta 2.4:1 saatavan suurimman taseuspituuden matkalla.

Taulukko 2.4:1 Raidelevyden levitys kaarteessa

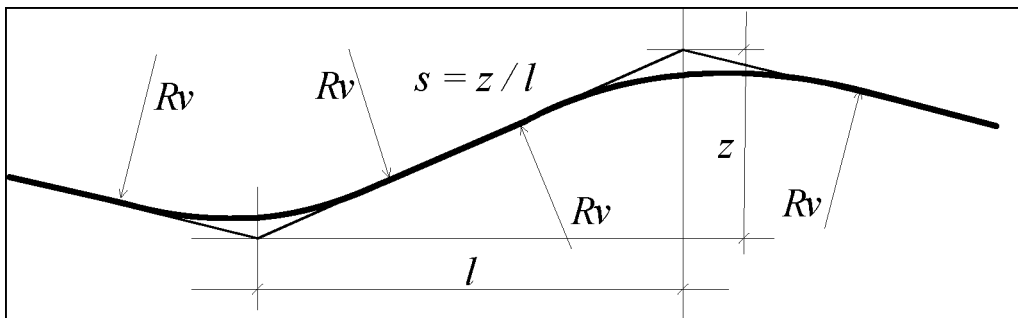
Kaarteen säde [m]	Levitys [mm]	Käytettävä raideleveys [mm]	Levityksen tasauspituus [m]
219...170	5	1529	≥ 5
169...150	10	1534	≥ 10
149...90	16	1540	≥ 16

2.5 PYSTYGEOMETRIA

Raiteen pystygeometria määrää raiteen sijainnin korkeussuunnassa. Pystygeometria määritetään korkeusviivan taitepisteiden avulla. Raiteen korkeusviiva muodostuu suorista kaltevuusjaksoista ja ympyränkaaren muotoisista kaltevuustaitteen pyöristyskaarista. Pystygeometriassa ei käytetä siirtymäkaaria.

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

Raiteen pituuskaltevuudella s tarkoitetaan korkeuseron z ja vastaavan vaakapituuden l välistä suhdetta, $s = z / l$ (kuva 2.5:1). Pituuskaltevuus ilmaistaan joko tuhannesosalukenä eli promilleina (esim. 4 ‰) tai desimaalilukuna (0,004). Pystygeometrian suunnittelussa määritetään kaltevuusjaksojen taitepisteet ja pyöristyskaarresäteet, R_v . Ne määrittävät pyöristyskaaren tangenttipisteiden paikat. Pituuskaltevuus lasketaan kaltevuusjaksojen taitepisteistä (kaava 2.5:1). Raiteen korkeusviiva pyöristetään taitepisteen kohdalla pyöristyskaarresäteellä R_v . Raiteen laskennallinen pituuskaltevuus on raiteen kaltevuusjakson suorassa osassa myös raiteen todellinen pituuskaltevuus.



Kuva 2.5:1 Raiteen pituuskaltevuus

$$s = 1000 z / l \quad [\text{‰}] \quad (2.5:1)$$

s = raiteen pituuskaltevuus [‰]
 z = taitepisteiden korkeusero [m]
 l = taitepisteiden välimatka raidetta pitkin [m]
 R_v = pyöristyskaarresäde [m]

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

2.5.1 Pituuskaltevuus ratalinjalla

Pituuskaltevuuden raja-arvot suoralla radalla rautatieliikennepaikkojen välisillä rata-osuuksilla ja rautatieliikennepaikan sivuraiteilla on esitetty taulukossa 2.5:1. Rautatieliikennepaikan muut ohjeet ovat RATO 7:ssä.

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

Taulukko 2.5:1 Pituuskaltevuuden raja-arvot suoralla radalla ja sivuraiteilla

RATA	PITUUSKALTEVUUS [‰]		
	Suositteltava	Maksimi-arvo	Lupa-arvo
Sekaliikenne- radat	≤ 10	12,5	25
Matkustaja- liikenne- radat	≤ 10	15	40
Tavaraliikenne- radat	≤ 10	12,5	25
Sivuraiteet	≤ 12,5	15	30

Taulukon tai suunnitteluperusteiden maksimiaron ylittäviä arvoja käytettäessä on tapauskohtaisesti tutkittava ja arvioitava vaikutukset sekä tehtävä lupahakemus Liikennevirastolle. Perusteena voi olla mm. nykyinen raiteen pituuskaltevuus.

Pituuskaltevuuden raja-arvoja on pienennettävä kaarteissa ominaiskaarrevastuksen arvolla w_r , (kaava 2.5:2).

$$w_r = \frac{650}{R - 55} \text{ [‰]} \quad (2.5:2)$$

$$w_r = \text{ominaiskaarrevastus [‰]}$$

$$R = \text{kaarresäde [m]}$$

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

2.5.2 Pituuskaltevuus rautatieliikennepaikalla

Rautatieliikennepaikan uusien raiteiden pituuskaltevuudet on määriteltävä RATO 7 Rautatieliikennepaikat mukaan.

2.5.3 Pystygeometrian suunnittelu

Pystygeometrian suunnittelussa on otettava huomioon seuraavat seikat:

- Vältetään lyhyitä, alle 600 m pituisia, lähellä maksimipituuskaltevuutta olevia erisuuntaisia pituuskaltevuuksia.
- Vältetään pitkiä yli 2000 m pituisia, lähellä maksimipituuskaltevuutta olevia kaltevuusjaksoja.
- Kaltevuusjaksojen on oltava niin pitkiä, että pyöristyskaarrien väliin jäävän suoran osan pituus on vähintään V_{tavoite} [m], poikkeuksellisesti $V_{\text{tavoite}} / 2$ [m]
- Vältetään pieniä pituuskaltevuuksien muutoksia, etenkin samansuuntaisten kaltevuusjaksojen muutoksia, joissa kaltevuus muuttuu ≤ 2 ‰.
- Pääraiteen pyöristyskaarresäteen on oltava kohdan 2.5.5 mukainen, mutta kuitenkin ehdottomasti vähintään 2000 m. /1 /
- Sivuraiteen pyöristyskaarresäteen on oltava RATO 7:n mukainen.

2.5.4 Nousut

2.5.4.1 Määrävä nousu

Määrävällä nousulla (s_m) tarkoitetaan sellaista pituuskaltevuutta, jossa on huomioitu ominaiskaarrevastuksen vaikutus ja joka määrittää rataosalla käytettävän junapainon tietylle vetovoimakokoonpanolle. Määräävän nousun mittakantana käytetään yleensä 500...1200 m liikenteen lajista ja nopeudesta sekä nousun jyrkkyydestä riippuen. Kaarteessa määrävä nousu (s_r) määritetään kaavan 2.5:3 mukaan.

$$s_r = s_m - w_r = s_m - 650/(R - 55) \quad (2.5:3)$$

s_m = määräävän nousun pituuskaltevuus suoralla [‰]
 s_r = määräävän nousun pituuskaltevuus kaarteessa [‰]
 w_r = ominaiskaarrevastus [N/kN]
 R = kaarresäde [m]

2.5.4.2 Vauhtinousu

Lyhyissä nousuissa voidaan käyttää määräävää nousua suurempaa nousua, jos junan liike-energia voidaan hyödyntää nousun ylittämiseen ($s_a > s_m$). Nousun pituus l_a [m] määritetään kaavan 2.5:4 mukaan.

$$l_a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2(s_a - s_m)} \quad (2.5:4)$$

l_a = vauhtinousun pituus [m]
 v_2 = nopeus alussa [m/s]
 v_1 = nopeus lopussa [m/s]
 s_m = määräävän nousun pituuskaltevuus [‰]
 s_a = määräävää nousua suurempi lyhyen nousun pituuskaltevuus [‰]

Vauhtinousua käytetään vain erikoistapauksissa.

2.5.4.3 Jarrutusraja

Kun radan pituuskaltevuus laskussa on suurempi kuin junan ominaisperuskuluvastus w_o (kaava 2.9:3) ja mahdollinen kaarrevastus w_r (kaava 2.5:2), vierii juna itsestään, jos sitä ei jarruteta. Rajakaltevuus on jarrutusraja, ja se on suoralla radalla noin 1,5...2,5 ‰ mm. kalustosta ja olosuhteista riippuen. Tämä on perusteena kohdan 2.5.2 vaatimukselle, uuden pysäköintiin tai kuormaukseen tarkoitetun raiteen pituuskaltevuus saa olla keskimääräisesti enintään 1,5 ‰.

2.5.4.4 Hukkanousu

Hukkanousulla tarkoitetaan sellaista radan korkeusaseman vaihtelua, joka ei hyödytä liikennettä tai on liikenteen energiatalouden kannalta epäedullinen. Hukkanousuja on syytä välttää, mutta tämä ei yleensä ole maaston, ympäristön tai rakentamiskustannusten takia mahdollista.

2.5.5 Kaltevuustaitteiden pyöristys

Kaltevuusjaksojen taitepisteen kohdalla raiteen korkeusviiva on pyöristettävä ympyränkaarella, jonka säde on R_v . Siirtymäkaarria ei käytetä.

Pääraiteen pyöristyskaarresäteen on oltava ehdottomasti vähintään 2000 m. /1 /

Sivuraiteen pyöristyskaarresäteen on oltava RATO 7:n mukainen.

Pyöristyskaarresäteen arvo R_V [m] on laskettava kaavoilla 2.5:5, 2.5:6 tai 2.5:7.

$R_V = V^2/11 \dots 1,5$	suositeltava	(2.5:5)
$R_V = V^2/3$	minimi	(2.5:6)
$R_V = 50\ 000$	maksimi	(2.5:7)

R_V = pyöristyskaarresäde [m]

V = tavoitenopeus tavanomaisella kalustolla [km/h]

Pyöristyskaarresäteiden tangenttien pituudet lasketaan korkeusviivan suunnittelussa kaavojen 2.5:8 tai 2.5:9 ja kuvien 2.5:2 tai 2.5:3 mukaan.

$$l = \frac{R_V(s_2 - s_1)}{2} \quad \text{kaltevuuden suunta ei muutu ja } s_1 < s_2 \quad (2.5:8)$$

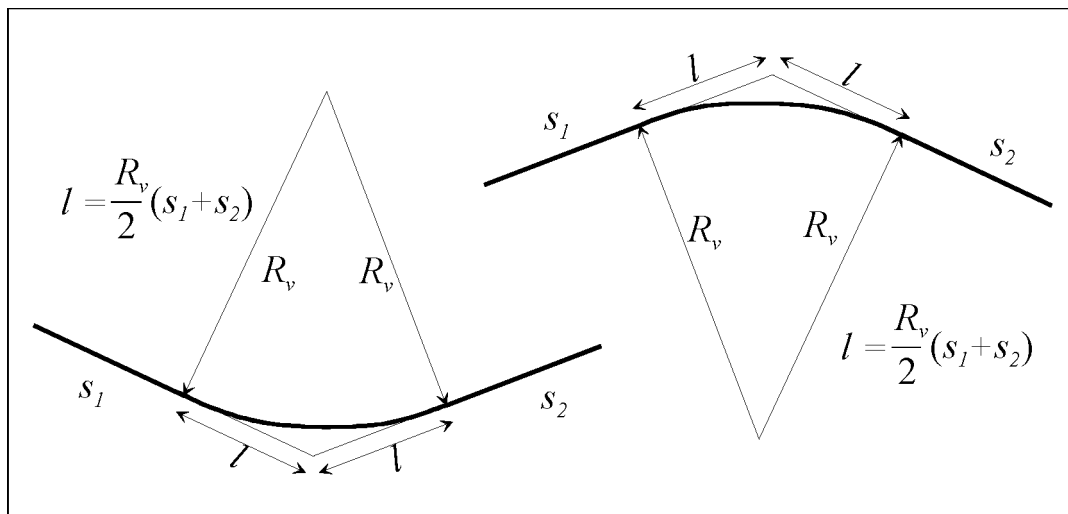
$$l = \frac{R_V(s_1 + s_2)}{2} \quad \text{kaltevuuden suunta muuttuu} \quad (2.5:9)$$

l = tangentin pituus [m]

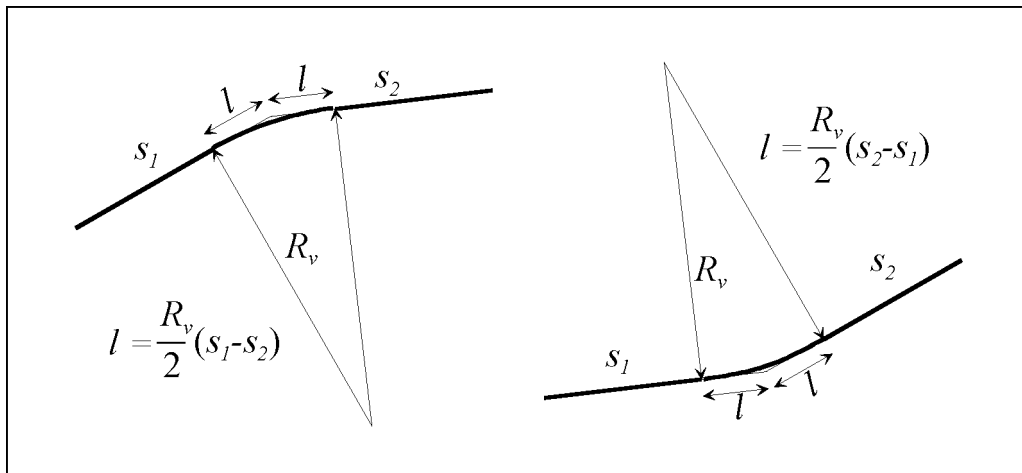
R_V = pyöristyskaarresäde [m]

s_1 ja s_2 = pituuskaltevuudet desimaalilukuina

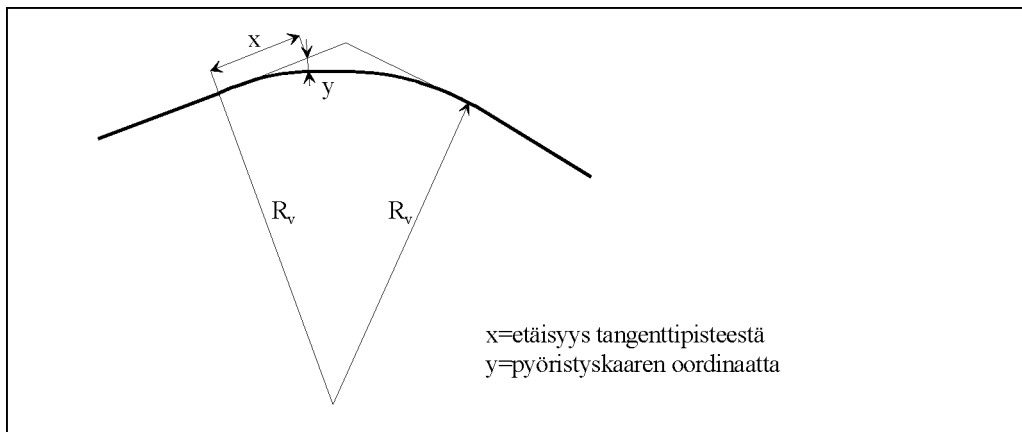
(l , R_V , s_1 ja s_2 toteutuvat korkeusviivatasoilla määrittelyraiteella)



Kuva 2.5:2 Tangenttien pituudet, kun pituuskaltevuuden suunta muuttuu



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



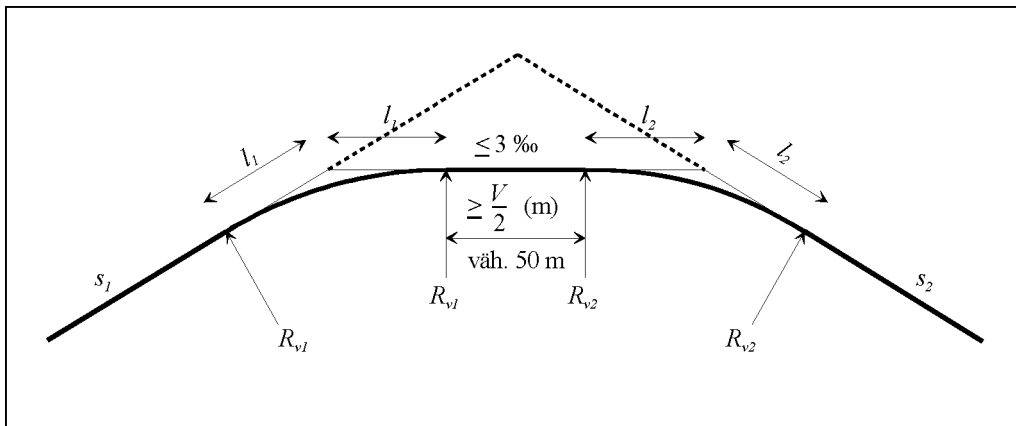
Kuva 2.5:4 Radan korkeusviiva pyöristyskaaren alueella

Pyörityksen ordinaatat lasketaan kaavan 2.5:10 ja kuvan 2.5:4 mukaan.

$$y = \frac{x^2}{2R_v} \quad (2.5:10)$$

y = ordinaatta [m]
 x = abskissa, etäisyys tangenttipisteestä [m]
 R_v = pyöristyskaarresäde [m]

Jos taitteessa kaltevuuden muutos on $\geq 16 \text{ ‰}$ ja pyöristyskaarresäde on $\leq 10\,000 \text{ m}$, pyritään taitteeseen sijoittamaan suora osuus, jonka kaltevuus on $\leq 3 \text{ ‰}$ ja pituus $\geq V/2$ [m], kun V = tavoitenoisuus [km/h]. Välisuoran on joka tapauksessa oltava vähintään 50 m (kuva 2.5:5).



Kuva 2.5:5 Kaltevuuden muutos $\geq 16\text{‰}$

Jos kupera taite joudutaan sijoittamaan siirtymäkaaren alueelle, pyöristyskaarsäteen tulee olla uusilla radoilla ja mahdollisuuksien mukaan olemassa olevilla radoilla kaavan 2.5:11 mukainen ja viistekertoimen vähintään 10V.

$$R_v \geq V^2 \quad (2.5:11)$$

2.6 VAAKAGEOMETRIA

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

Vaakageometrian suunnittelu voi olla joko raiteen geometrian suunnittelua tai geometrian salliman nopeuden määrittelyä olemassa olevalle raiteelle. Geometrian suunnittelun voi vielä jakaa kokonaan uuden tai nykyisen raiteen geometrian suunnitteluun.

Raiteen vaakageometrian suunnittelun tulos ja rautatieliikennepaikkojen raiteistojen muoto esitetään erilaisissa suunnitelmapiirustuksissa, geometrialistauksissa ja -tiedostoissa /g/.

2.6.1 Mitoitusperiaatteet

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

Raidegeometrian mitoitus perustuu kallistuksen vajaukseen. Keskenäiset projektit ja pienet raidegeometrian muutokset vanhoihin suunnitelmiin voi tehdä poikittaiskiihtyvyyden perusteella. Poikittaiskiihtyvyyden mitoituksen kaavat on koottu erilleen kohtaan 2.6.10. Suunnitteluperusteissa voidaan määrittää projektissa käytettävä mitoitusmenetelmä.

