

[Etusivu](#) » **Ratasuunnittelu**

# Pääkaupunkiseudun raitiotien suunnitteluohje

## Ratasuunnittelu

Radan geometrian ja rakenteiden mitoitusrvojen lähtökohtia ovat turvallisuus, matkustusmukavuus, matka-aika, kaluston kulkuominaisuudet, sekä kohtuulliset rakentamis- ja kunnossapitokustannukset.

Teknisten suunnitteluperusteiden rajat ovat vähimmäis- ja enimmäisarvoja. Niiden mukaan suunnittelu on äärimmäisin hyväksyttävä ratkaisu. Niitä ei tule käyttää jatkuvana mitoituksena, vaan on käytettävä korkeintaan suositeltavia maksimi- ja minimiarvoja. Normaaliarvojen ja lupa-arvojen välisiä arvoja voidaan kuitenkin käyttää ilman radanhaltijan erillistä lupaa.

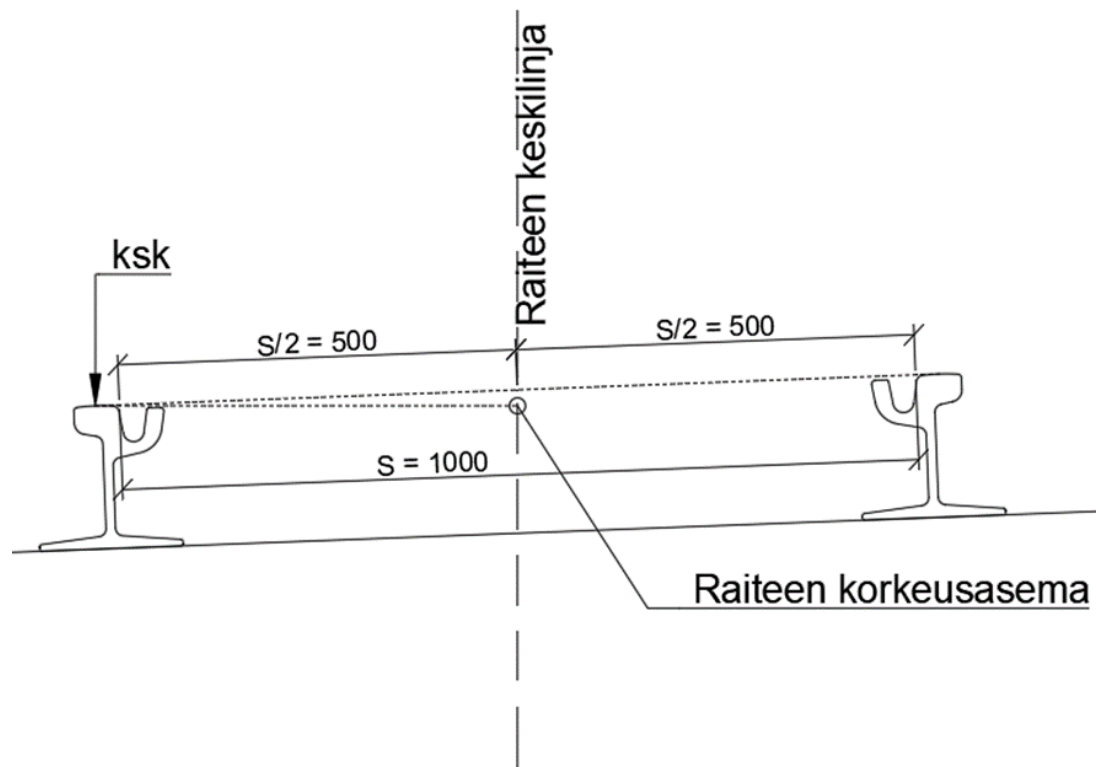
Nykyisen raitiotien parantamisen yhteydessä joudutaan usein poikkeamaan normaaliarvojen käyttämisestä. Erityisistä syistä voidaan joutua käyttämään myös tämän ohjeen lupa-arvoja, joiden käyttäminen on sallittua vain radanhaltijan luvalla.

## Raiteen teoreettinen asema radan suunnittelussa

Raiteen asema määritellään paikallisesti käytettävässä koordinaatistossa. Raiteen asema määritetään vaakatasossa raiteen keskiviivalle ja pystytasossa kiskon selän tasoon. Pituusmittojen yksikkö on metri, Kulmien mittayksikkö on aste (°).

