

## **RATATEKNISET MÄÄRÄYKSET JA OHJEET**

**Ratahallintokeskus hyväksyy oheisen muutoksen, joka korvaa RAMOn osan 2 Radan geometria kohdan 2.9 “Aukean tilan ulottuma” sekä liitteen 3 “ATUn levitys kaarteessa”.**

**Muutokset johtuvat asiavirheiden korjaamisesta ja siitä, että taulukon 2.9:2 “Raidevälin ja nopeuden välinen yhteys” puuttuminen on aiheuttanut epäselvyyksiä pengerleveyttä ja raideväliä mitoitettaessa. Pengerleveyyden mitoittavat tekijät on esitetty RAMOn kohdassa 3.3.61.**

**Muutos on voimassa 17.6.2002 lukien.**

Ylijohtaja

Ossi Niemimuukko

Kunnossapitoyksikön päällikkö

Markku Nummelin

**Korvaa:**

**RAMOn osa 2 Radan geometria (1.9.2000) sivut 1 - 4, 49 - 54 ja liitteen 3**

# RATATEKNISET MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

**Ratahallintokeskus on hyväksynyt RAMOn osan 2 Radan geometria.**

Ylijohtaja

Ossi Niemimuukko

Teknisen yksikön päällikkö

Markku Nummelin

**Korvaa:**

- RAMOn osat 2 Radan geometria (1.10.1987), 2.4 Raideleveys (1.1.1997) ja 2.5 Aukean tilan ulottuma (1.5.1994).
- Ratatekniset erillisohjeet, VR 2775, osat 2.6 Kallistuvakorisen junan suurin sallittu nopeus raiteen geometrian kannalta, 3 Väistöraiteet ja 5 Jarrupainojärjestelmä.
- Raiteen mittaus- ja merkitsemisjärjestelmään sekä kunnossapitotoimintaan liittyviä ohjeita, VR 3294.

**Voimassa 1.9.2000 lukien ehdollisena siten, että sitä voidaan notifiointimenettelyn aikana tarvittaessa muuttaa Euroopan yhteisöjen vaatimuksesta.**

## Sisältö

2 RADAN GEOMETRIA	5
2.1 Johdanto	5
2.1.1 Yleiset perusteet	5
2.1.2 Määritelmät	5
2.1.3 Matemaattiset merkinnät ja lyhennykset	7
2.2 Radan korkeusviiva ja raiteen keskilinja	9
2.3 Radan geometrian mitoituksen perusteet	11
2.3.1 Yleiset mitoitusperusteet	11
2.3.2 Radan rakenne	11
2.3.3 Junan ajodynaaminen käyttäytyminen	11
2.3.4 Junan vastusvoimat	11
2.3.5 Radan ja liikkuvan kaluston vuorovaikutus	13
2.3.6 Suunnitteluparametrit	17
2.4 Raideleveys	19
2.5 Pituuskaltevuus	21
2.5.1 Nousut	21
2.5.1.1 Määrävä nousu	21
2.5.1.2 Vauhtinousu	21
2.5.1.3 Jarrutusraja	22
2.5.1.4 Hukkanousu	22
2.5.2 Kaltevuudet ratalinjalla	22
2.5.3 Kaltevuustaitteiden pyöritys	23
2.5.4 Jarrupainojärjestelmä	25
2.5.4.1 Junan jarrutuskyky	25
2.5.4.2 Opastimet ja rata jarrupainojärjestelmässä	26
2.5.4.3 Ratatietojen vaikutus ja muutokset	27
2.5.4.4 Opastinvälin määrävä lasku	27
2.5.4.5 Junien automaattisen kulunvalvonnan tiedonsiirtovälin määrävä lasku	28
2.6 Kaarteet	31
2.6.1 Kaarresäteet	31
2.6.2 Raiteen kallistus	32
2.6.3 Siirtymäkaari ja kallistusviiste	34
2.6.3.1 Siirtymäkaaren ja kallistusviisteen käyttö	34
2.6.3.2 Suora kallistusviiste ja siirtymäkaari	35
2.6.3.3 S-kallistusviiste ja siirtymäkaari	36
2.6.4 Lähekkäin sijaitsevat kaaret	38
2.6.5 Raiteen yhdensuuntaissiirrot	39
2.7 Junan nopeus	41
2.7.1 Tavallinen juna	41
2.7.2 Kallistuvakorinen juna	41
2.7.3 Pyörityssäännöt	41
2.8 Suunnittelu	43
2.8.1 Raiteen pituuskaltevuuden ja kaarteiden suunnittelu	43
2.8.2 Teollisuusradan suunnittelu	44
2.8.3 Tilapäisten raiteiden suunnittelu	45

2.8.3.1	Määritelmä	45
2.8.3.2	Mitoitusperusteet	45
2.8.4	Suunnittelun osa-alueet	46
2.8.4.1	Yleistä	46
2.8.4.2	Tarvemuistio	46
2.8.4.3	Tarveselvitys	47
2.8.4.3.1	Radan parantamista koskevat kehittämishankkeet	47
2.8.4.3.2	Uusien ratojen suunnittelu	47
2.8.4.4	Yleissuunnittelu	47
2.8.4.5	Rakentamissuunnittelu	48
2.9	Aukean tilan ulottuma	49
2.9.1	Määritelmä	49
2.9.2	Aukean tilan ulottuman päämitat	49
2.9.2.1	Leveysmitat	49
2.9.2.2	Korkeusmitat	51
2.9.2.3	Aukean tilan ulottuman rajoitukset	51
2.9.2.3.1	Yleistä	51
2.9.2.3.2	Ovi- ja porttiaukot	51
2.9.2.4	Erikoistapaukset	52
2.9.2.5	Laippaura	52
2.9.2.6	Raideväli	53
2.9.2.7	Rakenteiden sijainti	54
2.9.2.7.1	Pylväät	54
2.9.2.7.2	Sillat	54
2.9.2.7.3	Aidat	54
2.9.2.7.4	Johtimien etäisyydet	54
2.9.2.7.5	Kiskon selän alapuolella olevat rakenteet	54
2.9.2.7.6	Rajamerkki	54
2.10	Raitteen mittaus- ja merkitsemisjärjestelmä	55
2.10.1	Yleistä	55
2.10.1.1	Tavoitteet	55
2.10.1.2	Soveltaminen	55
2.10.1.3	Tarkkuus	55
2.10.2	Mittausperusta	55
2.10.2.1	Ratatekniset erityisvaatimukset	55
2.10.2.2	Koordinaattijärjestelmät	56
2.10.2.3	Pisteiden luokittelu	57
2.10.2.4	Pisteiden rakentaminen	57
2.10.2.5	Menetelmät	58
2.10.2.6	Laskenta	59
2.10.2.7	Dokumentointi	61
2.10.3	Mittaustyöt	61
2.10.3.1	Kartoitus	61
2.10.3.1.1	Raide	62
2.10.3.1.2	Yksityiskohdat	63
2.10.3.1.3	Maastomalli	63
2.10.3.2	Vaaitus	63
2.10.3.3	Paikalleenmittaus	64
2.10.3.4	Kontrollimittaus	64

---

2.10.4 Stereokartoitus .....	64
2.10.5 Raiteen asemaa osoittavat merkinnät .....	65
2.10.5.1 Yleistä .....	65
2.10.5.2 Raiteen geometria .....	65
2.10.6 Raiteen aseman laatuvaatimukset .....	71
2.10.6.1 Yleistä .....	71
2.10.6.2 Raiteen aseman poikkeamat liikenteen käytössä olevalle raiteelle .....	71
2.10.6.3 Raiteen aseman poikkeamat raiteen noston, oikomisen ja tuennan jälkeen .....	72
2.10.7 Työturvallisuus .....	72
Viitteet .....	73

## Liiteluettelo

1. Kallistuvakorisen junan Sm3 (Pendolino) nopeus
2. Aukean tilan ulottuma (ATU)
3. ATU:n levitys kaarteessa
4. ATU:n levitys vaihteissa
5. Raidejarrun, raiteensulun sekä vaihteen vastakiskon ja kääntölaitteen auraussuojan sijoitus

## 2 RADAN GEOMETRIA

Ratateknisten määräysten ja ohjeiden (RAMO) osassa “Radan geometria” esitetään perusteet Suomen rautateiden geometrian suunnittelua varten. Geometria käsittää radan pysty- ja vaakageometriaa, raideleveyttä sekä aukean tilan ulottumaa (ATU) koskevat asiat.

Tämä osa on ilmoitettu neuvoston direktiivin 83/189/ETY, muut. 88/182/ETY, muut. 94/10/EY mukaisesti. Ratahallintokeskus seuraa alan eurooppalaista standardisointia ja muuttaa määräykset ja ohjeet eurooppalaisten standardien mukaisiksi niiden valmistuttua.

### 2.1 Johdanto

#### 2.1.1 Yleiset perusteet

Ratatekniikassa ovat keskeisinä lähtökohtina kaluston turvallinen, tasainen ja jouhea kulku raiteella sekä kulun aiheuttama kuormitus raiteelle. Radan geometrialla voidaan vaikuttaa näihin tekijöihin.

Rautatieliikenne on kansainvälistä. Merkittävä osa tavaraliikenteestä kuljetetaan venäläisen standardin mukaisella kalustolla. Raidelevydenvaihtojärjestelmien avulla liikenteen yhteydet toimivat Pohjoismaihin ja muualle Eurooppaan. Perinteisen kaluston lisäksi radalla liikennöi myös kallistuvakoritekniikalla varustettuja junia.

#### 2.1.2 Määritelmät

**Kaarre** käsittää vaaka- ja pystytasossa olevan normaalikaaren sekä siirtymäkaaret. Kaaren säde määritetään raiteen keskilinjan mukaan.

**Normaalikaarella** on kaarresäde koko matkalla vakio.

**Siirtymäkaarella** säteen suuruus muuttuu. Siirtymäkaarta käytetään suoran ja ympyränkaaren välissä sekä korikaarteessa kahden erisäteisen kaaren välissä. Siirtymäkaarena käytetään normaalisti klotoidin muotoista kaarta ja poikkeustapauksissa 4. asteen paraabelia.

**Pyöristyskaarella** yhdistetään pystysuuntaiset kaltevuusjaksot toisiinsa. Pystysuorissa pyöristyskaarissa ei käytetä siirtymäkaarta.

**Korikaarre** muodostuu kahdesta tai useammasta erisäteisestä kaaresta, joiden välissä on kaarresäteiden mukainen siirtymäkaari ja päissä vastaavat siirtymäkaaret.

**S-kaarre** muodostuu kahdesta vastakkaisiin suuntiin kaartuvasta kaaresta. Kaarteiden välissä ja päissä käytetään säteen suuruudesta riippuen siirtymäkaaria.

**Raiteen kallistus** määritetään raiteen sisä- ja ulkokiskon välisenä korkeuserona. Raiteen kallistus tehdään ulkokiskoa korottamalla.

**Teoreettinen kallistus** (tasapainokallistus) kaarella on kyseessä silloin, kun poikittaiskiihtyvyys on kompensoitu kokonaan raiteen kallistuksella.

**Liikakallistuksella** tarkoitetaan sitä kallistusta, joka aiheuttaa poikittaiskiihtyvyyttä sisäkiskoon päin.

**Kallistuksen vajauksella** tarkoitetaan sitä kallistusta, joka aiheuttaa poikittaiskiihtyvyyttä ulkokiskoon päin.

**Suosittelavalla arvolla** varmistetaan hyväksyttävä matkustusmukavuus ja mahdollistetaan kohtuulliset kunnossapitokustannukset lukuun ottamatta erityisolosuhteita, joissa em. tavoitteita ei saavuteta.

**Maksimi- (ja minimi-) arvot** ovat äärimmäisiä mutta hyväksyttäviä arvoja. Näiden arvojen käyttö ei tarvitse lupaa, mutta niitä tulisi käyttää mahdollisimman vähän. Ne eivät aiheuta rajoituksia. Maksimi- ja minimiarvojen ylitykset tai alitukset edellyttävät aina Ratahallintokeskuksen luvan.

**Lupa-arvolla** tarkoitetaan maksimi- ja minimiarvojen ylittäviä tai alittavia arvoja ja niitä saa käyttää vain Ratahallintokeskuksen luvalla. Niiden käyttö saattaa aiheuttaa erikoisvaatimuksia radan rakenteeseen sekä geometrian mitoittamiseen. Lupa-arvoa ei saa ylittää eikä alittaa.

**Kallistuksen muutos pituuden funktiona** tarkoittaa kallistuksen muutosta kuljetun matkan suhteen.

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

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

**Tavoitenopeus** määritellään kullekin rataosalle tulevaa liikkuvan kaluston ja radan kehitystä silmällä pitäen. Tavoitenopeus on perustana tutkimus- ja kehittämistoiminnalle ja se otetaan huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että radan kaarregeometria kallistusta lukuun ottamatta pyritään suunnittelemaan tavoitenopeuden mukaan. Tällöin tavoitenopeuden mukainen geometria voidaan saavuttaa kallistusta lisäämällä.

**Mitoitusnopeus** määritellään liikenteellisten tavoitteiden mukaan.



**Paikallinen nopeus** määritellään radan (raiteen) paikallisten osien suunnittelua varten. Se voi olla muusta mitoitusnopeudesta poikkeava esim. yhdyskuntarakenteesta tai tasoristeyksestä johtuen.

### 2.1.3 Matemaattiset merkinnät ja lyhennykset

Taulukossa 2.1:1 on esitetty tässä RAMO:n osassa käytetyt matemaattiset lyhenteet. Lyhenteinä käytetään taulukossa olevaa merkintää, joka on euronormien mukainen aina, kun se on mahdollista. Muissa tapauksissa merkintä on kansainvälisesti yleisesti käytetty tai joissain tapauksissa kansallinen.

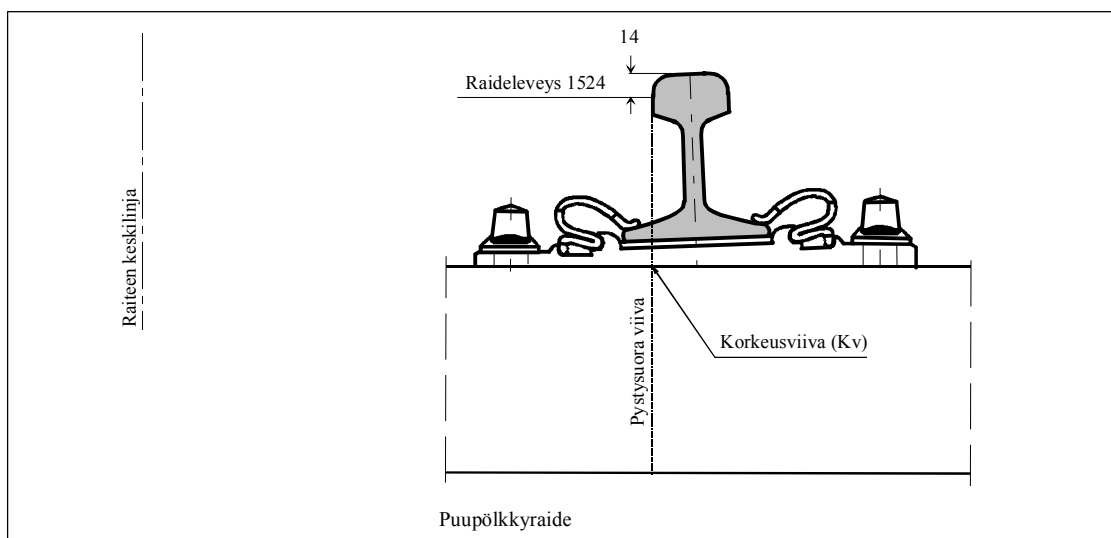
**Taulukko 2.1:1 Käytetyt lyhenteet.**

Nro	Käytettävä merkintä	Merkitys	Yksikkö
1	$a_q$	kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys	$m/s^2$
2	$da_q/dt$	nykäys	$m/s^3$
3	$a_v$	kvasistaattinen pystykiihtyvyys	$m/s^2$
4	h	raiteen kallistus	mm
5	dh/dt	raiteen kallistuksen muutos aikayksikössä	mm/s
6	dh/dL	raiteen kallistuksen muutos pituusyksikössä	mm/m
7	E	liikakallistus	mm
8	e	pyörien kulkuympyröiden välinen etäisyys	mm
9	I	kallistuksen vajoaus	mm
10	dI/dt	kallistuksen vajouksen muutos aikayksikössä	mm/s
11	L	siirtymäkaaren pituus	m
12	$L_i$	kaari- ja suoraelementtien pituus	m
13	R	vaakakaarresäde	m
14	S	pyörästyskaarresäde	m
15	t	aika	s (h)
16	V	nopeus	km/h
17	v	nopeus	m/s
18	$V_{max}$	nopeiden junien maksiminopeus kaarteessa	km/h
19	$V_{min}$	hitaiden junien nopeus kaarteessa	km/h
20	s	pituuskaltevuus	‰
21	G	raideleveys	mm

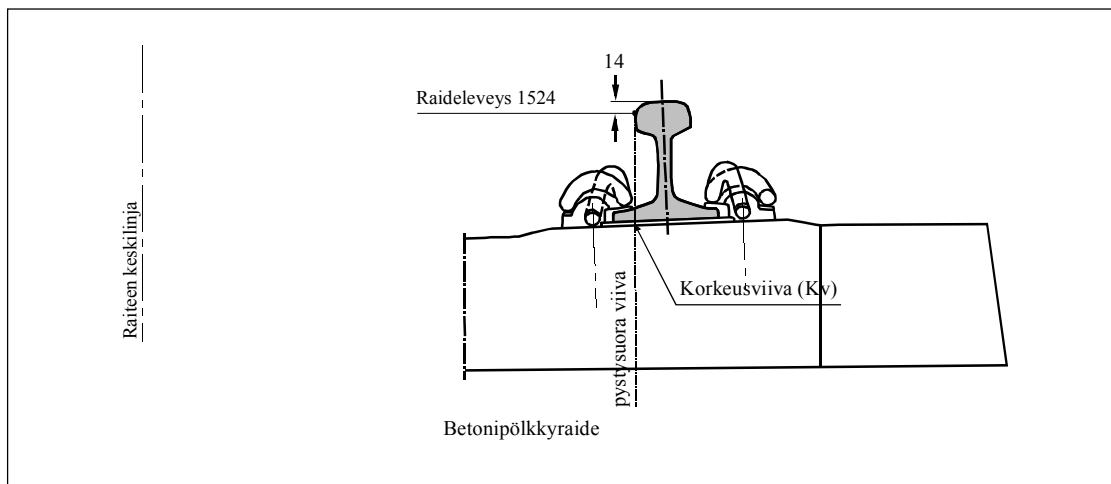


## 2.2 Radan korkeusviiva ja raiteen keskilinja

Radan korkeusviivalla tarkoitetaan viivaa, joka määrittelee raiteen korkeuden aluslevyn tai välilevyn alapinnan tasossa kiskon kulkureunan kohdalla. Suoralla ja kallistamattomassa kaarteessa määritellään korkeusviiva jomman kumman kiskon kulkureunan kohdalla em. tasossa (kuvat 2.2:1 ja 2.2:2). Kallistetuissa kaarteissa määritellään korkeusviiva sisäkiskon kulkureunan kohdalla kuvan 2.2:3 mukaan.

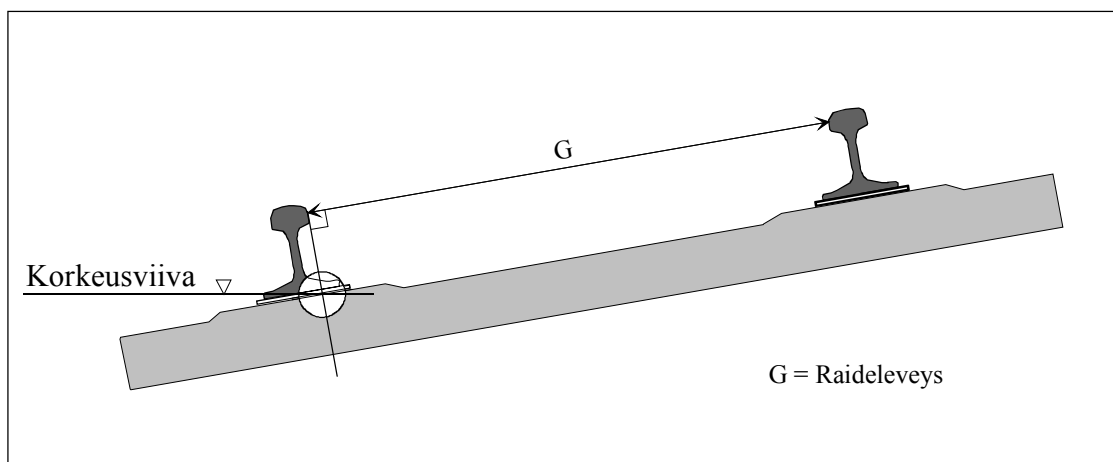


**Kuva 2.2:1 Radan korkeusviiva kallistamattomassa puuratapölkkyraiteessa.**

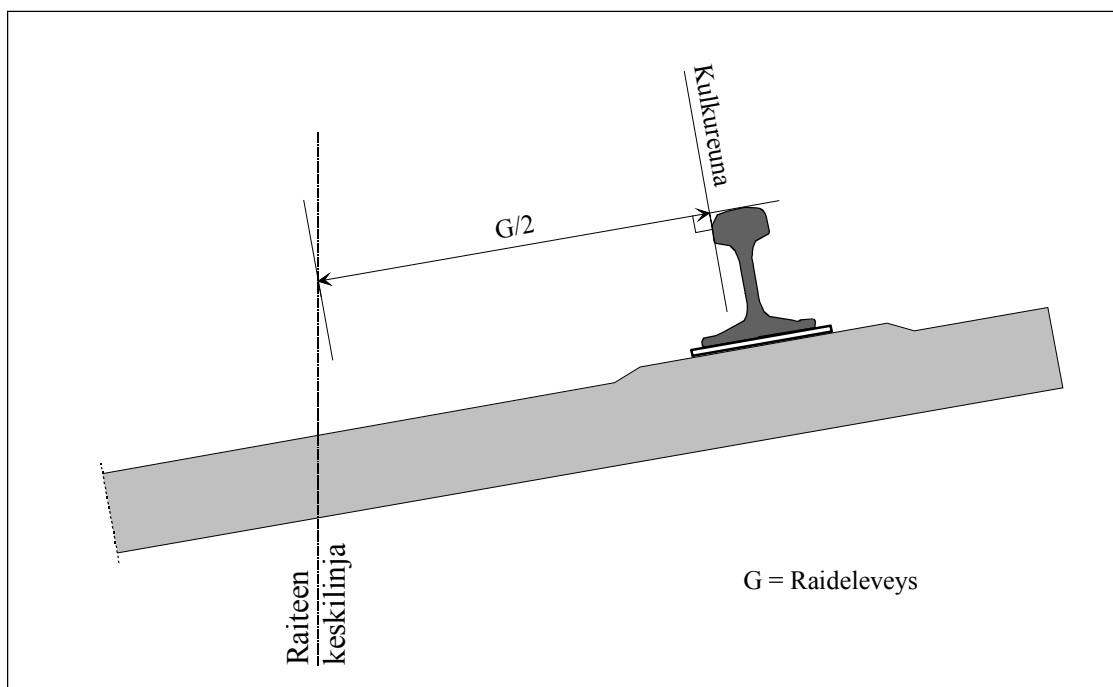


**Kuva 2.2:2 Radan korkeusviiva kallistamattomassa betoniratapölkkyraiteessa.**

Raiteen keskilinjalla tarkoitetaan suoralla linjaa, jonka etäisyys molempien kiskojen kulkureunasta on sama (yleensä 762 mm). Raiteen keskilinjalla kallistetussa kaarteessa tarkoitetaan kuvan 2.3:4 mukaista linjaa.



Kuva 2.2:3 Radan korkeusviiva kallistetussa raitessa.



Kuva 2.2:4 Raitteen keskilinja kallistetussa raitessa.

## 2.3 Radan geometrian mitoituksen perusteet

### 2.3.1 Yleiset mitoitusperusteet

Radan geometrisen mitoituksen lähtökohtana ovat liikenteen, kaluston, ympäristön, turvallisuuden ja radan rakentamisen sekä kunnossapidon asettamat tavoitteet ja vaatimukset sekä pitkällä että lyhyellä aikavälillä. Radan geometriassa otetaan huomioon junan dynaaminen kulku, kaluston ja radan kunnossapitokustannukset sekä radan rakennuskustannukset. Suunnitteluelementtien valintaan ja niiden arvoihin vaikuttaa em. lisäksi myös maankäyttö.

### 2.3.2 Radan rakenne

Radan rakenne vaikuttaa mitoitusnopeuteen ja paikalliseen nopeuteen. Radan geometrialla vaikutetaan kaluston aiheuttamien radan rakenteeseen kohdistuvien voimien suuruuteen.

### 2.3.3 Junan ajodynaaminen käyttäytyminen

Ajodynamiikka käsittää kiihdytykset, rullaukset, jarrutukset, ajoajat, energiankulutuksen ja junan pituussuuntaisen käyttäytymisen radan eri kohdissa. Junan liikkeeseen vaikuttavat vetovoima pyörän kehällä ja liikettä vastustavat voimat. Liiketila voidaan ilmaista kaavalla 2.3:1.

$$Z(V) - W_L(V) - W_B = m \times (1+q) \times dV/dt \quad (2.3:1)$$

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

= junan nopeudesta riippuva jarruvoima, kun  $Z < 0$

$W_L(V)$  = junan nopeudesta riippuva kulkuvastus

$W_B$  = junan sijainnista riippuva ratavastus

$m$  = junan massa

$q$  = pyörivät massat huomioon ottava kerroin (kalustolajista, rakenteesta ja kuorimituksesta riippuen 0,2...0,3)

$dV/dt$  = nopeuden muutos

### 2.3.4 Junan vastusvoimat

#### *Peruskulkuvastus*

Peruskulkuvastus on liikettä vastustava tekijä, kun juna liikkuu tasaisella, suoralla ja moitteettomassa kunnossa olevalla radalla. Peruskulkuvastus määritetään kaavan 2.3:2 mukaan.

$$W_0 = mg (C_1 + C_2V + C_3V^2) \quad (2.3:2)$$

$W_0$  = 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 2.3:3 mukaan.

$$w_0 = C_1 + C_2V + C_3V^2 \quad (2.3:3)$$

Kertoimet  $C_1$ ,  $C_2$  ja  $C_3$  määritetään kalustokohtaisesti. Yleensä määrittäminen tehdään erikseen tavarajunille sekä veturivetoisille henkilöjunille ja runkojunille. 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 2.3:4 mukaan.

$$W_r = \frac{650mg}{R-55} \quad (2.3:4)$$

$W_r$  = 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 2.3:4 junakohtaisesti. Ominaiskaarrevastus  $w_r$  saadaan jakamalla kaarrevastus junan painovoimalla kaavan 2.3:5 mukaan.

$$w_r = \frac{650}{R-55} \quad (2.3:5)$$

Jos on kysymyksessä akselipari tai teli, jossa pyöräkerta ohjautuu kaarteessa hyvin tai teli on radiaalisesti ohjautuva, ovat kaarrevastusarvot 20-50 % kaavan 2.3:4 mukaisista arvoista. Tällaisen kaluston kaarrevastukset on määritettävä kalustokohtaisesti.

*Nousuvastus*

Nousuvastus on vaunun painovoiman radan suuntainen komponentti.

Nousuvastus voidaan määrittää kaavan 2.3:6 mukaan.

$$W_s = \pm mgs \sin \alpha \sim \pm mgtan \alpha = \pm mgs \quad (2.3:6)$$

$W_s$  = nousuvastus [N]

$m$  = junan massa [t]

$g$  = painovoiman kiihtyvyys [ $m/s^2$ ]

$\alpha$  = nousukulma

$s$  = pituuskaltevuus [%]

Ominaisnousuvastus  $w_s$  saadaan jakamalla nousuvastus junan painovoimalla kaavan 2.3:7 mukaan.

$$w_s = \pm W_s/mg = \pm s \quad (2.3:7)$$

*Kokonaisvastus*

Kokonaisvastus  $W_k$  peruskulkuvastuksen, kaarrevastuksen ja nousuvastuksen summa kaavan 2.3:8 mukaan.

$$W_k = W_0 + W_r \pm W_s \text{ [N]} \quad (2.3:8)$$

**2.3.5 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 varmuusvälin säilyttävä kaikissa olosuhteissa ATU:n sekä LKU:n että KU:n välillä.

Radan mitoitusnopeus ja liikkuvan kaluston kallistuminen kaarteessa ulospäin/sisään-päin määrittävät raiteen kallistuksen.