2.6.2 Kaarresäteet

2.6.2.1 Kaarresäteet läpikulkuraiteilla

Linjaraiteen ja rautatieliikennepaikan läpikulkuraiteen kaarteet on tehtävä pääsääntöisesti ympyränkaarista ja niihin liittyvistä siirtymäkaarista. Ilman siirtymäkaaria voi jättää pienikulmaiset raiteen yhdensuuntaissiirrot ja pienet suuntamuutokset, jotka toteutetaan suurisäteisillä ympyränkaarilla.

Kaarresäde on pyrittävä valitsemaan niin, että pääasiassa tavaraliikenteen radoilla raiteen normaalikallistus (kaava 2.6:6) on enintään 40...80 mm ja pääasiassa

matkustajaliikenteen radoilla enintään 80...110 mm. Taulukossa (taulukko 2.6:1) on normaalikallistuksia 110, 80 ja 40 mm vastaavat kaarresäteet eri mitoitusnopeuksille.

Taulukko 2.6:1 Suositeltavat kaarresäteet

Normaalikallistus [mm]	Mitoitusnopeus [km/h]									
	50	80	100	120	140	160	180	200	220	250
~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

Rautatieliikennepaikan läpikulkuraitteille on määritelty ohjeita RATO 7 Rautatieliikennepaikat ja RATO 16 Väylät ja laiturit -kohdissa.

Raitteen yhdensuuntaissiirrot ja pienet suuntamuutokset voi toteuttaa myös ilman siirtymäkaaria ja raitteen kallistusta kohdan 2.6.4 mukaan.

2.6.2.2 Kaarresäteet rautatieliikennepaikan muilla raiteilla

Rautatieliikennepaikan raiteilla sallitut pienimmät kaarresäteet on määritelty RATO 7 Rautatieliikennepaikat ja RATO 16 Väylät ja laiturit -ohjeissa.

Raitteen kaarteissa on käytettävä siirtymäkaaria RATO 7:n mukaan. Poikkeuksena ovat kohdan 2.6.4 raitteen yhdensuuntaissiirrot ja pienet suuntamuutokset.

2.6.3 Raitteen kallistus

Raitteen kaarteisiin suunnitellaan tarvittaessa raitteen kallistus halutun nopeuden saavuttamiseksi ja poikittaiskiihtyvyyden haittavaikutuksien vähentämiseksi. Raitteen kallistus tehdään niin, että sisäkaarten puoleinen kisko pysyy korkeusviivan määräämässä korkeudessa ja ulkokaarten puoleista kiskoa korotetaan korkeusviivasta kallistuksen verran, RATO 2.2.1.3.

Kallistuksen positiivinen arvo tarkoittaa, että ulkokaarten puoleinen kisko on sisäkaarten puoleista kiskoa korkeammalla ja negatiivinen kallistus päinvastaista tilannetta. Negatiivista kallistusta ei suunnitella kuin poikkeustapauksiin, esimerkiksi kallistetun kaarrevaihteen erkanevaan poikkeavaan raiteeseen.

Ihanteellinen kallistus olisi tasapainokallistus (kaava 2.6:7) todelliselle juna-nopeudelle. Yleensä kuitenkin käytetään raitteen normaalikallistusta (kaava 2.6:6) kaarten mitoitusnopeudelle. Koska kaarteissa kulkee kuitenkin junia eri nopeuksilla, on raitteen kallistus määriteltävä kompromissina koko liikenteen tarpeiden mukaan. Tasapainokallistus on pyrittävä määrittämään junapainoilla painotetulle junien keskinopeudelle, ja on varmistettava, että kallistuksen vajoitus ei ylitä maksimiarvoa nopeimmilla junilla ja että liikakallistus ei ole liian suuri hitaille junille. Jos mitoitus-

perusteena on poikittaiskiihtyvyyden, on varmistettava, että poikittaiskiihtyvyyden maksimiarvo ei ylitä nopeimmilla junilla ja, että negatiivinen poikittaiskiihtyvyyden ei ole liian suuri hitaille junille.

Raiteen kallistusta mitoitettaessa on otettava huomioon seuraavat seikat:

- Junan kulku ja matkustusmukavuus on hyvä kaikilla kysymykseen tulevilla nopeuksilla.
- Junan kulku on turvallista kaikilla kysymykseen tulevilla nopeuksilla.
- Raiteen kaarteissa sisä- ja ulkokiskon kuluminen on mahdollisimman tasaista.
- Hitaasti kulkevat ja pysähtyvät raskaat junat eivät juutu pitkän kaarteiden liian suureen kallistukseen.
- Jos radalla kulkee hitaita, alle mitoitusnopeudella kulkevia junia, on perusteltua käyttää pienempää kallistusta.

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

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

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

Pienin käytettävä kallistus on 20 mm.

Kallistuksen tarkkuutena käytetään millimetriä.

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

Laitureiden kohdalla raiteen kallistus saa olla enintään 100 mm, RATO 16:n mukaan. Suositeltava arvo on 0...60 mm.

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

Pienissä kaarresäteissä ei saa käyttää liian suurta raiteen kallistusta. Suuret raiteen kallistukset pienisäteisissä kaarteissa lisäävät vääntöjäykkien tavaravaunujen suistumisriskiä. Kun kaarresäde $R < 320$ m, raiteen kallistus saa olla korkeintaan kaavan 2.6:1 mukainen:

$$D_{\text{lim}} = (R - 50) \times 0,7 \text{ [mm]} \quad (2.6:1)$$

D_{lim} = maksimikallistus [mm]
 R = kaarresäde [m]

2.6.3.1 Kallistuksen vajoaus

Raiteen kallistuksen mitoitus perustuu kallistuksen vajaukseen tai poikittaiskiihtyvyyteen. Kallistuksen vajoaus on raiteen todellisen kallistuksen ja tasapainokallistuksen ero. Jos kallistuksen vajoaus on nolla, kaarteessa on tasapainokallistus tarkastellulle nopeudelle, eikä liikkuvaan kalustoon kohdistu poikittaiskiihtyvyyttä raiteen tasossa.

Liikakallistus tarkoittaa, että kaarteessa on liikaa kallistusta tarkasteltavalle nopeudelle, eli kallistus on yli tasapainokallistuksen. Tällöin liikkuvaan kalustoon kohdistuu kiskojen selän tasossa keskipakoisvoiman aiheuttama poikittaiskiihtyvyys sisäkaarteeseen suuntaan. Liikakallistus merkitään kallistuksen vajauksen negatiivisena arvona.

Kallistuksen vajauksen raja-arvot ovat:

1. Yli 120 km/h nopeudella, D- ja C₂-päälysrakenneluokan raiteilla matkustajaliikenteessä maksimi kallistuksen vajoaus on 130 mm.
2. Sepeliraiteilla muissa tapauksissa maksimi kallistuksen vajoaus on 105 mm.
3. Soraraitteella maksimi kallistuksen vajoaus on 73 mm.
4. Kallistuksen vajauksen ehdoton minimiarvo nopeudella 60 km/h on -105 mm ja suositeltava minimiarvo on -73 mm.

Kallistuksen vajoaus vastaa ilmiönä samaa kuin poikittaiskiihtyvyys, mutta se ilmaistaan eri nimellä ja mittayksiköllä. Kallistuksen vajauksella ja poikittaiskiihtyvyydellä on seuraava vastaavuus:

$$a_q = \frac{g \times I}{1600} = \frac{I}{163} \quad (2.6:2)$$

a_q = poikittaiskiihtyvyys [m/s²]
 g = putoamiskiihtyvyys 9,81 [m/s²]
 I = kallistuksen vajoaus [mm]

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

Kallistuksen vajoaus 73 mm vastaa poikittaiskiihtyvyyttä 0,45 m/s².
 Kallistuksen vajoaus 105 mm vastaa poikittaiskiihtyvyyttä 0,65 m/s².
 Kallistuksen vajoaus 130 mm vastaa poikittaiskiihtyvyyttä 0,80 m/s².
 Liikakallistus 105 mm vastaa poikittaiskiihtyvyyttä -0,65 m/s².
 Liikakallistus 73 mm vastaa poikittaiskiihtyvyyttä -0,45 m/s².

Kallistuksen vajoaus lasketaan kaavalla 2.6:3.

$$I = \frac{12,5V^2}{R} - D \quad (2.6:3)$$

I = kallistuksen vajoaus [mm]
 V = nopeus [km/h]
 R = kaarteiden säde [m]
 D = raiteen kallistus [mm]

Kaarteessa sallittu nopeus lasketaan kallistuksen vajauksen perusteella kaavalla 2.6:4.

$$V = \sqrt{\frac{R(D+I)}{12,5}} \quad (2.6:4)$$

V = sallittu nopeus kaarteessa [km/h]
 R = kaarteen säde [m]
 D = raiteen kallistus [mm]
 I = sallittu kallistuksen vajoaus [mm]

Pienin sallittu raiteen kallistus lasketaan kaavalla 2.6:5.

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

D = pienin sallittu raiteen kallistus kaarteessa [mm]
 V = sallittu nopeus kaarteessa [km/h]

Raiteen normaalikallistus lasketaan sepeliraiteella kaavalla 2.6:6.

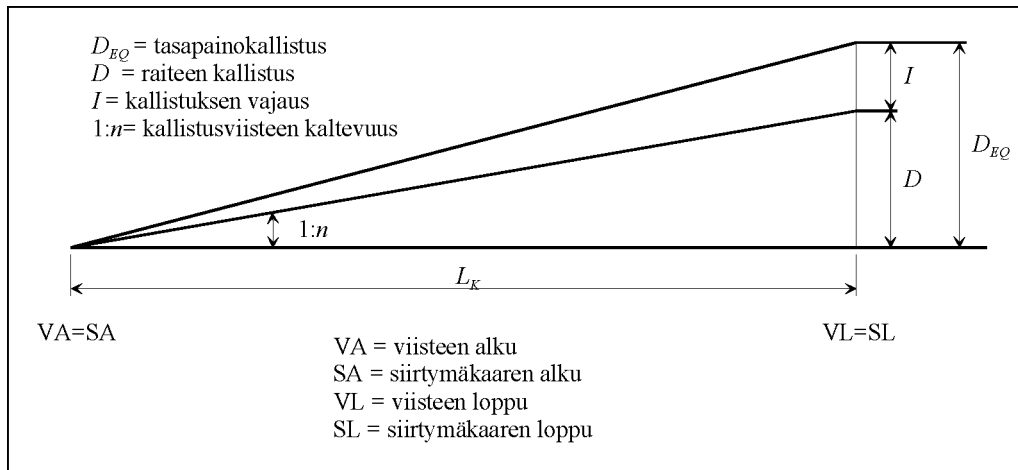
$$D = \frac{8V^2}{R} \quad (2.6:6)$$

D = raiteen normaalikallistus [mm]
 V = mitoitusnopeus kaarteessa [km/h]

Raiteen tasapainokallistus lasketaan kaavalla 2.6:7.

$$D_{EQ} = \frac{12,5V^2}{R} \quad (2.6:7)$$

D_{EQ} = raiteen tasapainokallistus [mm]
 V = nopeus kaarteessa [km/h]



Kuva 2.6:1 Raiteen kallistus ja kallistuksen vajoaus kallistusviisteen alueella

2.6.4 Raiteen yhdensuuntaissiirrot ja pienet suuntamuutokset

Raiteen yhdensuuntaissiirrot ja yksittäiset pienet suuntamuutokset on toteutettava yleensä normaalin kaarergeometrian mukaan siirtymäkaaria ja raiteen kallistusta käyttäen. Mikäli elementin pituudet jäävät lyhyiksi, voidaan yhdensuuntaisuusirrot ja suuntamuutokset toteuttaa myös ilman siirtymäkaaria ja raiteen kallistusta. Suositeltavat kaarresäteet ovat seuraavat:

$R = 30\ 000\ \text{m} \dots 40\ 000\ \text{m}$, kun $V > 160\ \text{km/h}$
 $R = 20\ 000\ \text{m} \dots 30\ 000\ \text{m}$, kun $140\ \text{km/h} < V \leq 160\ \text{km/h}$
 $R = 16\ 000\ \text{m} \dots 20\ 000\ \text{m}$, kun $V \leq 140\ \text{km/h}$.

2.6.5 Siirtymäkaari ja kallistusviiste

Kaarteissa, jossa käytetään kallistusta, on käytettävä normaalisti siirtymäkaarta ja kallistusviistettä. Siirtymäkaarena käytetään pääsääntöisesti klotoidia. Raiteen kallistus muuttuu kallistusviisteen matkalla. Kallistusviiste ja kallistuksen muutos toteutetaan yleensä siirtymäkaaren kohdalla ja niillä on sama alku- ja loppupiste. Tällöin kaarevuuden muutos tapahtuu yhtäaikaaisesti kallistuksen muutoksen kanssa. Kallistusviisteen pituus mitoitetaan kallistusviisteen jyrkkyyden mukaan ja siirtymäkaaren pituus kallistuksen vajauksen muutosnopeuden mukaan.

Siirtymäkaaria voidaan käyttää myös kaarteissa, joissa ei ole kallistusta. Tällöin pyritään vähentämään kaaren alkamisen aiheuttamaa kallistuksen vajauksen muutosnopeutta. Kallistuksen vajauksen muutosnopeus tarkoittaa kallistuksen vajauksen muutosta kulkuajan suhteen eli kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutosta. Siirtymäkaarta ei tarvitse käyttää normaalikaareissa, mikäli kaavojen 2.6.8, 2.6.9 ja 2.6.10 ehdot toteutuvat, eikä kohdan 2.6.4 mukaisessa tapauksessa.

$$R > V^2/2 \quad (2.6:8)$$

$$I = \frac{12,5V^2}{R} \leq 25 \text{ mm} \quad (2.6:9)$$

$$dI / dt = \frac{0,204V^3}{R} \leq 73 \text{ mm/s} \quad (2.6:10)$$

I = kallistuksen vajoaus [mm]
 V = nopeus [km/h]
 R = kaarteeseen säde [m]
 D = raiteen kallistus [mm]
 dI/dt = kallistuksen vajoauksen muutos kulkuajan suhteen [mm/s]

Siirtymäkaaren pituus mitoitetaan niin, että kallistuksen vajoauksen muutosnopeus ei ylitä suositeltavaa arvoa 49 mm/s ja maksimiarvoa 73 mm/s.

$$dI/dt = \frac{IV}{3,6L_K} \quad (2.6:11)$$

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

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

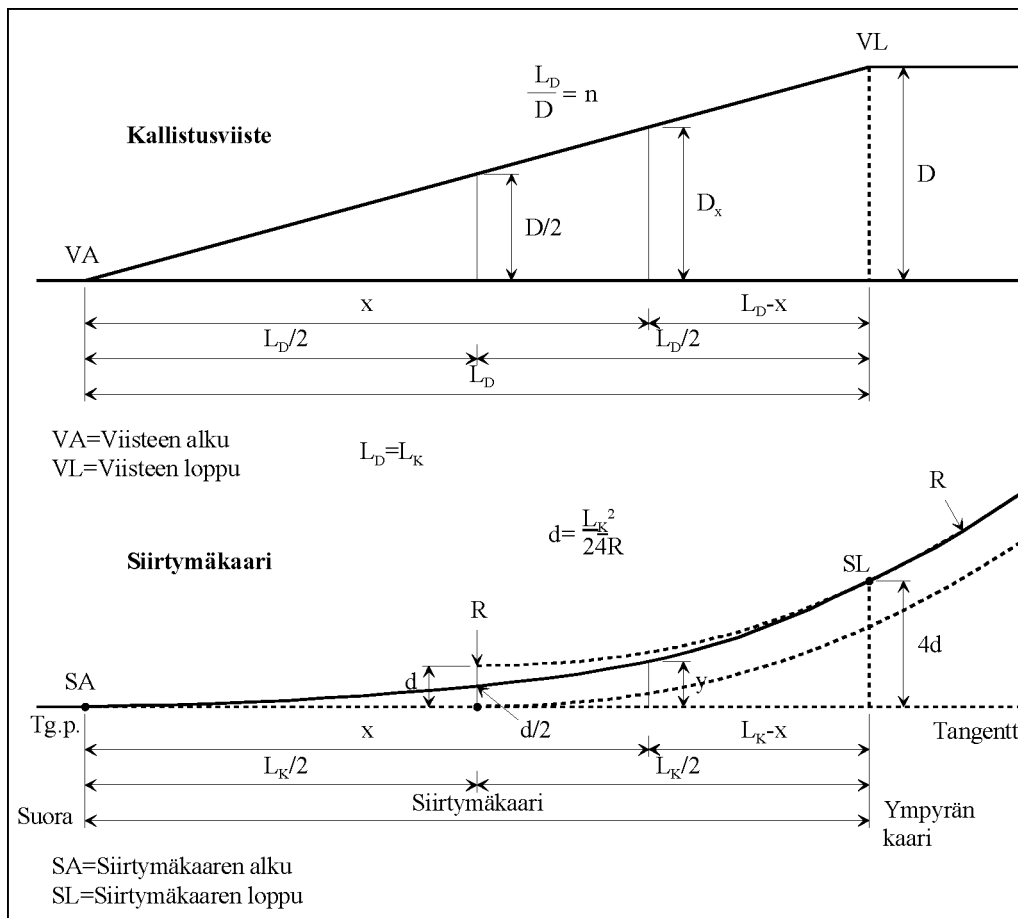
2.6.5.1 Klotoidi ja suora kallistusviiste

Klotoidi on käyrä, jonka kaarevuus muuttuu suoraviivaisesti. Siirtymäkaarena käytetään sen alkuosaa, lukuun ottamatta korikaaren eri kaarien välisiä siirtymäkaaria. Klotoidin likiarvo on 3.asteen käyrä, jota aikaisemmin on Suomessa käytetty siirtymäkaarena. Klotoidi määritellään yhtälöllä 2.6:12.

$$L_n R_n = A^2 \quad (2.6:12)$$

L_n = klotoidin pituus suoralta pisteeseen n [m]
 R_n = ympyräkaaren säde pisteessä n [m]
 A = klotoidin parametri

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



Kuva 2.6:2 Suora kallistusviiste ja siirtymäkaari

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

Suoran kallistusviisteen kaltevuus määrätään tapauksesta riippuen kaavojen 2.6:15–20 mukaan.

Siirtymäkaaren aiheuttama ympyränkaaren sivusiirtymä lasketaan kaavan 2.6:13 mukaan.

$$d = \frac{L_K^2}{24R} \quad (2.6:13)$$

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

Kallistuksen muutosnopeus:

$$\frac{dD}{dt} = \frac{\Delta D}{L_D} \times \frac{V}{3,6} \quad (2.6:14)$$

Kallistuksen muutoksen jyrkkyys:

$$\frac{dD}{ds} = \frac{\Delta D}{L_D} = \frac{1}{n} \quad (2.6:15)$$

n = viistekerroin

V = nopeus [km/h]

L_D = suoran kallistusviisteen pituus [m]

ΔD = raiteen kallistus [m]

$$n = 10V \quad \text{suositeltava} \quad (2.6:16)$$

$$n = 8V \quad \text{minimi} \quad (2.6:17)$$

$$n = 6V \quad \text{lupa-arvo} \quad (2.6:18)$$

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

Kaavan (2.6:18) mukaisen viistekertoimen käyttämistä pyritään välttämään, jos raiteessa on normaalia kallistusta pienempi kallistus.