## Raiteen keskilinja

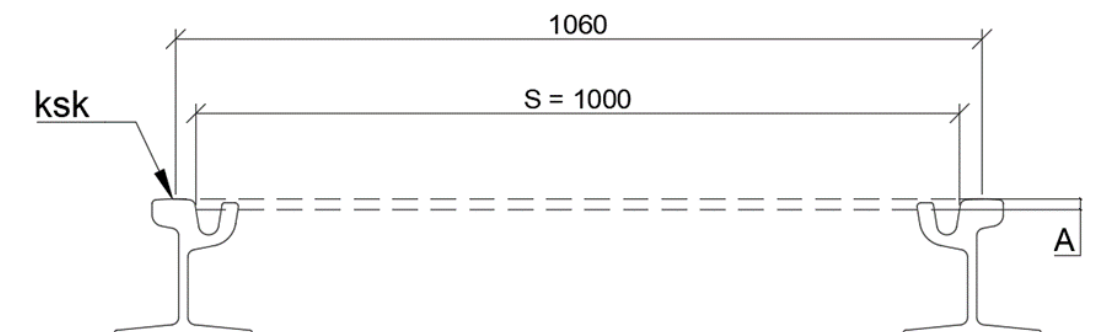
Raiteen keskilinjalla tarkoitetaan linjaa, jonka etäisyys nimellismittaisessa raiteessa on ajopinnan tangenttilinjan tasossa sama molempien kiskojen kulkureunasta. Kallistamattomassa suorassa raiteessa nimellisetäisyys mittapisteistä on 500 mm.



**Kuva 1.** Raiteen keskilinan sijainti.

## Kiskon mittapiste

Kiskon mittapisteen korkeus A kiskon selän korkeudesta riippuu raiteen kiskoprofiilista.



**Kuva 2.** Kiskon mittapisteen sijainti.

| Kiskoprofiili | Mittapisteen korkeus kiskon selästä A (mm) |
|---------------|--------------------------------------------|
| 59R1          | -10                                        |
| 59R2          | -14                                        |
| 60R1          | -10                                        |
| 60R2          | -14                                        |
| 49E1          | -14                                        |
| 53R1          | -14                                        |
| 54E1          | -14                                        |
| 54G1          | -14                                        |

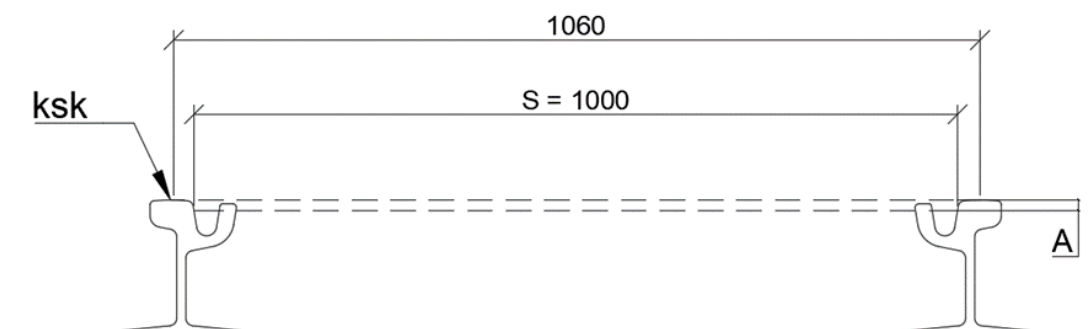
**Taulukko 1.** Kiskon mittapisteen sijainti kiskon selän korkeuteen nähden.

## Raiteen korkeusasema

Raiteen korkeusasema sidotaan viivaan, joka määrittelee raiteen korkeuden kiskon selän korkeutena (ksk). Suoralla tai kallistamattomalla raiteella korkeus määritellään jommastakummasta kiskosta. Kallistetussa kaarteessa korkeusviiva määritellään sisäkaarten kiskon selästä.

## Raideleveys

Pääkaupunkiseudun raitioteiden raideleveyden nimellismitta on 1000 mm. Raideleveys  $S$  mitataan kiskon mittapisteiden välillä.