Kallistuvakorisen kaluston kallistusjärjestelmän ominaisuudet ja kalustolle asetetut nopeustavoitteet vaikuttavat siirtymäkaarien ja raiteen kallistuksen mitoitukseen.

Tunnelien vaikutus liikkuvan kaluston kulkuvastukseen ja kalustolle asetetut ajoaika-vaatimukset vaikuttavat raiteen kaltevuuksien ja kaarresäteiden mitoitukseen.

Raiteen raideleveys toleransseineen ja pyöräkerran raideleveysmitta toleransseineen määrittelevät ns. raidevälyksen suuruuden (kuva 2.3:1). Raidevälyksellä on vaikutusta pyöräkerran liikkeisiin suoralla raiteella ja kaarteessa (kaluston kulun tasaisuus, kaarrevastus sekä kiskoon että 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 liikettä kutsutaan siniliikkeeksi (kuva 2.3:2).

Siniliikkeen muoto määritetään kaavan 2.3:9 mukaan.

$$y = y_0 \sin 2\pi(x/L) \quad (2.3:9)$$

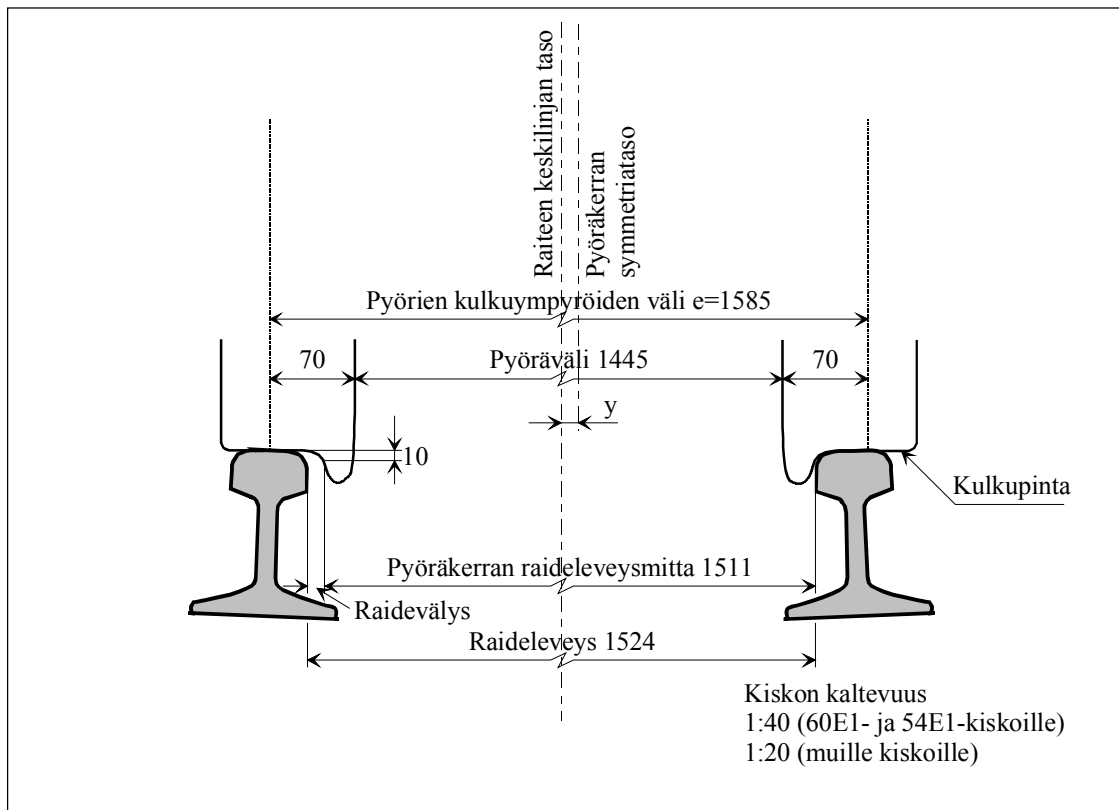
$y$  = sinikäyrän ordinaatta

$y_0$  = sinikäyrän ordinaatan maksimiarvo

$x$  = sinikäyrän abskissa

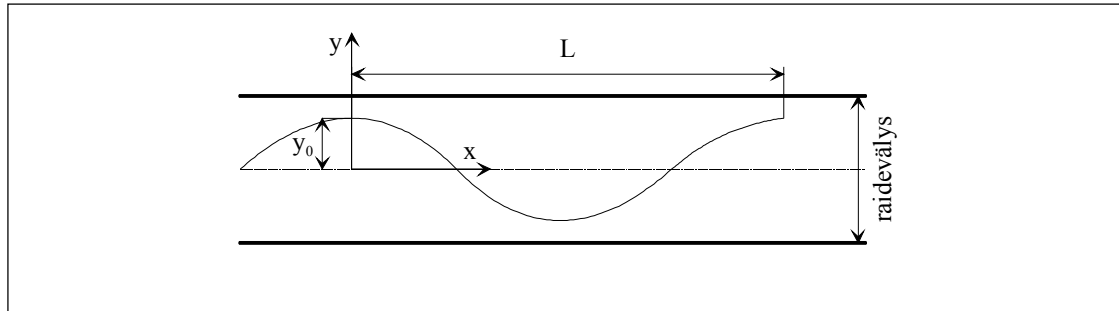
$L$  = sinikäyrän aallonpituus

Kuvan 2.3:3 mukaisesti siniliikkeen aallon korkeus kasvaa nopeuden lisääntyessä. Se saavuttaa tietyllä nopeudella maksimiarvon ( $\frac{1}{2} \times$  raidevälys), jolloin aaltoliikkeen taajuus kasvaa epästabiiliksi. Pyöräkerran jouheva siniliike muuttuu siksak-muotoiseksi, josta seuraa erittäin huono matkustusmukavuus (kuva 2.3.4)



Kuva 2.3:1 Pyöräkerran sijainti raiteella.

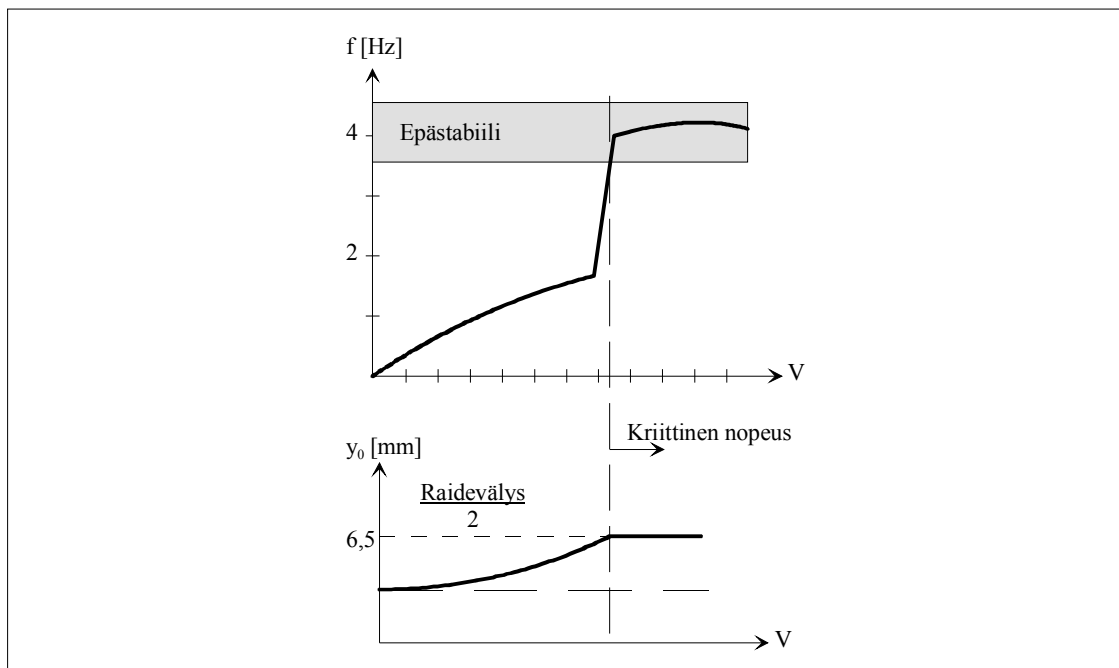




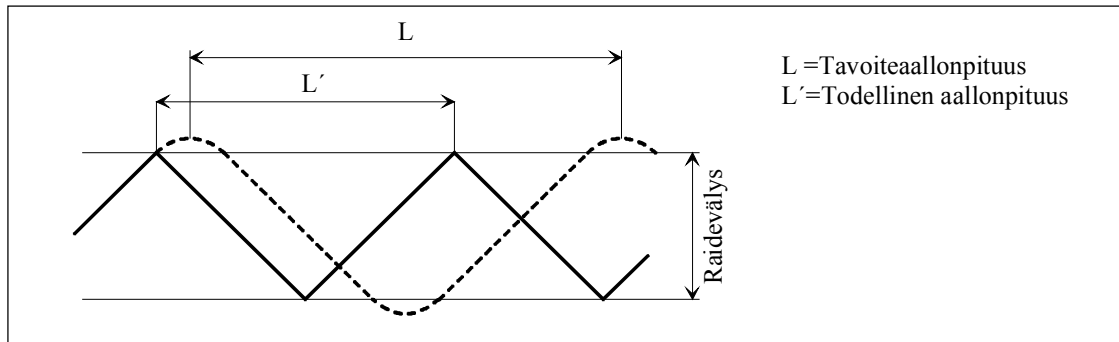
**Kuva 2.3:2 Pyöräkerran siniliike raidevälyksessä.**

Kuvasta 2.3:5 voidaan päätellä, että kartiokkuuden kasvaessa aallon pituus lyhenee, josta seuraa siniliikkeen taajuuden kasvua nopeuden lisääntyessä ja pyöräkerran epästabiilia kulkua suoralla radalla. Toisaalta liian pieni kartiokkuus johtaa pyöräkerran ohjautuvuuden pienenemiseen, josta myös aiheutuu epästabiilisuutta pyöräkerran kulussa.

Raiteen raideleveys, pyöräkerran raideleveysmitta ja kiskon kallistus toleransseineen sekä pyörien kulkupintojen profiilit vaikuttavat pyörän ja kiskon kosketuskohtien sijaintiin ja näiden kosketuskulmiin. Kosketuskulmalla sekä pyöräkerran ns. ekvivalenttisella kartiokkuudella on suuri merkitys pyöräkerran ja liikkuvan kaluston kulun tasaisuuteen varsinkin yli 160 km/h nopeuksilla. Kriittinen nopeus (kuva 2.3:3) riippuu liikkuvan kaluston ominaisuuksista sekä raiteen rakenteesta ja ominaisuuksista.

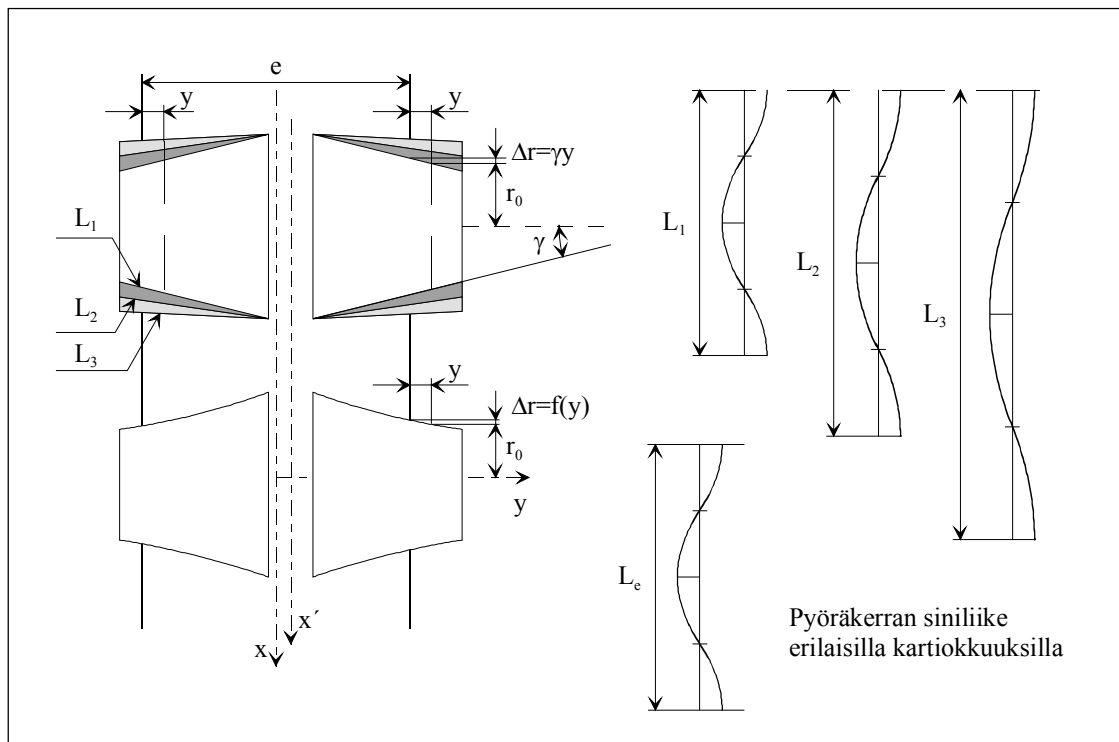


**Kuva 2.3:3 Nopeuden vaikutus siniliikkeen aallonkorkeuteen.**



**Kuva 2.3:4 Siniliikkeen todellinen aallonpituus.**

Pyöräkerran ekvivalenttisella kartiokkuudella tarkoitetaan pyöräkerran ja raiteen todellisista mitoista ja keskinäisistä asennoista määriteltyä laskennallista kartiokkuutta, jolla päädytään poikittaisliikkeen aallonpituudessa samaan, mikä kyseisellä tarkastelunalaisella pyöräkerralla on todellisuudessa (kuva 2.3:5).



**Kuva 2.3:5 Ekvivalenttinen kartiokkuus määriteltynä aallonpituuden mukaan.**

Ajettaessa yli 160 km/h nopeuksilla tulisi ko. raiteesta ja kalustosta määritellyn ekvivalenttisen kartiokkuuden pysyä kalustosta riippuen raja-arvojen 0,1...0,3 välissä. Ekvivalenttinen kartiokkuus lasketaan kaavoilla 2.3:10, 2.3:11 ja 2.3:12.

- L = siniliikkeen aallonpituus
- $\gamma$  = kartiokulma
- $\lambda$  = kartiokkuus
- $r_0$  = kulkuympyrän säde tasapainotilassa
- e = kulkuympyröiden välinen etäisyys

$$L = 2\pi \sqrt{r_0 \frac{e}{2\lambda}} \quad (2.3:10)$$

$$\lambda = \tan \gamma = r_0 G \left(2 \frac{\pi}{L}\right)^2 \quad (2.3:11)$$

$$\lambda_e = r_0 \frac{e}{2} \left(2 \frac{\pi}{L_e}\right)^2 \quad (2.3:12)$$

$\lambda_e$  = todellista siniliikkeen aallonpituutta vastaava ekvivalenttinen kartiokkuus

### 2.3.6 Suunnitteluparametrit

Geometrian suunnittelussa on otettava huomioon junan ajodynaamiset vaikutukset, kaluston ja radan kunnossapito sekä radan rakenne. Suunnitteluelementtien valintaan vaikuttavat paikalliset olosuhteet ja vaatimukset.

Radan geometrian suunnittelussa on otettava huomioon seuraavat parametrit:

- kaarresäde R [m]
- raiteen kallistus h [mm]
- raiteen kallistuksen vajoaus I [mm]
- kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys raiteen tasossa  $a_q$  [ $m/s^2$ ]
- kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutos  $da_q/dt$  [ $m/s^3$ ]
- liikakallistus E [mm]
- kallistuksen muutos aikayksikössä  $dh/dt$  [mm/s]
- kallistuksen muutos pituusyksikköä kohti  $dh/dL$  [mm/m]
- kallistuksen vajoauksen muutos aikayksikössä  $dI/dt$  [mm/s]
- suunnitteluelementin pituus (ympyränkaari, suora)  $L_i$  [m]
- siirtymäkaaren pituus L [m]
- pyöristyskaaren säde S [m]
- pystysuora kiihtyvyys  $a_v$  [ $m/s^2$ ]
- nopeus V [km/h].

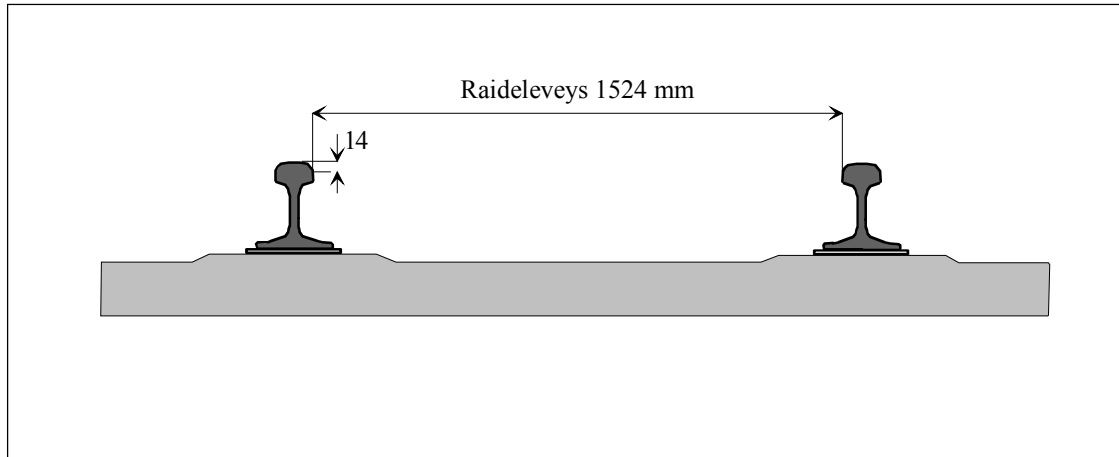
Radan geometrian suunnittelussa on tavoitteena noudattaa suositeltavia arvoja tai arvoalueita. Suositeltavien arvojen ja maksimi-/minimiarvojen välisiä arvoja ei ole suositeltavaa käyttää, mutta niitä voidaan käyttää perustelluista olosuhdesyistä ilman erillistä lupaa. Maksimi- /minimiarvojen ja lupa-arvojen välisiä arvoja saa käyttää vain Ratahallintokeskuksen luvalla.



## 2.4 Raideleveys

Raideleveyden nimellismitta on 1524 mm. Se on etäisyys kiskojen kulkureunojen välillä 14 mm kiskon selän alapuolella (kuva 2.4:1).

Suurimmat sallitut raideleveyden poikkeamat sekä liikenteen alaisessa että uudessa tai täysin kunnostetussa raiteessa määrätään tarkemmin kunnossapitotasojen laatuvaatimuksissa.



**Kuva 2.4:1 Raideleveys.**

Suorassa raiteessa ja kaarteissa, joiden säde on  $R \geq 220$  m, kiskotus tehdään käyttäen raideleveyttä 1524 mm.

Kaarteissa, joiden säde on  $R < 220$  m, on raideleveyttä suurennettava taulukon 2.4:1 mukaan. Sen mukaisia mittoja saa alittaa 3 mm. Vaihteiden raideleveydessä on noudatettava linjakaavioiden mittoja.

Raideleveys kaarteissa tehdään siirtämällä sisäpuolista kiskoja kaarteeseen keskipisteeseen päin. Siirryttäessä kaarteesta vastakaarteeseen on ulkokiskoja siirrettävä tarpeen mukaan.

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

Taulukko 2.4:1 Raideleveyden levitys kaarteessa.

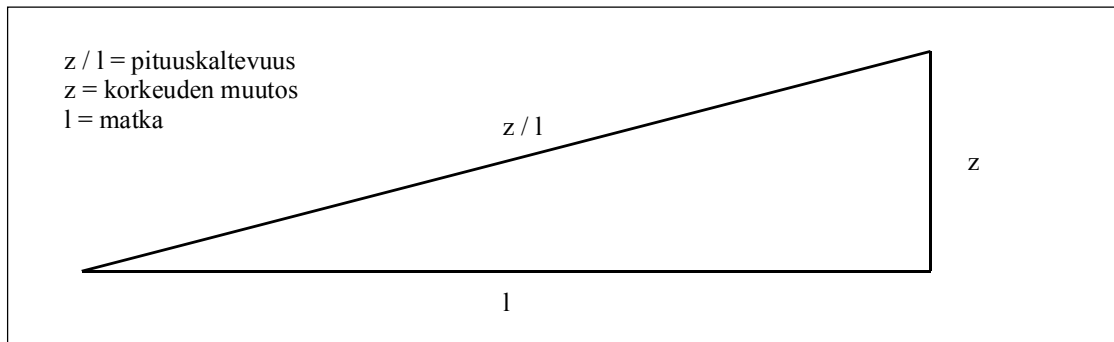
Kaarteen säde [m]	Levitys [mm]	Käytettävä raideleveys [mm]	Levityksen tasauspituus (L=siirtymäkaaren pituus)
219...170	5	1529	0,1×L; väh. 5 m
169...150	10	1534	0,2×L; väh. 10 m
149...90	16	1540	0,3×L; väh. 16 m

Levityksen tasaus tehdään suoraviivaisesti. Mikäli raiteen rakenne vaatii, on tasaus tehtävä portaattain. Levitys on tällöin ulotettava vähintään 5 m kaarteen ympyräosan ulkopuolelle ja raideleveyden muutos saa olla korkeintaan 5 mm porrasta kohden. Kuitenkin 16 mm levitys voidaan tehdä kolmessa portaassa.

Taulukon 2.4:1 mukaisia arvoja käytetään minimiarvoina, kun R on  $\geq 150$  m. Säteen ollessa  $< 150$  m on kyseessä lupa-arvo.

## 2.5 Pituuskaltevuus

Radan pituuskaltevuudella tarkoitetaan korkeuseron ja vastaavan vaakapituuden välistä suhdetta (kuva 2.5:1). Se ilmaistaan tuhannesosalukuna (esim. 4 ‰) tai desimaalilukuna (0,004).



Kuva 2.5:1 Radan pituuskaltevuus.

### 2.5.1 Nousut

#### 2.5.1.1 Määrävä nousu

Määrävällä nousulla ( $s_m$ ) tarkoitetaan suoran radan sellaista nousua, joka on määrävä määritettäessä rataosalle sallittua junapainoa tietyille vetovoimakokoonpanoille. Kaarteissa määrävä nousu ( $s_r$ ) määritetään kaavan 2.5:1 mukaan.

$$s_r = s_m - w_r = s_m - 650/(R - 55) \quad (2.5:1)$$

$s_m$  = määrävä nousu suoralla [‰]

$s_r$  = määrävä nousu kaareissa [‰]

$w_r$  = ominaiskaarrevastus [N/kN]

Junan kulkuvastus kasvaa tunnelissa. Tämä ilmenee ns. tunnelivastuksena, jonka suuruus riippuu tunnelin pituudesta ja poikkipinta-alasta. Tämän johdosta on määrävä nousu tunneleissa 1...4 ‰ pienempi kuin avoradalla.

#### 2.5.1.2 Vauhtinousu

Lyhyissä nousuissa voidaan käyttää määrävää nousua suurempaa nousua, jos junan liike-energia voidaan hyödyntää nousun ylittämiseen ( $s_a > s_m$ ). Nousun pituus  $l_a$  [m] määritetään kaavan 2.5:2 mukaan.

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

$v_2$  = nopeus alussa [m/s]

$v_1$  = nopeus lopussa [m/s]

$s_m$  = määrävä nousu

$s_a$  = määrävää nousua suurempi lyhyt nousu

Vauhtinousua käytetään vain erikoistapauksissa.

### 2.5.1.3 Jarrutusraja

Laskussa on voimassa kaava 2.5:3.

$$Z(V) = mg (w_o + w_f - w_s) \quad (2.5:3)$$

$Z(V)$  = jarruvoima [N]

$m$  = veturin ja vaunujonon massa [t]

$g$  = painovoiman kiihtyvyys [ $m/s^2$ ]

$w_o$  = ominaisperuskulkuvastus

$w_f$  = ominaiskaarrevastus

$w_s$  = ominaisnousuvastus

Kun  $Z(V)$  on nolla, juna liikkuu alamäkeen tasaisella nopeudella. Tämä kaltevuus on jarrutusraja. Jarrutusraja on suoralla radalla 1,5 % ja poikkeustapauksissa 2 %.

### 2.5.1.4 Hukkanousu

Hukkanousulla tarkoitetaan nousua, jossa radan korkeusasema vaihtelee ilman liikenteellistä hyötyarvoa. Hukkanousujen merkitystä arvioitaessa on otettava huomioon peräkkäisten kaltevuusjaksojen vaikutus junan kulkuun.

### 2.5.2 Kaltevuudet ratalinjalla

Radan suurimmat sallitut pituuskaltevuudet suoralla radalla määrätään taulukon 2.5:1 mukaan.

**Taulukko 2.5:1 Radan pituuskaltevuudet suoralla radalla.**

Radan merkitys ja nopeustaso [km/h]	Pituuskaltevuus [%]		
	Suosittelava	Maksimiarvo	Lupa-arvo
Sekajunaliikenne	≤ 8	12,5	20
Henkilöliikenne	≤ 10	15	35
Tavarajunaliikenne	≤ 10	12,5	25
Sivuradat ja -raiteet	≤ 12,5	15	30

Taulukon maksimi- ja lupa-arvojen välisiä arvoja sekä lupa-arvoja käytettäessä on tapauskohtaisesti tutkittava ja arvioitava vaikutukset sekä tehtävä lupahakemus Ratahallintokeskukselle.

Kaarteissa vähennetään suurimpia sallittuja arvoja kaarrevastuksen teoreettisella arvolla.



Tunneleissa pienennetään suurimpia sallittuja arvoja kaarrevastuksen lisäksi niissä esiintyvän suuremman kulkuvastuksen vuoksi 1...4 ‰ riippuen tunnelin pituudesta, mitoitusnopeudesta, tunnelin poikkipinta-alasta ym. seikoista.

### 2.5.3 Kaltevuustaitteiden pyöristys

Kaltevuuksien muutoskohta, kaltevuustaite, pyöristetään ympyränkaarella. Pyöristyssäteen arvo  $S$  [m] lasketaan seuraavilla kaavoilla 2.5:4, 2.5:5 tai 2.5:6.

$$S = V^2 / 1 \dots 1,5 \quad \text{suositeltava} \quad (2.5:4)$$

$$S = V^2 / 3 \quad \text{minimi} \quad (2.5:5)$$

$$S = 50\,000 \quad \text{maksimi} \quad (2.5:6)$$

$V$  = tavoitenopeus perinteisellä kalustolla [km/h]

Pyöristyksiä suunniteltaessa on laskettava tangenttien pituus ja ordinaatat. Tangentit lasketaan kaavojen 2.5:7 tai 2.5:8 ja kuvien 2.5:2 tai 2.5:3 mukaan.