Viistekerroin lasketaan kaavalla (2.6:19)

$$n = 1000 \frac{L_D}{D} \quad (2.6:19)$$

n = viistekerroin

L_D = suoran kallistusviisteen pituus [m]

D = raiteen kallistus [mm]

Suoran kallistusviisteen pituus lasketaan kaavan (2.6:20) mukaan.

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

L_D = suoran kallistusviisteen pituus [m]

n = viistekerroin

D = raiteen kallistus [mm]

2.6.5.2 Helmertin siirtymäkaari ja S-kallistusviiste

Helmertin siirtymäkaari on 4. asteen käyrä, josta aiemmin on käytetty nimitystä 4. asteen siirtymäkaari. Sitä käytettäessä tulee käyttää S-kallistusviistettä, joka on toisen asteen paraabeli.

Siirtymäkaaren pituus mitoitetaan niin, että kallistuksen vajauksen muutosnopeus ei ylitä suositeltavaa arvoa 49 mm/s ja maksimiarvoa 73 mm/s.

$$dI/dt = \frac{IV}{1,8L_K}$$

S-viisteen suurin kaltevuus on kallistusviisteen keskikohdassa, jossa viistekerroin n on kaavojen 2.6:21, 2.6:22 ja 2.6:23 mukainen (kuva 2.6:3).

$n = 6V$	suositeltava	(2.6:21)
$n = 5V$	minimi	(2.6:22)
$n = 4V$	lupa-arvo	(2.6:23)

n = viistekerroin
 V = nopeus [km/h]

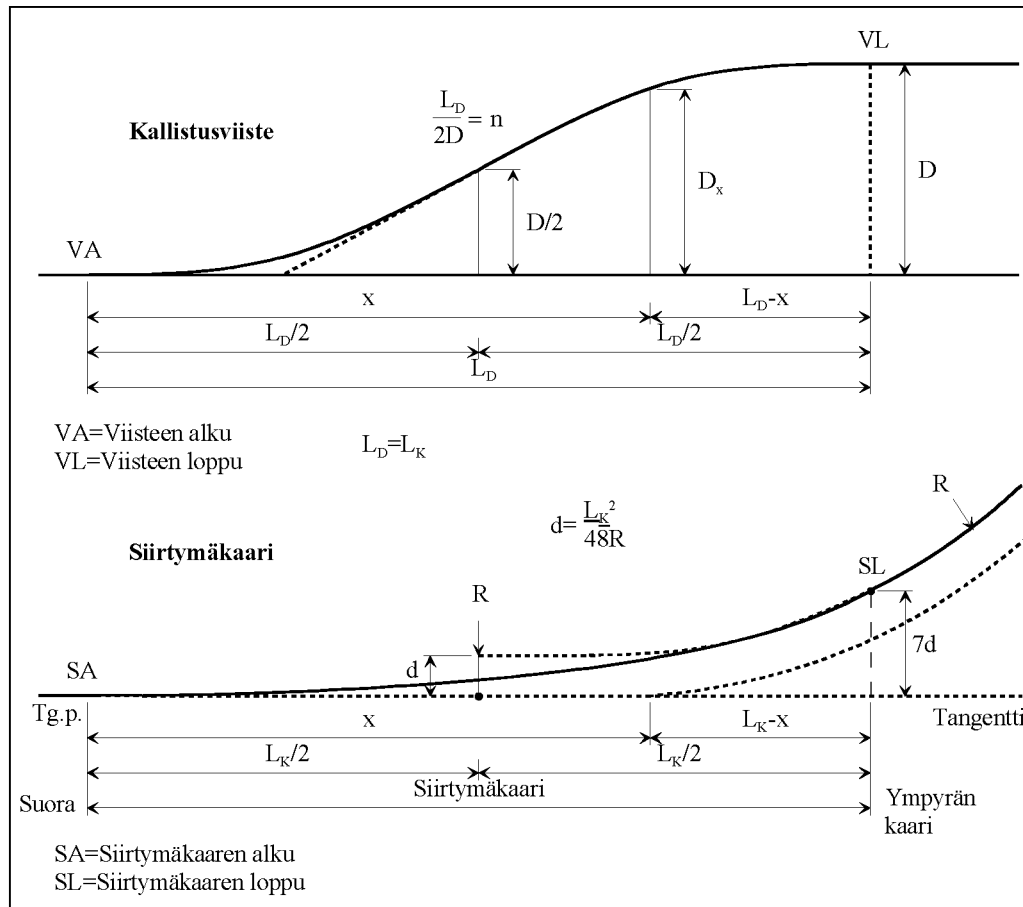
Viistekerroin n ei kuitenkaan saa olla pienempi kuin 400.

S-kallistusviisteen viistekerroin lasketaan kaavalla (2.6:24)

$$n = 500 \frac{L_D}{D} \quad (2.6:24)$$

n = S-kallistusviisteen viistekerroin
 L_D = S-kallistusviisteen pituus [m]
 D = raiteen kallistus [mm]

Helmertin siirtymäkaari on $\sqrt{2} \times$ pidempi kuin klotoidi samalla ympyränkaaren sivusiirtymällä. Tämä mahdollistaa suuremman kallistuksen käytön ja täten suuremman nopeuden käytön, mikäli kallistus on ollut nopeuden nostoa rajoittava tekijä. Tätä voidaan hyödyntää erityisesti nykyisten raiteiden perusparannuksissa. Helmertin siirtymäkaarella raiteeseen kohdistuvat sivuvoimat ovat keskellä siirtymäkaarta suurempia kuin klotoidissa. Tämä asettaa kunnossapidolle kovempia vaatimuksia ja sitä käytetään vain silloin, kun hyöty on merkittävä.



Kuva 2.6:3 S-kallistusviiste ja Helmholtin siirtymäkaari

S-kallistusviistettä voidaan yleensä käyttää, jos raiteen kallistus on ≥ 100 mm ja nopeus > 120 km/h.

S-viisteen pituus lasketaan kaavan 2.6:25 mukaan.

$$L_D = \frac{2nD}{1000} \quad (2.6:25)$$

n = viistekerroin
 L_D = S-kallistusviisteen pituus [m]
 D = raiteen kallistus [mm]

Ympyrän kaaren sivusiirtymä lasketaan kaavan 2.6:26 mukaan.

$$d = \frac{L_K^2}{48R} \quad (2.6:26)$$

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

Raiteen kallistus S-kallistusviisteessä lasketaan kaavojen 2.6:27 ja 2.6:28 mukaan.

$$D_x = 2D \frac{x^2}{L_D^2}, \text{ kun } x < L_D/2 \quad (2.6:27)$$

$$D_x = \frac{D - 2D(L_D - x)^2}{L_D^2}, \text{ kun } x > L_D/2 \quad (2.6:28)$$

x = kallistusviisteen abskissa [m], kun origona on viisteen alkupiste (VA) ja laskenta etenee kaarteeseen päin

D_x = kallistuksen (x) arvoa vastaava ordinaatan arvo [mm]

D = raiteen kallistus kaarteessa [mm]

L_D = viisteen pituus [m]

2.6.6 Korikaari ja S-kaari

2.6.6.1 Korikaari

Korikaari muodostuu kahdesta tai useammasta samaan suuntaan kääntyvästä kaaresta, joiden säteet poikkeavat toisistaan ja joiden välillä ei ole suoraa. Korikaarta käytetään, jos esteet ja pakkopisteet määrittävät raiteen sijainnin niin, että kaarta ei voida muodostaa yhdellä normaalikaarella.

Korikaaren eri kaarien välissä on käytettävä tarvittaessa siirtymäkaaria. Siirtymäkaarien tarve lasketaan kallistuksen vajauksen ja kallistuksen vajauksen muutoksen avulla (kaavat 2.6:29, 2.6:30 ja 2.6:31). Siirtymäkaaria ei tarvita, jos kaavojen ehdot toteutuvat. Jos eri kaarissa on erilainen raiteen kallistus, on niiden välille tehtävä kallistusviiste ja sen kohdalle siirtymäkaari. Siirryttäessä korikaarella kallistuksesta toiseen määrätään viistekerroin ja viisteen pituus. Kaavoissa raiteen kallistuksen paikalla on käytettävä kallistusten erotus $D_1 - D_2$. Korikaaren kaarien väliin tuleva siirtymäkaari ja kallistusviiste on tehtävä yhtä pitkiksi. Poikkeustapauksessa jos siirtymäkaari on lyhyempi kuin viisteen pituus, on viistettä jatkettava suurempisäteisen kaarten puolelle.

Korikaaren ja suoran välissä, kaaren alussa ja lopussa olevan siirtymäkaaren tarve on laskettava normaalikaaren kaavojen 2.6:8, 2.6:9 ja 2.6:10 mukaisesti. Siirtymäkaaren pituus ja kaarien kallistukset on laskettava myös kuin normaalikaarella, siten että poikittaiskiihtyvyyttä tai nykäystä ja kallistuksen muutoksen jyrkkyys eivät kasva liian suureksi.

$$\frac{R_1 R_2}{(R_1 - R_2)} > \frac{V^2}{2} \quad (2.6:29)$$

$$12,5V^2 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \leq 25 \text{ mm} \quad (2.6:30)$$

$$dI/dt = 0,204V^3 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \leq 73 \text{ mm/s} \quad (2.6:31)$$

R_1 ja R_2 = säteitä [m]
 V = mitoitusnopeus [km/h]

Korikaarien eri kaarien kallistukset on mitoitettava samoin kuin normaalikaarissakin. Korikaaren eri kaarien väliset siirtymäkaaret ja kallistusviisteet on mitoitettava siten, että kallistuksen vajauksen muutos korikaareissa (kaava 2.6:32) ei ylitä suositeltavaa arvoa 49 mm/s ja maksimiarvoa 73 mm/s.

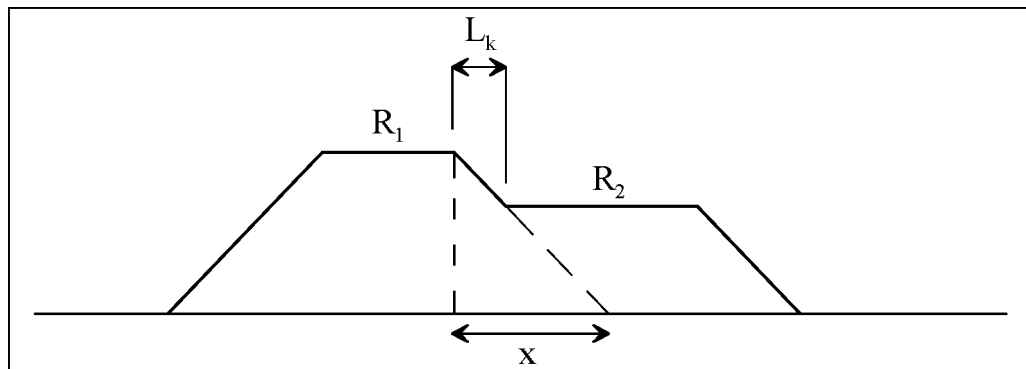
$$dI/dt = \frac{(I_1 - I_2)V}{3,6L_K} \quad (2.6:32)$$

Kaavojen 2.6:33, 2.6:34 ja 2.6:35 avulla saadaan laskettua suositeltavat, minimi- ja lupa-arvot siirtymäkaaren pituudelle korikaaren eri kaarien välille. Nopeus annetaan kilometreinä tunnissa.

Suosittelava siirtymäkaaren pituus: $L_K = \frac{(D_1 - D_2)V}{100} \quad (2.6:33)$

Minimi siirtymäkaaren pituus: $L_K = \frac{(D_1 - D_2)V}{125} \quad (2.6:34)$

Lupa-arvo siirtymäkaaren pituudelle: $L_K = \frac{(D_1 - D_2)V}{166,67} \quad (2.6:35)$



Kuva 2.6:4 Korikaaren siirtymäkaaren teoreettinen kokonaispituus

Korikaaren kaarreosien välisen siirtymäkaaren L_K kaarevuus on siirtymäkaaren lopussa sama, kuin kaareissa R_1 ja siirtymäkaaren alussa sama, kuin R_2 kaareissa. Kaarreosien välinen siirtymäkaari on osa pienemmän kaarresäteen ja suoran välistä teoreettista siirtymäkaarta x . Teoreettisen siirtymäkaaren pituus x voidaan laskea kaavalla 2.6:36.

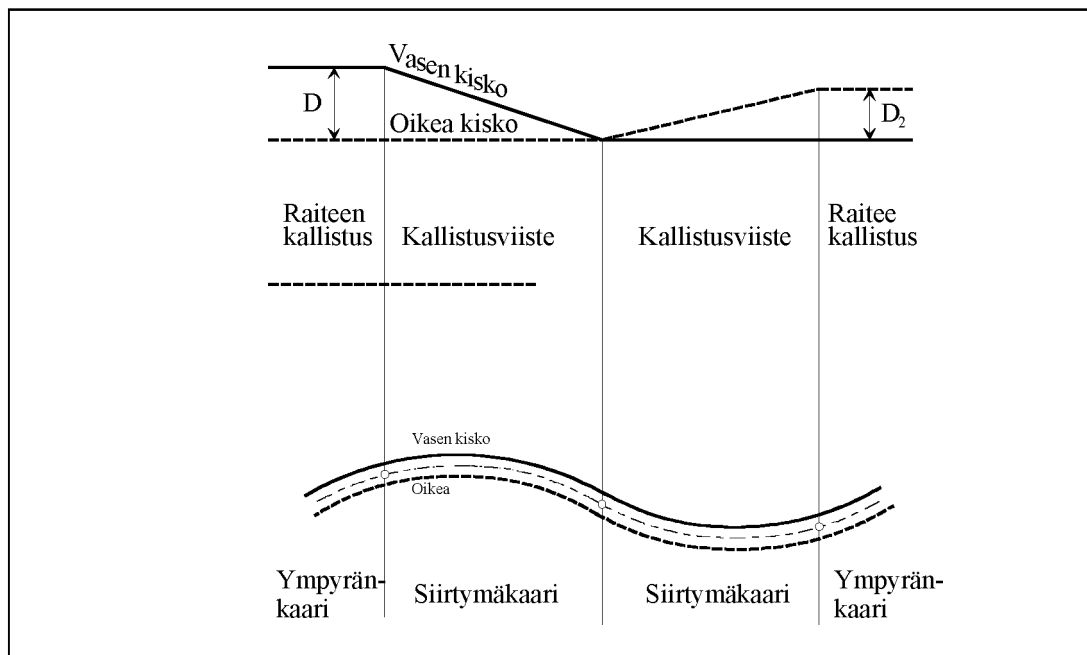
$$x = \frac{R_2 L_K}{R_2 - R_1} \quad (2.6:36)$$

2.6.6.2 S-kaari

S-kaari tarkoittaa kahden vastakkaisiin suuntiin kääntyvän kaarten yhdistelmää. Kaarteet voivat olla normaalikaaria tai korikaaria.

Vastakkaisiin suuntiin kääntyvien kaarien siirtymäkaarien ja kallistusviisteiden alkupisteet on pyrittävä yhdistämään, jos välisuoraa ei saada kohdan 2.6.7 mukaan riittävän pituiseksi.

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



Kuva 2.6:5 Vastakkaisiin suuntiin kääntyvät kaaret

Sivuraiteilla S-kaareissa kaarresäteiden ollessa alle 275 m on välisuoran pituudessa noudatettava RATO 7:n kohdan 7.3.6.4.3 mukaisia ehtoja.

2.6.7 Elementtien minimipituudet

Elementin minimipituus

Ympyränkaaren ja välisuoran pituuden on pääraiteilla oltava vähintään 30 metriä. Tämä vaatimus ei koske raiteen yhdensuuntaissiirtoja eikä pieniä suuntamuutoksia, jos niiden kaarresäde on vähintään kohdan 2.6.4 mukainen.

Ympyränkaaren suositeltava pituus on kaikilla raiteilla vähintään:

$$L = \frac{V}{4} \text{ [m]} \quad (2.6:37)$$

V = tavoitenopeus [km/h]

Välisuoran suositeltava pituus on kaikilla raiteilla vähintään:

$$L = \frac{V}{2} \text{ [m]} \quad (2.6:38)$$

Raiteenvaihtopaikan vaihteiden välinen suora

Raiteenvaihtopaikan vaihteiden kaarien välissä olevan suoran minimipituus L on kaavan 2.6:39 mukaan, katso RATO 7.5.4.

$$L = 0,15 \times V \text{ [m]} \quad (2.6:39)$$

V = vaihteiden välisen raiteen nopeus [km/h]

Vaihteiden väliset osuudet

Vaihteiden välisen alueen elementtien minimipituus määritellään RATO:n osissa 4 ja 7.

Pääraiteella vaihteiden välialueen pituuden on oltava vähintään 6,0 m. Mikäli vaihteet muodostavat S-kaaren on välialueen oltava RATO 7:n mukainen.

Siirtymäkaaren pituus

Siirtymäkaaren minimipituus käsitellään kohdassa 2.6.5.

2.6.8 Pyörityssäännöt

Raiteella sallitut nopeudet ilmoitetaan liikenteelle täysinä kymmeninä km/h-arvoina, paitsi osalle sivuraiteita arvona 35 km/h. Määritettäessä kaarteiden suurinta sallittua nopeutta voi K43- ja K30-raiteilla ja 54E1-puuratapölkkyraiteella käyttää normaaleja pyörityssääntöjä. Kun kaavojen raja-arvoilla laskettu kaarteiden suurin nopeus on XX9,5 km/h, sen voi pyörittää seuraavaan täyteen 10 km/h -arvoon. Kun 60E1- ja 54E1-betonipölkkyraiteilla kallistuksen vajauksen rajana on 105 mm (tai poikittaiskiihtyvyyden arvo 0,65 m/s²), laskennasta saadun arvon voi pyörittää ylöspäin 2 km/h, kunhan kallistuksen vajauksen muutoksen arvo 73,4 mm/s (tai nykyarvo 0,45 m/s³) ei ylity.

2.6.9 Suurnopeusradat ≥ 250 km/h

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

Pituuskaltevuuden lupa-arvo on 35 ‰ taulukon 2.5:1 40 ‰ sijaan.

Sivuraiteiden pyöristyssäteen minimi kuperassa taitteessa on 600 m ja koverassa taitteessa 900 m kohdan 2.5.3 500 m sijaan.

Kallistuksen vajauksen maksimi-arvot ovat kohdasta 2.6.3.1 poiketen:

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

80 mm nopeudella $V > 300$ km/h.

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

180 mm nopeudella $V < 160$ km/h.

165 mm nopeudella $160 < V \leq 230$ km/h

130 mm nopeudella $250 < V \leq 300$ km/h. Arvon voi korottaa 150 mm radoilla, jotka eivät ole sepelipohjaisia kuten kiintoraiteessa.

80 mm kallistuksen vajoaus vastaa poikittaaskiihtyvyyttä 0,49 m/s²

100 mm kallistuksen vajoaus vastaa poikittaaskiihtyvyyttä 0,61 m/s²

130 mm kallistuksen vajoaus vastaa poikittaaskiihtyvyyttä 0,80 m/s²

150 mm kallistuksen vajoaus vastaa poikittaaskiihtyvyyttä 0,92 m/s²

165 mm kallistuksen vajoaus vastaa poikittaaskiihtyvyyttä 1,01 m/s²

180 mm kallistuksen vajoaus vastaa poikittaaskiihtyvyyttä 1,10 m/s²

2.6.10 Mitoitus poikittaaskiihtyvyydellä

Raidegeometrian mitoitus on tehtävä kallistuksen vajoasta käytävällä menetelmällä aiemmin käytetyn poikittaaskiihtyvyyksimenetelmän sijaan. Keskeneräiset projektit ja pienet muutokset aiempiin suunnitelmiin voi tehdä poikittaaskiihtyvyyksimenetelmällä. Suunnitteluperusteissa voi määritellä, kumpaa menetelmää käytetään.

2.6.10.1 Poikittaiskiihtyvyys

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

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

a_q = poikittaiskiihtyvyys [m/s²]
 g = putoamiskiihtyvyys 9,81 [m/s²]
 I = kallistuksen vajoitus [mm]

Poikittaiskiihtyvyyden raja-arvot ovat:

1. Yli 120 km/h:n nopeudella, D- ja C₂-päällysrakenneluokan raiteilla matkustaja-liikenteessä maksimi poikittaiskiihtyvyys on 0,80 m/s².
2. Sepeliraiteilla muissa tapauksissa maksimi poikittaiskiihtyvyys on 0,65 m/s².
3. Soraraitteella maksimi poikittaiskiihtyvyys on 0,45 m/s².
4. Negatiivisen poikittaiskiihtyvyyden ehdoton minimiarvo nopeudella 60 km/h on -0,65 m/s² ja suositeltava minimiarvo on -0,45 m/s².

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

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

Poikittaiskiihtyvyys 0,45 m/s² vastaa kallistuksen vajaan 73 mm.
Poikittaiskiihtyvyys 0,65 m/s² vastaa kallistuksen vajaan 105 mm.
Poikittaiskiihtyvyys 0,80 m/s² vastaa kallistuksen vajaan 130 mm.
Poikittaiskiihtyvyys -0,65 m/s² vastaa liikakallistusta 105 mm.
Poikittaiskiihtyvyys -0,45 m/s² vastaa liikakallistusta 73 mm.

Poikittaiskiihtyvyys on kiskon selän tasossa, kaava 2.6:41:

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

a_q = poikittaiskiihtyvyys [m/s²]
 V = nopeus [km/h]
 R = kaarresäde [m]
 D = raiteen kallistus [mm]

Nopeus kaarteessa on poikittaiskiihtyvyyden perusteella kaavan 2.6:42 mukainen.

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

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

2.6.10.2 Siirtymäkaari ja kallistusviiste

Siirtymäkaarta ei tarvitse käyttää normaalikaareissa, mikäli molempien kaavojen 2.6:43 ja 2.6:44 ehdot toteutuvat, eikä kohdan 2.6.4 mukaisessa tapauksessa.

$$R > V^2/2 \quad (2.6:43)$$

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

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

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

Kallistusviisteen pituus on laskettava kohdan 2.6.5.1 (suora viiste) tai 2.6.5.2 (S-viiste) mukaan niin, että kallistusviiste ei tule liian jyrkäksi.

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

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

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

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

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

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

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

$$\frac{da_q}{dt} = \text{nykäys [m/s}^3\text{]}$$

a_q = poikittaiskiihtyvyys ympyränkaareissa [m/s²]

L_K = siirtymäkaaren pituus [m]

R = kaarresäde [m]

D = raiteen kallistus [mm]

V = mitoitusnopeus [km/h]

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

2.6.10.3 Korikaari

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

$$\frac{R_1 R_2}{(R_1 - R_2)} > \frac{V^2}{2} \quad (2.6:49)$$

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

R_1 ja R_2 = kaarresäteet [m]

V = mitoitusnopeus [km/h]

Korikaaren eri ympyränkaarien välisen siirtymäkaaren nykäys on laskettava kaavoilla 2.6:47 ja 2.6:48. Kaavojen poikittaiskiihtyvyyden arvona a_q on käytettävä eri ympyränkaarien poikittaiskiihtyvyyksien erotuksen itseisarvoa $a_q = |a_{q1} - a_{q2}|$.

Korikaaren eri ympyränkaarien välisen siirtymäkaaren kallistusviisteen jyrkkyys on laskettava kohtien 2.6.5.1 ja 2.6.5.2 kaavojen mukaan. Kaavojen raiteen kallistuksen arvona D on käytettävä eri ympyränkaarien raiteen kallistuksen erotuksen itseisarvoa

$$D = |D_1 - D_2|.$$

Korikaaren alussa ja lopussa, kaaren ja suoran välissä olevan siirtymäkaaren tarve on laskettava kaavojen 2.6:43 ja 2.6:44 mukaisesti. Siirtymäkaaren pituus ja kaarien kallistukset on laskettava kuin normaalikaarella, siten että poikittaiskiihtyvyys tai nykäys ei kasva liian suureksi. Kallistusviisteen pituus on laskettava kohtien 2.6.5.1 ja 2.6.5.2 mukaan.

2.7 AUKEAN TILAN ULOTTUMA

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

2.7.1 Aukean tilan ulottuman päämitat

ATUn muoto ja mitat on esitetty liitteessä 2. Ajojohtorakenteen vaatiman tilan ja veturin virroitimen läpikulkutilan sähköistetyillä radoilla osoittaa murtoviiva D-E-F-G-H-L.

ATUn mitat ovat minimimittoja, joiden tulee olla voimassa kaikissa olosuhteissa. Suunnittelussa on otettava huomioon tarvittavat rakentamis- ja kunnossapitotoleranssit.

2.7.1.1 Leveysmitat

ATUn puolileveyden perusmittoja on kaarteissa suurennettava siten, että kallistuksessa raiteessa noudatetaan taulukon 2.7:1 sarakkeiden 3...9 ja kallistamattomassa raiteessa kaartein sisä- ja ulkopuolella taulukon 2.7:1 saraketta 10. Suurentaminen (b) on laskettu kaavojen 2.7:1, 2.7:2 mukaan ja arvot on pyöristetty ylöspäin lähimpään viiteen millimetriin. Taulukon 2.7:1 arvot ovat suositeltavia suunnittelu-arvoja. Todellisen ATUn puolileveyden levitys tehdään kaavan 2.7:1 mukaisesti todellisia raiteen kaarresäde- ja kallistusarvoja käyttäen. Kiskon selän alapuolella olevia ATUn mittoja ei tarvitse leventää kaarteissa.

$$b = \frac{36000}{R} + \frac{HD}{1600} \quad \text{sarakkeet 3...6} \quad (2.7:1)$$

$$b = \frac{HD}{1600} \quad \text{sarakkeet 7 ja 8} \quad (2.7:2)$$

$$b = \frac{36000}{R} \quad \text{sarakkeet 9 ja 10} \quad (2.7:3)$$

R = säde [m]
 H = korkeus [mm]
 D = raiteen kallistus [mm],
 b = puolileveyden levitys [mm]

Kaavakerroin 36000 vastaa 17 metrin telikeskiövälä.

Siirtymäkaaren osuudella levitys kasvaa suoraviivaisesti maksimiarvoonsa. Kaarteessa, jossa ei ole siirtymäkaarta, levitys määrätään kaavan 2.7:3 ja liitteen 3 mukaan. Vaihteiden kohdalla ATUn puolileveyden levitys tehdään liitteen 4 mukaan.

Taulukko 2.7:1 Suositeltavat arvot ATUn puolileveyden perusmittojen (b) suurentamiseksi kaarteissa.

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

Huom.

1. Kaarteiden väliarvoja vastaavat levitykset voidaan määrätä suoraviivaisesti.
2. Laskelmissa on oletettu veturin virroitimen olevan telikeskiön kohdalla.
3. Laskelmien perustana on käytetty vaunua, jonka korin pituus on 24 m ja telikeskiöväli 17 m.

4. Todellista kallistusta voidaan käyttää b -arvona laskettaessa, jos kallistuksen lisäys myöhemminkään ei ole tarpeen.
5. Mikäli raiteen kallistuksen todellinen arvo on suurempi kuin sarakkeen 2 arvo, on käytettävä todellista arvoa.

2.7.1.2 Korkeusmitat

ATUn korkeus kiskon selästä mitattuna välillä D–L (liite 2) on sähköistämättömällä suoralla pää- ja sivuraiteella 5600 mm.

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

Kallistetussa raiteessa on ATUn kulmapisteiden korkeus mitoitettava liitteen 3/1 kaavojen mukaisesti.

2.7.1.3 Ovi- ja porttiaukot

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

Laitureiden porrashuoneiden sekä muiden rakenteiden mitoille on esitetty omat vaatimukset RATO 16:ssa.

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

Liikenneviraston luvalla voidaan perustelluista syistä rakentaa uusi vaihtotyöhön käytettävä vähintään 4400 mm leveä porttiaukko tai sijoittaa toinen aukon reunoista vähintään 2200 mm:n etäisyyteen raiteen keskiviivasta.

Ovi- ja porttiaukkojen korkeuden on oltava seuraava:

- kuormauttuma 5 400 mm
- sähkökalusto 6 200 mm kiskon selästä sisältäen ajojohtimen tilan.

Yleensä aukkojen korkeuden on oltava 100 mm suurempi kuin korkeimman niiden kautta kulkevan kuorman.

2.7.1.4 Laippaura

Laippauran leveyden on aina oltava vähintään 41 mm ja syvyyden vähintään 38 mm rataiskon ollessa kuluneimmillaan. Laippaura on suunniteltava aina vähintään 44 mm levyiseksi ja mikäli raideleveyden leventymättömyyttä tai laippauran muodostavan rakenteen paikallaan pysyvyyttä ei voida varmentaa, vähintään 75 mm levyiseksi. Vaihteiden ja raideristeyksien vastakiskosovituksissa on laippauran minimileveys uusissa rakenteissa yleensä vähintään 41 mm. Kaarteessa, joissa raideleveyttä on lisättävä, on laippauran leveyttä lisättävä vastaavasti. Urakiskossa P37 sallitaan tyyppiirustuksen mukainen laippaura. Vaihteissa, urakiskoissa ja raidejarrujen, laippaurakumien ja vastaavien erikoisrakenteiden kohdalla laippaura mitoitetaan kyseisissä rakennepiirustuksissa. Tasoristeysrakenteissa ja kuormauskentillä voidaan urakiskon tai vastaavan rakenteen yhteydessä käyttää laippauratäytettä. Täytteen on oltava sellaista, että se painuu vähintään 40 mm 25 kN:n akselipainolla.

2.7.1.5 Raideväli

Uusia ratoja rakennettaessa raidevälin tulee olla suoralla radalla vähintään 4500 mm ja olemassa olevia ratoja muutettaessa vähintään 4100 mm ja vaihteiden kohdalla yleensä vähintään 4300 mm. Käytettäessä pitkiä vaihteita on kukin tapaus tutkittava erikseen. Liikennepaikkojen kohdalla on noudatettava RATO:n osan 7 "Rautatie-liikennepaikat" ohjeita. Pääraiteiden vähimmäisraidevälit on esitetty taulukossa 2.7:2.

Taulukko 2.7:2 Pääraiteiden vähimmäisraidevälit

Raideväli [mm]	Suurin sallittu nopeus [km/h]
4100 ¹⁾³⁾	140 ²⁾
4300 ¹⁾³⁾	200
4500	250
4700	>250

¹⁾ Raidevälin levitys taulukon 2.9:3 mukaisesti

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

³⁾ Uudet raiteet rakennetaan vähintään raidevälille 4500 mm.

Taulukko 2.7:3 Raidevälin ja kaarresäteen välinen yhteys

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. Kaarteissa, joissa raiteilla on eri kallistus, raideväliä kasvattaa kaavojen 2.7.1 ja 2.7.2 mukaisesti siten, että raideväli on vähintään 4100 mm + levitys. Kaarteissa, joissa raiteilla on eri kaarresäde, tulee käyttää kaavaa 2.7:3.

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

2.7.1.6 Pylväät

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

Raiteen keskiviivaa 2500 mm lähempänä sijaitsevat pylväät ja muut vastaavat rakenteet on maalattava kelta-mustalla raidoituksella yhden metrin korkeudelta kolmen metrin korkeuteen. Haaratyyppiset pylväät maalataan tyvestä kolmen metrin korkeuteen. Rata-alueella mahdollisesti sijaitsevat harusköydet on tehtävä havaittaviksi tyveen kiinnitetyllä kelta-mustalla putkella.

2.7.1.7 Sillat

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.

Muilta osin noudatetaan RATO:n osan 8 "Sillat" ohjeita.

2.7.1.8 Aidat

Aitojen sijainti määritetään RATO:n osan 7 "Liikennepaikat" ohjeiden mukaan.

2.7.1.9 Johtimien etäisyydet

Rakenteiden ja rakennusten vähimmäisetäisyydet sähköratajärjestelmään kuuluvista johtimista sekä suojaus jännitteisen osan koskettamiselta on esitetty ohjeessa "Sähkötöiden kiinteiden rakenteiden suunnittelu ja rakentaminen SSR I, II ja III". /7/

Sähköratajärjestelmään kuulumattomien johtimien vähimmäisetäisyydet kiskosta on määritelty julkaisussa "Yleisohje johdoista ja kaapeleista Ratahallintokeskuksen alueella". /8/

2.7.1.10 Kiskon selän alapuolella olevat rakenteet

Liitteessä 2 merkinnällä R₁-R₂ osoitetun rajaviivan yläpuolelle saa ulottua rata-kiskojen lisäksi vain tasoristeyksien kansirakenne, vaihteiden ja turvalaitteiden osat sekä muut vastaavat. Tarpeettomat johdot ja kaapelit on käytön jälkeen poistettava.

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

2.7.1.11 Laiturit

Matalat laiturit on suunniteltava vähintään 1600 mm:n, korkeat laiturit vähintään 1800 mm:n ja kuormauslaiturit vähintään 1920 mm:n etäisyydelle raiteen keski-linjasta. Kuormauslaiturit voidaan kuitenkin sijoittaa 1750 mm etäisyydelle keski-linjasta 1200 mm korkeana suoralla raiteella RATO 7 ohjeiden mukaan.

2.7.1.12 Suurkuljetusraide

Rautatieliikennepaikan ulkopuolella ja rautatieliikennepaikoilla vähintään yhdellä raiteella on täyttyvä suurkuljetusraiteen ulottuma kiinteiden esteiden osalta. Suurkuljetusraiteen ulottuma on pyrittävä saamaan kaikkien esteiden osalta, mutta ATUn ja suurkuljetusraiteen ulottuman väliseen tilaan voidaan asentaa rakenteita, jotka ovat helposti siirrettävissä tai poistettavissa.

Suurkuljetusraiteen ulottuma on esitetty liitteessä 6. Suurkuljetusraiteena voi olla vain sellainen raide, joka täyttää suurkuljetusraiteen ulottuman ehdot normaalin ATUn ehtojen lisäksi. Suurkuljetusraiteena ei voi toimia raide, jolla on kuormauslaituri tai korkea matkustajalaituri sisäkaarteiden puolella. Liitteessä 6 olevat mitat pätevät suoralla radalla. Kaarteessa ulottuman mittoja on kasvatettava kaavan 2.7:4 mukaan.

$$b = \frac{190000}{R} + \frac{HD}{1600} \quad (2.7:4)$$

Suunnittelussa voidaan suurkuljetusraiteen ulottuman leveys B laskea kaavalla

$$B = 2350 + \frac{190000}{R} + \frac{4250D}{1600} \quad (2.7:5)$$

b = ulottuman kaarrelevitys [mm]
B = ulottuman leveys [mm]
R = kaarresäde [m]
D = raiteen kallistus [mm]
H = tarkastelupisteen korkeus sisäkiskon selästä [mm]

2.7.1.13 Muut rakenteet

Raidejarrujen, raiteensulkujen, vaihteen vastakiskojen ja kääntölaitteen auraussuojan kohdalla sallitut supistukset on esitetty liitteessä 5. Raidejarrujen sijoituksessa on otettava huomioon myös liikkuvan kaluston ulottumassa (LKU) olevat raidegeometrian rajoitukset.

2.8 JARRUPAINOJÄRJESTELMÄ

Jarrupainojärjestelmä on liikkuvan kaluston jarrutuskyvyn määrittelyyn käytettävä järjestelmä. Määrävän kaltevuuden laskennan ohjeet ovat RATO 10:ssä. /7/, /8/

2.9 JUNAN AJODYNAAMINEN KÄYTTÄYTYMINEN

Ajodynamiikka käsittää kiihdytykset, rullaukset, jarrutukset, ajoajat, vetovoiman käytön ja junan pituussuuntaisen käyttäytymisen radan eri kohdissa. Junan liikkeeseen vaikuttavat vetovoima pyörän kehällä ja liikettä vastustavat voimat. Liiketilä voidaan ilmaista kaavalla 2.9:1.

$$Z(V) - W_L(V) - W_B = m \times (1 + \rho) \times \frac{dV}{dt} \quad (2.9:1)$$

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

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

$W_L(V)$ = junan nopeudesta riippuva kulkuvastus

W_B = junan sijainnista riippuva ratavastus

m = junan massa

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

dV/dt = nopeuden muutos

2.9.1 Junan vastusvoimat

Peruskulkuvastus

Peruskulkuvastus on liikettä vastustava tekijä, kun juna liikkuu tasaisella, suoralla ja moitteettomassa kunnossa olevalla radalla. Peruskulkuvastus määritetään kaavan 2.9:2 mukaan.

$$W_0 = mg(C_1 + C_2V + C_3V^2) \quad (2.9:2)$$

W_0 = peruskulkuvastus [N]

m = junan massa [t]

g = painovoiman kiihtyvyys [m/s^2]

V = junan nopeus [km/h]

Ominaisperuskulkuvastus [N/kN] on peruskulkuvastus jaettuna junan painovoimalla kaavan 2.9:3 mukaan.

$$w_0 = C_1 + C_2V + C_3V^2 \quad (2.9:3)$$

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

	C_1	C_2	C_3
Tavarajunat	2,55	0,0084	0,00035
Henkilöjunat	2,54	0,0060	0,00025

Moottorijunien ja työkoneiden kertoimet on selvitettävä tapauskohtaisesti.

Kaarrevastus

Kaarrevastus on kaarteessa junan kulkua vastustava tekijä.

Kaarrevastus voidaan määrittää kaavan 2.9:4 mukaan.

$$W_r = \frac{650mg}{R - 55} \quad (2.9:4)$$

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

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

Kaarrevastus voidaan laskea edellä mainitulla kaavalla 2.9:4 junakohtaisesti. Ominaiskaarrevastus w_r saadaan jakamalla kaarrevastus junan painovoimalla kaavan 2.9:5 mukaan.

$$w_r = \frac{650}{R - 55} \quad (2.9:5)$$

Kaava 2.9:5 on tarkoitettu radan mitoittamiseen kaikille kalustoille. Jos on kysymyksessä akselipari tai teli, jossa pyöräkerta ohjautuu kaarteessa hyvin tai teli on radiaalisesti ohjautuva, ovat kaarrevastusarvot 20...50 % kaavan 2.9:4 mukaisista arvoista, mutta näitä voidaan käyttää vain kalustokohtaisissa tarkasteluissa.

Nousuvastus

Nousuvastus on vaunun painovoiman radan suuntainen komponentti.