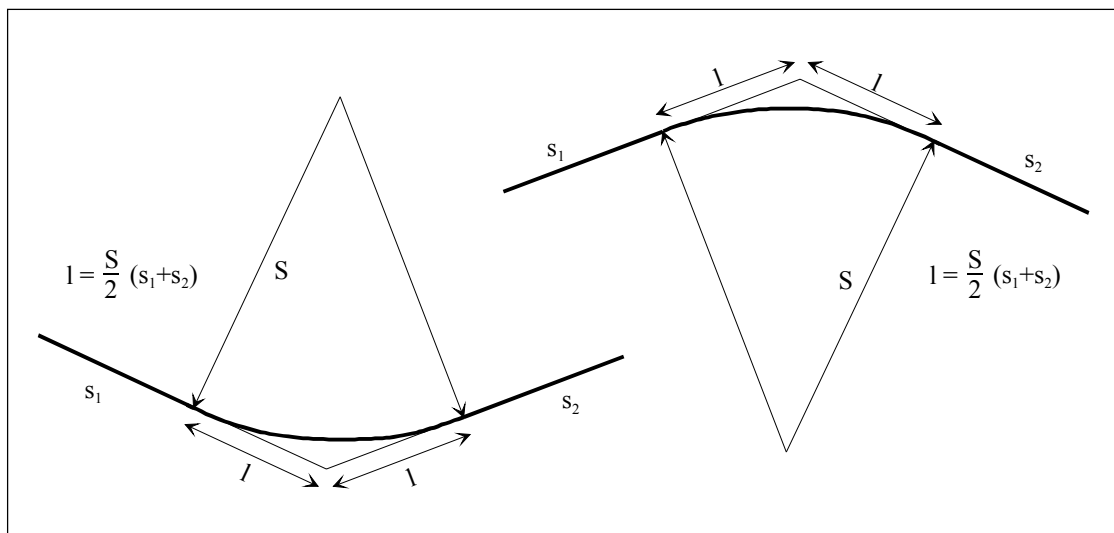
$$l = S \times (s_2 - s_1) / 2 \quad \text{kaltevuuden suunta ei muutu ja } s_1 < s_2 \quad (2.5:7)$$

$$l = S \times (s_1 + s_2) / 2 \quad \text{kaltevuuden suunta muuttuu} \quad (2.5:8)$$

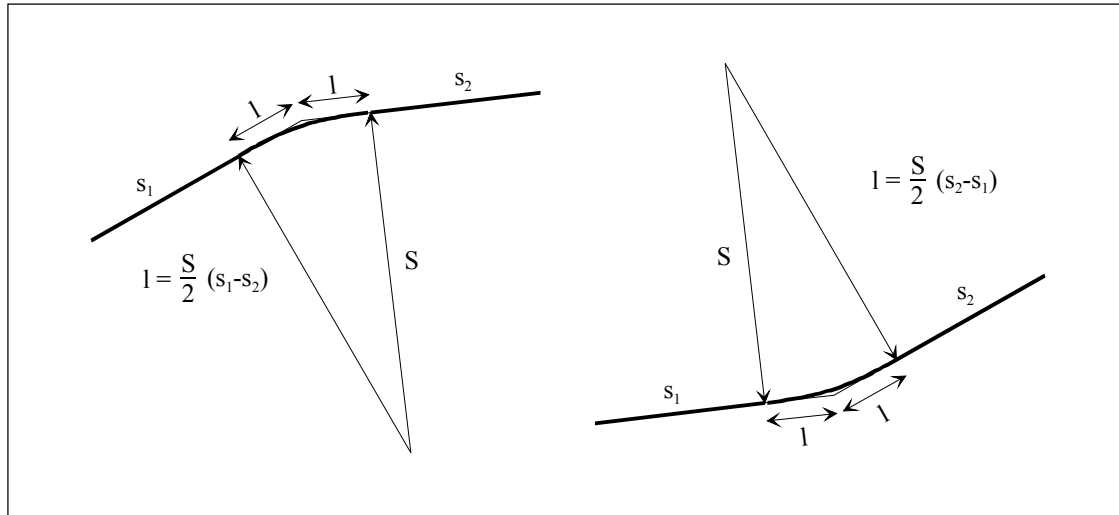
$l$  = tangentin pituus [m]

$S$  = pyöristyssäde [m]

$s_1$  ja  $s_2$  = kaltevuudet desimaalilukuina



Kuva 2.5:2 Kaltevuustaitteet, kun kaltevuuden suunta muuttuu.



Kuva 2.5:3 Kaltevuustaitteet, kun kaltevuuden suunta ei muutu.

Pyörityksen ordinaatat lasketaan kaavan 2.5:9 ja kuvan 2.5:4 mukaan.

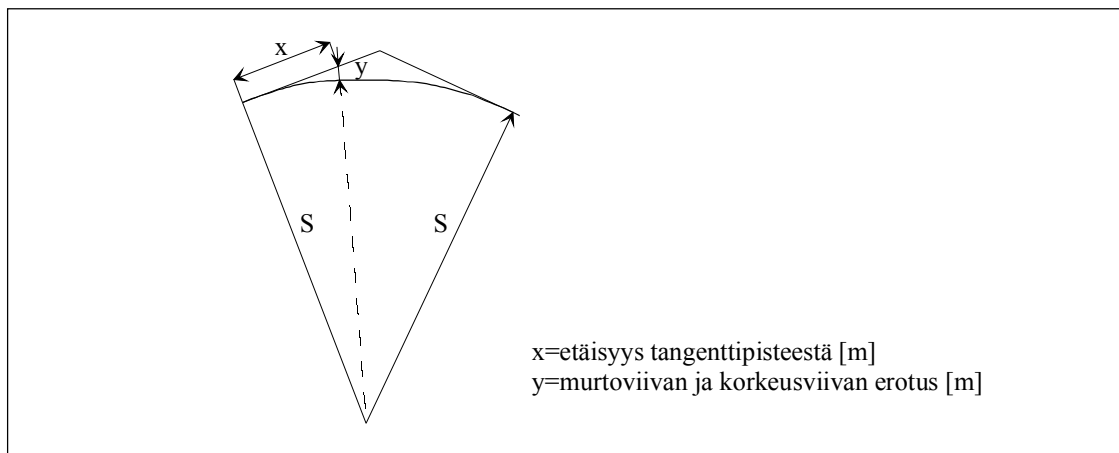
$$y = x^2 / (2 \times S) \quad (2.5:9)$$

$y$  = ordinaatta [m]

$x$  = abskissa, etäisyys tangenttipisteestä [m]

$S$  = pyörityssäde [m]

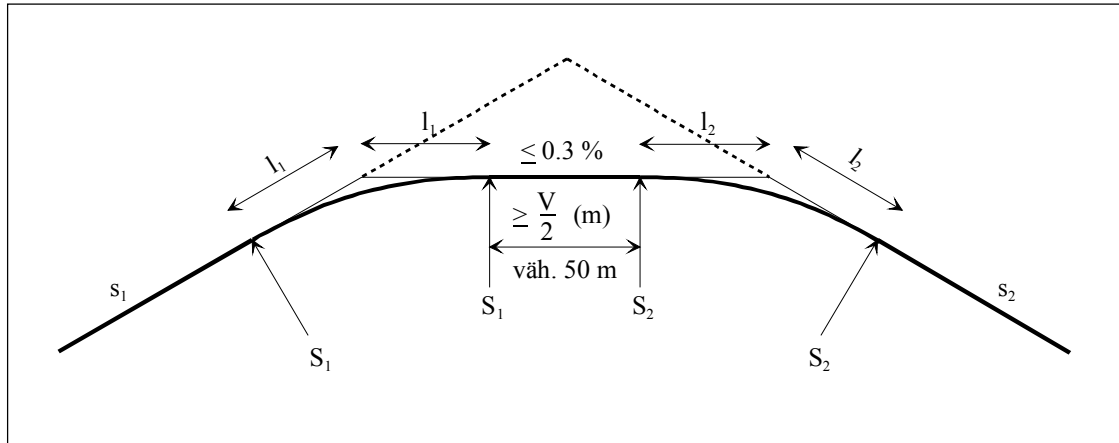
Jos taitteessa kaltevuuden muutos on  $\geq 16$  ‰ ja pyörityssäde on  $\leq 10\,000$  m, sijoitetaan kaarteeseen suora osuus, jonka kaltevuus on  $\leq 3$  ‰ ja pituus  $\geq V/2$  [m], kun  $V$  = tavoitenopeus [km/h]. Välisuoran on joka tapauksessa oltava vähintään 50 m (kuva 2.5:7).



$x$  = etäisyys tangenttipisteestä [m]

$y$  = murtoviivan ja korkeusviivan erotus [m]

Kuva 2.5:4 Pyörityksen abskissa ja ordinaatta.



**Kuva 2.5:5 Kaltevuuden muutos on  $\geq 16$  ‰.**

Kuperan taitteen sijoittamista siirtymäkaaren alueelle on mahdollisuuksien mukaan vältettävä. Näissä tapauksissa säteen tulisi olla kaavan 2.5:10 mukainen ja viistekertoimen vähintään  $10V$ .

$$S \geq V^2 \quad (2.5:10)$$

Vaihteiden pyöristyssäteille asettamat rajoitukset on esitetty RAMO:n osassa 7 "Liikennepaikat".

## 2.5.4 Jarrupainojärjestelmä

### 2.5.4.1 Junan jarrutuskyky

Jarrupainojärjestelmän avulla määritetään junien jarrutuskyky ja sillä pystytään hallitsemaan ja kuvaamaan junan jarrutusta laskennallisesti.

Kullekin vaunu- ja vetokalustotyypille ja niiden eri jarrulajeille tai tavaravaunuilla taara- ja kuormajarrutusasennolle on määritelty jarrujen suorituskykyä kuvaava arvo, jota kutsutaan jarrupainoksi ja jonka yksikkö on tonni.

Junan jarrupaino saadaan laskemalla yhteen junassa olevien ilmajarrullisten jarruttavien vaunujen ja veturien jarrupainot.

Junan jarrutuskyky saadaan laskemalla junan jarrupainon (vaunujen + veturien jarrupainot) prosenttiosuus junan kokonaispainosta (vaunujen + kuormien + veturien painot). Tuloksena saadaan junan jarrupainoprosentti, joka kuvaa junan jarrujen suorituskykyä.

Junaturvallisuussääntöön liittyvissä teknisissä määräyksissä ja ohjeissa (Jtt) on esitetty junan suurimman sallitun nopeuden riippuvuus jarrupainoprosentista, opastinvälin määräävästä laskusta ja junan jarrulajista.

Junalla on oltava niin paljon jarruvoimaa, että se saadaan pysähtymään sallitusta nopeudesta opastimelle kulloinkin opastimen edessä käytettävissä olevalla matkalla.

Junalle määrätään sellainen jarrupainoprosentti, että se voi ajaa rataosalle sallittua nopeuttaan opastimien kohdalla, jos esiopastinetäisyydet ovat vähintään 1200 m ja opastinvälin määräävät laskut ovat enintään 5 % ts. määräävä lasku opastimelle päin on enintään 5 %. Junan jarrutuskyky on tällöin riittävä opastimien kohdalla eivätkä opastimet aiheuta pistemäisiä nopeusrajoituksia.

Kun junan jarrupainoprosentti on vähintään junan suurimman sallitun nopeuden edellyttämä, juna pysähtyy hätäjarrutuksella seis-opastetta näyttävälle opastimelle. Hätäjarrutus aloitetaan tällöin seis-opastetiedon antavan esiopastimen kohdalla.

Radan pystygeometria vaikuttaa junan jarrutusmatkaan. Jarrupainojärjestelmän käytössä oletetaan, että esiopastinetäisyys on 1200 m ja esiopastinvälillä on 5 %:n määräävä lasku (kts. luku 2.5.4.4), vaikka lasku todellisuudessa olisi alle 5 %. Vastaavaksi kaltevuustasoksi voidaan valita em. suurempi promillelukema esim. silloin, kun jarrupainoprosentin suurentamisella on mahdollista poistaa peräkkäiset pistemäiset nopeusrajoitukset ja kun tämä kaluston puolesta on mahdollista.

Jarrupainojärjestelmään on määriteltävä tarkkaan radan pituuskaltevuudet ja opastimien sijainnit. Opastimien vähimmäisetäisyydeksi on valittu 1200 m. Tällöin tarkastellaan sellaisten opastimien väliä, jossa edeltävä opastin sisältää esiopastintiedon seuraavalle opastimelle. Opastinetäisyys voi olla suurempi kuin 1200 m, mutta minimijarrupainoprosentin määrittelyssä opastinetäisyydeksi oletetaan 1200 m.

#### **2.5.4.2 Opastimet ja rata jarrupainojärjestelmässä**

Jarrupainojärjestelmän opastintiedot sisältävät kaikki päärajojen pääraiteiden ja muiden opastintarkastelureittien opastimien tiedot. Tiedoissa on opastimien sijainti, tyyppi ja tunnistetiedot.

Jarrupainojärjestelmän ratatiedot käsittävät kaikkien päärajojen ja muiden opastintarkastelureittien raiteiden korkeusviivan tiedot ja kilometritiedot.

Jarrupainojärjestelmään kuuluvien tarkastelureittien opastimista lasketaan esiopastinetäisyydet ja opastinvälin määräävät laskut. Tuloksiin vaikuttavat radan pystygeometrian osalta korkeusviivan korkeus ja kilometripylväiden mitattu välimatka.

Opastin- ja ratatiedot vaikuttavat eräinä lähtötietoina jarrupainojärjestelmässä, kun lasketaan junan jarrutuskykyä opastimelle. Mikäli käsiteltävän junan jarrutuskyky ei riitä tietyn opastimen kohdalla kyseiselle junalle muuten sallitulla nopeudella, rajoitetaan junan nopeutta junakohtaisella pistemäisellä nopeusrajoituksella siten, että jarrutuskyky riittää tälle opastimelle rajoitetulla nopeudella. Rajoitus esitetään pistemäisenä nopeusrajoituksena junan aikataulusivulla. Opastin- ja ratatiedot vaikuttavat mahdollisiin pistemäisiin nopeusrajoituksiin vain niiden opastimien kohdalla, joissa esiopastinetäisyys on pienempi kuin 1200 m tai/ja, kun opastinvälin määräävä lasku on suurempi kuin 5 % (määräävä lasku opastimelle päin on yli 5 %).

Jarrupainojärjestelmän edellyttämä opastintarkastelu ennen opastinta on tehtävä kaikilta päärajojen pääraiteilta ja kaikilta muilta junakulkutieraiteilta, joissa mennään vaihteen

suoran raiteen kautta tai joissa mennään vaihteen poikkeavan raiteen kautta vaihdeneuden ollessa molemmissa tapauksissa yli 40 km/h.

### 2.5.4.3 Ratatietojen vaikutus ja muutokset

Mikäli radan korkeusviiva ja/tai kilometripylväiden välinen ratapituus muuttuu, on muutoksesta ilmoitettava jarrupainojärjestelmän tietojen ylläpitäjälle mahdollisimman aikaisin, noin 3 kk ennen käyttöönottoa. Nopeasti toteutettavissa muutoksissa on muutostiedot ilmoitettava vähintään 1 kk ennen suunniteltua käyttöönottoa.

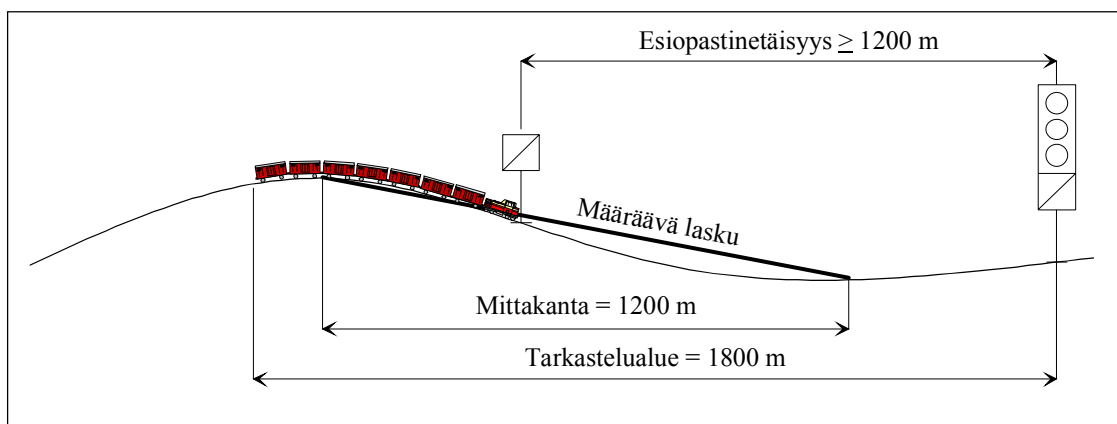
Jarrupainojärjestelmään talletettavat edellä mainitut ratatiedot (korkeusviiva ja kilometripylväiden mitattu väli) ovat teoreettisia suunnitelma- ja laskenta-arvoja. Niiden tulee vastata todellista maastossa olevaa tilannetta niin hyvin, että niiden avulla laskettu määräävä kaltevuus poikkeaa korkeintaan  $\pm 0,4 \%$  todellisesta maastossa olevasta kaltevuudesta. Opastimien paikka on määritettävä  $\pm 3$  m:n tarkkuudella.

Opastintarkastelu perustuu jarrupainojärjestelmään talletettujen opastimien ja radan tietoihin. Lähtötietojen oikeellisuus on junaturvallisuuden kannalta erittäin tärkeää, koska muuten junan jarrutuskyky opastimille ei vastaa todellista tilannetta.

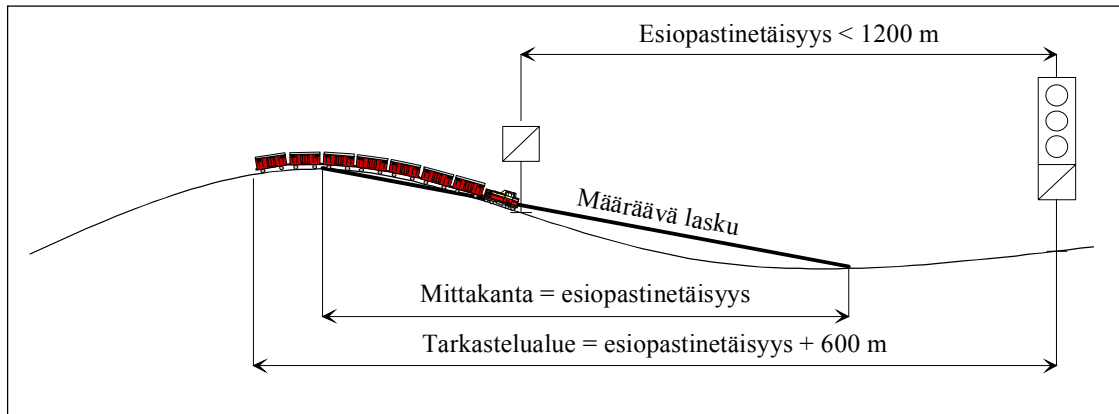
### 2.5.4.4 Opastinvälin määräävä lasku

Opastinvälin määrävällä laskulla (kuva 2.5:6) tarkoitetaan laskua, joka sijaitsee pää-/suojastusopastinta edeltävällä tarkastelualueella ja on suurin laskennallinen kaltevuus tällä alueella mittakannan pituisella matkalla. Tarkastelualue muodostuu normaalisti 1200 metrin esiopastinetäisyydestä ja 600 metrin junapituudesta.

Esiopastinetäisyyden ollessa vähintään normaali 1200 m on mittakannan pituus 1200 m ja tarkastelualueen pituus 1800 m (kuva 2.5:6). Esiopastinetäisyyden ollessa lyhyempi kuin 1200 m on mittakannan pituus esiopastinetäisyys ja tarkastelualue esiopastinetäisyys lisättyä 600 m:llä (kuva 2.5:7).



Kuva 2.5:6 Opastinvälin määrävä lasku, kun esiopastinetäisyys on  $\geq 1200$  m.



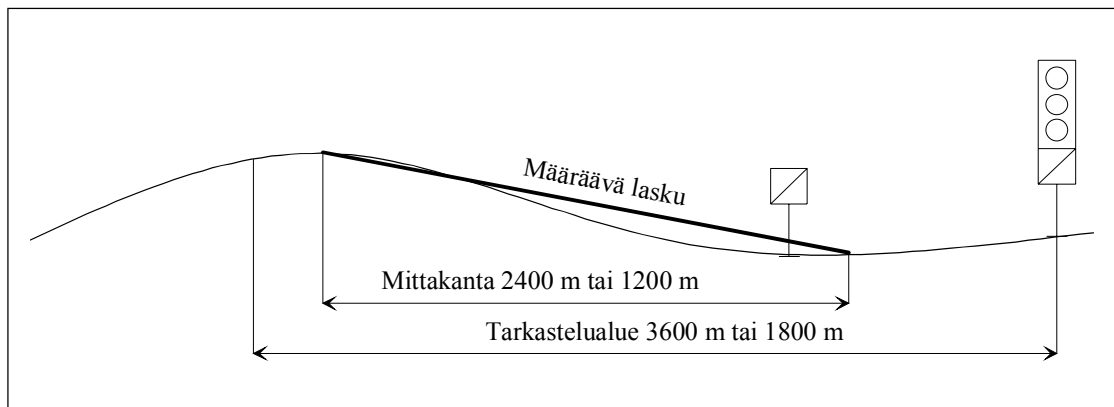
**Kuva 2.5:7 Opastinvälin määräävä lasku, kun esiopastinetäisyys on < 1200 m.**

Opastimien sijoittelua ja junien jarrutusta opastimille voidaan helpottaa pyrkimällä rata-suunnittelussa välttämään jyrkkiä laskuja opastimien jarrutusalueilla. Tämä on harvoin mahdollista ja johtaa usein kohtuuttomiin kustannuksiin. Määräävän laskun ollessa korkeintaan 5,0 % voidaan turvalaitesuunnittelussa käyttää normaalia esiopastinetäisyyttä (1200 m), jolloin junien jarrutus opastimille voi tapahtua ilman erikoisjärjestelyjä. Laskun ollessa edellä mainittua jyrkempi on käytettävä vähintään RAMO:n osan 6 “Turvalaitteet” mukaisia esiopastinetäisyyksiä tai junille on asetettava nopeusrajoitus.

Opastinvälin määräävä lasku on laskennallinen kahden pisteen välinen jyrkin kaltevuus. Se ei ole kaikissa tapauksissa pituusleikkauksessa oleva radan todellinen kaltevuusarvo. Opastinvälin määräävän laskun etumerkki määräytyy kaltevuuden suunnan ja opastimien ohjaaman junan kulkusuunnan perusteella. Jos esiopastimelta pääopastimelle tai suojustusopastimelle päin on laskua, merkki on - ja, jos on nousua, merkki on + tai ei mitään.

#### **2.5.4.5 Junien automaattisen kulunvalvonnan tiedonsiirtovälin määräävä lasku**

Junien automaattisen kulunvalvonnan (JKV:n) tiedonsiirtovälin määräävällä laskulla tarkoitetaan laskua, joka sijaitsee tiedonsiirtovälillä ja on suurin laskennallinen kaltevuus laskettuna tarkastelualueilla 3600 ja 1800 metriä ennen tavoitepistettä. Mittakanta on 3600 m:n tarkastelualueella 2400 m ja 1800 m:n tarkastelualueella 1200 m (kuva 2.5:8).



**Kuva 2.5:8 JKV:n tiedonsiirtovälin määräävä lasku.**

Kulunvalvontaan määritellään kaikkien jarrutusalueiden kuten opastimien ja nopeusrajoitusten JKV:n tiedonsiirtovälin määräävä lasku jarrupainojärjestelmään talletettujen opastimien ja radan tietojen perusteella.





## 2.6 Kaarteet

### 2.6.1 Kaarresäteet

Kaarregeometrian suunnittelussa on lähtökohtana:

- tavoitenopeus ja mitoitusnopeus
- suositeltavat arvot
- raja-arvot kallistuksen vajaukselle ja liikakallistukselle
- haluttu tasapainonopeus.

Ratalinjan suunnanmuutokset tehdään siirtymäkaarilla ja ympyränkaarilla. Radan kaarevuus  $1/R$  on suoralla osuudella 0 ja klotoidisiirtymäkaaren alueella se muuttuu suoraviivaisesti  $0 \rightarrow 1/R$ . Siirtymäkaaret ja kaaret on pyrittävä mitoittamaan tavoitenopeuden mukaan. Kaarresäteen tulee olla riittävän suuri, jotta raiteen kallistus ei tule liian suureksi. Toisaalta liian suuret kaarresäteet suurentavat kaarreosuuden pituutta, kallistus jää pieneksi ja lisäävät kunnossapitokustannuksia.

Mikäli olosuhteet sallivat, tulee kaarresäteet mitoittaa siten, että pääpainotteisesti tavaraliikenne radoilla raiteen normaali kallistus olisi  $h_{norm} = 40...80$  mm ja henkilöliikenne radoilla  $h_{norm} = 80...110$  mm. Taulukossa 2.6:1 on esitetty tavoitenopeuksien mukaiset kaarresäteiden vaihtelualueet ja eri mitoitusnopeuksien mukaiset pienimmät sallitut kaarresäteet (tällöin on käytettävä sepeliradoilla 150 mm kallistusta ja  $0,65$  m/s<sup>2</sup> poikittaiskiihtyvyyttä sekä soraradoilla 120 mm kallistusta ja  $0,45$  m/s<sup>2</sup> poikittaiskiihtyvyyttä). Laiturien kohdalla ei raiteen kallistus saa ylittää RAMO:n osan 16 "Laiturit" maksimiarvoa.

**Taulukko 2.6:1 Kaarresäteet eri nopeusalueilla.**

Nopeus [km/h]	50	80	100	120	140	160	180	200	220	250
Tavoitenopeuden mukainen suositeltava kaarresäteen vaihteluväli [m]	300 – 600	500 – 1200	800 – 2000	1100 – 3000	1500 – 4000	1900 – 5000	2400 – 6000	3000 – 7000	3500 – 8000	4500 – 9500
Mitoitusnopeuden mukainen kaarresäteen minimiarvo [m]										
Sepeliraiteet		314	491	708	963	1258	1592	1966	2378	3071
Soraraiteet		416	650							

Kaarteissa, joissa vaunuja kytketään tai irrotetaan, on kaarresäteen oltava  $\geq 600$  m automaattikytkimillä ja  $\geq 400$  m ruuvikytkimillä varustetuille vaunuille. Laiturien kohdalla on kaarresäteen oltava vähintään 600 m, jos laituri on sisäkaaren puolella, ja 1200 m, jos laituri on ulkokaaren puolella.

Poikittaiskiihtyvyys  $a_q$  [m/s<sup>2</sup>] kiskon selän tasossa lasketaan kaavan 2.6:1 mukaan.

$$a_q = V^2/(12,96 \times R) - h/163 \quad (2.6:1)$$

V = nopeus [km/h]

R = kaarresäde [m]

h = raiteen kallistus [mm]

Nykäisyllä [ $m/s^3$ ] tarkoitetaan kompensoimattoman poikittaiskiihtyvyyden muutosta siirtymäkaareissa aikayksikössä. Se lasketaan kaavojen 2.6:2 ja 2.6:3 tai kaavojen 2.6:4 ja 2.5:5 mukaan.

$$da_q = V^3/(46,656 \times R \times L) - V \times h/(586,8 \times L) \quad \text{klotoidi} \quad (2.6:2)$$

$$da_q = V^3/(23,328 \times R \times L) - V \times h/(293,4 \times L) \quad \text{4. asteen paraabeli} \quad (2.6:3)$$

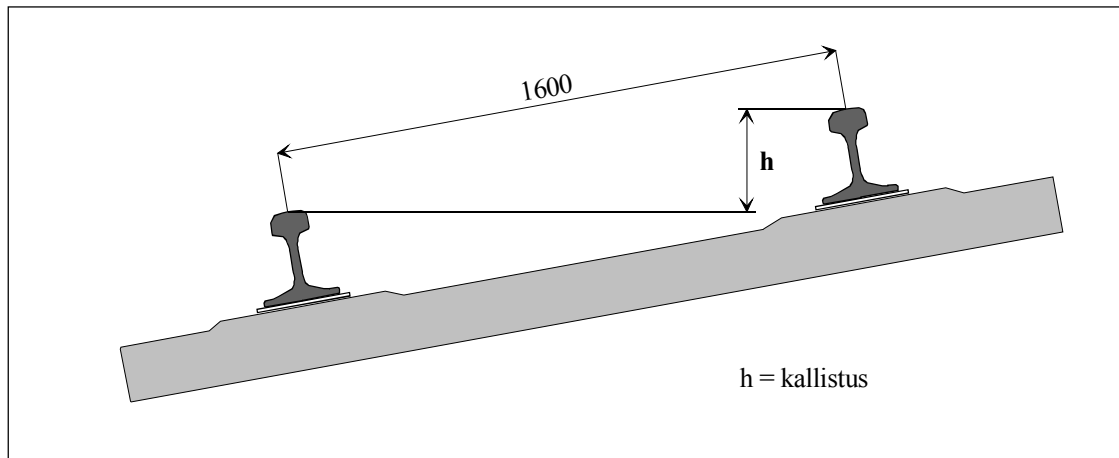
$$da_q = a_q \times V/(3,6 \times L) \quad \text{klotoidi} \quad (2.6:4)$$

$$da_q = a_q \times V/(1,8 \times L) \quad \text{4. asteen paraabeli} \quad (2.6:5)$$

L = siirtymäkaaren pituus [m]

## 2.6.2 Raiteen kallistus

Raiteen kallistuksella tarkoitetaan sisä- ja ulkokiskon välistä korkeuseroa kuvan 2.6:1 mukaan. Kaarteissa korotetaan ulkokiskoa poikittaiskiihtyvyyden haittavaikutuksien poistamiseksi tai vähentämiseksi. Sisäkisko jää tällöin korkeusviivan määrittelemään korkeuteen.