Nousuvastus voidaan määrittää kaavan 2.9:6 mukaan.

$$W_s = \pm mg \sin \alpha \sim \pm mg \tan \alpha = \pm mgs \quad (2.9:6)$$

W_s = nousuvastus [N]
 m = junan massa [t]
 g = painovoiman kiihtyvyys [m/s^2]
 α = nousukulma
 s = pituuskaltevuus [‰]

Ominaisuusvastus w_s saadaan jakamalla nousuvastus junan painovoimalla kaavan 2.9:7 mukaan.

$$w_s = \pm \frac{W_s}{mg} = \pm s \quad (2.9:7)$$

Kokonaisvastus

Kokonaisvastus W_k peruskulkuvastuksen, kaarrevastuksen ja nousuvastuksen summa kaavan 2.9:8 mukaan.

$$W_k = W_0 + W_r \pm W_s \text{ [N]} \quad (2.9:8)$$

2.9.2 Radan ja liikkuvan kaluston vuorovaikutus

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

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

2.9.3 Raidevälitys ja tehollinen kartiokkuus

Raiteiden raideleveys toleransseineen ja pyöräkerran raideleveysmitta toleransseineen määrittelevät niin sanotun raidevälityksen suuruuden (kuva 2.9:1). Raidevälityksellä on vaikutusta pyöräkerran liikkeisiin suoralla raiteella ja kaarteissa (kaluston kulun tasaisuus, kaarrevastus sekä kiskoon ja raiteeseen kohdistuvat voimat).

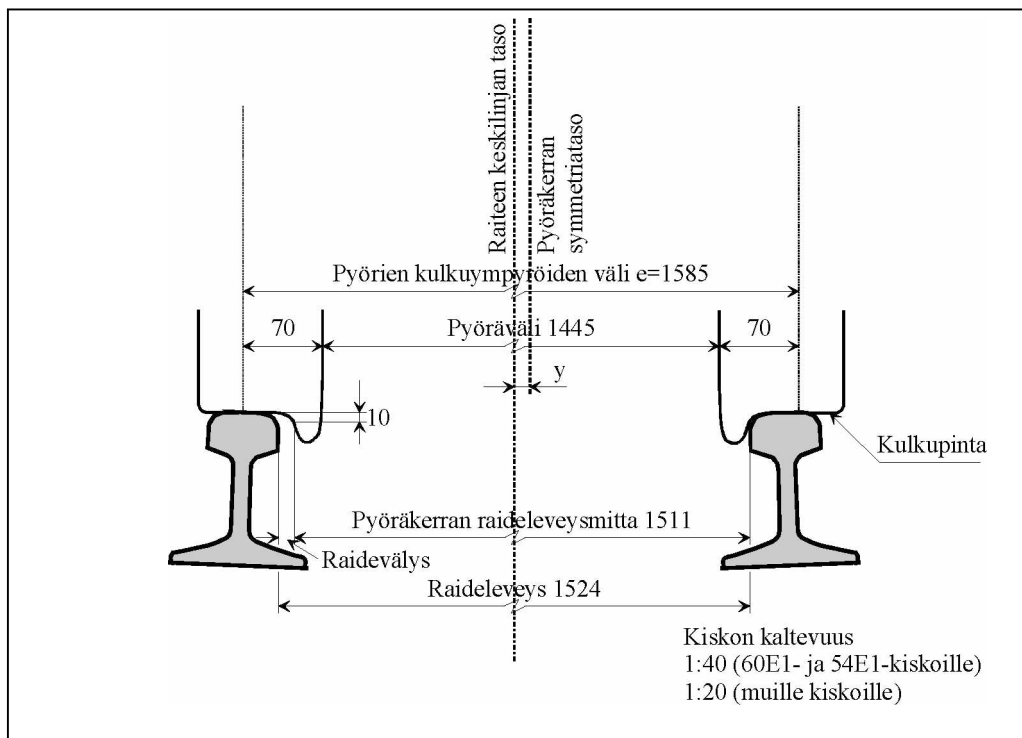
Pyörän kartiomaisesta kulkupinnasta johtuen pyöräkerta liikkuu raiteella poikittaissuunnassa säännöllisesti edestakaisin, jolloin sen painopiste on raidetta pitkin etenevässä aaltoliikkeessä. Aaltoliikkeen muodosta johtuen pyöräkerran poikittaista liikettä kutsutaan siniliikkeeksi (kuva 2.9:2).

Siniliikkeen muodon määrittelee yhtälö 2.9:9.

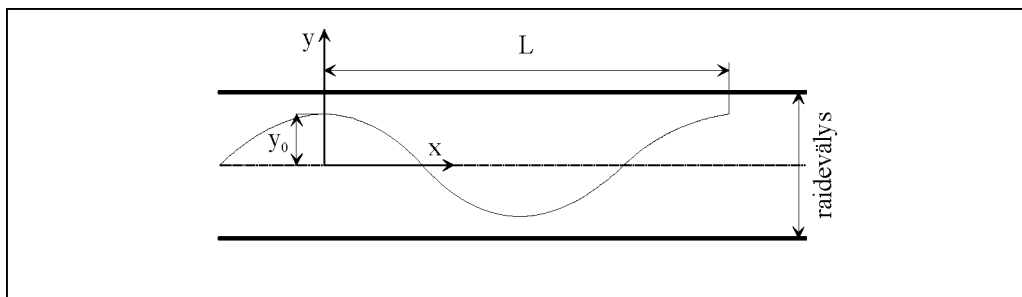
$$y = y_0 \sin 2\pi \times (x/L) \quad (2.9:9)$$

y = sinikäyrän ordinaatta
 y_0 = sinikäyrän ordinaatan maksimiarvo
 x = sinikäyrän abskissa
 L = sinikäyrän aallonpituus

Kuvan 2.9:3 mukaisesti siniliikkeen aallonkorkeus kasvaa nopeuden lisääntyessä. Se saavuttaa tietyllä nopeudella maksimiarvon ($\frac{1}{2} \times$ raidevälys), jolloin aaltoliikkeen taajuus kasvaa epästabiiliksi. Pyöräkerran jouheva siniliike muuttuu siksakmuotoiseksi, mistä seuraa erittäin huono matkustusmukavuus (kuva 2.9:4)



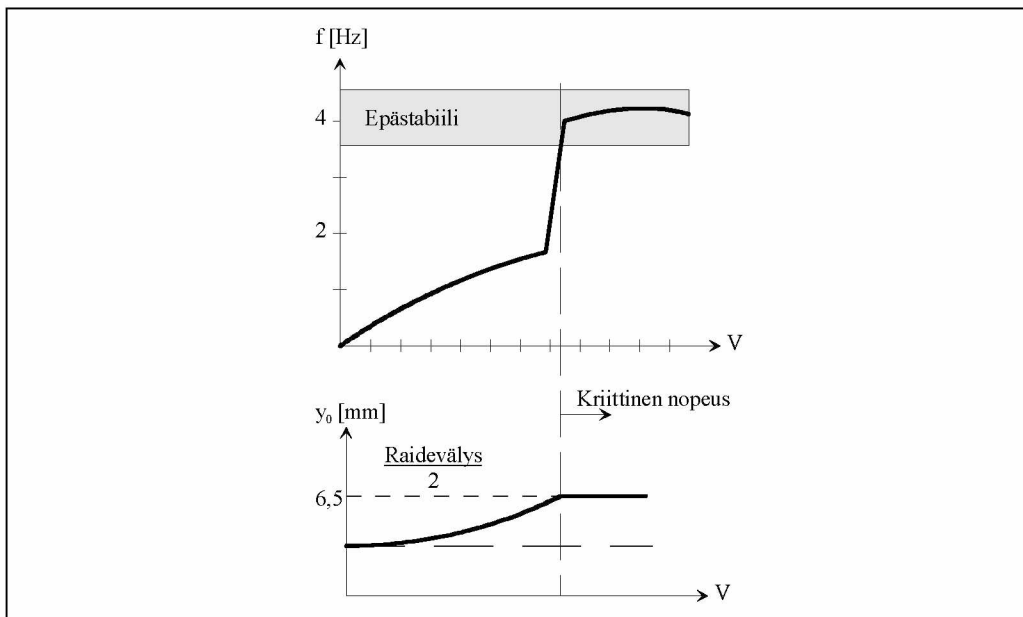
Kuva 2.9:1 Pyöräkerran sijainti raiteella



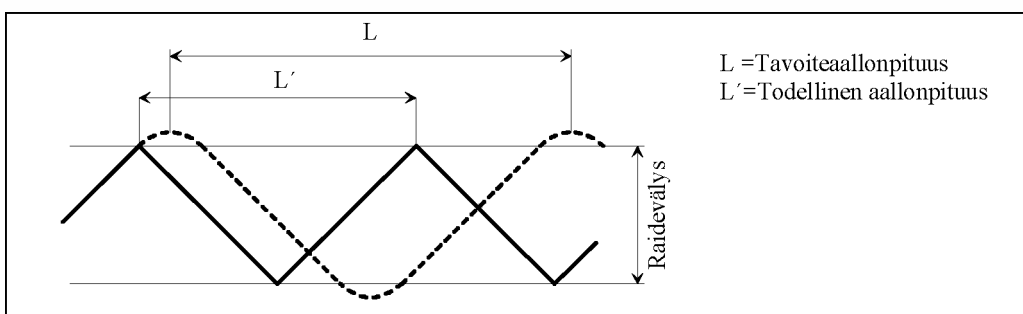
Kuva 2.9:2 Pyöräkerran siniliike raidevälyksessä

Kartiokkuuden kasvaessa aallon pituus lyhenee, kuva 2.9:5. Tästä seuraa siniliikkeen taajuuden kasvu nopeuden lisääntyessä ja pyöräkerran epästabiilia kulku suoralla radalla. Toisaalta liian pieni kartiokkuus johtaa pyöräkerran ohjautuvuuden pienemiseen, josta myös aiheutuu epästabiilisuutta pyöräkerran kulussa.

Raitteen raideleveys, pyöräkerran raideleveysmitta ja kiskon kallistus toleransseineen sekä pyörien kulkupintojen profiilit vaikuttavat pyörän ja kiskon kosketuskohtien sijaintiin ja näiden kosketuskulmiin. Kosketuskulmalla sekä pyöräkerran ns. tehollisella kartiokkuudella on suuri merkitys pyöräkerran ja liikkuvan kaluston kulun tasaisuuteen varsinkin yli 160 km/h nopeuksilla. Kriittinen nopeus (kuva 2.9:3) riippuu liikkuvan kaluston ominaisuuksista sekä raitteen rakenteesta ja ominaisuuksista.

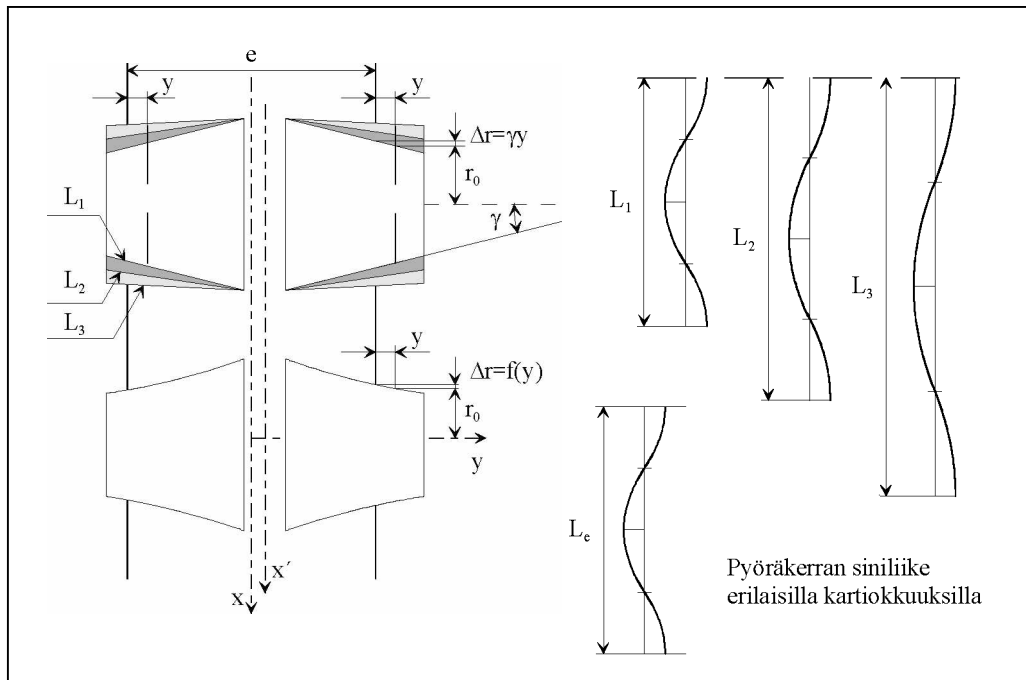


Kuva 2.9:3 Nopeuden vaikutus siniliikkeen aallonkorkeuteen



Kuva 2.9:4 Siniliikkeen todellinen aallonpituus

Pyöräkerran tehollisella kartiokkuudella tarkoitetaan pyöräkerran ja raitteen todellisista mitoista ja keskinäisistä asennoista määriteltyä laskennallista kartiokkuutta, jolla päädytään poikittaisliikkeen aallonpituudessa samaan, mikä kyseisellä tarkastelun alaisella pyöräkerralla on todellisuudessa (kuva 2.9:5).



Kuva 2.9:5 Tehollinen kartiokkuus määriteltynä aallonpituuden mukaan

Ajettaessa yli 160 km/h nopeuksilla tulisi ko. raiteesta ja kalustosta määritellyn tehollisen kartiokkuuden pysyä kalustosta riippuen raja-arvojen 0,1...0,3 välissä. Tehollinen kartiokkuus lasketaan kaavoilla 2.9:10, 2.9:11 ja 2.9:12.

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

$$L = 2\pi \sqrt{r_0 \frac{e}{2\lambda}} \quad (2.9:10)$$

$$\lambda = \tan \gamma = r_0 G \left(2 \frac{\pi}{L}\right)^2 \quad (2.9:11)$$

$$\lambda_e = r_0 \frac{e}{2} \left(2 \frac{\pi}{L_e}\right)^2 \quad (2.9:12)$$

λ_e = todellista siniliikkeen aallonpituutta vastaava tehollinen kartiokkuus

2.10 RAITEEN MITTAUS- JA MERKITSEMIS- JÄRJESTELMÄ

Ohjeen tavoitteena on antaa mittaus- ja kartoitustöille perusteet laatuvaatimukseen. Ne noudattavat pääosin yleisiä mittaus- ja kartoitusalan ohjeita. Yksityiskohtaiset mittauksia koskeva ohjeisto löytyy RHK:n julkaisusta D 15, Geodeettiset mittaukset ja sen liitteestä Maastomallin mittausohje /6/.

Luotettavalla mittausperustalla luodaan geodeettinen runko (koordinaatisto) kaikille ratateknisille mittauksille ja kartoituksille. Raiteen laatuvaatimusten saavuttaminen varsinkin nopean liikenteen radoilla edellyttää mittausteknisesti vakaata mittausperustaa.

Ohjeita sovelletaan kaikissa rataan liittyvissä mittaus- ja kartoitustehtävissä.

Mittauksissa käytettävien menetelmien on vastattava tehtävän mittauksen vaatimuksia.

Mittausmenetelmällä saavutettavan tarkkuuden on oltava parempi kuin mitattavalle rakenteelle sallittu toleranssi.

Mittauksissa käytettävä mittauskalusto on oltava kyseiseen työhön teknisesti ja tarkkuutensa puolesta soveltuva. Lisäksi kojeilla on oltava voimassa olevat kalibrointitodistukset.

2.10.1 Koordinaattijärjestelmät

Alueellisesti suurin ratateknisissä mittaustehtävissä käytetty tasokoordinaattijärjestelmä on valtakunnallinen kartastokoordinaattijärjestelmä (kkj). Jatkossa tullaan siirtymään kkj:n korvaavaan uuteen Euref-Fin-koordinaattijärjestelmään. Muita käytettäviä koordinaattijärjestelmiä ovat valtion vanha järjestelmä (vvj) ja kaupunkien paikalliset koordinaattijärjestelmät.

Pääasiallisena korkeusjärjestelmänä on N60. Jatkossa tullaan siirtymään N60-järjestelmän korvaavaan uuteen N2000-korkeusjärjestelmään. Muita rataverkolla esiintyviä korkeusjärjestelmiä voivat olla N43-, NN- tai jokin paikallinen korkeusjärjestelmä.

Kaikissa maastomittauksissa ja -kartoituksissa on käytettävä paikallisesti yleisesti käytettyä taso- ja korkeusjärjestelmää. Koordinaattijärjestelmän vaihtuminen on toteutettu ja toteutettava myös uutta mittausperustaa rakennettaessa rata- ja mittausteknisesti edullisimmassa kohdassa eli lähimmällä koordinaatiston vaihtumisesta olevalla suoralla rataosuudella.

Jos käytettävänä koordinaattijärjestelmänä on muu kuin Euref-Fin, on mittausperustan rakentamisen yhteydessä määritettävä paikalliset muunnoskertoimet. Muunnoskertoimia käytetään paikallisissa koordinaattijärjestelmissä tehtyjen karttatulosten muuttamiseen valtakunnalliseen järjestelmään sekä kunnallisten ja

valtakunnallisten sijaintitietoaineistojen sovittamiseen radan mittausperustaan perustuviin ratateknisiin aineistoihin. Geometrian suunnittelussa toimitaan aina suunnittelualueen mittausperustan mukaisessa järjestelmässä ja muunnoskertoimia ei näissä tehtävissä saa käyttää.

2.10.2 Mittausperusta

Mittausperustan laatimiseen liittyvien mittausten, laskennan ja raportoinnin tulee noudattaa yleisesti hyväksytyjä ohjeita ja määräyksiä sekä RHK:n julkaisua D15, Geodeettiset mittaustyöt /6/.

2.10.2.1 Ratatekniset erityisvaatimukset

Raitteen teoreettisen aseman laatuvaatimukset (RATO 13) ovat koko mittausperustan tarkkuustarkastelun lähtökohtana. Raitteen mittaukseen soveltuva mittausperusta soveltuu kaikkien muiden yksityiskohtien mittauksiin ja kartoituksiin. Raitteen aseman laatuvaatimusten mukaista asemaa ei saavuteta ilman riittävän tarkkaa, homogeenista ja stabiilia mittausperustaa.

Rakennettaessa uutta mittausperustaa liittyminen olemassa olevaan kiintopisteverkkoon on ratkaistava tapauskohtaisesti. Jos olemassa olevaa mittausperustaa täydennetään ja alueelta on olemassa numeerista sijaintitietoa, on vanhan mittausperustan säilyneet kiintopisteet otettava harkinnan mukaan "pakkopisteiksi" laskentaan mukaan. Tämä tarkoittaa vanhan mittausrungon tarkkuuden siirtämistä uusiin pisteisiin. Tällöin kartoituksia ja geometrialaskentoja ei tarvitse uusia, ja merkintämittaukset uusitulta mittausperustalta sopivat olemassa oleviin radan rakenteisiin. Tavoitteena on saavuttaa hyvä suhteellinen tarkkuus, vaikka absoluuttinen tarkkuus heikkenisi.

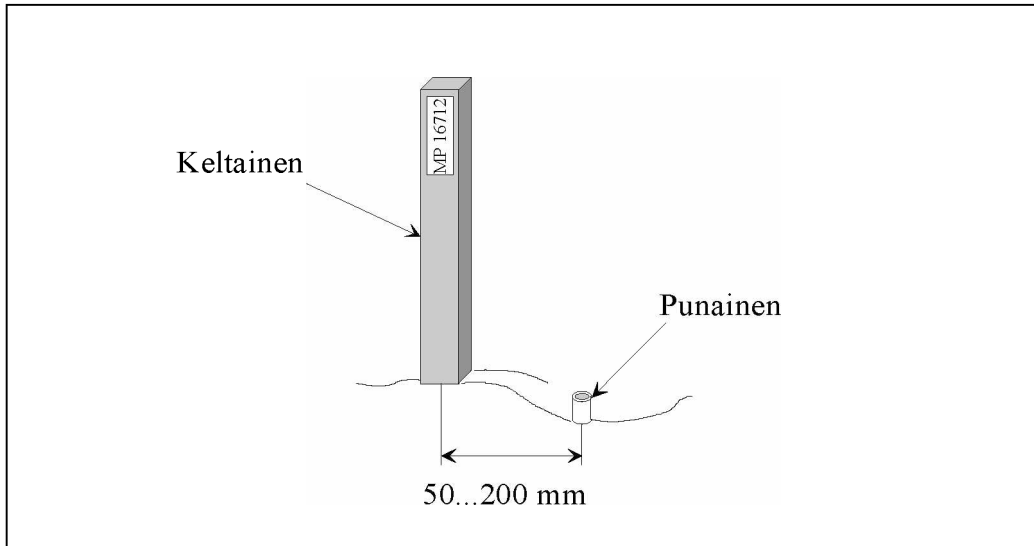
Rataverkolla ylläpidetään IV luokan ylempää käyttöpisteistöä pistepareina 2..3 km:n välein. Pisteparin välillä on oltava näköyhteys ja etäisyyden on oltava sellainen, että ne toimivat toistensa varamerkkeinä sekä V luokan alemman käyttöpisteistön mittauksen ja laskennan lähtöpisteinä. V luokan pisteitä on rakennettava noin 300 m:n välein.

2.10.2.2 Pisteiden rakentaminen

Taso- ja korkeuskiintopisteiden rakentamisessa ja sijoittelussa on otettava huomioon pisteiden liikkumattomuus, säilyvyys ja käytettävyys. Pehmeikköalueilla on harkittava kovaan pohjaan lyötävien ns. putkipaalupisteiden käyttämistä.

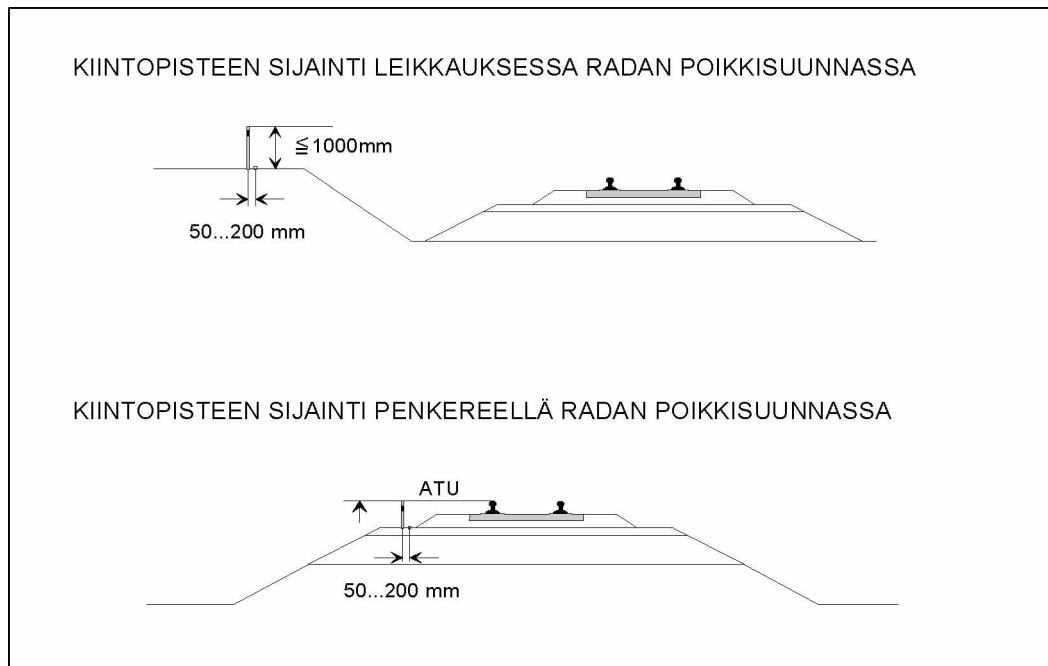
IV luokan tasorunkopisteinä ja korkeuskiintopisteinä on käytettävä mahdollisuuksien mukaan kallioon, suureen maakiveen tai muuhun kiinteään hyvin paikallaan pysyvään kohteeseen rakennettavaa kiintopistepulttia. Poikkeustapauksissa IV luokan pisteinä voidaan käyttää maahan ankkuroitavia teräsputkia. V luokan pisteinä voidaan myös käyttää maahan ankkuroitavia teräsputkia. IV luokan pisteiden rakentamisessa on pääpaino pisteiden liikkumattomuus- ja säilyvyystekijöillä ja V luokan pisteillä pisteiden käytettävyystekijöillä ratateknisissä mittauksissa.

Pisteet on merkittävä maastossa paaluin siten, että paalu sijaitsee 50...200 mm:n etäisyydellä pisteestä. Paalun on oltava väriltään keltainen ja paalussa on oltava pisteen numero (kuva 2.10:1). Paalun korkeus maan tai kallion pinnasta saa olla korkeintaan 1000 mm, ja se ei saa ulottua ATUn sisäpuolelle. Tarvittaessa pisteen säilyvyyden varmistamiseksi pisteen suojaksi on rakennettava puinen kolmijalka, joka voidaan siirtää mittaustöiden ajaksi pois pisteeltä.



Kuva 2.10:1

Mahdollisuuksien mukaan kiintopisteet on rakennettava radan ulkoluiskan yläreunan taakse, kun rata on leikkauksessa. Kaarteissa käytettävyyden kannalta paras kiintopisteen sijoituspaikka on ulkokaarteessa. Penkereellä olevalla radalla on V luokan pisteet rakennettava ratapenkereelle ellei käytettävyyden kannalta löydy muita edullisia pisteen sijoituspaikkoja. Kuvassa 2.10:2 on esitetty kiintopisteiden sijoitus radalla.



Kuva 2.10:2

Kiintopisteet on sidottava maastossa ratakilometrijärjestelmään. Etäisyys raiteesta ilmoitetaan kasvavien kilometrien suuntaan negatiivisena raiteen vasemmalla ja positiivisena raiteen oikealla puolella. Vaihtoehtoisesti kiintopisteet voidaan sitoa maastossa selvästi näkyviin, yksikäsitteisiin ja hyvin säilyviin kohteisiin.

Kiintopisteistä on tehtävä pistekortisto tai vastaava dokumentti, joka on arkistoitava Liikenneviraston arkistoon.

Edellä esitettyjen sidontatietojen lisäksi pisteen tietoina esitetään pisteen tunnus, koordinaatit, tarkkuusluokka ja referenssijärjestelmä.

2.10.3 Mittaustyöt

2.10.3.1 Kartoitus

Maastomallin mittauksissa noudatetaan RHK:n julkaisun D 15 liitettä Maastomallin mittaushje /6/. Maastomallia varten maaston taitekohdat mitataan taiteviivoina ja muut alueet hajapisteinä. Hajapisteitä ei saa mitata säännöllisenä linjastona tai ruudustona.

Kohdekoodauksena käytetään Tielaitoksen maastopistestandardiin perustuvaa rata-tekniiseen suunnitteluun liittyvillä erityiskohteilla täydennettyä koodilistaa (RHK:n julkaisun D 15 liitteen Maastomallin mittaushje /6/, kohta 3). Kartoitetut pisteet koodataan pinta- ja taiteviivatunnuksin.

2.10.3.1.1 Tarkkuusvaatimukset

RHK:n julkaisun D 15 liitteessä Maastomallin mittausohjeen /6/ kohdassa 2.2 esitettyjen raiteiden ja radan erityiskohteiden taso- ja korkeussijainnin tarkkuusvaatimuksena on maksimivirhe ± 20 mm.

Muiden kohteiden mittaukset on tehtävä maastossa niin, että kaikkien koordinaattien osalta päästään vähintään seuraaviin tarkkuuksiin:

- keskivirhe enintään 50 mm
- maksimivirhe enintään 100 mm
- maksimin ylittäviä enintään 1 %.

Tarkkuudella tarkoitetaan suhteellista tarkkuutta käytettäviin kiintopisteisiin. Käytännössä kartoitusmittauksen referenssinä käytetään aina lähintä kiintopistettä, jos mittausperusta ei täytä homogeenisuusvaatimusta

2.10.3.2 Vaaitus

Korkeuden määrittäminen tehdään pääsääntöisesti raiteen kartoituksen yhteydessä.

Erillisen vaaituksen perusteena voi olla esimerkiksi tarve saavuttaa normaalia tarkempi tarkkuustavoite (esimerkiksi koneohjauksessa).

Korkeusviivan vaaitseminen erillisenä työnä tulee kysymykseen vain poikkeustapauksissa. Tällöin vaaitus toteutetaan raiteen kartoituksen tapaan 20 metrin välein.

Vaaitus on tehtävä jonona lähtien tunnetulta pisteeltä ja suljettava tunnetulle pisteelle.

2.10.3.3 Paikalleenmittaus

Paikalleenmittauksen tavoitteena on merkitä rakentajalle radan rakentamista ja kunnossapitoa varten riittävät merkinnät maastoon.

Raiteen aseman asennustoleranssit on esitetty RATO 13:ssa ja laituria koskevat asennustoleranssit RATO:n kohdassa 16. Muiden kohteiden asennustoleranssit on esitetty RMYTL:ssä (InfraRYL) tai suunnitteluperusteissa.

Paikalleenmittauksen tarkoituksena on antaa rakennettavista kohteista riittävä tieto, jonka perusteella kohde saadaan rakennettua mahdollisimman tarkasti suunniteltuun asemaan.

2.10.3.4 Laadunvarmistus

Kontrollimittauksilla todetaan kohteen todellisen ja teoreettiseen aseman poikkeavuudet. Kontrollimittauksia tehdään heti rakentamisen tai kunnossapidon jälkeen ja muulloinkin tarvittaessa.

Raiteen aseman laatuvaatimukset on esitetty RATO 13:ssa. Laatuvaatimukset riippuvat siitä, onko kyseessä liikenteen käytössä oleva raide, uusi raide vai äskettäin kunnostettu raide.

Rataan liittyvien muiden kohteiden laatuvaatimukset on esitetty RMYTL:ssa (InfraRYL).

2.10.4 Raiteen asemaa osoittavat merkinnät

Raiteen asemaa osoittavat merkinnät tehdään raiteen kunnossapitoa varten. Merkintöjen avulla pyritään raiteen geometria pitämään kunnossapidossa oikealla paikallaan ja oikean muotoisena. Merkintöjä käytetään mm. ohjaustietoina koneellisessa kunnossapidossa ja raiteen aseman tarkistamisessa. Merkinnöillä ilmoitetaan raiteen kaarparametrit. Raiteen asemaa osoittavat merkinnät tehdään RATO 17 -ohjeen ja projektin suunnitteluperusteiden mukaisesti.

Merkinnät tehdään mittausperustalta, raiteen geometrian suunnitelmien pohjalta. Mittaukset tehdään mittausohjeen mukaisesti. Merkinnöillä esitetään raiteen suunniteltu teoreettinen sijainti korkeussuunnassa sekä suunnitelman mukaiset geometrian kaarparametrit. Merkintöjen oikeellisuus on tarkastettava mittausperustalta tehtävin mittauksin, jos on syytä epäillä merkintöjen liikkuneen.

2.10.5 Raiteen aseman laatuvaatimukset

Raiteen teoreettinen asema on raiteen suunnitellun geometrian mukainen sijainti, jossa raide on geometrialtaan oikean muotoinen ja se sijaitsee oikealla paikalla sijaintiympäristön muihin rakenteisiin nähden. Raide ja radan muut rakenteet ja laitteet pyritään rakentamaan raiteen teoreettisen aseman määrittämään paikkaan. Kunnossapidossa raide pidetään teoreettisessa asemassaan kunnossapitotoleranssien sallimissa rajoissa. Raiteen todellisen aseman ja suunnitellun aseman ero on raiteen aseman poikkeama.

Raiteen geometrian laatuvaatimuksissa on erotettava toisistaan kaksi eri käsitettä:

Raiteen todellinen asema on raiteen absoluuttinen sijainti ympäristöönsä nähden. Raiteen keskilinjan koordinaatit määrittävät sen aseman. Raiteen teoreettinen asema määritetään geometriasuunnittelussa ja se sidotaan tunnettuun mittausperustaan. Raiteen asema kuvaa sen sijaintia sijaintiympäristössä muihin rakenteisiin nähden. Raiteen asema mitataan riittävän tarkkoilla maastomittausvälineillä ja menetelmillä. Jos raiteen asema poikkeaa teoreettisesta, raiteen geometrinen muoto vääristyy ja esimerkiksi kiskojännitykset jatkuvakiskoraiteella ovat hallitsemattomia, sähköradan ajolangan sijainti ja säätövarat ovat sivussa, etäisyys muista rakenteista muuttuu ja ATU voi käydä ahtaaksi. Raiteen aseman sallitut poikkeamat on määritelty RATO 13:ssa.

Raiteen todellinen asento on sen suhteellinen sijainti itseensä nähden. Raiteen asento on sen sisäinen geometria ja se määritetään raiteen peräkkäisten kohtien keskinäisen aseman perusteella. Raiteen asento kuvaa sen geometristä muotoa

liikkuvan kaluston kannalta. Siitä aiheutuu kalustoon ja rataan voimia ja se vaikuttaa matkustusmukavuuteen. Raiteen kunnossapitotaso määrittää raiteen asennon laatuvaatimukset. Raiteen asento mitataan yleensä radantarkastusvaunulla tai muulla menetelmällä. Raiteen asennon virheet merkitsevät junan epätasaista kulkua, huonoa matkustusmukavuutta ja pahimmillaan vaarallisen suuria rasiuksia rataan, liikkuvaan kalustoon ja aiheuttaen pahimmillaan suistumisvaaran. Raiteen asennon sallitut poikkeamat on määritelty RATO 13:ssa.

2.11 RATAKILOMETRIJÄRJESTELMÄ

Ratakilometri (RATO 13) on nimetty määrämittainen osuus rataa. Sen pituus on kahden peräkkäisen kilometrimerkkin väli pituusmittausraidetta pitkin. Ratakilometri on nimetty arvoiltaan pienemmän kilometripylvään tunnuksen mukaan.

Ratakilometrin pituus on yleensä lähellä 1000 metriä, mutta tähän on suuriakin poikkeuksia. Radan pituus on voinut muuttua rataoikaisujen ja raidegeometria-muutosten yhteydessä.

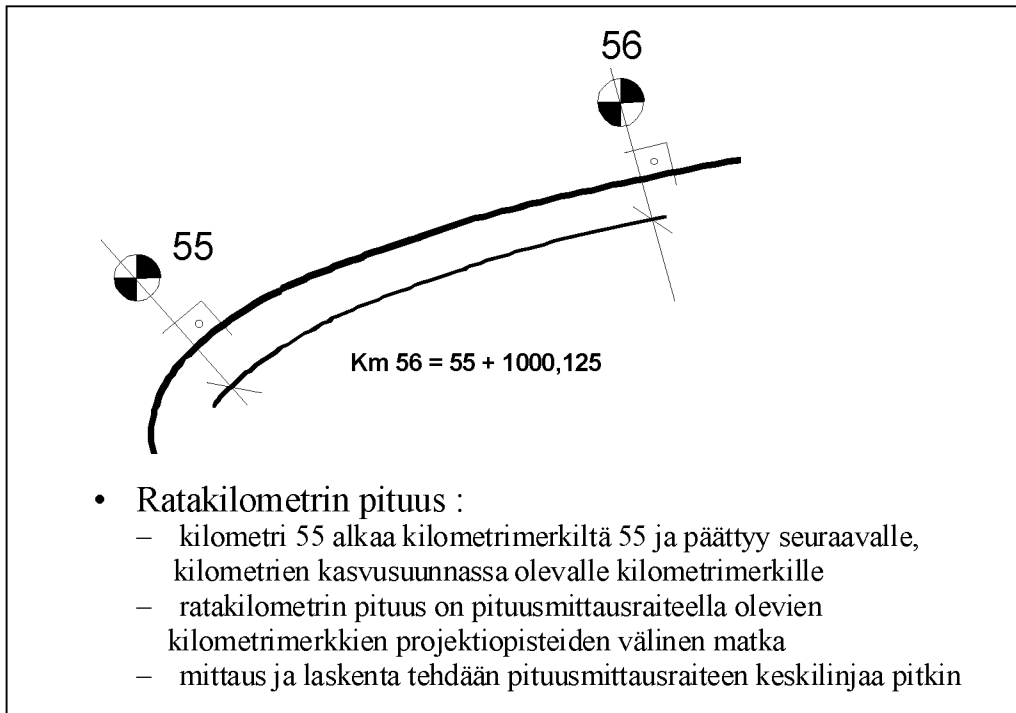
Ratakilometri merkitään RATO 17 mukaisella kilometrimerkillä, josta käytetään myös nimitystä kilometripylväs. Kilometrimerkissä on valkeapohjaiset kilvet. Merkki sijoitetaan kilometrien kasvusuuntaan katsoen ensisijaisesti radan oikealle puolelle.

Radalla on myös RATO 17 mukaiset vihreäpohjaiset liikenteen kilometrimerkit. Ne on tarkoitettu liikenteen käyttöön karkeampaan paikantamiseen. Niiden poikkeama ratakilometreistä voi olla niin suuri, että niitä ei saa käyttää radanpidon mittauksiin.

Ratakilometrijärjestelmä perustuu maastossa oleviin kilometrimerkkeihin ja niiden maastosta mitattuihin ja talletettuihin koordinaatteihin. Jos kilometrimerkki on tuhoutunut tai siirtynyt, sen oikea paikka on koordinaattien mukainen paikka.