**Kuva 2.6:1 Raiteen kallistus.**

Raiteen kallistus mitoitetaan junien nopeuksien perusteella. Raiteen kallistuksen määrittämisessä on otettava huomioon mm. seuraavat seikat:

- matkustusmukavuus hyvä ja kulku turvallinen kaikilla kysymykseen tulevilla nopeuksilla, kun  $a_q \leq 0,65 \text{ m/s}^2$  sepeliradoilla ja  $a_q \leq 0,45 \text{ m/s}^2$  soraradoilla
- kun päällysrakenne on 60E1, maksimiarvona matkustajajunille voidaan käyttää  $a_q = 0,8 \text{ m/s}^2$
- sisä- ja ulkokiskon kuluminen mahdollisimman samanlainen
- hitaasti kulkevat ja mahdollisesti pysähtyvät junat pääsevät liikkeelle
- negatiivisen poikittaiskiihtyvyyden normaali minimiarvo on  $a_q = -0,45 \text{ m/s}^2$ , poikkeustapauksissa  $-0,65 \text{ m/s}^2$  (nopeudella 60 km/h)

- nykäisyn suositeltavana arvona käytetään enintään  $da_q = 0,17...0,3 \text{ m/s}^3$  ja maksimiarvona  $da_q = 0,45 \text{ m/s}^3$ , jota ei saa käyttää jatkuvana mitoitusarvona
- tasapainokallistus lähellä yleistä junien kulkunopeutta.

Raiteen normaali kallistus määrätään sepelöidyillä radoilla kaavalla 2.6:6.

$$h_{\text{norm}} = 8V^2/R \quad (2.6:6)$$

$h_{\text{norm}}$  = raiteen normaali kallistus [mm]

$V$  = mitoitusnopeus [km/h]

$R$  = kaarteen säde [m]

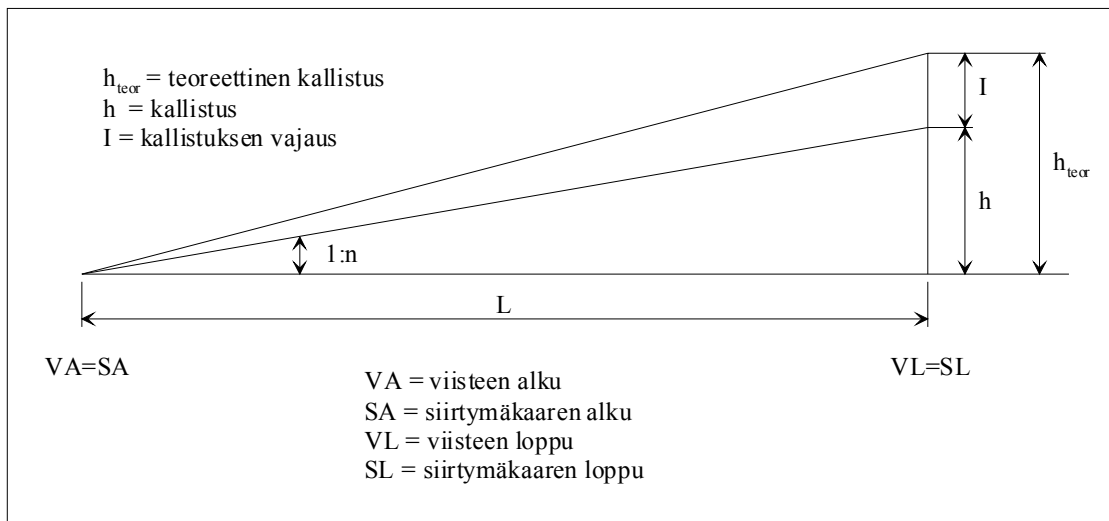
Raiteen teoreettinen kallistus lasketaan kaavan 2.6:7 mukaan. Tällöin on mitoitusnopeuden mukainen poikittaiskiihtyvyys nolla.

$$h_{\text{teor}} = 12,5 V^2 / R \text{ [mm]} \quad (2.6:7)$$

Pienin sallittu raiteen kallistus  $h_{\text{min}}$  lasketaan kaavan 2.6:8 mukaan.

$$h_{\text{min}} = 12,5 V^2 / R - I \quad (2.6:8)$$

$I$  = kallistuksen vajoaus [mm]



**Kuva 2.6:2 Kallistus ja kallistuksen vajoaus.**

Raiteen teoreettisen kallistuksen ja käytetyn kallistuksen erotusta kutsutaan kallistuksen vajaukseksi. Suurin kallistuksen vajoaus on sepeliraitteilla 105/130 mm, jotka vastaavat poikittaiskiihtyvyyttä 0,65/0,8 m/s<sup>2</sup>. Soraraitteilla suurin kallistuksen vajoaus on 70 mm, joka vastaa poikittaiskiihtyvyyttä 0,45 m/s<sup>2</sup>.

Raiteen kallistuksen maksimiarvo sepeliraitteella on 150 mm ja soraraitteella 120 mm. Raiteen kallistuksen lupa-arvo on sepeliraitteella 190 mm ja vajaasti sepelöidyillä (300 mm puupölkyillä ja 350 mm betonipölkyillä) raiteella 150 mm. Soraraitteella ei edellä mainittua 120 mm suurempaa kallistusta sallita. Kallistuksen tarkkuutena käytetään millimetriä. Pienin kallistus on 20 mm. Kun raiteen mitoitusnopeus on

suurempi kuin 35 km/h, varustetaan kaarteet yleensä kallistuksella. Laiturien kohdalla raiteen kallistus saa olla enintään RAMO:n osan 16 “Laiturit” maksimiarvon mukainen.

Sekaliikenne radoilla, joilla kulkee hitaita alle mitoitusnopeuden kulkevia junia, on perusteltua käyttää pienempää kallistusta. Jos juna voi joutua pysähtymään opastimien tai muiden syiden vuoksi kaarrealueelle, käytetään enintään 120 mm kallistusta.

### 2.6.3 Siirtymäkaari ja kallistusviiste

#### 2.6.3.1 Siirtymäkaaren ja kallistusviisteen käyttö

Siirtymäkaaren ja kallistusviisteen avulla pyritään kaluston kulku saamaan sysäyksettömäksi. Siirtymäkaarta suositellaan käytettäväksi aina siirryttäessä suoralta ympyränkaarelle ja päinvastoin sekä tapauksissa, jolloin ei käytetä kallistusta.

Siirtymäkaarta käytetään myös korikaassa kahden erisäteisen ympyräkaaren välillä. Siirtymäkaari yhtyy normaalisti kallistusviisteeseen, jolloin kaarevuuden muutos tapahtuu yhtäaikaaisesti kaltevuuden muutoksen kanssa.

Siirtymäkaaren pituus tulee lasketuksi samalla, kun kallistusviisteen pituus lasketaan. Suositeltava ja minimipituus voidaan laskea myös kaavojen 2.6:9 ja 2.6:10 mukaan.

$$L = 8V^3/(100R) \quad \text{suositeltava pituus} \quad (2.6:9)$$

$$L = 4,8V^3/(100R) \quad \text{minimipituus} \quad (2.6:10)$$

$L$  = siirtymäkaaren pituus [m]

$V$  = tavoitenoisuus [km/h]

Kun kallistusviiste on suora, käytetään siirtymäkaarena klotoidia. Kun kallistusviisteenä on S-kallistusviiste, käytetään siirtymäkaarena 4. asteen paraabelia.

Jos olosuhteiden vuoksi ei siirtymäkaarta voida käyttää, voi siirtymäkaaren jättää pois, kun kaavojen 2.6:11 ja 2.6:12 mukaiset epäyhtälöt ovat voimassa.

$$R > V^2/2 \quad (2.6:11)$$

$$R_1 \times R_2 / (R_1 - R_2) > V^2/2 \quad (2.6:12)$$

$R, R_1$  ja  $R_2$  = säteitä [m]

$V$  = tavoitenoisuus [km/h]

Klotoidi (kaava 2.6:13) on käyrä, jonka kaarevuus muuttuu suoraviivaisesti. Siirtymäkaarena käytetään alkuosaa. Klotoidin likiarvo on 3. asteen paraabeli, jota aikaisemmin on Suomessa käytetty siirtymäkaarena.

$$L_n R_n = A^2 \quad (2.6:13)$$

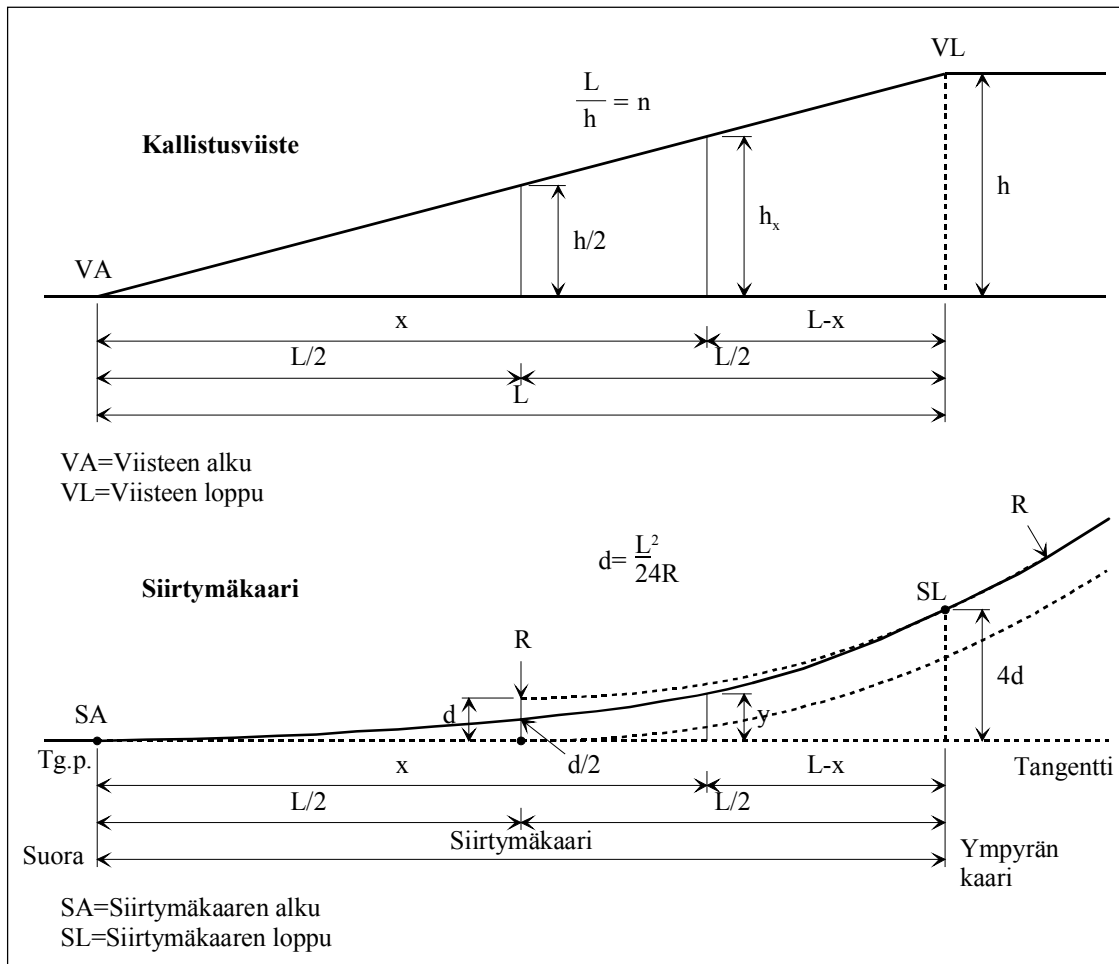
$L_n$  = siirtymäkaaren klotoidin pituus suoralta pisteeseen  $n$  [m]

$R_n$  = ympyräkaaren säde pisteessä  $n$  [m]

A = klotoidin parametri

### 2.6.3.2 Suora kallistusviiste ja siirtymäkaari

Siirtymäkaarena käytetään klotoidia. Kallistusviisteen matkalla kallistus muuttuu suora-  
viivaisesti nolasta arvoon  $h$  ja kaarevuus nolasta arvoon  $1/R$ . Kallistusviiste sijoitetaan  
siirtymäkaaren alueelle (kuva 2.6:2).



**Kuva 2.6:3 Suora kallistusviiste ja siirtymäkaari.**

Siirtymäkaaren alku- ja loppupiste yhtyvät kallistusviisteen vastaaviin. Siirtymäkaaren  
pituudesta on puolet alkuperäisen ympyräkaaren puolella ja puolet suoran puolella.  
Kaarteen ympyräkaariosuus siirtyy ympyrän keskipisteeseen päin. Suoran kallistus-  
viisteen kaltevuus määrätään tapauksesta riippuen kaavojen 2.6:14, 2.6:15 ja 2.6:16  
mukaan.

$$n = 10V \quad \text{suositeltava} \quad (2.6:14)$$

$$n = 8V \quad \text{minimi} \quad (2.6:15)$$

$$n = 6V \quad \text{lupa-arvo} \quad (2.6:16)$$

$n$  = viistekerroin

$V$  = nopeus [km/h]

Pääradoilla pienin sallittu viistekerroin  $n_{\min} = 400$  ja sivuradoilla  $n_{\min} = 300$ . Kaavan (2.6:16) mukaista viistekerrointa käytetään ainoastaan silloin, kun raiteessa on vähintään normaali kallistus.

Suoran kallistusviisteen pituus lasketaan kaavan (2.6:17) mukaan.

$$L = nh/1000 \quad (2.6:17)$$

$L$  = suoran kallistusviisteen pituus [m]

$n$  = viistekerroin

$h$  = raiteen kallistus [mm]

Jos raiteen kallistuksena käytetään pienempää kallistusta kuin tavoitenopeuden mukaista  $h_{\text{norm}}$ -kallistusta, ei viisteen pituutta muuteta, vaan käytetään suurempaa viistekerrointa.

Viisteen alku- ja loppupisteissä syntyvät kulmat pyöristetään säteellä  $R = V^2$ . Pyöristys tapahtuu matkalla  $L_p$ , joka määrätään kaavan 2.6:18 mukaan.

$$L_p = V^2/n \quad (2.6:18)$$

$V$  = mitoitusnopeus [km/h]

$n$  = viistekerroin

Pyöristyksen pituudesta on puolet suoralla tai ympyräkaarella ja puolet viisteellä.

Siirryttäessä korikaareissa kallistuksesta toiseen määrätään viistekerroin ja viisteen pituus edellä olevien kaavojen mukaan. Raiteen kallistus korvataan kallistusten erotuksella  $h_1 - h_2$ . Jos korikaarteissa kaarien väliin tuleva siirtymäkaaren pituus on lyhyempi kuin viisteen pituus, jatketaan viistettä suurempisäteisen kaarteiden puolelle.

### 2.6.3.3 S-kallistusviiste ja siirtymäkaari

S-kallistusviisteen käytöllä saavutetaan etuja tavallisella kalustolla liikennöivillä radoilla ja erityisesti perusparannuksien yhteydessä. Tämän ja kunnossapitoon liittyvien seikkojen vuoksi niitä käytetään vain erikoistapauksissa, joissa hyöty on perusteltavissa.

S-kallistusviisteen kaltevuus lasketaan 2. asteen paraabelina ja sen yhteydessä käytettävä siirtymäkaari 4. asteen paraabelina.

S-viisteen suurin kaltevuus on keskellä, jossa viistekerroin  $n$  on kaavojen 2.6:19, 2.6:20 ja 2.6:21 mukainen (kuva 2.6:3).

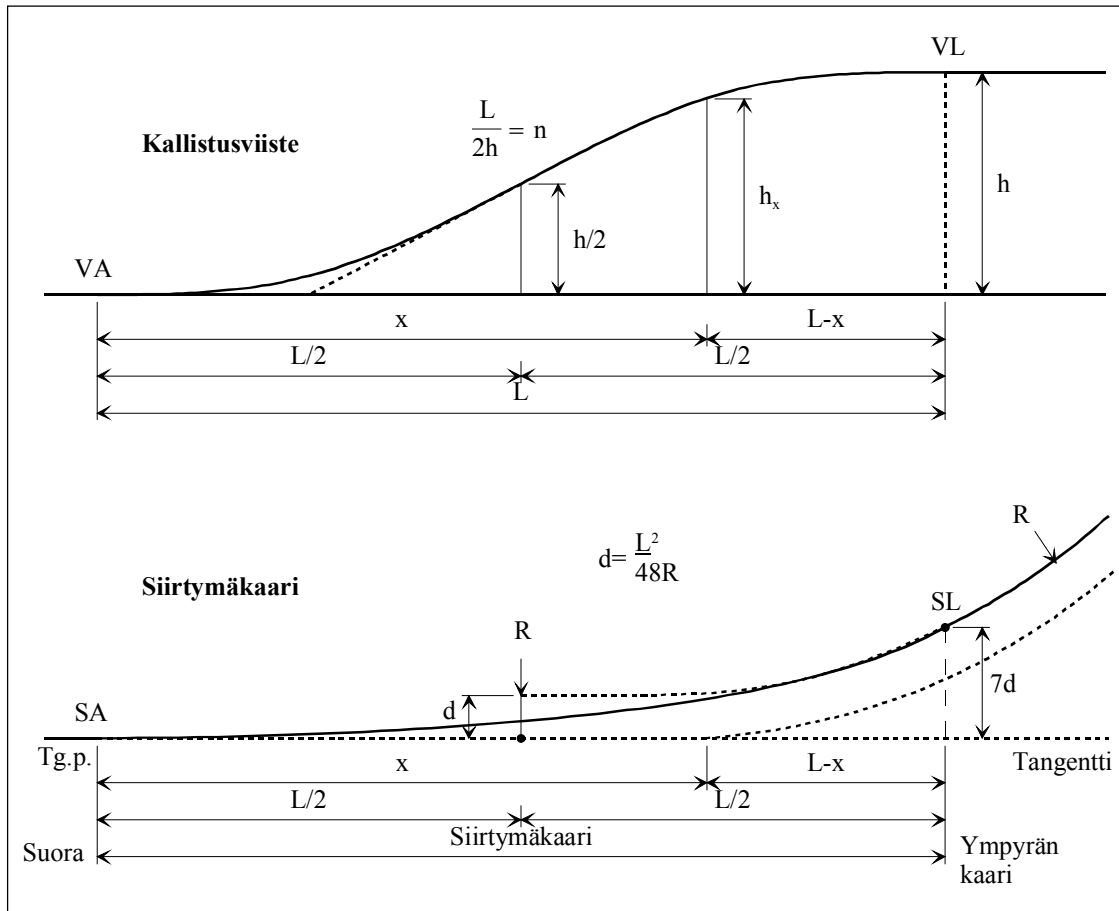
$$n = 6V \quad \text{suositeltava} \quad (2.6:19)$$

$$n = 5V \quad \text{minimi} \quad (2.6:20)$$

$$n = 4V \quad \text{lupa-arvo} \quad (2.6:21)$$

$n$  = viistekerroin, pienin sallittu viistekerroin on 400

$V$  = nopeus [km/h]



**Kuva 2.6:4 S-kallistusviiste ja 4. asteen siirtymäkaari.**

S-kallistusviistettä voidaan käyttää kallistusviisteenä, jos raiteen kallistus on 100 mm tai suurempi ja nopeus > 120 km/h. Perusparannuksien yhteydessä käytettynä siitä saadaan hyötyä mitoitussuorituksen ja raiteen sivusiirtoon nähden. Siirtymäkaaren pituus on likimäärin  $\sqrt{2}$  kertaa klotoidin muotoisen siirtymäkaaren pituus, kun raiteen sivusiirtymä on sama.

S-viisteen pituus lasketaan kaavan 2.6:22 mukaan.

$$L = 2nh/1000 \quad (2.6:22)$$

$n$  = viistekerroin

$h$  = raiteen kallistus [mm]

S-kallistusviiste lasketaan kaavojen 2.6:23 ja 2.6:24 mukaan.

$$h_x = 2h \times x^2/L^2 \quad , \text{ kun } x < L/2 \quad (2.6:23)$$

$$h_x = h - 2h(L-x)^2/L^2 \quad , \text{ kun } x > L/2 \quad (2.6:24)$$

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

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

$h$  = raiteen kallistus kaarteessa [mm]

$L$  = viisteen pituus [m]

S-kallitusviistettä vastaava siirtymäkaari lasketaan 4. asteen paraabelina, jonka ordinaatat suoran puoleisella puolikkaalla lasketaan kaavan 2.6:25 mukaan.

$$y = x^4/6RL^2 \quad , \text{ kun } x \leq L/2 \quad (2.6:25)$$

Kaaren puoleisella siirtymäkaaren alueella ordinaatat lasketaan kaavalla (2.6:26).

$$y = -x^4/6RL^2 + 2x^3 / 3RL - x^2 / 2R + L x / 6R - L^2 / 48R \quad , \text{ kun } L/2 < x \leq L \quad (2.6:26)$$

$x$  = siirtymäkaaren abskissan mitta [m] siirtymäkaaren alkupisteestä tangenttia pitkin

$y$  = abskissan ( $x$ ) vastaava ordinaatan arvo [m]

$R$  = kaarteen säde [m]

$L$  = siirtymäkaaren pituus [m]

Ympyräkaaren sivusiirtymä lasketaan kaavan 2.6:27 mukaan.

$$d = L^2/ 48R \quad (2.6:27)$$

$d$  = sivusiirtymä [mm]

$L$  = siirtymäkaaren pituus [m]

$R$  = kaarteen säde [m]

#### 2.6.4 Lähekkäin sijaitsevat kaaret

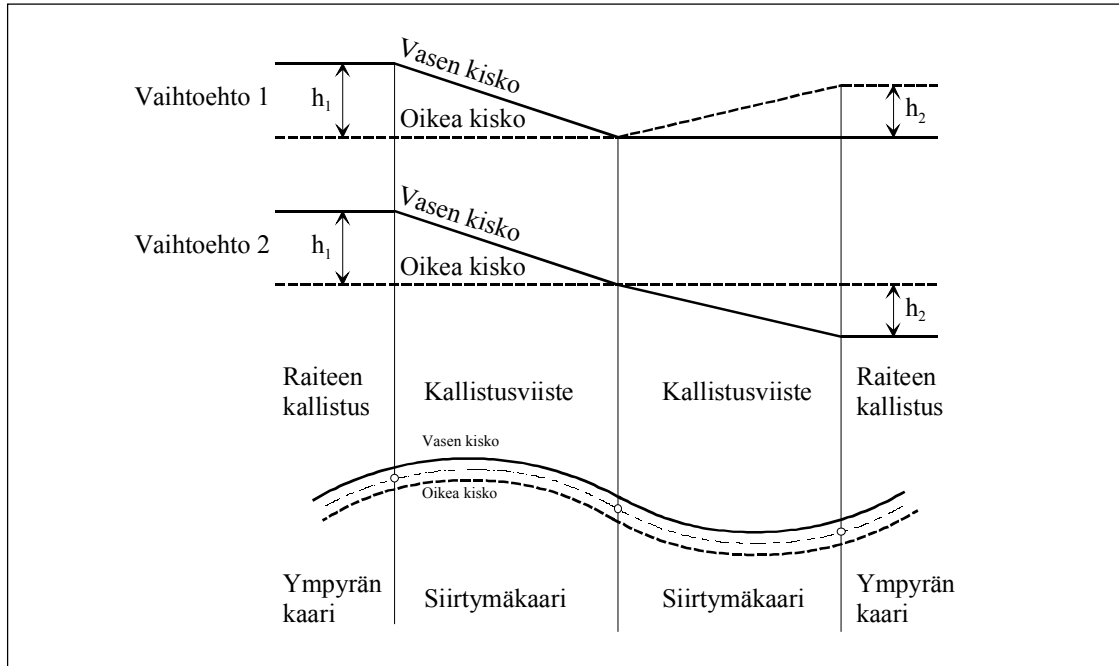
Lähekkäin samaan suuntaan kääntyvät kaaret on yhdistettävä saman säteiseksi kaareksi tai korikaareksi.

Vastakkaisiin suuntiin kääntyvien kaarien siirtymäkaarien ja kallistusviisteiden alkupisteet on pyrittävä yhdistämään. Tämän vuoksi siirtymäkaaret voivat olla normaalia pidempiä. Jos välisuora ei ole vältettävissä, on sen pituuden oltava vähintään  $V/2$  [m] ( $V$  = mitoitusnopeus km/h), kuitenkin vähintään 30 m.

Kun kallistusviisteet yhtyvät, kallistusviisteet tehdään kuvan 2.6:4 mukaan.

Viisteiden pituudet määrätään kaavan 2.6:28 mukaan.





Kuva 2.6:5 Vastakkaisiin suuntiin kääntyvät kaarteet.

$$h_1 : h_2 = L_1 : L_2 \quad (2.6:28)$$

$h_1$  ja  $h_2$  = raiteen kallistuksia [mm]  
 $L_1$  ja  $L_2$  = viisteiden pituuksia

### 2.6.5 Raiteen yhdensuuntaissiirrot

Raiteen yhdensuuntaissiirrot on toteutettava yleensä normaalin kaarergeometrian mukaan siirtymäkaaria ja raiteen kallistusta käyttäen. Tällöin ympyränkaaren pituus on oltava vähintään  $V/4$  ( $V$  = mitoitusnopeus). Yhdensuuntaisuussiirrot voidaan toteuttaa myös ilman siirtymäkaaria ja raiteen kallistusta. Tällöin käytettävät suositeltavat kaarresäteet ovat seuraavat:

$R = 20000 \dots 30000$  m, kun  $V \geq 140$  km/h  
 $R = 16000 \dots 20000$  m, kun  $V < 140$  km/h.



## 2.7 Junan nopeus

### 2.7.1 Tavallinen juna

Junan suurin sallittu nopeus määritetään ottamalla huomioon radan rakenne, kunto, tasoristeykset ja radan geometria. Radan geometrian kannalta normaalisti rajoittavina tekijöinä ovat siirtymäkaaret ja kaarteet. Kaarresäteen kannalta suurin sallittu nopeus määrätään kaavoilla 2.7:1 ja 2.7:5.

$$V=0,35\sqrt{Rh} \quad \text{suositeltavan arvon antava kaava} \quad (2.7:1)$$

$$V=\sqrt{\frac{R(h+I)}{12,5}} \quad \text{maksimiarvon antava kaava} \quad (2.7:2)$$

$I$  = sepeliradoilla 105 mm, kun  $a_q = 0,65 \text{ m/s}^2$  ja 130 mm, kun  $a_q = 0,8 \text{ m/s}^2$  sekä soraradoilla 70 mm, kun  $a_q = 0,45 \text{ m/s}^2$

$$V=2,9\sqrt{R} \quad ,\text{kun } h = 0 \text{ ja } a_q = 0,65 \text{ m/s}^2 \text{ sepeliradoilla} \quad (2.7:3)$$

$$V=3,2\sqrt{R} \quad ,\text{kun } h = 0 \text{ ja } a_q = 0,8 \text{ m/s}^2 \text{ sepeliradoilla} \quad (2.7:4)$$

$$V=2,4\sqrt{R} \quad ,\text{kun } h = 0 \text{ ja } a_q = 0,45 \text{ m/s}^2 \text{ soraradoilla} \quad (2.7:5)$$

$V$  = junan suurin sallittu nopeus [km/h]

$R$  = kaarresäde [m]

$h$  = raiteen kallistus [mm]

### 2.7.2 Kallistuvakorinen juna

Kallistuvakorisen junakaluston nopeus määritetään kalustokohtaisten teknisten arvojen perusteella. Suomessa on toistaiseksi tyyppihyväksytty yksi kallistuvakoritekniikkaa käyttävä junatyyppi Sm3. Liitteessä 1 on esitetty kyseisen junatyypin nopeuden määrittäminen, kun kallistustekniikka on käytössä. Mikäli Suomen rataverkolle tulee uusia erilaisella kallistustekniikalla varustettuja junatyypppejä, on niille laadittava nopeuden määrittämisohteet ennen tyyppihyväksyntää.

### 2.7.3 Pyörityssäännöt

Laskettaessa radan suurimpia sallittuja nopeuksia voidaan K60-, K43- ja K30-raiteella sekä 54E1-puuratapölkkyraiteella käyttää normaaleja pyörityssääntöjä. 60E1- ja 54E1-betoniratapölkkyraiteella voidaan suurimman sallitun nopeuden laskennallista arvoa pyörittää ylöspäin enintään 2 km/h yleisesti käytössä olevaan nopeuteen, jos lasken

nallinen poikittaiskiihtyvyys on enintään  $0,65 \text{ m/s}^2$ . Tällöin on tarkistettava, ettei nykäisyn arvo  $0,45 \text{ m/s}^3$  ylity.

## 2.8 Suunnittelu

### 2.8.1 Raiteen pituuskaltevuuden ja kaarteiden suunnittelu

Radan geometrian suunnittelussa on otettava huomioon ympärillä olevan yhteiskunnan ja rautatieliikennejärjestelmän sekä lyhyen että pitkän aikavälit tavoitteet ja vaatimukset. Kaarregeometria ja radan korkeusasema tulee määrittellä riittävän tarkasti siten, että ne voidaan ottaa huomioon maankäytön suunnittelussa ja kiinteiden rakenteiden rakentamisessa.