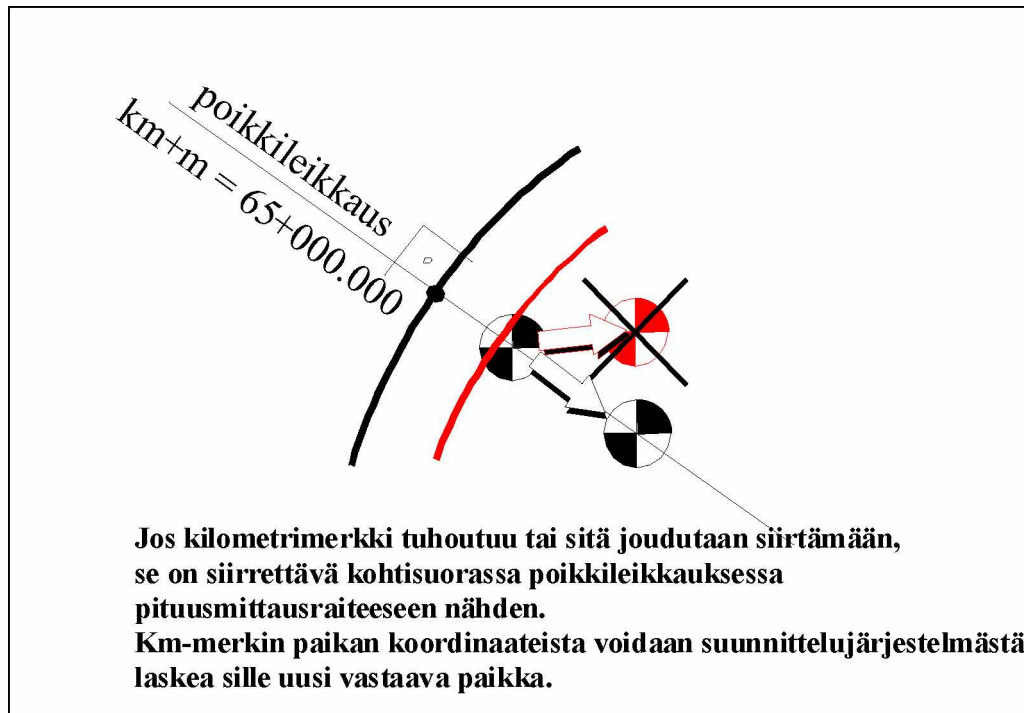
Jokaiselta kilometrimerkiltä alkaa uusi mittausjakso, joka päättyy seuraavaan kilometrimerkkiin. Ratakilometrin pituus on kilometrimerkkien pituusmittausraiteella olevien projektiopisteiden todellinen vaakasuora välimatka pituusmittausraiteen keskilinjaa pitkin. Pituuslaskenta tehdään geometriatiedoston elementeistä. Ne on määritelty vaakasuoraan YX-tasoon. Korkeustieto ei ole mukana ratakilometrin pituusmäärittelyssä.

Pituusmittausraide on yleensä linjaraide ja liikennepaikoilla läpikulkuraide. Useampi-raiteisilla radoilla jokin raide on määritelty ja nimetty pituusmittausraiteeksi. Rataosien yhtymäkohdissa voi olla käytössä päällekkäin useita ratakilometrijärjestelmiä. Suunnitteluvaiheessa samalla alueella voi olla käytössä useita ratakilometrijärjestelmiä. Aina, kun on järjestelmien sekaantumisvaara, on tietoihin liitettävä ratakilometrijärjestelmän yksilöivä tieto.



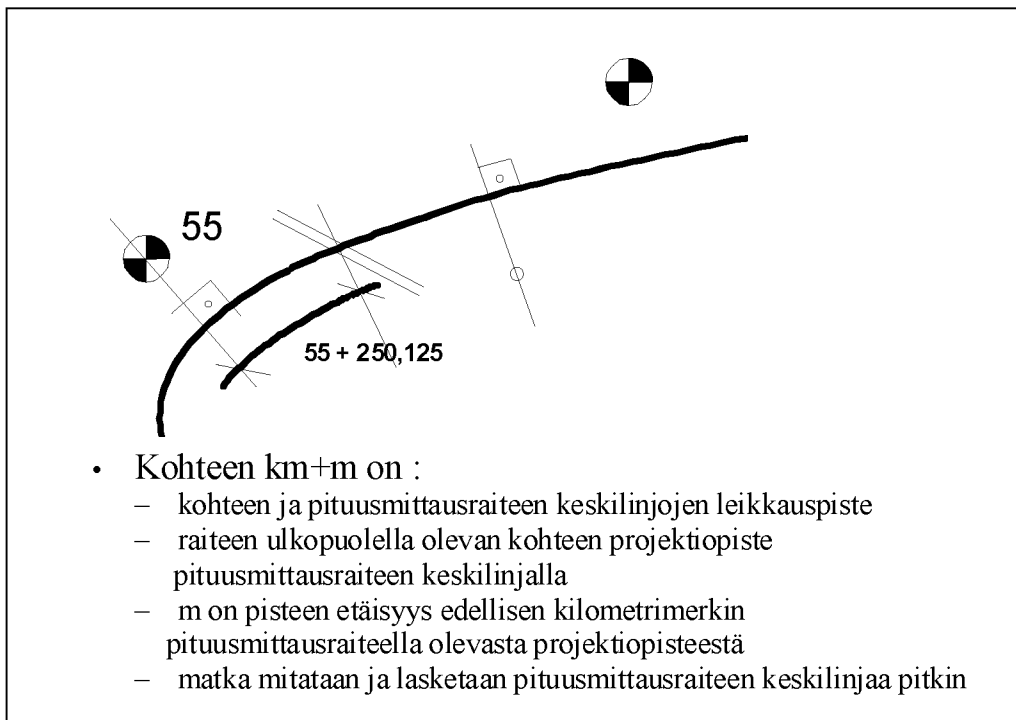
Kuva 2.11:1 Ratakilometrin pituus

Suurempien rataoikaisujen kohdalle on oikaisulle tehtävä uusi osa ratakilometrijärjestelmään. Uudet ratakilometrit määritetään 1000 metriä pitkiksi. Oikaisun alueella kilometrijärjestelmä jatkuu oikaisua edeltävältä viimeiseltä, paikalleen jäävältä kilometrimerkiltä ja yhtyy oikaisun jälkeen seuraavaan oikaisun jälkeen ensimmäiseen, paikalleen jäävään kilometrimerkkiin. Oikaisun ratakilometriiden kasvusuunnassa viimeisen ratakilometrin pituudeksi tulee se pituus, mikä jää viimeisen uuden ja seuraavan oikaisun jälkeisen kilometrimerkkin väliseksi pituudeksi. Oikaisun kilometrien määrä määritetään niin, että oikaisun viimeisen ratakilometrin pituus on välillä 500–1500 m. Suurempien oikaisujen kohdalla voi rata lyhentyä niin, että jokin käytössä ollut kilometrinumero jää kokonaan pois. Uusi ratalinja voi myös pidentyä niin, että sama tunnus tulisi usealle ratakilometrille. Tällöin tunnuksiin lisätään kirjaimia alkaen A, B, ... tunnusten saamiseksi yksilöiviksi.



Kuva 2.11:2 Kilometrimerkkin siirtäminen

Kilometrimerkki on säilytettävä samassa poikkileikkauksessa, jos se on tuhoutunut tai sitä joudutaan siirtämään. Oikea paikka on samassa pituusmittausraiteen kohtisuorassa poikkileikkauksessa, kuin alkuperäinen paikka. Useimmat kilometrimerkit on kartoitettu ja niille on laskettu koordinaatit, jotka on talletettu ratasuunnittelu-järjestelmiin suunnittelua varten. Kilometrimerkkin sijainti suunnittelujärjestelmässä ei muutu, vaikka kilometrimerkki olisi maastossa siirtynyt alkuperäisestä paikastaan pituusmittausraiteen suunnassa. Kaikki arkistoidussa materiaalissa oleva sijainnin km+m-tieto on sidottu alkuperäiseen ratakilometrijärjestelmään.



Kuva 2.11:3 Kohteen sijainti ratakilometrijärjestelmässä

Kohteen sijainti ratakilometrijärjestelmässä tarkoittaa kohteen projektiopisteen paikkaa pituusmittausraiteella. Jos kohde leikkaa pituusmittausraidetta, lukema on keskilinjoiden leikkauspisteen lukema. Koska ratakilometrin pituus poikkeaa yleensä aina jonkin verran 1000 metristä, matka on määritettävä aina vähintään kohdetta edeltävältä kilometrimerkiltä. Lukemassa oleva +-merkki tarkoittaa tätä.

Pituusraidetta pitkin voi laskea välimatkoja km+m-lukemista luotettavasti vain, kun käytössä ovat kilometrien todelliset pituudet ja ne otetaan laskelmissa huomioon. Ratakilometrijärjestelmän kilometrilukemista (km+m-lukema) lasketut matkat toteutuvat vain pituusmittausraiteella. Km+m-lukemista ei voi laskea tarkasti välimatkoja muita raiteita pitkin.

VIITTEET

- /1/ CEN 13803-1, 2007
- /2/ SFS-EN 13803-2, 2007
- /3/ Radan suunnitteluohje B 20, Ratahallintokeskus, 2008
- /4/ Sähkörataohjeet B 22, Ratahallintokeskus, 2009
- /5/ Yleisohje johdoista ja kaapeleista Ratahallintokeskuksen alueella B 13, Ratahallintokeskus, 2004
- /6/ Geodeettiset mittaukset D 15, Ratahallintokeskus, 2003
- /7/ Junien jarrutuskyky sekä jarrujen tarkastus ja koettelu, Rautatievirasto RVI/363/412/2008
- /8/ Jarrupainojärjestelmän opastin- ja ratatiedot, Ratahallintokeskus 1390/619/01
- /9/ Ratatekniset piirustusohjeet B 18, Ratahallintokeskus, 2007

KALLISTUVAKORISEN KALUSTON Sm3 ja Sm6 (Pendolino ja Allegro) NOPEUS

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

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

Lyhyet vaakageometrian elementit huonontavat matkustusmukavuutta junan jatkuvien kallistusmuutosten vuoksi. Suorien, ympyränkaarien ja siirtymäkaarien minimipituudeksi suositellaan vähintään 0,5...1,0 sekunnin ajoaikaa vastaavaa pituutta. Elementin pituuden minimivaatimukset ovat muuten samat, kuin tavanomaisella kalustolla (kohta 2.6.7).

Kaarevuuden äkillisen muutoksen yhteydessä, ympyränkaaren alussa ja lopussa sekä korikaaren eri kaarreosien välissä tarvitaan siirtymäkaari, jos kallistuksen vajauksen muutos on yli 49 mm (poikittaiskiihtyvyyden muutos yli 0,3 m/s²).

Taulukossa on raja-arvot ja kaavat eri muuttujille ja kaarrenopeeden mitoitukselle. Nopeuden määräävä arvo on yleensä joko kallistuksen vajaus (tai poikittaiskiihtyvyys) ympyränkaareessa tai korin kallistusnopeus siirtymäkaareessa. Laskelmissa kallistusjärjestelmän oletetaan toimivan viiveettömästi.

Kallistuvakorisele kalustolle ei voi ilmoittaa JKV:ssa erilaisia junatyypikohtaisia nopeuksia. Tämän takia kallistuvakorisen kaluston suurin sallittu nopeus on määriteltävä aina Sm3-tyyppin arvoilla.

	Sm3	Sm6
I_1 = kallistuksen vajauksen maksimi [mm]	293	293
I [mm]	$I = 12,5V^2/R - D$	
$V(I)$ [km/h]	$V = \sqrt{\frac{R(D+I)}{12,5}}$	
a_q = vastaava maksimi poikittaiskiihtyvyys kiskon selän tasossa [m/s^2]	1,80	1,80
a_q [m/s^2]	$a_q = V^2/(12,96R) - D/163$	
$V(a_q)$ [km/h]	$V = \sqrt{12,96R(a_q + \frac{D}{163})}$	
Poikittaiskiihtyvyyden kompensointi [%]	80	70
a_k = maksimi poikittaiskiihtyvyys vaunun lattian tasossa [m/s^2]	0,65	0,80
a_k [m/s^2]	$a_k = 0,2a_q$, kun $a_q \leq 1,706$ $a_k = a_q - 1,365$, kun $a_q > 1,706$	$a_k = 0,3a_q$, kun $a_q \leq 1,95$ $a_k = a_q - 1,365$, kun $a_q > 1,95$
da_k/dt = maksimi nykäys vaunun lattian tasossa [m/s^3]	0,60	
da_k/dt [m/s^3]	$da_k/dt = a_k V / (3,6L_K)$	
NCA:n arvo, joka kallistaa vaunun korin 8° [m/s^2]	$1,706 = 9,81 \times \sin 8^\circ / 0,8$	$1,95 = 9,81 \times \sin 8^\circ / 0,7$
NCA:n osuus, jonka vaunun korin 8° :n kallistus kompensoi [m/s^2]	$1,365 = 9,81 \times \sin 8^\circ$	$1,365 = 9,81 \times \sin 8^\circ$
α_l = korin maksimi kallistuskulma raiteen kallistetusta keskivivasta [$^\circ$]	8	
α korin kallistuskulma [$^\circ$]	$\alpha = (a_q - a_k)/g \times 180/\pi$	

α korin kallistuskulma [°]	$\alpha = 4,67a_q$, kun $a_q \leq 1,706$ $\alpha = 8^\circ$, kun $a_q > 1,706$	$\alpha = 4,09a_q$, kun $a_q \leq 1,95$ $\alpha = 8^\circ$, kun $a_q > 1,95$
α'_1 = korin maksimi kallistusnopeus raiteeseen verrattuna [°/s]	5	
α' korin kallistusnopeus [°/s]	$\alpha' = aV/(3,6L_D)$	
R_V = kaltevuustaitteen pyöristyssäde [m]	$V = 3,6\sqrt{R_V}$	

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

I_1 = kallistuksen vajauksen maksimi [mm]

I = kallistuksen vajoaus [mm]

V = nopeus [km/h]

R = kaarteen säde [m]

D = raiteen kallistus [mm]

a_q = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys kiskon selän tasossa [m/s²]

a_k = kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys vaunun lattian tasossa [m/s²]

da_k/dt = nykäys vaunun lattian tasossa [m/s³]

L_K = klotoidin muotoisen siirtymäkaaren pituus [m]. Neljännen asteen käyrän tapauksessa pituus jaetaan 1,4:llä.

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

α_1 = korin maksimi kallistuskulma raiteen kallistetusta keskiviivasta [°]

α = korin kallistuskulma raiteen kallistetusta keskiviivasta [°]

α'_1 = korin maksimi kallistusnopeus raiteeseen verrattuna [°/s]

α' = korin kallistusnopeus raiteeseen verrattuna [°/s]

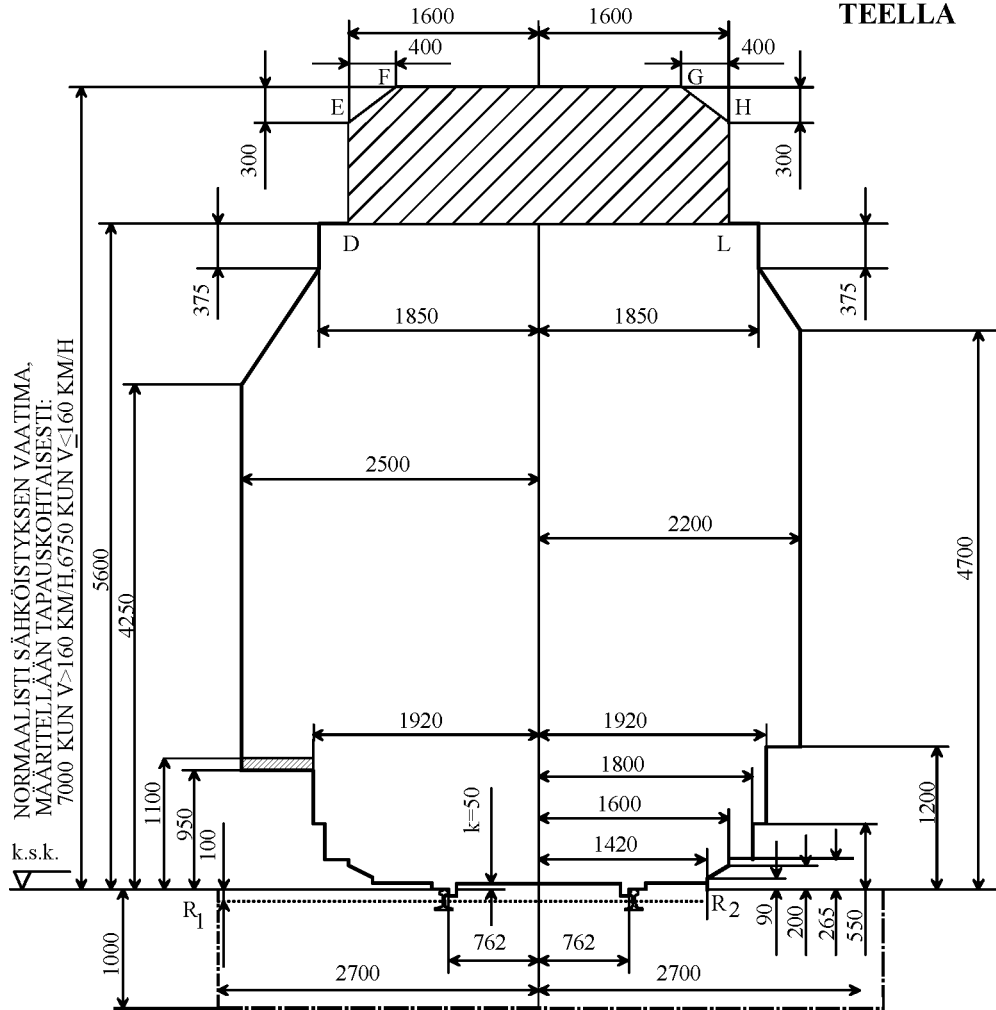
$g = 9,81$ [m/s²]

$\pi = 3,1416$

R_V = kaltevuustaitteen pyöristyskaarresäde [m]

AUKEAN TILAN ULOTTUMA (ATU)

PÄÄRAITEELLA ***) SIVURAI-
TEELLA**



Aukean tilan ulottuma on samanlainen pää- ja sivuraiteella korkeuteen 950mm asti.

Kaarteessa ulottuman puolileveyksiä on kasvatettava kaavan $\frac{360000}{R} + \frac{HD}{1600}$ mukaan.

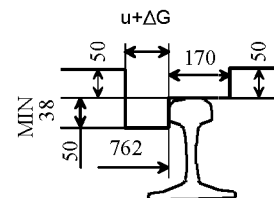
- rajaviiva aukean tilan ulottumalle
- rajaviivan yläpuolella sallitaan vain vaihteiden ja turvalaitteiden osia, tasoristeysten päällysteitä yms.
- rajaviivan yläpuolella ei sallita rataan kuulumattomia perustuksia, köysiä, putkijohtoja, kaapeleita ym.

$u_{\min} = 41$ $u + \Delta G =$ laippauran levitys kaarteessa

$k = 50$ mm, kun pystysuoran pyör.säde $s > 1000$ m

$k = 0$ mm kun pystytason pyör.säde $s = 500$ m

k kasvaa lineaarisesti 0... 50 mm pyör.säteen kasvaessa vastaavasti 500...1000 m



LAIPPAURA

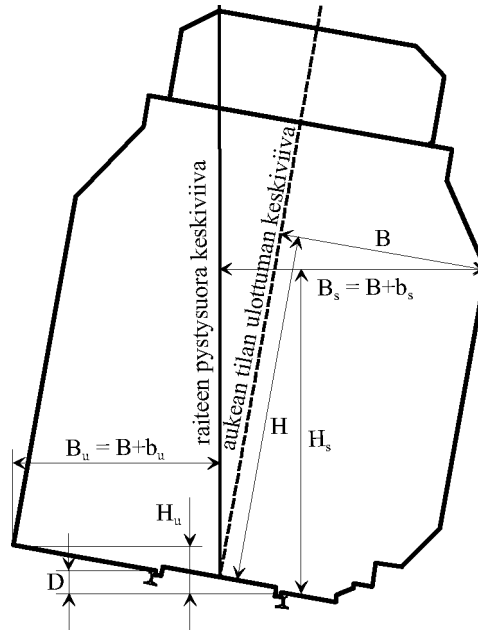
- sähköistetyt ja sähköistettävät raitteet
- alue, johon saa asentaa vain radan merkkejä ja opastimia

*) Rautatieliikennepaikalla on oltava vähintään yksi raide, joka täyttää kiinteiden esteiden osalta suurkuljetusraiteen ulottuman (liite 6).

ATU:N LEVITYS KAARTEESSA

LIKIMÄÄRÄISET KAAVAT:

kuva 1



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

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

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

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

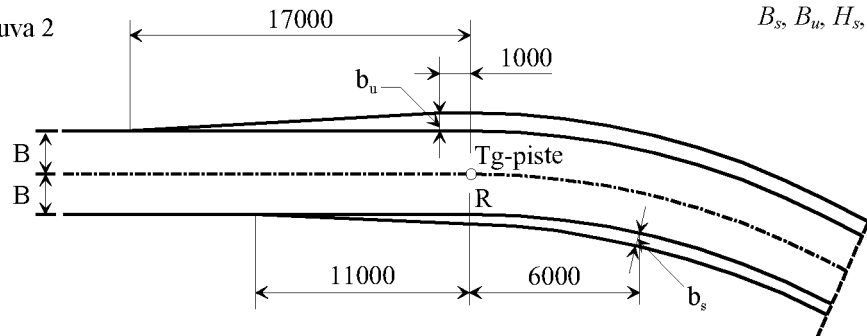
1) kaavassa termi $\frac{36000}{R} = 0$,
kun $H > 5600$ mm

B = ATU:n puolileveys suorassa raiteessa

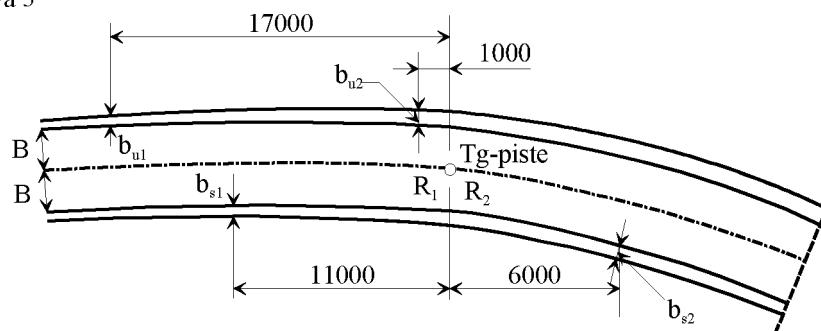
Säde R (m)

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

kuva 2



kuva 3



B = ATU:n puolileveys suorassa raiteessa

b_u = ATU:n levitys kaartein ulkopuolella

b_s = ATU:n levitys kaartein sisäpuolella

b_{u1} = sädettä R_1 vastaava ATU:n levitys kaartein ulkopuolella

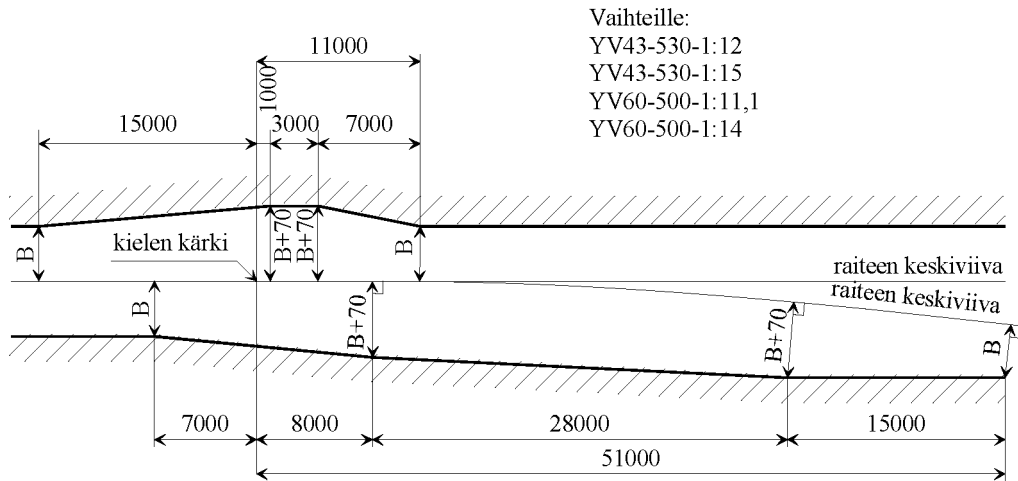
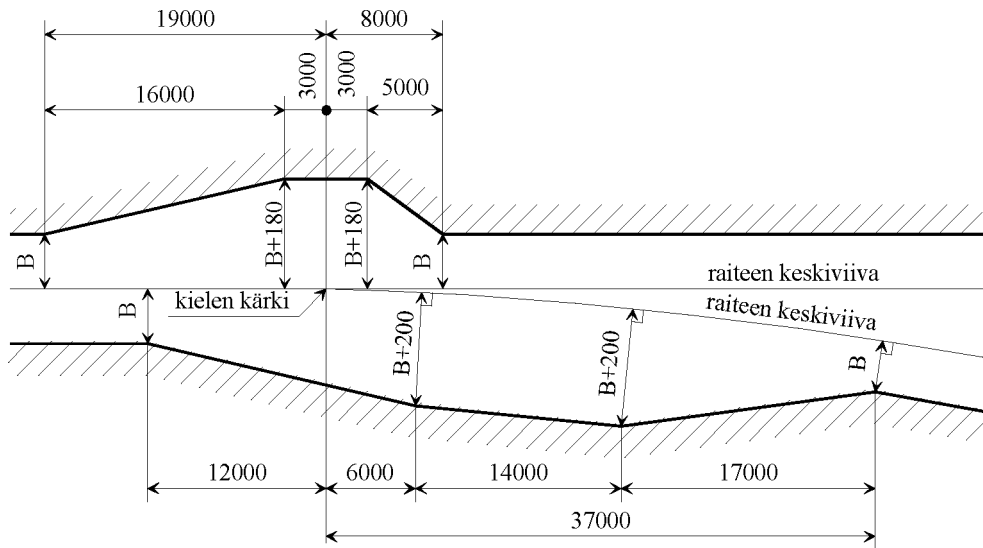
b_{s1} = sädettä R_1 vastaava ATU:n levitys kaartein sisäpuolella

b_{u2} = sädettä R_2 vastaava ATU:n levitys kaartein ulkopuolella

b_{s2} = sädettä R_2 vastaava ATU:n levitys kaartein sisäpuolella

ATU:N LEVITYS VAIHTEISSA

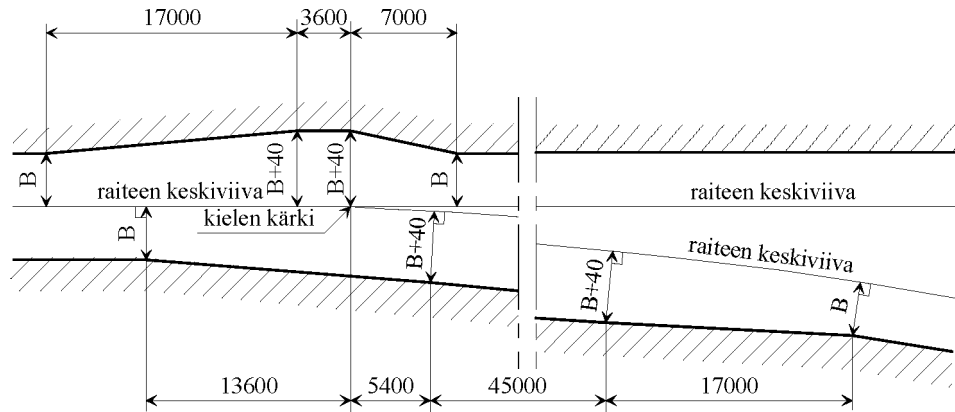
Vaihteille joiden poikkeavan raiteen säde ≤ 300 m



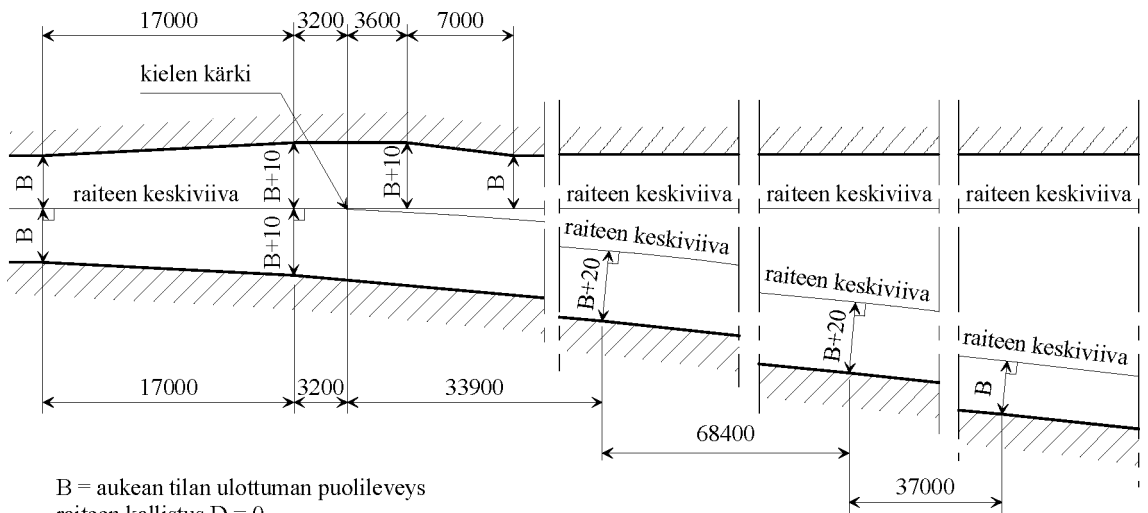
B = aukean tilan ulottuman puolileveys
 raiteen kallistus $D = 0$

ATU:N LEVITYS VAIHTEISSA

Vaihteille:
YV60-900-1:15,5
YV60-900-1:18
YV54-900-1:15,5
YV54-1600-1:25

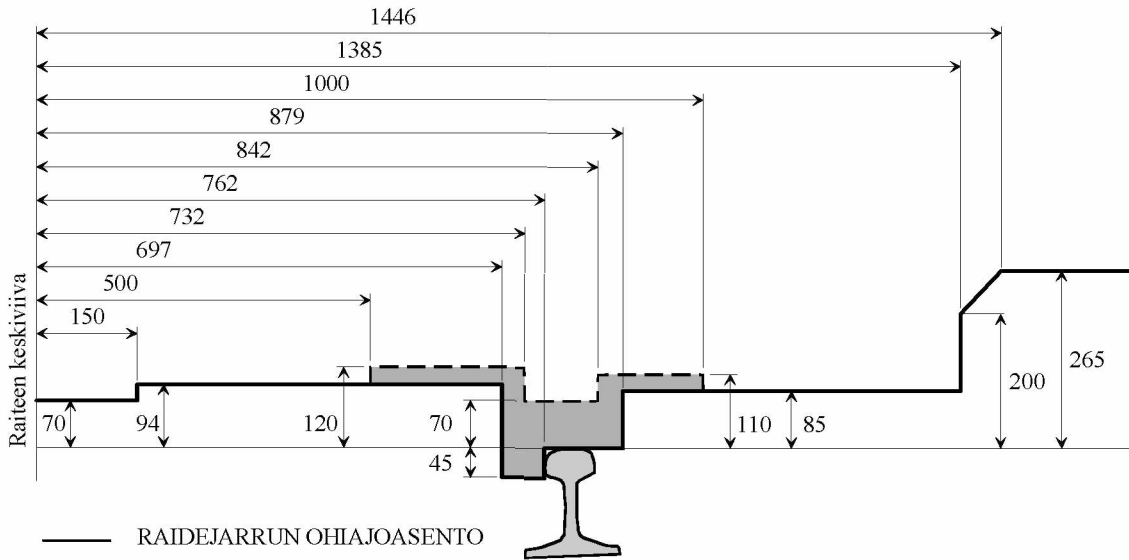


YV60-5000/2500-1:26

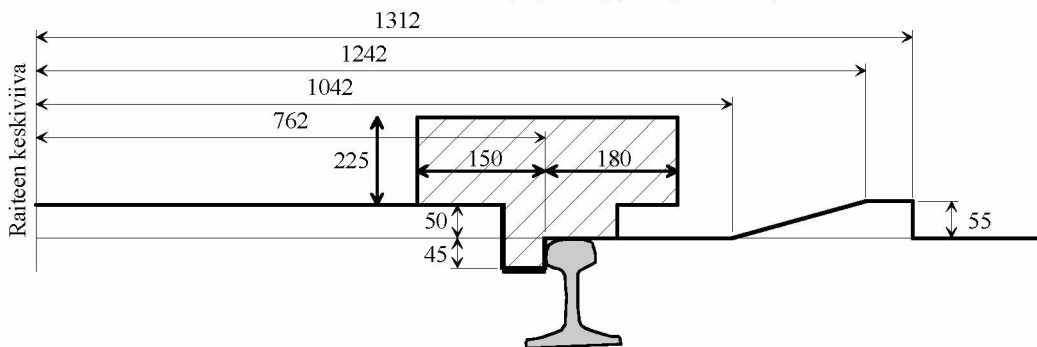
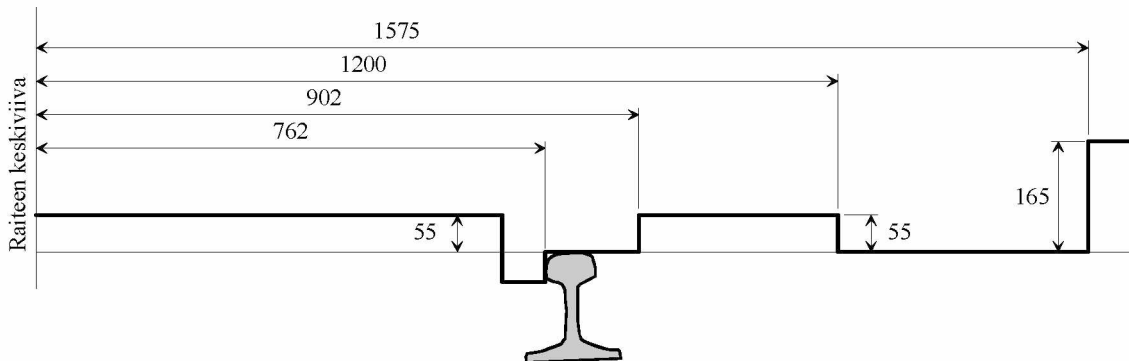


RAIDEJARRUN SIJOITUS

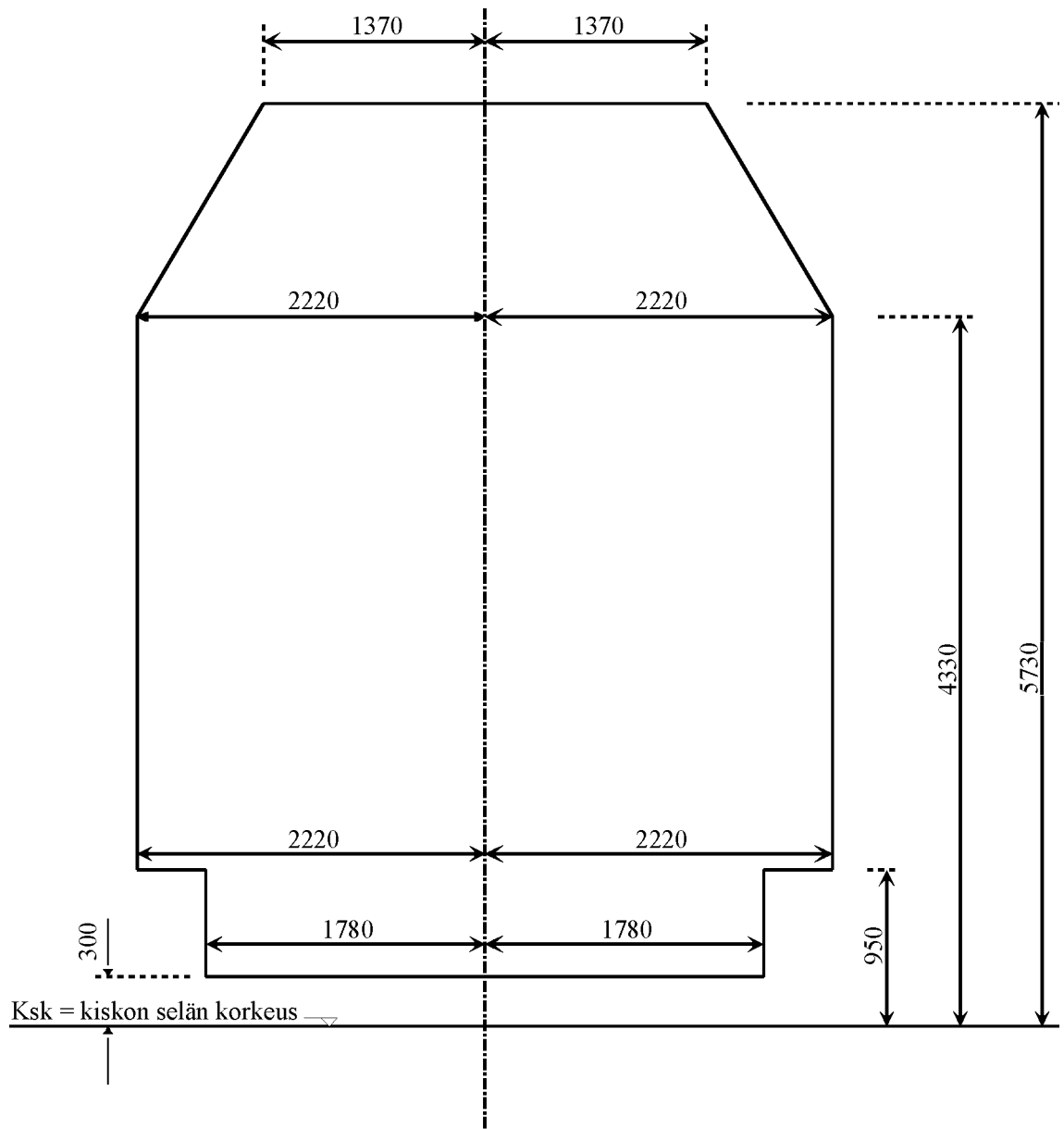
ATU, alaosa erikoistapauksissa



Liikkuva kalusto, joka saa kulkea jarrutusasennossa olevan raidejarrun yli, on määriteltävä raidejarrukohtaisesti erikseen.

RAITEENSULUN SIJOITUSPystytason pyöristyssäteen R_v on oltava vähintään 1000 m**VAIHTEEN VASTAKISKON JA KÄÄNTÖLAITTEEN AURAUSSUOJAN SIJOITUS**

SUURKULJETUSRAITEEN ULOTTUMA SUORASSA RAITEESSA



Liik
enne
vira
sto

ISSN-L 1798-663X
ISSN 1798-6648
ISBN 978-952-255-505-2

www.liikennevirasto.fi