Radan geometrian suunnitteluun vaikuttaa:

- henkilöjunien nopeus
- tavarajunien nopeus
- junapaino
- mitoittava junapituus
- suojastus ja opastimet
- liikenteen laatu
- kunnossapitokustannukset
- turvallisuus
- jarrutus/kiihdytys
- päällysrakenteen laatu
- kaluston laatu
- sillat, tasoristeykset, laiturit, vaihteet ym.
- tunnelit.

Radan geometrian suunnittelulla vaikutetaan:

- matkustusmukavuuteen
- kiskon kulumiseen
- kunnossapitotarpeeseen
- kunnossapitokustannuksiin
- kulkuvastukseen
- energiakustannuksiin
- radan kulumiseen
- maankäyttöön.

Hankkeen geometrisen suunnittelun lähtökohtana ovat näissä määräyksissä ja ohjeissa olevat suositusarvot. Minimi- ja maksimiarvoja on käytettävä harkiten, jolloin syynä voi olla mm. yhdyskuntarakenne. Hankkeista laaditaan useimmiten Ratahallintokeskuksen vahvistamat suunnitteluperusteet. Niissä määritellään liikenteen vaatimukset ja suunnitteluun vaikuttavat arvot sekä pitkällä että lyhyellä aikavälillä. Suunnitteluperusteilla voidaan poiketa suositeltavista tai maksimi- ja minimiarvoista. Hankkeen pysty- ja vaakageometria muodostavat kokonaisuuden, jonka tärkein tehtävä on antaa junalle mahdollisimman turvallinen, tasainen ja jouheaa kulku.

Radan suunnittelussa on otettava huomioon pituuskaltevuuksien osalta mm. seuraavia näkökohtia:

- suurin sallittu pituuskaltevuus
- radan pystygeometrian ja vaakageometrian yhtyeensopivuus
- opastimien paikat
- lyhyitä, alle 600 m pituisia, erisuuntaisia pituuskaltevuuksia etenkin noususuhteen maksimiarvoilla on vältettävä.
- pituuskaltevuuksien on oltava niin pitkiä, että pystytason pyöristyksien väliin jää suoraa osuutta  $V$  [m] pituinen matka, poikkeuksellisesti  $V/2$  [m].  $V$  on tavoite-nopeus [km/h].
- yli 2000 m pituisia nousuja, joissa käytetään suurinta sallittua pituuskaltevuutta, on mahdollisuuksien mukaan vältettävä
- kaksiraiteisilla radoilla voidaan käyttötarkoituksesta riippuen käyttää suurempaa pituuskaltevuutta laskusuunnassa kuin noususuunnassa. Tällöin on tarkistettava, asettaako liikenne erityisiä vaatimuksia.
- pieniä pituuskaltevuuksien muutoksia (etenkin saman suuntaisten kaltevuusjaksojen muutoksia  $\leq 2$  ‰) on mahdollisuuksien mukaan vältettävä, koska pyöristysosa jää lyhyeksi
- massatasapaino maarakennustöissä
- maankäytön rajoitukset.

Kaarregeometrian mitoitus- ja suositeltavat arvot, maksimi- ja minimiarvot sekä lupa-arvot. Suunnittelu tapahtuu yleensä ATK-avusteisesti. Tällöin voidaan yksittäisen kohteen geometria optimoida eri vaikutusten osalta sekä erikseen että yhdessä. Lopuksi on mahdollista ja eräissä tapauksissa välttämätöntä tehdä simulointikoeajot eri junilla, jolloin saadaan lähes todelliset junien nopeudet eri kohdissa lopullista mitoitus- ja suositeltavien arvojen varten.

Suunnittelussa arvioinnin perusteeksi lasketaan tarpeen mukaan mm. seuraavia arvoja: viistekerroin, kompensoimaton poikittaiskiihtyvyys, negatiivinen poikittaiskiihtyvyys, nykäisy, kiihdytysmatkat asemalta lähdettäessä, jarrutusmatkat erikseen määrättyissä kohdissa, junan kokonaiskulkuvastuksen vaikutus liikkeelle lähtöön kriittisissä paikoissa (opastimet, sivuraiteet).

Ennen lopullista suunnitelmaa on tarkistettava, onko opastimien sijoituksella ja junan automaattisella kulunvalvonnalla vaikutusta radan pysty- tai vaakageometriaan.

## 2.8.2 Teollisuusradan suunnittelu

Teollisuusradoilla tässä yhteydessä tarkoitetaan metroratoja lukuun ottamatta yksityisten ja kuntien omistamia tai hallinnoimia ratoja, jotka ovat yhteydessä valtion omistamaan rataverkkoon.

Teollisuusradoilla liikennöi yleisellä rataverkolla liikennöivää kalustoa koko junana, vaunuryhminä tai yksittäisinä vaunuina. Vetokalusto voi olla yleisellä rataverkolla liikennöivää, yrityksen omaa kalustoa tai vaunujen siirto voi tapahtua ilman raiteella liikkuvaa kalustoa.

Teollisuusratojen ja -raiteiden geometrian mitoitus- ja suunnitteluperusteisiin vaikuttavat samat lähtökohdat kuin muillakin radoilla ja raiteilla. Junien nopeus on yleensä 15...50 km/h. Juna- ja akselipainot sekä junien pituudet määritetään tapauskohtaisesti ottaen huomioon yleisellä rataverkolla käytössä olevat tavoitteet.

Käytettävät junapainot ja vetovoimat määrittävät nousujen suuruudet. Jos teollisuusraiteelle kuljetetaan kokojunakuljetuksia, on nousut suunniteltava yleistä rataverkkoa koskevien ohjeiden mukaisesti. Mikäli teollisuusraiteille kuljetetaan vaunuryhmiä tai vaunuja, voidaan suunnitella huomattavasti jyrkempiä nousuja, jotka on tapauskohtaisesti tutkittava ottaen huomioon käytettävissä oleva vetovoima.

Kaarregeometria on suositeltavaa suunnitella kohdan 2.6 ja RAMOn osan 7 ”Liikennepaikat” mukaan, jos teollisuusradalla tai -raiteella liikennöi kokojunakuljetuksia. Kaarregeometriaa suunniteltaessa yksittäisten vaunujen tai vaunuryhmien liikennettä varten on otettava huomioon seuraavia seikkoja:

- käytettäessä kaarresäteenä  $R \geq 180$  m ei kalustonkäytölle ole rajoituksia
- kaarresäteen ollessa  $\geq 120$  m, voivat kaikki yleisen rataverkon veturit liikennöidä raiteella
- kaarresäteen minimiarvo on 150 m
- siirtymäkaaria suositellaan käytettäväksi, jos suunniteltu nopeus on  $> 35$  km/h
- raiteen kallistusta suositellaan käytettäväksi, jos suunniteltu nopeus on  $> 35$  km/h
- kallistusta ei tule käyttää ratalinjalla junien mahdollisilla pysähtymisalueilla, esimerkiksi opastimien edessä
- lähekkäin sijaitsevien kaarteiden välisuorien pituudet määritellään RAMOn osan 7 ”Liikennepaikat” mukaan
- raideleveys suoralla ja kaaressa on näiden ohjeiden kohdan 2.4 mukainen
- kaarteissa, joissa vaunuja kytetään tai irrotetaan, on kaarresäteen oltava  $\geq 600$  m automaattikytkimillä ja  $\geq 400$  m ruuvikytkimillä varustetuilla vaunuilla
- pyöristyskaaren minimiarvo on 2000 m.

### 2.8.3 Tilapäisten raiteiden suunnittelu

#### 2.8.3.1 Määritelmä

Tilapäisellä raiteella tarkoitetaan raidetta (esim. väistöraide), jonka kautta ohjataan rautatieliikenne sillan tai muun vastaavan rakentamisen aikana. Tilapäisen raiteen käyttöaika on aina rajattu rakentamisen aikaan ja se on yleensä muutamasta kuukaudesta 1...2 vuoteen. Alikulkusiltojen rakentaminen raiteen sivussa ja siirto tunkkaamalla paikalleen liikennekatkon aikana on oleellisesti vähentänyt väistöraiteiden tarvetta.

#### 2.8.3.2 Mitoitusperusteet

Mitoitusnopeudet ovat 30 km/h, 50 km/h, 80 km/h, 100 km/h tai 120 km/h. Tapauskohtaisesti määritellään mitoitusnopeus ottaen huomioon turvallisuuden, liikenteen ja ympäristön vaatimukset.

Pituuskaltevuudet ja niiden muutoskohtien pyöristykset määritetään kohdan 2.5 mukaan.

Kaarresäteet suunnitellaan kohdan 2.6.1 mukaisesti. Pienempiä kaarresäteitä kuin 300 m on vältettävä. Raiteen kallistus suunnitellaan siten, ettei normaalia pienempiä kallistuksia käytetä.

Kallistusviisteet suunnitellaan kohdan 2.6.3 mukaisesti.

Raiteet on aina varustettava siirtymäkaarilla. Siirtymäkaaret suunnitellaan kohdan 2.6.3 mukaisesti.

Tilapäisraiteiden geometria on aina mitoitettava ja raide rakennettava yhtä huolellisesti kuin varsinaiset raiteet. Junien jarruvoimat keskittyvät väistöraiteeseen ja aiheuttavat raiteeseen suuria pitkittäis- ja poikittaissuuntaisia voimia.

## **2.8.4 Suunnittelun osa-alueet**

### **2.8.4.1 Yleistä**

Radan geometrian suunnittelun lähtökohtana useimmiten ovat suunnitteluperusteet, joissa määritetään hankekohtaisesti keskeiset vaatimukset ja perusteet.

Maksimi- ja minimiarvojen käytöllä geometrian suunnittelussa saavutetaan henkilöliikenteen matkustusmukavuuden hyväksyttävä laatutaso, mutta niiden käyttö voi lisätä radan kunnossapidon kustannuksia varsinkin, kun otetaan huomioon huonon geometrian vaikutus kalustoon ja raiderakenteeseen.

Suunniteltaessa uutta ratalinjaa käytetään suositeltavia arvoja. Tavoitenopeutta voidaan käyttää mitoitustapusteena, jos kustannukset ovat kohtuullisia. Muissa tapauksissa tavoitenopeutta vastaava mitoitus voidaan suunnitella maksimi- ja minimiarvoja käyttäen. Jokainen vaatimus on tarkasteltava myös suositusarvojen perusteella.

Kun tavoitteena on nopeuden nostaminen, radan perusparantamisen suunnittelussa noudatetaan suositeltavia arvoja, elleivät kustannukset johda kohtuuttomuuksiin. Maksimi- ja minimiarvot ovat hyväksyttävissä vain henkilöliikenteen vaatimiin tapauksiin jopa silloin, kun niiden käyttö johtaa huonoon matkustusmukavuuteen ja kunnossapitokustannusten kasvamiseen.

Maksimi- ja minimiarvojen ylitykset tai alitukset ovat luvanvaraisia. Niiden käyttö on varmistettava myös liikenteenharjoittajilla, jolloin hyväksyttävä kaluston stabiilisuus ja vaakasuorat voimat pysyvät hallinnassa.

### **2.8.4.2 Tarvemuistio**

Tarvemuistion vaatiman radan geometrian suunnittelun tavoitteena on esittää hankkeesta sellaiset tiedot, että liikenteen vaatimuksien perusteella voidaan selvittää geometrian aiheuttamat kustannusvaikutukset sekä tarvittavat aluelunastukset.

Radan geometrian muutosten tavoitteena on määrittää eri osuuksien sallimat junien nopeustasot, joiden perusteella voidaan edelleen määrittää junien ajoajat.

Geometrian suunnittelu tehdään olemassa olevan ratalinjan nopeuskaavion ja kartta-aineiston perusteella siten, että muutostarpeiden kustannukset ja ajoajat voidaan riittävällä tarkkuudella määrittää.

Tuloksien esitystapa määritetään hankekohtaisesti.



### 2.8.4.3 Tarveselvitys

#### 2.8.4.3.1 Radan parantamista koskevat kehittämishankkeet

Radan geometrian suunnittelun tavoitteena on määrittää radan parantamistarpeet ottaen huomioon rataoikaisut ja raiteistomuutokset. Suunnittelu tehdään yleispiirteisesti siten, että geometria antaa perusteet liikenteen mahdollisen simuloinnin ja aikataulugrafiikan laatimiseen.

Geometrian suunnittelu tehdään olemassa olevien nopeuskaavioiden ja kartta-aineiston perusteella siten, että muutostarpeiden aluelunastukset, kustannukset ja junien ajoajat voidaan riittävällä tarkkuudella määrittää.

Tuloksien esitystapa määritetään tapauskohtaisesti.

#### 2.8.4.3.2 Uusien ratojen suunnittelu

Uuden radan suunnittelussa tehdään alustavia linjausvaihtoehtoja palvelutasojen vertailemiseksi. Suunnittelussa noudatetaan tavoitenopeuden suositeltavia arvoja. Geometria suunnitellaan siten, että junien nopeustasot, ajoajat ja linjauksien alustavat kustannusarviot voidaan määrittää.

Tuloksien esitystapa määritetään tapauskohtaisesti.

### 2.8.4.4 Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaiheessa radan geometria suunnitellaan sekä korkeus- että vaakageometrialtaan siten, että sen perusteella voidaan tehdä eri vaihtoehtojen kustannusvertailu sekä rakentamisen vaatimat eri osa-alueiden suunnitelmat. Näitä osa-alueita ovat esimerkiksi vaihteet, tasoristeykset, sähköistys, sillat sekä muut radan kiinteät rakenteet ja laitteet.

Yleissuunnitelman tarve ja vaatimukset on määritelty julkaisussa "Radan suunnitteluohje". /6/

Uusien ratalinjojen yleissuunnittelussa suunnitellaan radan pysty- ja vaakageometria siten, että liikennesuunnittelua voidaan tehdä junien todellisten nopeuksien mukaan erilaisten simulointimallien avulla.

Radan pysty- ja vaakageometria määritetään alustavassa yleissuunnittelussa sivusuunnassa  $\pm 1$  m tarkkuudella ja lopullisessa yleissuunnittelussa  $\pm 50$  mm tarkkuudella. Vaihteiden sijainti on määriteltävä pituussuunnassa  $\pm 1,0$  m tarkkuudella turvalaite-suunnittelua varten.

#### **2.8.4.5 Rakentamissuunnittelu**

Rakentamisvaiheen geometrian suunnittelu käsittää hankkeen lopullisen suunnitelman laatimisen, työvaiheen aikaisten tilapäisratkaisujen suunnittelun sekä lopullisen geometrian tarkistuksen.

Jos geometrian suunnittelussa on käytetty lupa-arvoja, ts. maksimi- tai minimiarvojen ylittäviä tai alittavia arvoja, on kohteet erikseen mainittava suunnitelmissa.

## 2.9 Aukean tilan ulottuma

### 2.9.1 Määritelmä

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

ATUn mitat ovat minimimittoja, jotka tulee olla voimassa kaikissa olosuhteissa ottaen huomioon rakentamis- ja kunnossapitotoleranssit.

### 2.9.2 Aukean tilan ulottuman päämitat

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

#### 2.9.2.1 Leveysmitat

ATUn puolileveyden perusmittoja on kaarteissa suurennettava siten, että kallistetussa raiteessa noudatetaan taulukon 2.9:1 sarakkeiden 3...9 ja kallistamattomassa raiteessa kaarteiden sisä- ja ulkopuolella taulukon 2.9:1 saraketta 10. Suurentaminen (b) on laskettu kaavojen 2.9:1, 2.9:2 mukaan ja arvot on pyöristetty ylöspäin lähimpään viiteen millimetriin. Kaavat on laskettu 17 metrin telikeskiöväliille.

$$b = \frac{36000}{R} + \frac{Hh}{1600} \quad \text{sarakkeet 3...6} \quad (2.9:1)$$

$$b = \frac{Hh}{1600} \quad \text{sarakkeet 7 ja 8} \quad (2.9:2)$$

$$b = \frac{36000}{R} \quad \text{sarakkeet 9 ja 10} \quad (2.9:3)$$

R = säde [m]

H = korkeus [mm]

h = raiteen kallistus [mm]

b = leveys [mm]

Siirtymäkaaren osuudella levitys kasvaa suoraviivaisesti maksimiarvoonsa. Kaarteessa, jossa ei ole siirtymäkaarta, levitys määrätään kaavan 2.9:3 ja liitteen 3 mukaan. Vaihteiden kohdalla kallistamattomassa raiteessa levitys määrätään liitteen 4 mukaan. Pakottavissa tapauksissa sallitaan poikkeus liitteen 4 mukaisesta mitoista, jolloin tarvittava levitys lasketaan erikseen.

Raidejarrun, raiteensulun sekä vaihteen vastakiskon ja kääntölaitteen auraussuojan sijoitusmitat on esitetty liitteessä 5.

Taulukko 2.9:1 ATUn puolileveyden perusmittojen (b) suurentaminen kaarteissa.

Kaarteen säde R [m]	Oletettu raiteen kallistus laskettaessa kaarteen sisäpuolisia levytyksiä [mm]	ATU:n puolileveyden perusmittojen suurentaminen kaarteissa $b_s$ ja $b_u$ [mm]								
		Kallistetussa raiteessa korkeudella							Kaarteen ulkopuol.	Kallistamattomassa raiteessa sisä- ja ulkopuolella
		Kaarteen sisäpuolella								
		550	1200	4250	5600	6450	7000			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
90 kts. 7)	0	450	450	450	450	0	0	450	450	
100 kts. 7)	0	360	360	360	360	0	0	360	360	
125 kts. 7)	0	290	290	290	290	0	0	290	290	
150	130	285	340	585	695	525	570	240	240	
180	130	245	300	545	655	525	570	200	200	
200	130	225	280	525	635	525	570	180	180	
250	130	190	245	490	600	525	570	145	145	
300	130	165	220	465	575	525	570	120	120	
400	150	145	205	490	615	605	660	90	90	
500	150	125	185	470	600	605	660	75	75	
600	150	115	175	460	585	605	660	60	60	
700	150	105	165	450	580	605	660	55	55	
800	150	100	160	445	570	605	660	45	45	
900	150	95	155	440	565	605	660	40	40	
1000	150	90	150	435	565	605	660	40	40	
1100	150	85	145	435	560	605	660	35	35	
1200	150	85	145	430	555	605	660	30	30	
1300	150	80	140	430	555	605	660	30	30	
1400	145	80	135	415	535	585	635	30	30	
1500	135	70	125	385	500	545	590	25	25	
1600	135	70	125	385	495	545	590	25	25	
1700	135	70	125	380	495	545	590	25	25	
1800	135	70	125	380	495	545	590	20	20	
1900	130	65	120	365	475	525	570	20	20	
2000	130	65	120	365	475	525	570	20	20	
2500	125	60	110	350	455	505	550	15	15	
3000	110	50	95	305	400	445	485	15	15	
3500	95	45	85	265	345	385	415	15	15	
4000	80	40	70	225	290	325	350	10	10	
4500	75	35	65	210	275	305	330	10	10	
5000	65	30	60	180	235	265	285	10	10	
6000	55	25	50	155	200	225	240	10	10	
7000	50	25	45	140	180	205	220	5	5	
8000	40	20	35	115	145	165	175	5	5	
9000	40	20	35	110	145	165	175	5	5	
10 000	35	20	30	100	130	145	155	5	5	

Huom.

1. Kaarteiden väliarvoja vastaavat levitykset voidaan määrätä suoraviivaisesti.
2. Laskemissa on oletettu veturin virroittimen olevan telikeskiön kohdalla.
3. Laskelmien perustana on käytetty vaunua, jonka korin pituus on 24 m ja telikeskiöväli 17,0 m.
4. Tilapäisten rakenteiden b-arvot voidaan laskea raiteen todellisten kaarresäteen ja kallistuksen mukaan.
5. Todellista kallistusta voidaan käyttää b-arvona laskettaessa, jos kallistuksen lisäys myöhemminkään ei ole tarpeen.
6. Mikäli todellinen arvo on suurempi kuin sarakkeen arvo, on käytettävä todellista arvoa.
7. Voidaan käyttää vain Ratahallintokeskuksen luvalla.

### 2.9.2.2 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-/purkausraiteita tai muita erikoiskäyttöön tarkoitettuja raiteita.

Kallistetussa raiteessa on ATUn korkeutta lisättävä vähintään kallistuksen arvoa vastaavasti.

### 2.9.2.3 Aukean tilan ulottuman rajoitukset

#### 2.9.2.3.1 Yleistä

Kiinteitä rakenteita ja laitteita mm. opastimia ja vaihteita suunniteltaessa saadaan ATUa supistaa Ratahallintokeskuksen luvalla linjalla enintään liitteessä 2 olevan viivan A–B mukaisesti.

#### 2.9.2.3.2 Ovi- ja porttiaukot

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

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, 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.

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

Jos ovi- tai porttiaukon leveys on  $< 5000$  mm tai toisen aukon reunan etäisyys raiteen keskiviivasta on  $< 2500$  mm, reuna on maalattava kelta-musta-raitaiseksi sekä varustettava tarvittaessa riittävällä yleisvalaistuksella.

Ovi- ja porttiaukkojen korkeuden on oltava seuraava:

- kuormaulottuma 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.

#### **2.9.2.4 Erikoistapaukset**

Uusilla turvalaitteilla varustettavien ratapihojen vaihtotyöalueilla olevat valo-opastimet sekä muut turvalaitteet, joiden korkeus on  $\geq 1100$  mm kiskon selästä mitattuna, tulee sijoittaa vähintään 2500 mm etäisyydelle suoran raiteen keskiviivasta.

Alle 1100 mm korkuiset raide- ja muut opastimet tulee sijoittaa vaihtotyöalueilla mahdollisuuksien mukaan 2500 mm etäisyydelle suoran raiteen keskiviivasta. Jos esimerkiksi raidevälistä johtuen tämä ei ole mahdollista, voidaan em. opastimet sijoittaa lähemmäksi raidetta, jos niiden korkeutta pienennetään. Opastimen etäisyyden pienentyessä suoran raiteen keskiviivasta mitattuna 2500 mm:stä 1920 mm:iin tulee opastimen enimmäiskorkeuden pienentyä suoraviivaisesti 1100 mm:stä 500 mm:iin.

Ratapiha-alueilla, jotka eivät ole tai tule olemaan vaihtotyöalueita, saadaan valo-opastimet ja muut turvalaitteet, joiden korkeus on enintään 1100 mm kiskon selästä, sijoittaa pakottavissa tapauksissa siten, että sen etäisyys suoran raiteen keskiviivasta on vähintään 1920 mm. Opastinrakenteiden etäisyyden korkeudella 1100...4250 mm tulee olla suorassa pääraiteessa vähintään 2450 mm ja suorassa sivuraiteessa korkeudella 1200...4700 mm vähintään 2200 mm raiteen keskiviivasta.

Muissa erikoistapauksissa kuten 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.

Raideopastimet maalataan otsapintaa lukuun ottamatta keltaisiksi. Samoin maalataan matalat 2500 mm lähempänä keskiviivaa sijaitsevat kompastumisvaaraa aiheuttavat rakenteet kuten vaihteen kääntölaitteen kotelot, kytkinkellot jne. Vaihdeopastimia ja rajamerkkiä ei em. määräys koske. Raiteen keskiviivaa 2500 mm lähempänä sijaitsevien valo-opastimien mastot on maalattava yhden metrin korkeudelta kolmen metrin korkeuteen keltaiseksi. Jos masto sijaitsee 2250 mm lähempänä raiteen keskiviivaa, on maalaus tehtävä kelta-musta-raitaisena.

#### **2.9.2.5 Laippaura**

Laippauran leveyden tulee ilman laippaurakumia olevissa tasoristeyksissä ja vastaavissa paikoissa olla vähintään 75 mm ja syvyyden vähintään 38 mm ratakiskon ollessa

kuluneimmillaan. Vaihteiden ja raideristeyksien vastakiskosovituksissa on laippauran minimileveys uusissa rakenteissa yleensä vähintään 41 mm. Kaarteissa, joissa raidelevyettä lisätään, levitetään laippauran leveyttä vastaavasti. Vaihteissa, urakiskoissa ja raidejarrujen, laippaurakumien yms. erikoisrakenteiden kohdalla laippaura mitoitetaan ko. rakennepiirustuksissa.

### 2.9.2.6 Raideväli

Uusia raiteita rakennettaessa raidevälin tulee olla vähintään 4500 mm. Liikennepaikkojen kohdalla on noudatettava RAMOn osan 7 “Liikennepaikat” määräyksiä ja ohjeita. Raidevälin ja nopeuden välinen yhteys on esitetty taulukossa 2.9:2.

Kaksiraiteisen radan raidevälin kaarrelevityksen minimimitat on esitetty taulukossa 2.9:3. Kaksoisraiteen vaihteiden kohdalla tulee raidevälin suoralla radalla olla yleensä vähintään 4300 mm. Käytettäessä pitkiä vaihteita on kukin tapaus tutkittava erikseen.

**Taulukko 2.9:2. Raidevälin ja nopeuden välinen yhteys.**

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

<sup>1)</sup> Raidevälin levitys taulukon 2.9:3 mukaisesti.

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

<sup>3)</sup> Uudet raiteet rakennetaan vähintään raidevälille 4500 mm.

**Taulukko 2.9:3 Raidevälin levitys.**

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	-	-

### 2.9.2.7 Rakenteiden sijainti

#### 2.9.2.7.1 Pylväät

Uusien ratajohtopylväiden, opastinporttaalien yms. toistuvien rakenteiden (lukuun ottamatta kaadettavia opastinmastoja ja muita turvalaitteita) tulee olla linjalla ja ratapihalla suoralla radalla normaalisti 3100 mm etäisyydellä raiteen keskiviivasta. Vaikeissa tapauksissa sallitaan uuden pylvään sijoittaminen linjalla 2750 mm ja ratapihalla 2500 mm etäisyyteen raiteen keskiviivasta.

Raiteen keskiviivaa 2500 mm lähempänä sijaitsevat pylväät ja muut vastaavat rakenteet on maalattava keltaiseksi yhden metrin korkeudelta kolmen metrin korkeuteen. Jos pylväs sijaitsee 2250 mm lähempänä raiteen keskiviivaa, on maalaus tehtävä keltamusta-raidoituksella. Haaratyyppiset pylväät maalataan tyvestä kolmen metrin korkeuteen keltaiseksi. Rata-alueella mahdollisesti sijaitsevat harusköydet on tehtävä havaittaviksi tyveen kiinnitetyllä keltaisella puulistalla tai putkella.

#### 2.9.2.7.2 Sillat

Uusien ylikulkusiltojen pilareiden, ristikkosiltojen pääkannattajien yms. rakenteiden on oltava suoralla radalla 3100 mm etäisyydellä raiteen keskiviivasta. Vaikeissa tapauksissa voidaan em. rakenteet sallia ratalinjalla etäisyyteen 2750 mm raiteen keskiviivasta ja ratapihoilla etäisyyteen 2500 mm. Muilta osin noudatetaan RAMOn osan 8 "Sillat" määräyksiä ja ohjeita.

#### 2.9.2.7.3 Aidat

Aitojen sijainti määritetään RAMOn osan 7 "Liikennepaikat" määräysten ja ohjeiden mukaan sekä liikennepaikoilla että ratalinjalla.

#### 2.9.2.7.4 Johtimien etäisyydet

Rakenteiden ja rakennusten vähimmäisetäisyydet sähköratajärjestelmään kuuluvista johtimista sekä suojaus jännitteisen osan koskettamiselta on esitetty ohjeessa "Sähköistyksen 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/

#### 2.9.2.7.5 Kiskon selän alapuolella olevat rakenteet

Liitteessä 2 merkinnällä  $R_1 - R_2$  osoitetun rajaviivan yläpuolelle saa ulottua ratakiskojen lisäksi vain tasoristeyksien kansirakenne, vaihteiden ja turvalaitteiden osat yms. 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 syvyyteen korkeusviivasta lukien ja 2,7 m päähän vaakasuorassa suunnassa raiteen keskiviivasta.

#### 2.9.2.7.6 Rajamerkki

Rajamerkin sijainti määritetään RAMOn osan 7 "Liikennepaikat" määräysten ja ohjeiden mukaan.



## 2.10 Raiteen mittaus- ja merkitsemisjärjestelmä

### 2.10.1 Yleistä

#### 2.10.1.1 Tavoitteet

Tavoitteena on antaa mittaus- ja kartoitustöille perusteet laatuvaatimuksineen. Ohjeet noudattavat pääosin yleisiä mittaus- ja kartoitusalan ohjeita. Yleisiä ohjeita on tarkennettu tarpeellisilta osin vastaamaan ratateknisten mittaus- ja kartoitustöiden erityistarpeita.

Mittausperustalla luodaan geodeettinen perusta kaikille ratateknisille mittauksille ja kartoituksille. Raiteen laatuvaatimusten saavuttaminen varsinkin nopean liikenteen radoilla edellyttää mittausteknisesti vakaata perustaa.

#### 2.10.1.2 Soveltaminen

Ohjeita sovelletaan kaikissa ratateknisissä mittaus- ja kartoitustehtävissä.

#### 2.10.1.3 Tarkkuus

Mittaustehtävissä käytettävien mittausmenetelmien on vastattava tehtävän mittaustyön vaatimuksia. Mittausmenetelmällä saavutettavan tarkkuuden on oltava parempi kuin mitattavalle rakenteelle sallittu toleranssi.

Mittauksissa käytettävä mittauskalusto on oltava kyseiseen työhön teknisesti ja tarkkuutensa puolesta soveltuva.

### 2.10.2 Mittausperusta

#### 2.10.2.1 Ratatekniset erityisvaatimukset

Raiteen aseman laatuvaatimukset (ks. kohta 2.10.6) ovat koko mittausperustan tarkkuus-tarkastelun lähtökohtana. Raiteen mittaukseen soveltuva mittausperusta soveltuu kaikkien muiden yksityiskohtien mittauksiin ja kartoituksiin.

Raiteen asema on aina riippuvainen mittausperustana käytettävien kiintopisteiden tarkkuudesta. Kiintopisteiden virheistä johtuen raiteen mittauksen perusteella laskettu teoreettinen asema siirtyy ja muuttuu asentoaan kiintopisteiden virheiden verran suhteessa absoluuttiseen teoreettiseen sijaintiin. Ongelmat esiintyvät vasta, kun alkuperäiset mittausten ja laskennan lähtökohtana käytetyt kiintopisteet tuhoutuvat. Kadonneiden pisteiden tilalle rakennettujen, mitattujen ja laskettujen uusien pisteiden sijainnissa on aina virhettä suhteessa kadonneiden pisteiden sijaintiin ja referenssinä käytettävään järjestelmään. Tämä voidaan todeta yksinkertaisesti mittaamalla ja laskemalla sama kiintopisteistö uudelleen ja vertaamalla tuloksia keskenään. Raiteen mittaus kahdelta eri mittauksissa ja laskennassa määritetyltä kiintopisteeltä johtaa raiteen kahteen erilaiseen asematietoon. Käytännössä tällainen tilanne tulee esille esimerkiksi seuraavilla tavoilla:

- paikallaan pidettäväksi sovittu raide pyrkii siirtymään
- vaikeudet; pengerleveys ei riitä, leikkaukset ja silta-aukot käyvät ahtaiksi tai ovat väärässä paikassa paalutetun raiteen perusteella arvosteltuna
- raiteen ympärille tulevat rakenteet ja raide eivät sovi yhteen, pylväsetäisyydet ja muut sähkötekniset etäisyydet eivät vastaa suunnittelussa käytettyjä arvoja.

Mittausperustan rakentamisen yhteydessä on liittyminen olemassa olevaan kiintopisteistöön ratkaistava tapauskohtaisesti. Tapauksissa, joissa olemassa olevaa mittausperustaa täydennetään ja alueelta on olemassa numeerista sijaintitietoa, on vanhan mittausperustan säilyneet kiintopisteet otettava harkinnan mukaan "pakkopisteiksi" laskentaan mukaan. Tällä toimenpiteellä pakotetaan uudet laskettavat kiintopisteet sopimaan vanhaan olemassa olevaan mittausperustaan. Käytännössä tämä tarkoittaa vanhan mittausrungon tarkkuuden siirtämistä uusiin pisteisiin. Tavoitteena on saavuttaa hyvä suhteellinen tarkkuus, vaikka absoluuttinen tarkkuus heikkenisi.

Uuden kiintopisterunkoverkon rakentamisessa ja mittaamisessa on pyrittävä hyvän absoluuttisen tarkkuuden lisäksi hierarkkiseen rakenteeseen ja homogeenisuuteen. Uuden kiintopisterunkoverkon rakentaminen tulee kyseeseen, jos ratateknistä numeerista sijaintitietoa ei ole olemassa tai olemassa oleva tieto on hajanaista ja puutteellista.

### **2.10.2.2 Koordinaattijärjestelmät**

Alueellisesti suurin ratateknisissä mittaustehtävissä käytettävä tasokoordinaattijärjestelmä on valtakunnallinen kartastokoordinaattijärjestelmä (kkj). Muita käytettäviä koordinaattijärjestelmiä ovat valtion vanha järjestelmä (vvj) ja kaupunkien paikalliset koordinaattijärjestelmät.

Pääasiallisena korkeuskoordinaattijärjestelmänä on N60. Muita rataverkolla esiintyviä korkeusjärjestelmiä voivat olla N43-, NN- tai jokin paikallinen korkeusjärjestelmä.

Jos käytettävänä koordinaattijärjestelmänä on muu kuin kkj, on mittausperustan rakentamisen yhteydessä määritettävä paikalliset muunnoskertoimet paikallisten koordinaattijärjestelmien ja valtakunnallisen kkj-järjestelmän välille. Muunnoskertoimia käytetään paikallisissa koordinaattijärjestelmissä tehtyjen karttatuotteiden muuttamiseen valtakunnalliseen kkj-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. Tämän lisäksi on tulevaisuudessa satelliittimittauksiin perustuvissa mittausperustan mittauksissa varauduttava tarkan yhteiseurooppalaisen GPS-verkon käyttöönottoon ottamalla mittauksiin mukaan havainnot Suomen EUREF89-referenssijärjestelmän pisteisiin. Mahdollisuuksien mukaan voidaan EUREF89:n käyttöön siirtyä alueilla, joilla se on taloudellisesti ja teknisesti mahdollista.

Kaikissa maastomittauksissa ja -kartoituksissa on käytettävä yhtä paikallisesti käytettyä yhteistä taso- ja korkeuskiintopisterustaa. Koordinaattijärjestelmän vaihtuminen on toteutettu ja toteutettava myös uutta mittausperustaa rakennettaessa rata- ja mittaus-

teknisesti edullisimmassa kohdassa eli lähimmällä koordinaatiston vaihtumista olevalla suoralla rataosuudella.

### **2.10.2.3 Pisteiden luokittelu**

Luokittelun perustana ovat seuraavat käyttö- ja mittaustekniset tunnusmerkit:

- kiintopisteiden käyttötarkoitus
- mittausmenetelmän tarkkuus
- verkkojen ja jonojen rakenne
- pisteiden suhteellinen tarkkuus

Pisteiden taso- ja korkeustarkkuusluokittelussa sovelletaan Teknillisen korkeakoulun Geodesian laboratorion julkaisua "Numeerisen kartoituksen maastomittausohjeet" 1991 ja Maanmittaushallituksen julkaisua "Kaavoitusmittausohje" 1983. Olemassa olevan mittausperustan täydentämisessä sallitaan tapauskohtaisesti poiketa luokittelusta kohdassa 2.10.2.1 esitettyjen ratateknisten erityisvaatimusten perusteella. Poikkeamiset kohdistuvat lähinnä verkkojen ja jonojen rakenteeseen. /1//2/

Ratatekninen mittausperusta rakennetaan IV lk:n ja V lk:n tasopisteistä, poikkeustapauksissa jopa III lk:n pisteitä. Ratateknisessä mittausperustahierarkiassa IV lk:n pisteet muodostavat runkopisteistön, jota käytetään alemman V lk:n pisteistön mittauksissa lähtöpisteinä.

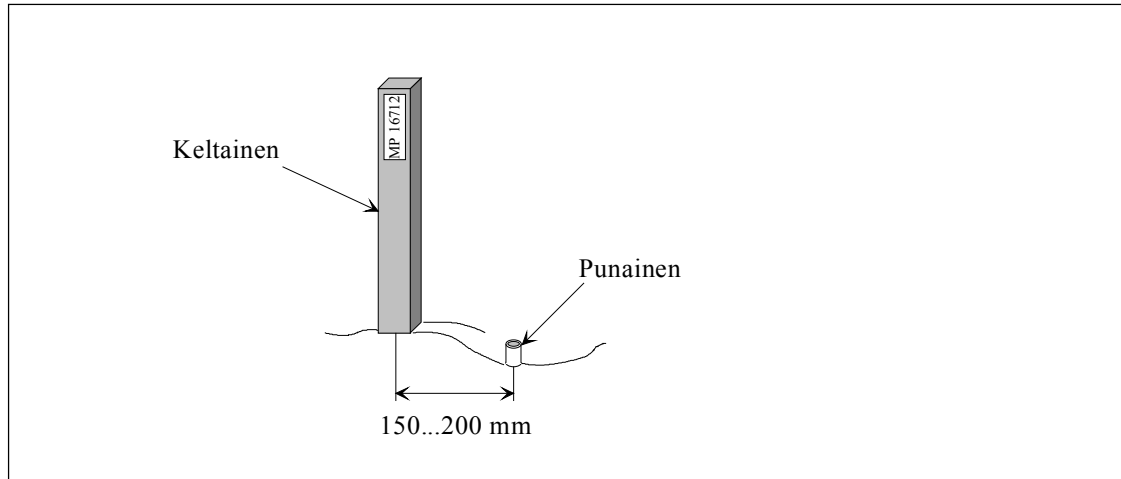
Kaikki korkeuspisteet luetaan kaavoitusmittausohjeiden mukaan IV luokkaan.

### **2.10.2.4 Pisteiden rakentaminen**

Taso- ja korkeuskiintopisteiden rakentamisessa ja sijoittelussa on otettava huomioon pisteiden liikkumattomuus, säilyvyys ja käytettävyys.

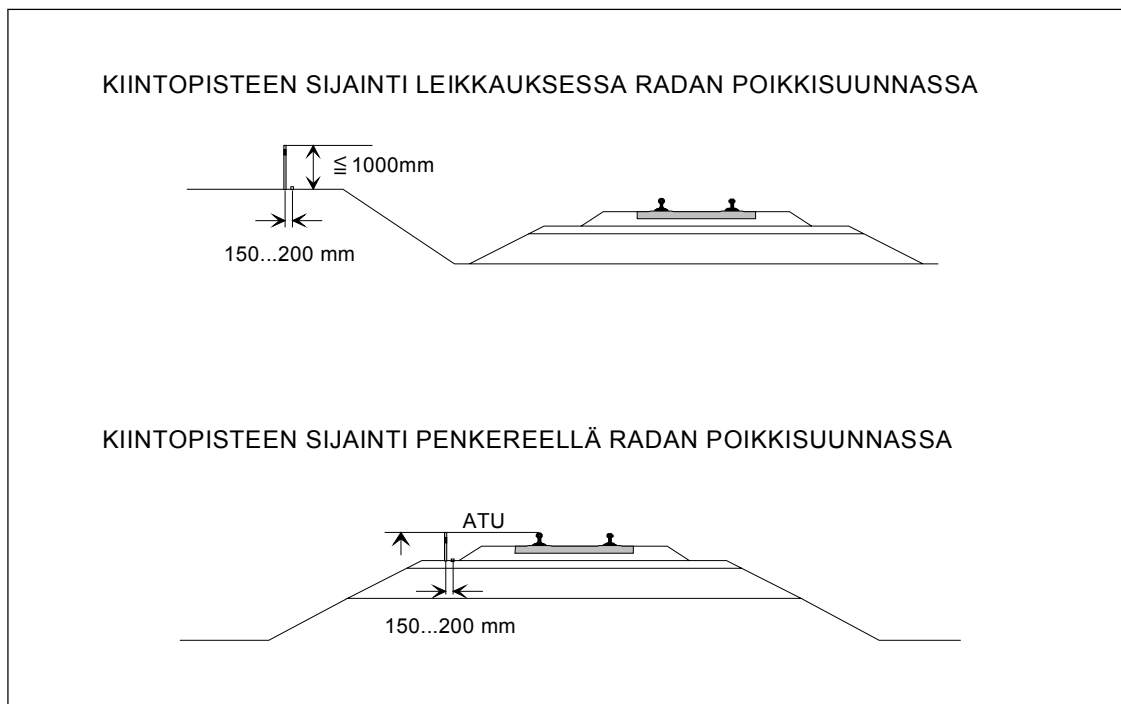
IV lk:n taseurunkopisteinä ja korkeuskiintopisteinä on käytettävä mahdollisuuksien mukaan kallioon, suureen maakiveen tai muuhun kiinteään hyvin paikallaan pysyvään kohteeseen rakennettavaa kiintopistepulttia. V lk:n pisteinä käytetään mahdollisuuksien mukaan IV lk:n pisteiden taseurisia kiintopisteitä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

Pisteet on merkittävä maastossa paaluin siten, että paalu sijaitsee 150 - 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 paalu ei saa ulottua ATU:n sisäpuolelle. Tarvittaessa pisteen säilyvyyden varmistamiseksi pisteen paikalle on rakennettava puinen kolmijalka, joka voidaan siirtää mittaustöiden ajaksi pois pisteeltä.



**Kuva 2.10:1 Putkipiste ja merkkipaalu.**

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 lk:n pisteet rakennettava ratapenkereelle ellei käytettävyyden kannalta löydy muita edullisia pisteen sijoituspaikkoja. Kuvassa 2.10:2 on esitetty kiintopisteiden sijointi radalla.



**Kuva 2.10:2 Kiintopisteiden sijainti.**

### 2.10.2.5 Menetelmät

Rataverkolla ylläpidetään IV lk:n runkopisteitä pistepareina 2 - 3 km:n välein. Pisteparin pisteiden välillä on oltava näköyhteys ja pisteiden etäisyyden on oltava sellainen, että pisteparin pisteet toimivat toistensa varamerkkeinä ja V lk:n pisteiden mittauksen lähtöpisteinä. V lk:n pisteitä on rakennettava noin 300 metrin välein. Mittausten lähtö-

pisteinä on pyrittävä käyttämään Geodeettisen laitoksen EUREF89-pisteitä, joille on määritetty myös kkj-koordinaatit. Tällä varmistetaan yhteys globaaliin Eurooppalaiseen koordinaattijärjestelmään.

Uusien pisteiden suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon seuraavat seikat:

- pisteiden käyttökelpoisuus, säilyvyys, keskinäinen näkyvyys ja nk. GPS-näkyvyys
- geometria
- mahdollisuus mittausluokan mukaiseen tarkkuuteen
- homogeenisuus eli sama tarkkuus kaikilla pisteillä
- stabiilius eli verkon jäykkyys.

Ratateknisen mittausperustan IV lk:n runkopisteiden mittaus tehdään pääasiassa satelliittipaikannuksena. V lk:n ”työjonojen” mittaus tehdään joko satelliittipaikannuksena tai perinteisenä jono- tai verkkomittauksena kulma- ja etäisyysmittauksineen. Käytetäessä IV lk:n runkopisteiden mittauksissa perinteistä jonomittausta, pisteet rakennetaan pistejonoiksi julkaisussa ”Kaavoitusmittausohje” 1983 annettujen ohjeiden mukaan. /2/

Satelliittimittaukset perustuvat relatiiviseen satelliitti-vaihe-eromittaukseen WGS 84-järjestelmässä julkaisun ”Numeerisen kartoituksen maastomittausohjeet” 1991 mukaan. /1/

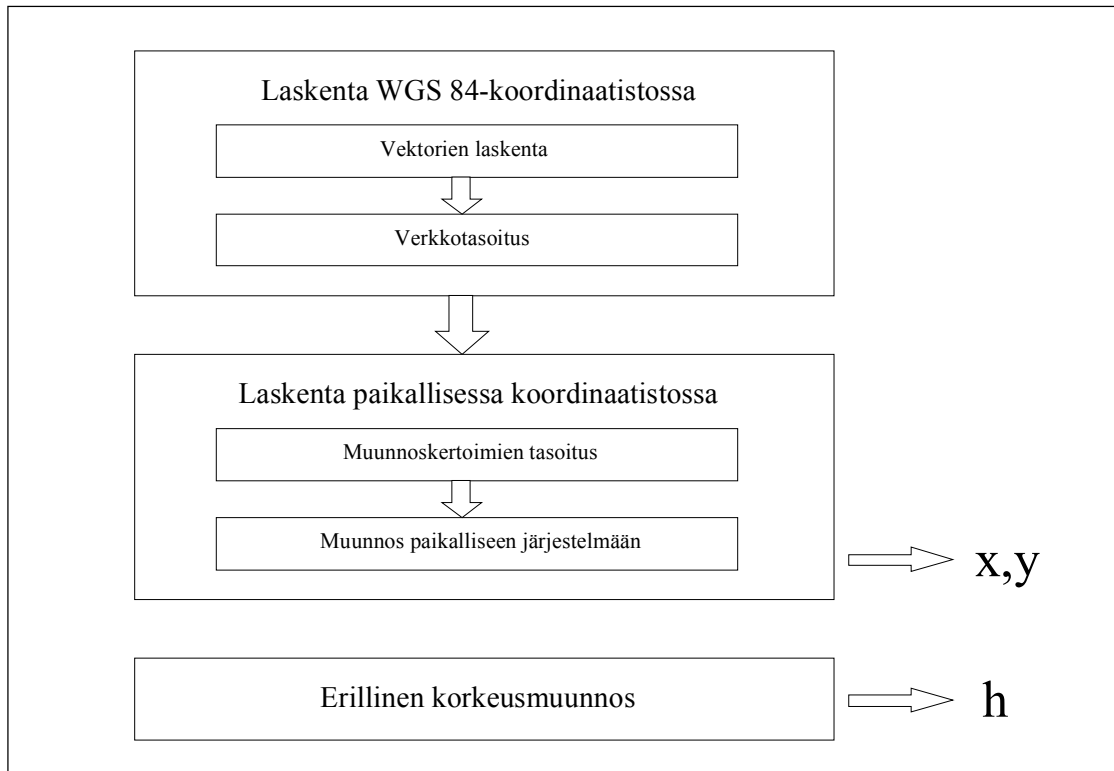
Jonomittauksissa käytettävän kaluston vaatimukset ja havaintomenetelmät on annettu pisteluokittain julkaisuissa ”Kaavoitusmittausohje” 1983 ja ”Numeerisen kartoituksen maastomittausohjeessa” 1991. /2//1/

Olemassa olevaa mittausperustaa korjattaessa tai täydennettäessä julkaisuja ”Numeerisen kartoituksen maastomittausohje” 1991 ja ”Kaavoitusmittausohje” 1983 noudatetaan soveltuvin osin. Tuhoutuneiden kiintopisteiden tilalle rakennettavat pisteet mitataan poikkeuksellisesti lähtien viereisistä saman luokan jonopisteistä. Tällä toimenpiteellä vältetään koko tuhoutuneet pisteet sisältävän jonon alueelta raiteen kartoitus ja laskenta. Uudet näin rakennetut kiintopisteet eivät tällöin virallisesti ole enää V lk:n pisteitä. /1//2/

Uudet korkeuspisteet mitataan tunnettujen pisteiden väliin jonona tai yhdestä pisteestä lähtevänä ja siihen päättyvänä silmukkana. Yksinkertaisen jonovaaituksen sijasta tulee käyttää kevennettyä tarkkavaaitusta, jos jonon pituus ylittää 4 km. Kevennetyissä tarkkavaaitusmittauksissa käytetään tarkkavaaitusmenetelmiä- ja välineitä.

### **2.10.2.6 Laskenta**

Satelliittimittauksiin liittyvä laskenta jakaantuu kahteen osaan: laskentaan WGS 84-koordinaatistossa ja laskentaan paikallisessa koordinaatistossa. Laskennan eri vaiheista saatavat tulokset esitetään Numeerisen kartoituksen maastomittausohjeen mukaan. Kuvassa 2.10:1 on esitetty laskennan vaiheet.



**Kuva 2.10:3 Satelliittimittauksiin liittyvä laskenta.**

Satelliittimittausten laskennassa käytetään laitevalmistajan laskentaohjelmaa vaihe-erohavaintojen prosessoimiseksi vektoreiksi. Prosessoidut vektorit voidaan laskea muullakin kuin laitevalmistajan laskentaohjelmistolla. Käytettävässä tasoituslaskentaohjelmistossa on oltava asianmukaiset liitännät eri laitteiden ja ohjelmistojen prosessoimien vektoreiden käsittelyyn. Laskentaohjelmisto on oltava testattu tai sen käyttämien algoritmien on oltava teoreettisesti oikein ja yleisesti tunnettu ja hyväksytty. Ohjelman on toimittava oikein.

Satelliittimittausten ja laskennan analysointi perustuu seuraaviin tunnuslukuihin:

- vektorien keskivirhe (peruskeskivirhe yleensä vähintään n. 3 - 7 mm)
- WGS 84:n ja paikallisten järjestelmien väliset muunnoskerroimet keskivirheineen
- laskennan jäännösvirheet
- muunnoksen keskivirhe
- pistekohtainen keskivirhe
- luokituksen mukaiset tunnusluvut.

Jono- tai verkkomittausten laskenta tehdään julkaisujen “Kaavoitusmittausohje” 1983 ja “Numeerisen kartoituksen maastomittausohje” 1991 mukaisesti sekä Teknillisen korkeakoulun julkaisua “Maastomittauksen laskentakaavoja” 1992 soveltaen. Ennen lopullista koordinaattien laskentaa on havainnot redukoitava tasolle. Laskettuihin havaintojen keskiarvoihin tehdään tarvittavat sää-, koje-, projektio- ja keskistyskorjaukset. /2//1//3/

Tasointulaskennassa käytettävä ohjelmisto on oltava testattu tai sen käyttämien algoritmien on oltava teoreettisesti oikein ja yleisesti tunnettu ja hyväksytyt. Ohjelman on toimittava oikein. Jonolaskennan hyväksytyt laskentamenetelmät on kaksivaiheinen suunta- ja koordinaattisulun tasointu. Jonoverkon hyväksytyt laskentamenetelmät on pienimmän neliösumman mukainen virheyhtälötasointu. Laskennan analysointi tapahtuu arvioimalla laskennasta saatavia tarkkuuden tunnuslukuja: sulkuvirheet, pistevirheet, absoluuttiset ja suhteelliset virhe-ellipsit. Tarkkuuden tunnuslukujen vertailupohjana käytetään kaavoitusmittausohjetta ja numeerisen kartoituksen maastomittausohjetta.

### **2.10.2.7 Dokumentointi**

Kiintopisteet on sidottava maastossa raiteen kilometrijärjestelmään. Etäisyys raiteesta ilmoitetaan katsottaessa kasvavaan kilometrien suuntaan negatiivisena raiteen vasemmalla ja positiivisena raiteen oikealla puolella. Vaihtoehtoisesti kiintopisteet voidaan sijoittaa maastossa selvästi näkyviin, yksikäsitteisiin ja hyvin säilyviin kohteisiin.

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

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

Mittausperustan laatimiseen liittyvien mittausten ja laskennan raportoinnin tulee perustua julkaisuun "Kaavoitusmittausohje" 1983. Lisäksi GPS-mittausten ja laskennan raportoinnissa on noudatettava julkaisua "Numeerisen kartoituksen maastomittausohjeet" 1991. /2//1/

## **2.10.3 Mittaustyöt**

### **2.10.3.1 Kartoitus**

GPS/GLONASS-kartoitusmittaukset tehdään reaaliaikaisesti semikinemaattisella (Stop and Go) tai relatiivisella kinemaattisella mittausmoodilla. Relatiivinen kinemaattinen (kulku-uraa koko ajan mittaava) mittausmoodi voi perustua myös jälkilaskentaan.

Takymetrillä tehtävät kartoitusmittaukset tehdään säteettäisenä kartoituksena ja trigonometrisenä korkeudenmittauksena. Poikkeustapauksissa korkeudenmittaukset voidaan tehdä myös vaaituksena.

Takymetrimittauksissa on noudatettava Teknillisen korkeakoulun Maanmittaustekniikan laitoksen julkaisua "Numeerisen kartoituksen maastomittausohjeet". Satelliittimittauksissa ohjetta on noudatettava soveltuvin osin. /1/

Karttakohteet, raidetta lukuun ottamatta, on mitattava maastossa niin, että kaikkien koordinaattien osalta päästään vähintään seuraaviin tarkkuuksiin:

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

Tarkkuusvaatimus perustuu suhteelliseen pistevirheeseen. Tarkastelukantana on mittauksen lähimmät lähtöpisteet ja tarkkuusvaatimus koskee sisäistä tarkkuutta.

Kartoituksen on tapahduttava kohdeorientoitunutta mittaustapaa noudattaen. Kartoitettavien pisteiden suhteet on määritettävä ja koodattava mittausten rekisteröinnin yhteydessä. Kohteet on mitattava loogisessa järjestyksessä.

Kohdekoodauksena käytetään Tielaitoksen maastopistestandardia erikseen sovittavat ratatekniset lisäykset huomioiden. Kartoitettavat pisteet koodataan pinta- ja taiteviiva-tunnuksin.

Jokaiselle kartoitettavalle pisteelle on rekisteröitävä x- ja y-koordinaatit, korkeuskoordinaatti, yksilöivä kohdekoodi, taiteviivan numero sekä pintatunnus. Jokainen kartoitettu piste kuvataan kartoitustiedostossa yhdellä 74 merkin mittaisella rivillä (Tielaitoksen ohje "Maastomallimittaukset" 1994) seuraavasti: /4/

T1	T2	T3	Nro	X	Y	Z
----	----	----	-----	---	---	---

T1: Pintatunnus

T2: Taiteviivan numero

T3: Kohdekoodi

Rivi formaatti: 4I8,3F 14.3

### **2.10.3.1.1 Raide**

Raiteen kartoituksessa mitataan raiteen keskilinjan ja korkeusviivan asema suhteessa mittausperustaan. Korkeusviivan korkeus mitataan pääsääntöisesti trigonometrisesti samalla mittauskerralla keskilinjan mittauksen yhteydessä. Korkeusviivan määritelmän mukaan korkeusviiva on kallistamattomalla radalla kiskon aluslevyn alapinnan tasossa kiskon kulkureunan kohdalla. Kallistetulla radalla korkeusviivan korkeus mitataan alemman kiskon kulkureunan kohdalta.

Raiteen kartoitus tapahtuu useimmiten 20 metrin välein kilometrijärjestelmän mukaan. Kiskoon on rakentamisen yhteydessä yleensä merkitty valmiiksi 20 metrin jakomerkit. Tämän lisäksi vaihteesta kartoitetaan etu- ja takajatkokset ja kaarteet tarpeen mukaan tiheämmin.

Geometriasuunnittelua varten tehtävän raiteen maastokartoituksen taso- ja korkeus-sijainnin tarkkuusvaatimuksena on maksimivirhe  $\pm 20$  mm. Tarkkuudella tarkoitetaan suhteellista tarkkuutta käytettäviin kiintopisteisiin. Käytännössä kartoitusmittauksen referenssinä käytetään aina lähintä kiintopistettä, jos mittausperusta ei täytä homogeenisuusvaatimusta. Tarkka ja homogeeninen mittausperusta luo mahdollisuuden tehokkaalle reaaliaikaiselle semikinemaattiselle satelliittipaikannukselle. Tällöin tukiasema ei välttämättä ole lähimmällä kiintopisteellä, vaikka tarkkuustavoitteesta ei tingitä.



Raiteen tukemiskoneen ohjaukseen liittyviin mittauksiin noudatetaan soveltuvin osin samoja mittausmenetelmiä, kuin suunnitteluun liittyvissä kartoituksissa. Tarkkuusvaatimuksena on sekuntiluokan takymetrimittauksissa saavutettava menetelmän taso- ja korkeuskeskivirhe 5-7 mm alle 200 m etäisyydellä. Tämä tarkkuusvaatimus edellyttää satelliittimittauksilta erillisjärjestelyjä.

### 2.10.3.1.2 Yksityiskohdat

Ratatekniseen suunnitteluun liittyviä tärkeitä kartoitettavia yksityiskohtia em. kuvattu raide mukaan luettuna ovat seuraavat kohteet, jotka on koodattu ohessa Tielaitoksen koodilistaan laajenuksena:

86 Raiteensulku

281 raiteen keskilinja

282 vaihteen etujatkos

283 vaihteen takajatkos

284 opastin

285 sähköpylvään perustus (nurkkapisteet)

286 laituri

287 km-pylväs

288 sähköratapylvään keskipiste

2881 I-pylväs (keskipiste)

2882 P-pylväs (keskipiste)

2883 R-pylväs (keskipiste)

289 kontrolli (kontrollimittaus: oikea koodi seur. mittauksessa)

2891 lankutuksen reuna tasoristeyksessä

742 akselinlaskija

744 baliisi

### 2.10.3.1.3 Maastomalli

Maastomallin mittauksissa noudatetaan Tielaitoksen ohjetta "Maastomallimittaukset" 1994. Maastomallia varten maaston taitekohdat mitataan taiteviivoina ja muut alueet hajapisteinä. Hajapisteitä ei saa mitata säännöllisenä linjastona tai ruudustona. Tarkkuusvaatimukset ovat "Maastomallimittaukset" 1994 mukaiset. /4/

### 2.10.3.2 Vaaitus

Ratatekniseen suunnitteluun liittyvä korkeusviivan kartoittaminen tehdään pääsääntöisesti raiteen kartoituksen yhteydessä. Korkeusviivan vaaitseminen omana erillisenä työnä tulee kysymykseen vain poikkeustapauksissa. Erillisen vaaituksen perusteena voi olla esim. tarve saavuttaa normaalia tarkempi tarkkuustavoite (esim. koneohjauksessa).

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. Merkittäviä kohteita ovat esim.:

- raiteet
- vaihteet
- laiturit
- sähköratapylväät
- ojat
- rummut
- sillat
- tunnelit
- massanvaihtoalueet
- rakennekerrokset
- luiskan ala- ja yläreunat, leveydet sekä kaltevuudet
- vastapenkereen alareunat.

Raiteen ja sähköratapylvään maastoonmerkinnän taso- ja korkeustoleranssina on  $\pm 10$  mm. Laiturin merkinnässä on otettava huomioon RAMOn osassa 16 "Laiturit" annetut asennustoleranssit. Muiden kohteiden merkitsemisen toleranssit vaihtelee tapauskohtaisesti muutamasta sentistä kymmeneen sentteihin.

Raiteen paikalleenmittaus sidotaan 20 metrin välein viereiseen rakennusajan paikallaan pysyvään raiteeseen, sähköratapylväisiin tai paaluihin. Vaikeat paikat merkitään tiheämmin tarpeen mukaan. Raiteen paikalleenmittauksen tarkoituksena on antaa rakentajalle riittävä tieto raiteen asemasta, jonka perusteella raide saadaan rakennettua mahdollisimman tarkasti oikeaan asemaan.

### 2.10.3.4 Kontrollimittaus

Kontrollimittauksilla todetaan raiteen todellisen ja teoreettiseen aseman poikkeavuudet. Kontrollimittauksia tehdään heti rakentamisen tai kunnossapidon jälkeen ja muulloinkin tarvittaessa. Raiteen aseman laatuvaatimukset on esitetty kohdassa 2.10.6. Laatuvaatimukset riippuvat siitä, onko kyseessä liikenteen käytössä oleva raide, uusi raide vai äskettäin kunnostettu raide.

Raiteen aseman kontrollimittaukset on tehtävä takymetrimittauksissa saavutettavan menetelmän taso- ja korkeuskeskivirheen, 5-7 mm alle 200 m etäisyydellä, mukaan. Kontrollimittauksesta saatavaa mittaustulosta verrataan teoreettiseen asemaan. Mittauksen tuloksena on tuotettava listaus, jossa on esitetty raiteen olemassa olevan ja teoreettisen aseman suhde.

### 2.10.4 Stereokartoitus

Stereokartoituksissa noudatetaan maastomittausten mukaista tiedon koodausta.

Maastomallimittauksissa ja yksityiskohtien stereokartoituksissa noudatetaan Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen Seuran julkaisua 1/1993 "Ohjeet tarkan fotogrammetrisen kartoitusmittauksen suorittamista varten" ja Tielaitoksen ohjetta

“Maastomallimittaukset” 1994. Stereokartoitukseen perustuvissa raiteen mittauksissa ohjetta noudatetaan soveltuvin osin. /5//4/

Raiteen mittauksia varten on vaihteen etu- ja takajatkokset näkyöitettävä ennen ilmakuvausta.

Raiteen keskilinan mittaus on tehtävä mitaamalla molemmat kiskonselät. Mittaustuloksena rekisteröitävä keskilinja (x ja y) lasketaan kiskonselän mittausten keskiarvona. Korkeusviivan mittaus on tehtävä pölkyn pinnasta. Rekisteröitävä korkeustieto (z) lasketaan todellisen korkeusviivan ja pölkyn pinnan erosta. Kallistetuilla rataosilla korkeusviiva mitataan alemman kiskon kohdalta.

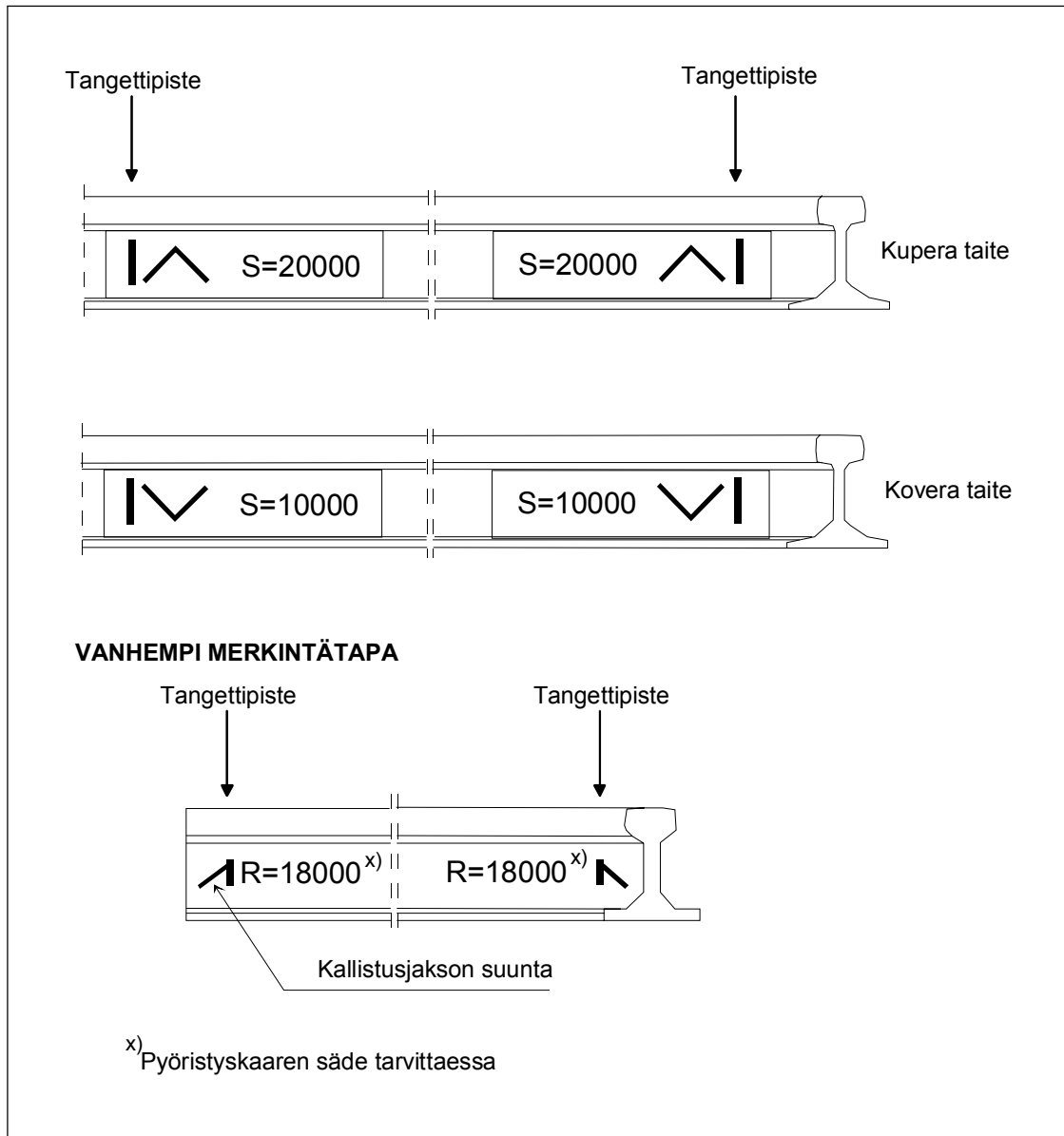
## **2.10.5 Raiteen asemaa osoittavat merkinnät**

### **2.10.5.1 Yleistä**

Raiteen koneellista kunnossapitoa varten tulee olla mittausperustaan ja raiteen suunniteltuun asemaan perustuvat raiteen asemaa osoittavat merkinnät. Raiteen korkeus ja sivuasemaa osoittavat merkinnät rakennetaan tapauskohtaisesti tarvittaessa esim. ratajohtopylvääseen. Korkeus- ja sivuasemaa osoittavia merkintöjä käytettäessä raiteen aseman tarkistamiseen tai koneelliseen kunnossapitoon on niiden oikeellisuus todettava mittausperustaan perustuvien mittausten, mikäli on syytä olettaa merkintöjen liikkuneen.

### **2.10.5.2 Raiteen geometria**

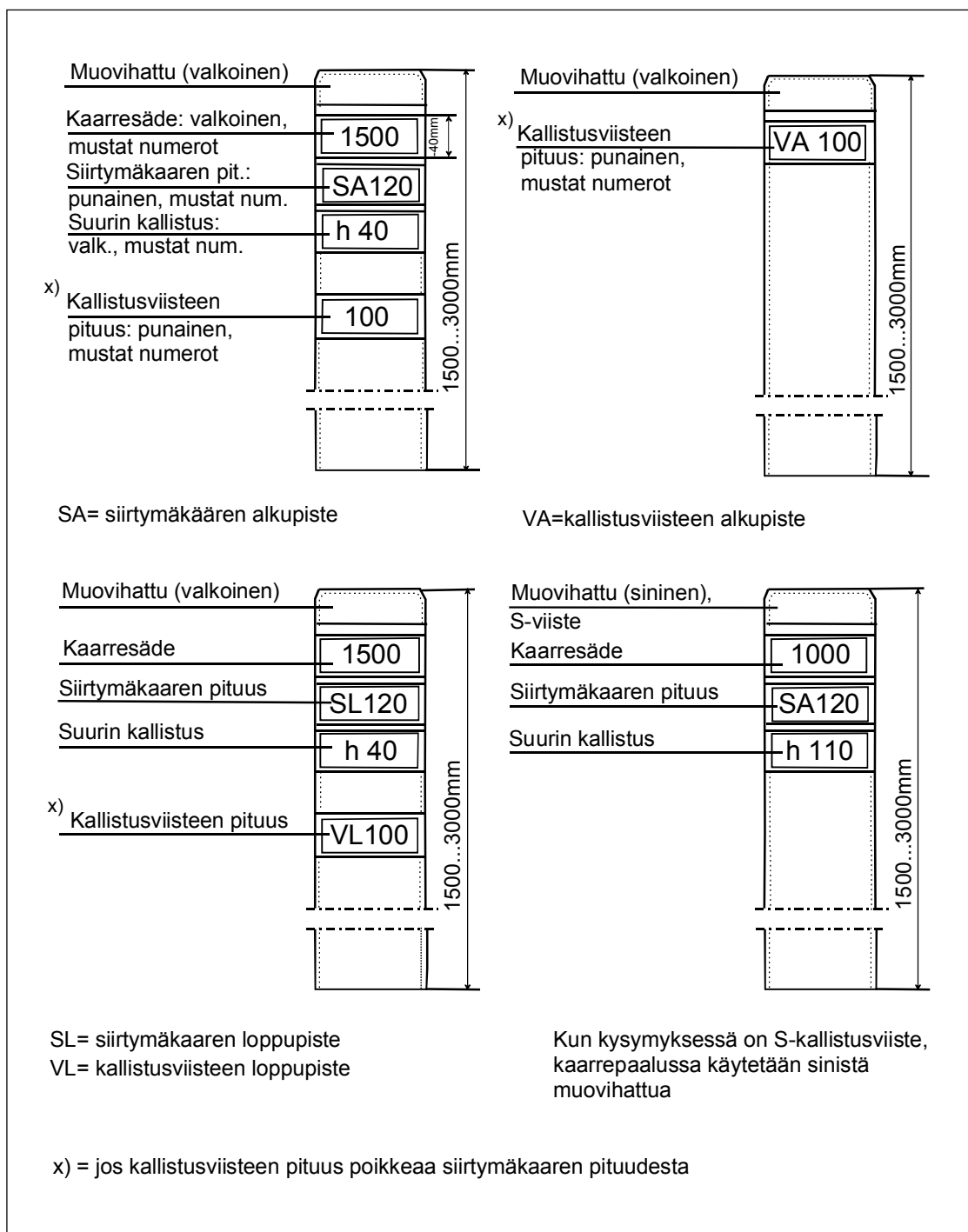
Pystysuorien pyöristyskaarien tangenttipisteet merkitään kiskonjalcaan kuvan 2.10:4 mukaan. Merkintä on tehtävä olemassa olevalla parhaalla mahdollisella mahdollisimman hyvin kiskonjalassa pysyvällä materiaalilla. Raiteen pituussuunnassa geometrinen muutosmerkintöjen tarkkuusvaatimuksena on maksimivirhe  $\pm 50$  mm.



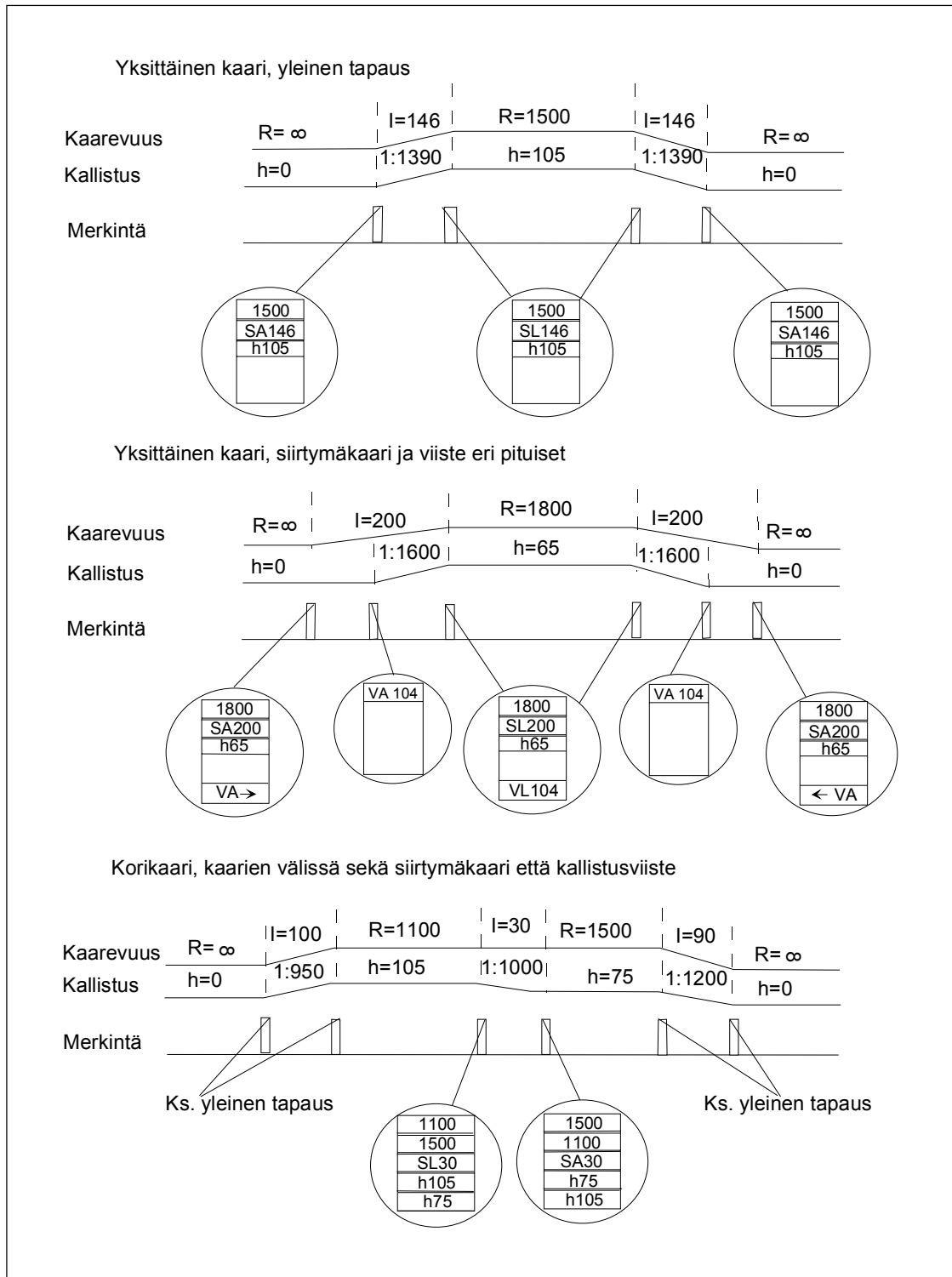
**Kuva 2.10:4 Pystysuoran pyöristyskaaren tangenttipisteen merkitseminen.**

Geometrinen vaakaelementtien rajapisteet merkitään kaarrepaaluilla, mihin on siirto-  
teipeillä liimattu tarvittavat geometriset tiedot. Paalut ovat  $\varnothing 60$  mm alumiiniputkea ja  
geometriset tiedot tulee osoittaa kaaren suuntaan. Normaalitapauksessa kaarrepaalussa  
on oltava tiedot kaarresäteestä, siirtymäkaaren pituudesta ja suurimmasta kallistuksesta,  
kuva 2.10:5.

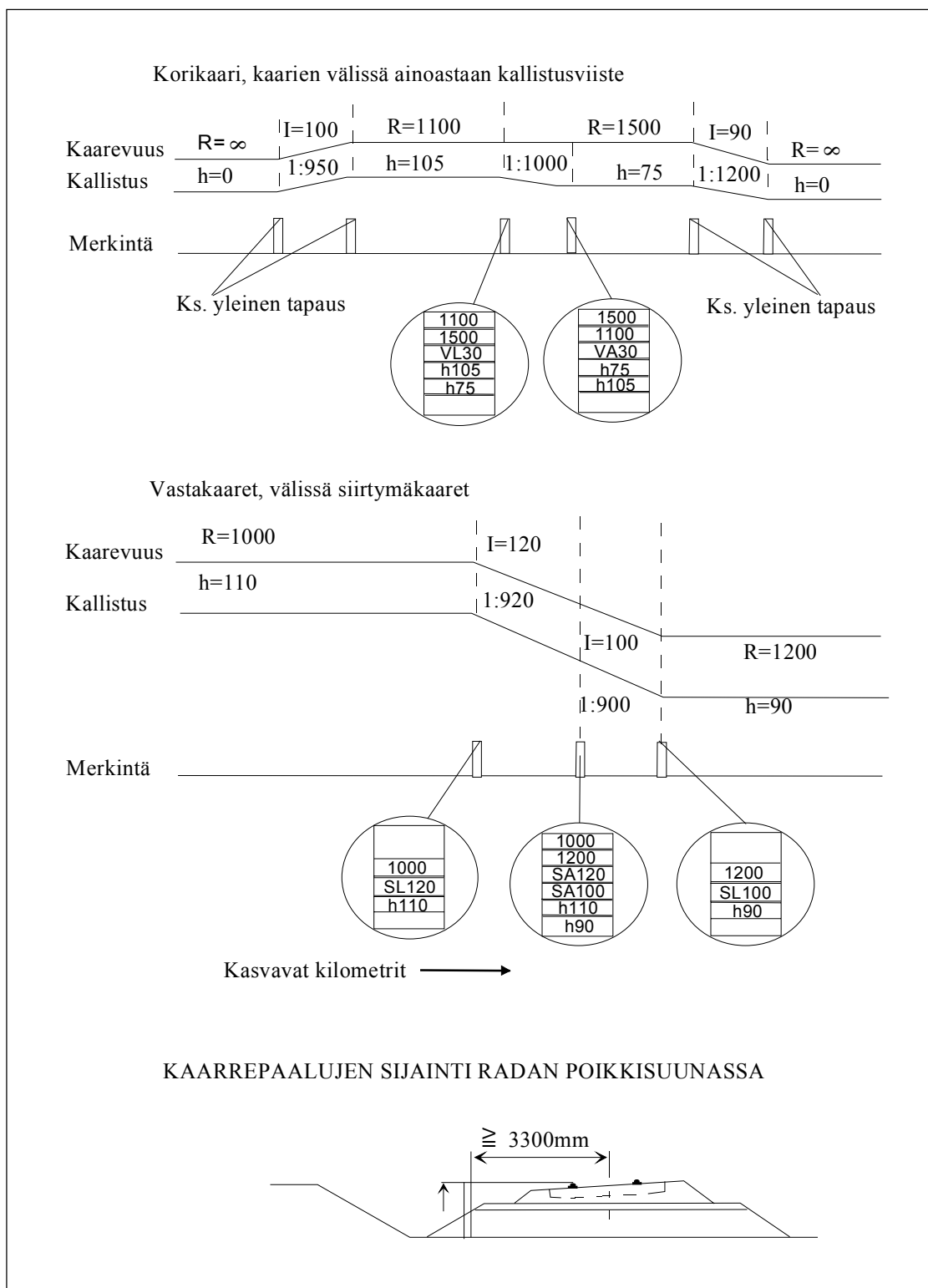
Kaarrepaalujen sijainti radan pituussuunnassa ja niissä kulloinkin tarvittavat tiedot sekä  
kaarrepaalujen sijainti radan poikkisuunnassa on esitetty kuvissa 2.10:6 ja 2.10:7.



**Kuva 2.10:5 Kaarrepaalut.**



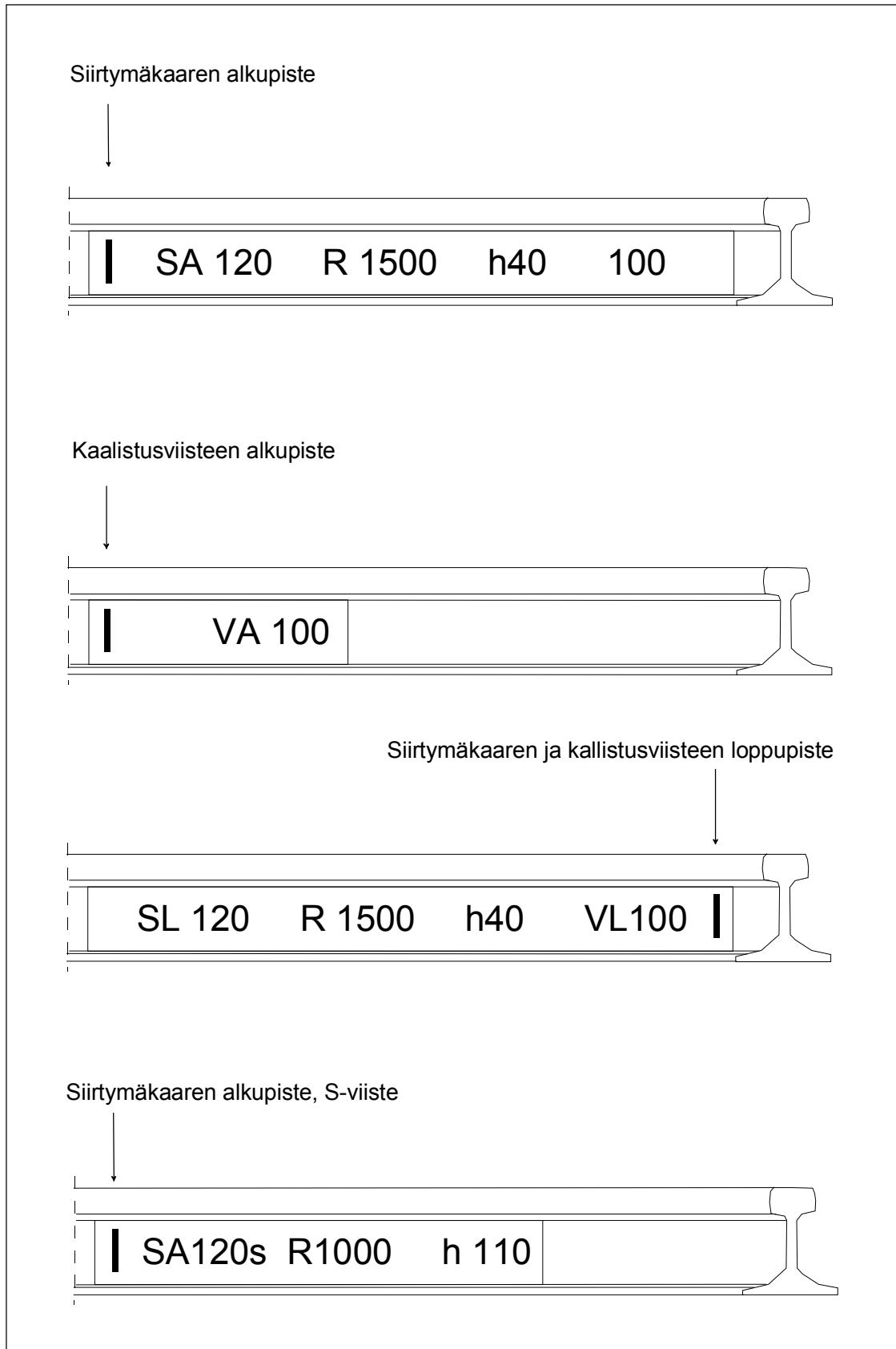
**Kuva 2.10:6** Kaarrepaalujen sijainti radan pituussuunnassa sekä paaluissa kulloinkin tarvittavat tiedot.



**Kuva 2.10:7 Kaarrepaalujen sijainti radan pituus- ja poikkisuunnassa sekä paaluissa kulloinkin tarvittavat tiedot.**

Kaarrepaalut voidaan eräissä tapauksissa mm. ratapihalla korvata kiskoon tehtävillä merkinnöillä, joista käy selville vastaavat tiedot. Merkintä on tehtävä olemassa olevalla parhaalla mahdollisella mahdollisimman hyvin kiskonjalassa pysyvällä materiaalilla.

Kiskoon tehtävää merkintää tulee käyttää siellä, missä kaarrepaaluja ei jostain syystä voi tai ei ole tarkoituksenmukaista käyttää, kuva 2.10:8.



Kuva 2.10:8 Kaarretiedot merkittynä kiskoon.



## 2.10.6 Raiteen aseman laatuvaatimukset

### 2.10.6.1 Yleistä

Raiteen teoreettinen asema on määritetty raiteen geometrisessa suunnittelussa. Raiteen aseman on vastattava toleranssiensa rajoissa suunnitelman mukaista raiteen asemaa. Poikkeamat edellä mainittujen suunnitelmien mukaisesta tilanteesta eli raiteen aseman poikkeamat on todettava aina maastossa mittausperustalta tehtyjen mittausten ja vastaavien suunnitelmätietojen erona.

Raiteen aseman laatuvaatimukset koskevat sähköistettyjen ja jatkuvakiskoisten ratojen pää- ja sivuraiteita sekä muiden ratojen niitä raiteita, joilla on henkilöjunaliikennettä.

Raiteen aseman laatuvaatimukset on esitetty suurimpina sallittuina poikkeamina sekä liikenteen käytössä olevan että uuden tai juuri kunnostetun raiteen asemalle.

Joissakin erikoistapauksissa toleransseja voivat pienentää ATU:n tai muut määräykset. Kiinteän rakenteen suuntaan poikkeamia ei sallita ollenkaan tapauksissa, joissa rakenteen suunniteltu etäisyys raiteesta on ATU:n minimin mukainen tai sähköturva-etäisyyden sallima pienin etäisyys. Esimerkiksi RAMO:n osassa 16 "Laiturit" annetut laiturien asennustoleranssit pienentävät oheisissa taulukoissa annettuja poikkeamia.

### 2.10.6.2 Raiteen aseman poikkeamat liikenteen käytössä olevalle raiteelle

Liikenteen käytössä olevan raiteen aseman laatuvaatimukset on esitetty taulukossa 2.10:1 suurimpina sallittuina poikkeamina. Mikäli mainitut arvot ylitetään, on tilanne korjattava kunnossapitotoimin kohtuulliset kunnossapitokustannukset, resurssit, juna-turvallisuus ja tyydyttävä junan kulku huomioon ottaen.

**Taulukko 2.10:1 Raiteen aseman suurimmat sallitut poikkeamat liikenteen käytössä olevalle raiteelle.**

Suurin sallittu nopeus [km/h]	Sivupoikkeama [mm]		Korkeuspoikkeama [mm]	
	Lk- / Pk-raide	Jk-raide	Lk-/ Pk-raide	Jk-raide
≤ 250		± 50		+ 50, - 150
≤ 120	± 120	± 80	+ 100, - 250	+80, - 200

Raiteen aseman sivupoikkeaman suurin sallittu muutos suhteessa mittakantaan on määritetty RAMO:n osassa 13 ja suhteessa kiskon jännitystilaan kaarissa RAMO:n osassa 19.

### 2.10.6.3 Raiteen aseman poikkeamat raiteen noston, oikomisen ja tuennan jälkeen

Uuden tai juuri kunnostetun raiteen aseman laatuvaatimukset on esitetty taulukossa 2.10:2 suurimpina sallittuina poikkeamina. Mikäli mainittuja raiteen aseman arvoja ei saavuteta päällysrakennetyökoneen ensimmäisellä työskentelykerralla, on työ uusittava ja varmistauduttava, että laatuvaatimukset saavutetaan.

**Taulukko 2.10:2 Raiteen aseman suurimmat sallitut poikkeamat uudelle tai kunnostetulle raiteelle.**

Suurin sallittu nopeus [km/h]	Sivupoikkeama [mm]		Korkeuspoikkeama [mm]	
	Lk-/Pk-raide	Jk-raide	Lk-/Pk-raide	Jk-raide
≤ 250		± 20		+ 10, - 20
≤ 120	± 50	± 30	+20, -50	+ 10, - 30

Raiteen aseman sivupoikkeaman suurin sallittu muutos suhteessa mittakantaan on määritetty RAMO:n osassa 13 ja suhteessa kiskon jännitystilaan kaarissa RAMO:n osassa 19.

### 2.10.7 Työturvallisuus

Ratateknisiä mittaus- ja kartoitustehtäviä tekevien on tunnettava työturvallisuuden kannalta olennaiset työturvallisuuteen liittyvät vaaratekijät. Mittaus- ja kartoitustehtävät tapahtuvat yleensä liikenteen alaisella radalla. Tällöin on otettava huomioon:

- ratatyöntekijöiden pätevyysvaatimukset
- sähkörataa koskevat määräykset
- työ aukean tilan ulottuman (ATU) sisällä
- työ rautatiealueella
- raiteen ylittäminen.

Mittaus- ja kartoitustöissä käytettävien välineiden kanssa on oltava erityisen varovainen sähköistetyillä radoilla. Korkeasta jännitteestä johtuen sähköiskun vaara on olemassa, vaikka työvälineet eivät vielä koskisikaan jännitteenalaisiin rakenteisiin. Turvaetäisyys jännitteisistä rakenteista on oltava aina vähintään 2 metriä. Erityistä huomiota on kiinnitettävä pitkien tai korkealle ulottuvien mittalaitteiden kanssa työskenneltäessä ja liikuttaessa. Tällaisia välineitä ovat esim. vaaituslatta, prisma-auva, GPS/GLONASS-antennisauva ja GPS/GLONASS tukiaseman radiomodeemin antenni.

## Viitteet

- /1/ Numeerisen kartoituksen maastomittausohjeet, Geodesian laboratorio, 1991
- /2/ Kaavoitusmittausohje, Maanmittaushallitus, 1983
- /3/ Maastomittauksen laskentakaavoja, Teknillinen korkeakoulu, 1992
- /4/ Maastomallimittaukset, Tielaitos, 1994
- /5/ Ohjeet tarkan fotogrammetrisen kartoitusmittauksen suorittamista varten, Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen Seura, 1/1993
- /6/ Radan suunnitteluohje, Ratahallintokeskus, 2000
- /7/ Sähköistyksen kiinteiden rakenteiden suunnittelu ja rakentaminen SSR I, II ja III, 1978
- /8/ Yleisohje johdoista ja kaapeleista Ratahallintokeskuksen alueella, Toimintaperusteet, Ratahallintokeskus 1473/829/98

## Kallistuvakorisen junan Sm3 (Pendolino) nopeus

Laskelmissa oletetaan, että kallistusjärjestelmän viive on nolla. Vaihteissa, ilman kallistusta olevissa kaarteissa ja osuuksilla, joissa korin kallistus ei ole toiminnassa ( $V \leq 70$  km/h), suurin sallittu nopeus määräytyy tavallisten junien määräysten ja ohjeiden mukaan.

Kaaren ja korikaaren yhteydessä tarvitaan siirtymäkaari, jos poikittaiskiihtyvyyden muutos on yli  $0,3 \text{ m/s}^2$  (kallistuksen vajauksen muutos korkeintaan 49 mm).

Matkustajien mukavuuden vuoksi välisuoran, ympyränkaaren ja siirtymäkaaren minimipituudeksi suositellaan vähintään 0,5...1,0 sekunnin ajoaikaa vastaavaa pituutta. S-kaarissa välisuorasta ei ole etua, mutta peräkkäisissä siirtymäkaarissa suositellaan käytettäväksi samaa kallistusviistettä.

Kallistuvakorisen junan Sm3 nopeus ja siihen liittyvät kriteerit lasketaan kaavojen 1...8 avulla.

$$V = \sqrt{12,96R(a_q + \frac{h}{163})} \quad (1)$$

$$a_q = \frac{V^2}{12,96R} - \frac{h}{163} \quad (2)$$

V = nopeus kaareissa [km/h]

R = kaarresäde [m]

$a_q$  = poikittaiskiihtyvyys raiteen tasossa ( $\leq 1,8 \text{ m/s}^2$ )

h = raiteen kallistus [mm]

$$a_k = 0,2a_q^* \quad , \text{ kun } a_q \leq 1,706 \text{ m/s}^2 \quad (3)$$

$$a_k = a_q - 1,365 \quad , \text{ kun } a_q > 1,706 \text{ m/s}^2 \quad (4)$$

$a_k$  = poikittaiskiihtyvyys vaunun lattian tasossa ( $\leq 0,65 \text{ m/s}^2$ )

<sup>\*</sup>) teoreettinen arvo, kun kompensatiokerroin on 80 %

$$da_k/dt = a_k V / (3,6L) \quad (5)$$

$da_k/dt$  = nykäys vaunun lattian tasossa ( $\leq 0,60 \text{ m/s}^3$ )

L = klotoidin muotoisen siirtymäkaaren pituus tai neljännen asteen paraabelin muotoisen siirtymäkaaren pituus jaettuna 1,4:llä [m]

$$\alpha = \{(a_q - a_k) / g\} \times 180 / \pi \quad (6)$$

$$= 4,67a_q \quad , \text{ kun } a_q \leq 1,706$$

$$= 8^\circ \quad , \text{ kun } a_q > 1,706$$

$\alpha$  = korin kallistuskulma ympyräkaareissa raiteeseen verrattuna ( $\leq 8^\circ$ )

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

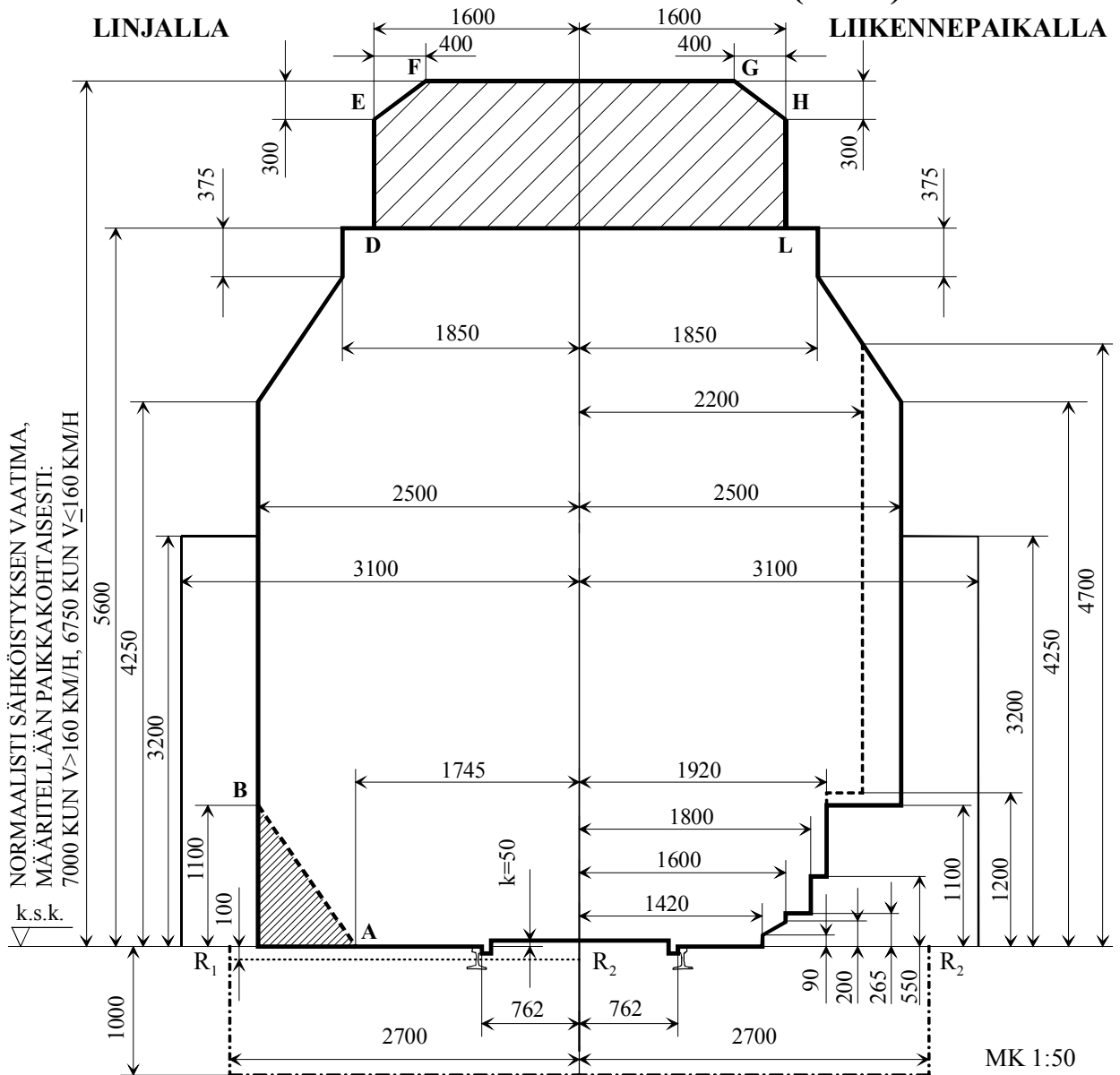
$$\alpha' = \alpha V / (3,6L) \quad (7)$$

$\alpha'$  = korin kallistusnopeus raiteeseen verrattuna ( $\leq 5 \text{ }^\circ/\text{s}$ )

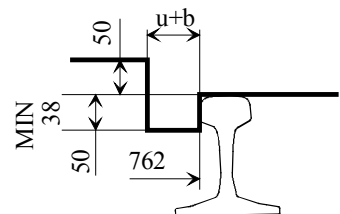
$$V_{\max} = 3,6\sqrt{S} \quad (8)$$

S = kaltevuustaitteen pyöristyssäde [m]

## AUKEAN TILAN ULOTTUMA (ATU)



- rajaviiva pääraiteen ulottumalle
  - - - rajaviiva sivuraiteen ulottumalle
  - ▨ varattu aidoille, raideopastimille ja viereisen raiteen tukikerrokselle
  - rajaviiva pylväiden ym. 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 mm kapein kohta risteys-vastakiskosovituksessa
  - = 75 mm tasoristeyksissä ja vast. paikoissa
- $b$  = laippauran levitys kaarteessa  
 $k = 50$  mm, kun pystytason pyöristyssäde  $S > 1000$  m  
 $k = 0$  mm, kun pystytason pyöristyssäde  $S = 500$  m  
 $k$  kasvaa lineaarisesti 0... 50 mm pyöristyssäteen kasvaessa vastaavasti 500...1000 m
- ▨ sähköistetyt ja sähköistettävät raiteet

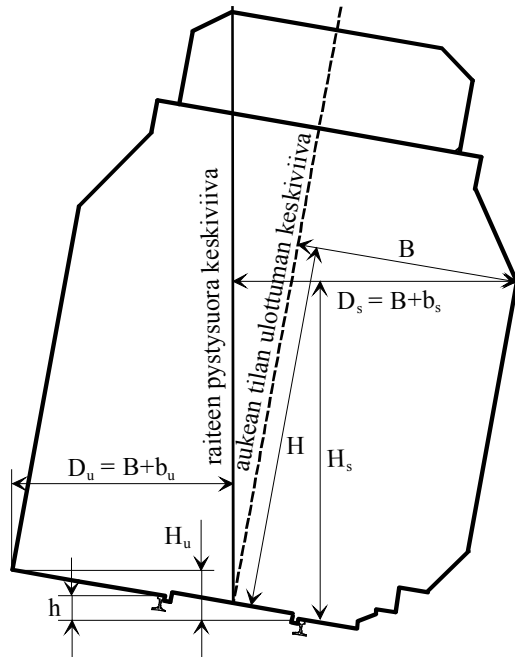


LAIPPAURA

1:10

# ATU:N LEVITYS KAARTEESSA

kuva 1



## LIKIMÄÄRÄISET KAAVAT

$$(1) D_s = \frac{36000}{R} + H \frac{h}{1600} + B$$

$$(2) D_u = \frac{36000}{R} - H \frac{h}{1600} + B$$

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

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

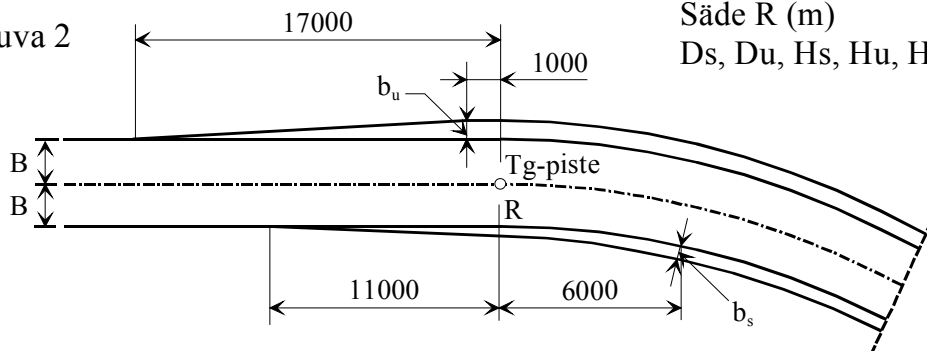
1) kaavassa termi  $\frac{36000}{R} = 0$ ,  
kun  $H > 5600$  mm

$B$  = ATU:n puolileveys  
suorassa raitessa

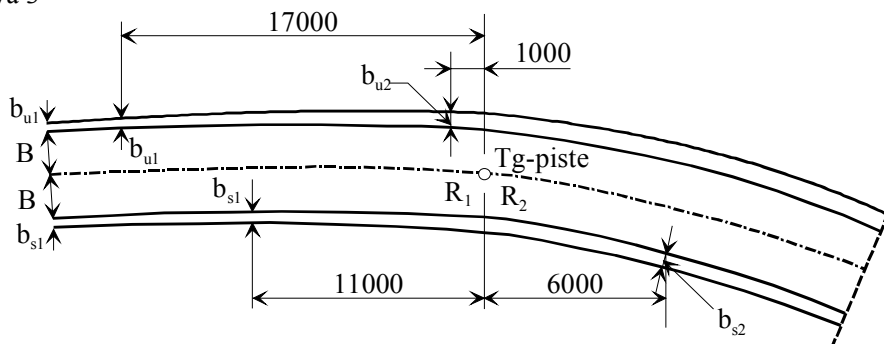
Säde  $R$  (m)

$D_s, D_u, H_s, H_u, H, h, B, b_s, b_u$  (mm)

kuva 2



kuva 3



$B$  = ATU:n puolileveys suorassa raitessa

$b_u$  = ATU:n levitys kaarteeseen ulkopuolella

$b_s$  = ATU:n levitys kaarteeseen sisäpuolella

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

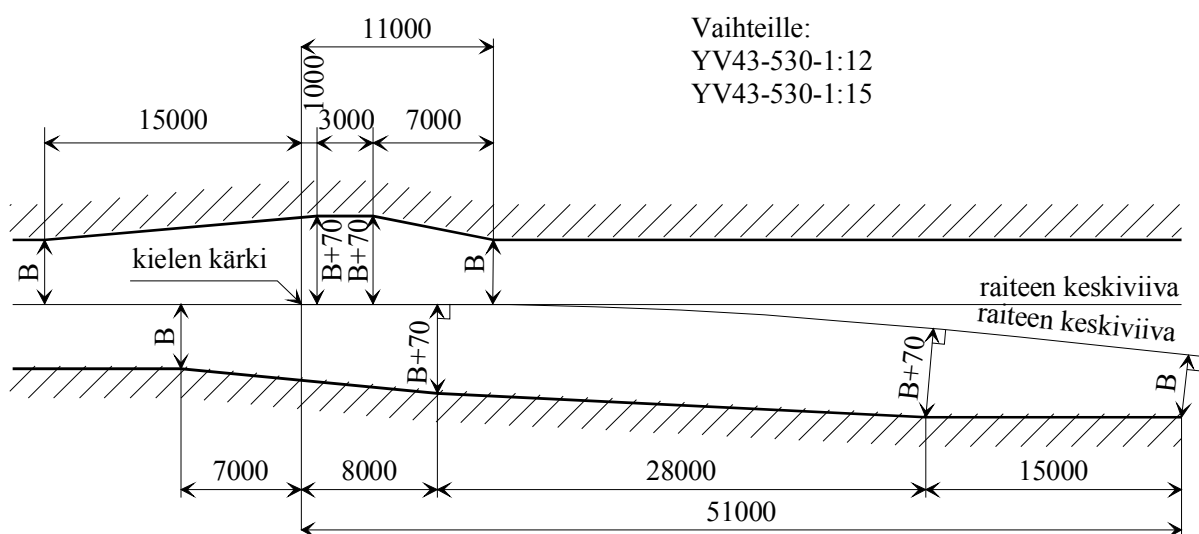
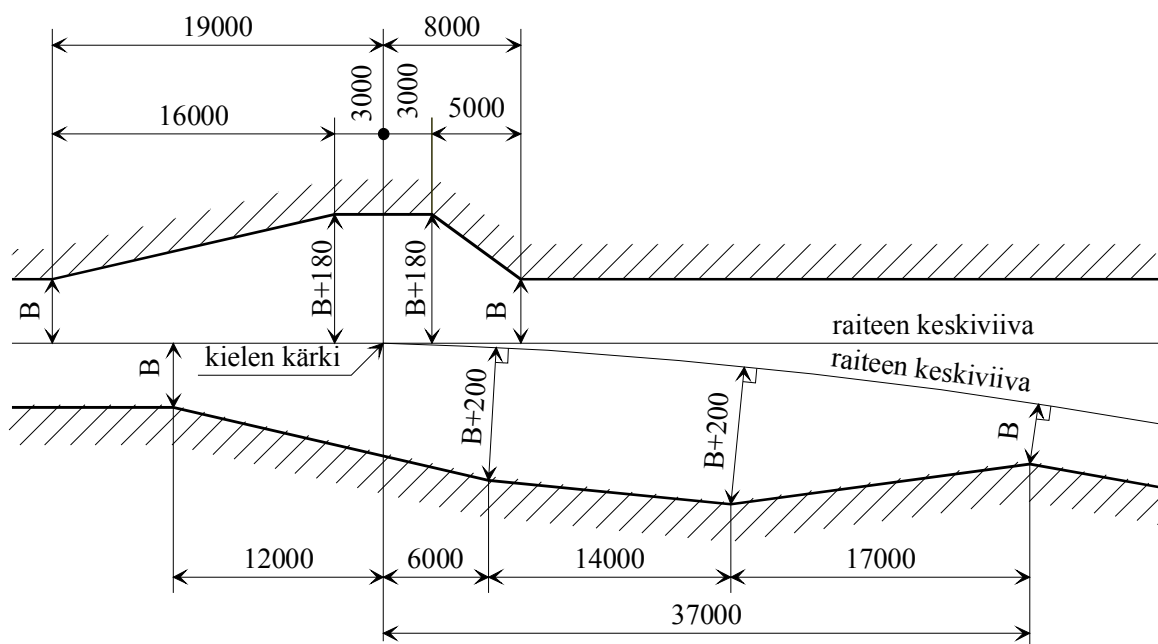
$b_{s1}$  = sädettä  $R_1$  vastaava ATU:n levitys kaarteeseen sisäpuolella

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

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

# ATU:N LEVITYS VAIHTEISSA

Vaihteille joiden poikkeavan raiteen säde  $\leq 300$  m

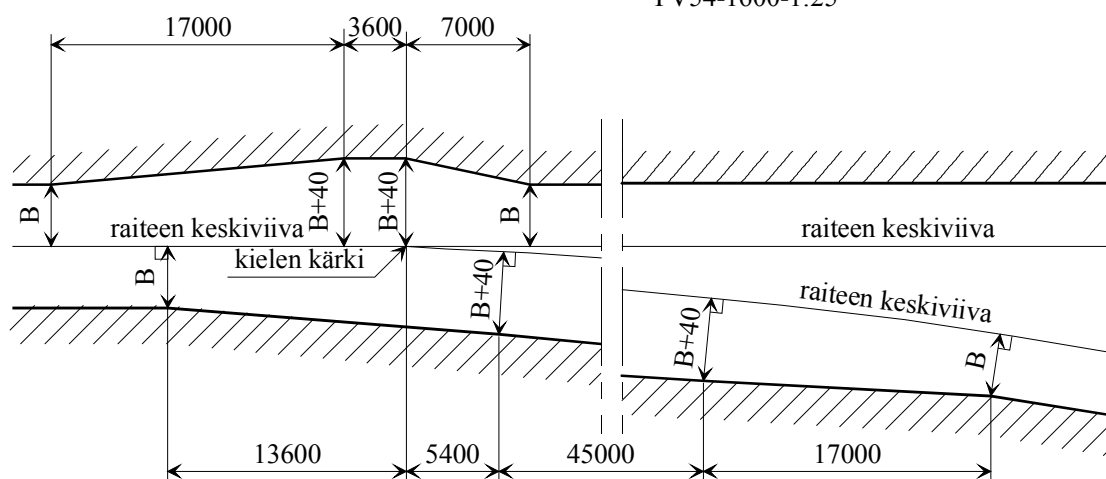


Vaihteille:  
YV43-530-1:12  
YV43-530-1:15

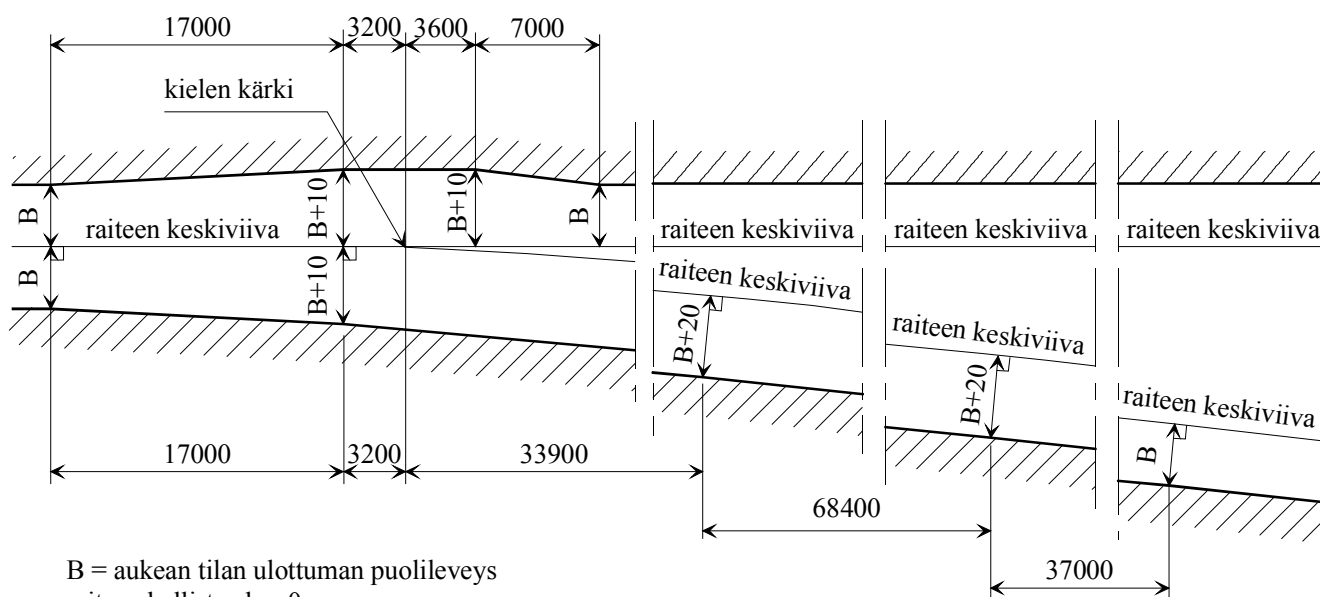
B = aukean tilan ulottuman puolileveys  
raiteen kallistus  $h = 0$

## 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

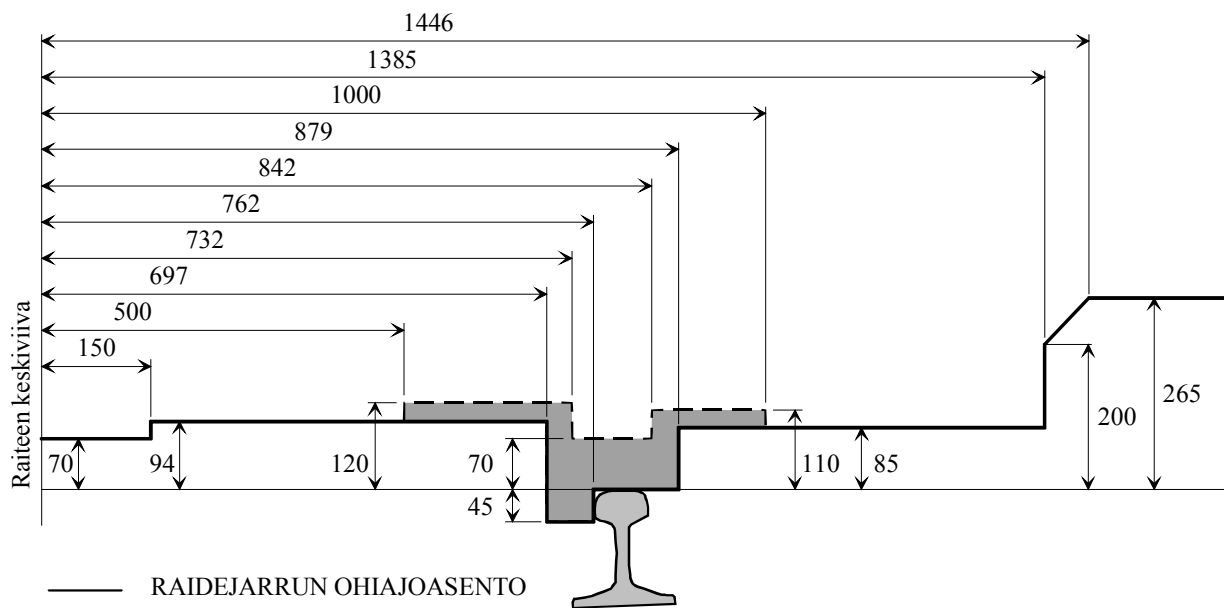


B = aukean tilan ulottuman puolileveys  
 raiteen kallistus  $h = 0$



**RAIDEJARRUN SIJOITUS**

ATU, alaosa erikoistapauksissa



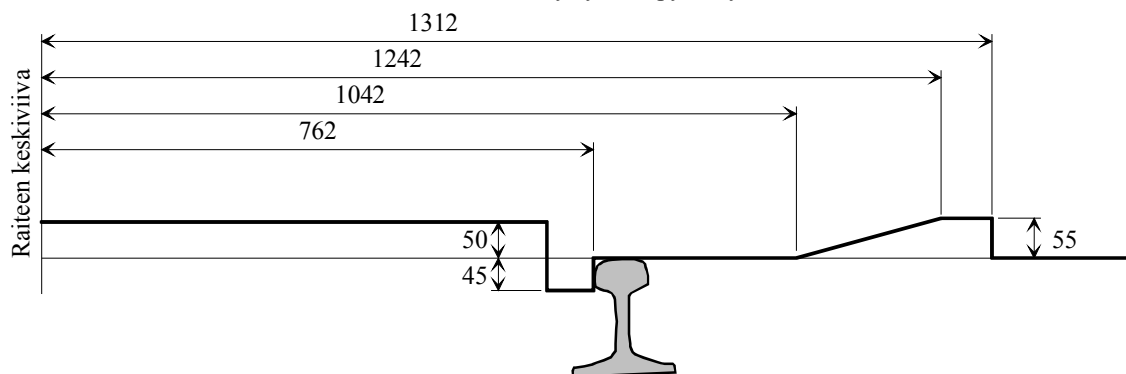
— RAIDEJARRUN OHIAJOASENTO

▬ JARRUTUSASENTO, alueella olevat raidejarrun jarrutusasennossa olevat osat vaunun pyörä siirtää sivuun, painaa alas tai kieräyttää mukana.

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

**RAITEENSULUN SIJOITUS**

Pystytason pyöristyssäteen S on oltava vähintään 1000 m

**VAIHTEEN VASTAKISKON JA KÄÄNTÖLAITTEEN AURAUSSUOJAN SIJOITUS**