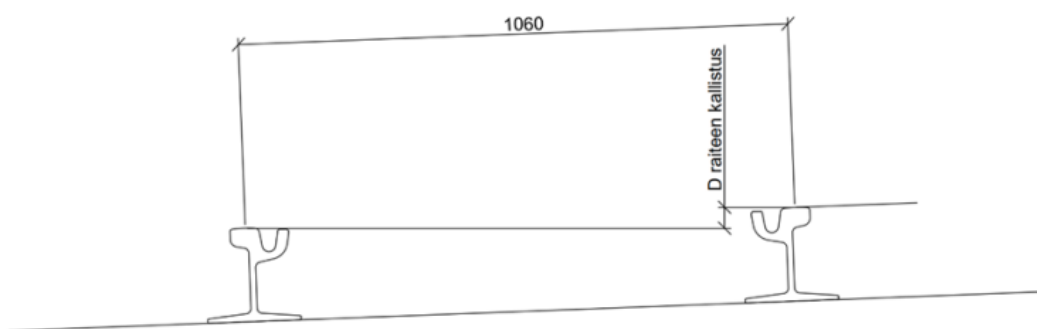


**Kuva 3. Raideleveys.**

## Raiteen kallistus

Raiteen kallistus on sisä- ja ulkokiskon korkeusero mitattuna kiskojen päältä. Suunnitellut kallistukset pyöristetään lähimpään viiteen millimetriin. Kallistus merkitään  $D$ .

Kallistuksen laskennassa kiskojen yläpintojen etäisyydeksi oletetaan 1060 mm, kiskotyypistä riippumatta.



**Kuva 4. Raiteen kallistus.**

## Raideväli

Kahden vierekkäisen raiteen raideväli ilmoitetaan raiteiden keskilinjojen etäisyytenä toisistaan.

Kiintoraiteella pienin sallittu raideväli on 3,0 m.

Sepeliraiteella raidevälin vähimmäisarvo on 3,1 m, raidevälin lupa-arvo on 3,0 m.

Kaarteessa vaadittavat raidevälit on taulukoitu kohdassa *ATU:n kaarrelevitys pääkaaren alueella*.

## Raiteen vaakageometria

## Suoran ja ympyräkaaren pituus

Ympyränkaarien ja suorien 2 s. ajoaikaan perustuva suosituspituus on esitetty alla olevalla kaavassa

$$L = 0,57 \cdot V$$

**Kaava 1.** Suoran ja kaaren minimipituus

jossa  $L$  on elementin pituus metreissä ja  $V$  on nopeus yksikössä km/h.  
Vaakageometrian elementin pituuden lupa-arvo on 6 m.

## Ympyräkaaren mitoitus

Sivuttaiskiihtyvyyden  $a_q$  tulee kaarteessa olla välillä 0,2–0,65 m/s<sup>2</sup>.  
Sivuttaiskiihtyvyyden lupa-arvo on 0,98 m/s<sup>2</sup>.

Sivuttaiskiihtyvyys kaarteessa lasketaan kaavalla

$$a_q = \frac{V^2}{3,6^2 \cdot R} - \frac{D}{108}$$

**Kaava 2.** Sivuttaiskiihtyvyys

Jossa  $a_q$  on sivuttaiskiihtyvyys [m/s<sup>2</sup>],  $V$  on nopeus [km/h],  $r$  on kaarresäde [m] ja  $D$  on raiteen kallistus millimetreissä.

Taulukko 33 on luetteloitu sivuttaiskiihtyvyyden enimmäisarvolle  $a_q = 0,65 \text{ m/s}^2$  lasketut vähimmäiskaarresäteet eräille tavanomaisille liikennöintinopeuksille ja raiteen kallistuksen arvolle.

| Nopeus (km/h)                         |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Raite<br>en<br>kal-<br>listus<br>(mm) | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |

|    |    |    |     |     |     |     |     |     |
|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0  | 27 | 48 | 107 | 190 | 297 | 428 | 582 | 760 |
| 5  | –  | –  | 100 | 178 | 278 | 399 | 543 | 710 |
| 10 | –  | –  | 94  | 167 | 260 | 375 | 510 | 666 |
| 15 | –  | –  | 89  | 157 | 245 | 353 | 480 | 626 |
| 20 | –  | –  | 84  | 148 | 231 | 333 | 453 | 592 |
| 25 | –  | –  | 79  | 141 | 219 | 316 | 429 | 561 |
| 30 | –  | –  | 75  | 134 | 208 | 300 | 408 | 533 |
| 35 | –  | –  | 72  | 127 | 199 | 286 | 389 | 507 |
| 40 | –  | –  | –   | 121 | 190 | 273 | 371 | 484 |
| 45 | –  | –  | –   | 116 | 181 | 261 | 355 | 463 |
| 50 | –  | –  | –   | 111 | 174 | 250 | 340 | 444 |
| 55 | –  | –  | –   | 107 | 167 | 240 | 327 | 426 |
| 60 | –  | –  | –   | 103 | 161 | 231 | 314 | 410 |
| 65 | –  | –  | –   | 99  | 155 | 222 | 303 | 395 |
| 70 | –  | –  | –   | 96  | 149 | 214 | 292 | 381 |

**Taulukko 2.** Sivuttaiskiihtyvyyden perusteella lasketut kaarresäteet nopeuden ja kallistuksen mukaan.

## Raiteen kallistuksen mitoitus

Kaarteissa raidetta voidaan kallistaa matkustajiin kohdistuvan sivuttaiskiihtyvyyden sekä kalustoon ja rataan kohdistuvien vaakavoimien kompensoimiseksi. Kallistuksen mitoitus perustuu liikennöintinopeuteen.

Liikennöintinopeuteen nähden liian pienet raiteen kallistukset tuntuvat sivukiihtyvyytenä ulkokaarteeseen päin, kun taas liian suuret kallistukset tuntuvat sivukiihtyvyytenä sisäkaarteeseen. Yli- tai alimitoitettu kallistus aiheuttaa myös kiskon ja pyörien ennenaikaista kulumista.

## Kallituksen raiteen vähimmäiskaarresäde

Raidetta kallistetaan vain, jos kaarresäde  $R$  on vähintään 70 m.

## Suurin sallittu kallistus

Avoimella päällysrakenteella suurin sallittu kallistuksen arvo  $D$  on 90 mm.

Suljetulla päällysrakenteella suurin sallittu kallistuksen arvo  $D$  on 70 mm.

## Kallistuksen muutos siirtymäkaaren matkalla

Kallistetussa raiteessa kallistuksen muutos tapahtuu lähtökohtaisesti vain siirtymäkaaren matkalla, jolloin pätee:

$$L_k = L_D = \Sigma L_T$$

### **Kaava 3.**

## Kaarteen tasoitus

Siirtymä suoralta kaarteelle tai kahden erisuuruisen kaarteen välillä tehdään siirtymäkaarilla. Siirtymäkaarena voidaan käyttää joko klotoidia tai tasoituskhaarisarjaa. Käytettävä siirtymäkaari tyyppi on määriteltävä hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.

Hankkeessa käytettävän siirtymäkaarityypin valinnassa on huomioitava seuraavat seikat:

| Siirtymäkaarityyppi | Tasoituskhaarisarja                                                                                  | Klotoidi                                                     |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Edut                | Tasoituskhaarisarjan osakaaret voidaan esitaivuttaa Suomessa, mikä lyhentää kiskojen toimitusaikoja. | Mahdollistaa tasoituskhaarisarjaa pidemmät siirtymäkaaret ja |

## suuremmat raiteen kallistukset

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Haitat | <p>Nykäyksen vähimmäisarvo tasoituskaisarjan suurimmalla kaarresäteellä (R=250 m) rajoittaa tasoituskaisarjan suurimmaksi sallituksi nopeudeksi 35 km/h. Kallistusviisteen enimmäisarvo rajoittaa tasoituskaisarjalla tasoitettun kaartein kallistuksen 25 mm:n.</p> | <p>Ympyränkaaren säteen R ollessa pienempi kuin 300 m, siihen liittyvän klotoidin kiskot on esitaivutettava. Esitaivutetut kiskot on tilattava ulkomailta.</p> |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### **Taulukko 3.** Siirtymäkaarityyppien etuja ja haittoja.

## Klotoidin käyttö siirtymäkaarena

Pikaraitiotiellä siirtymäkaarena käytetään klotoidia, jolle pätee

$$L_n R_n = A^2$$

### **Kaava 4.**

Jossa  $L_n$  on klotoidin pituus suoralta pisteeseen  $n$ ,  $R_n$  klotoidin säde pisteessä  $n$  ja  $A$  klotoidin parametri.

Klotoidin pituus merkitään  $L_k$ .

Kallistamattomassa raiteessa siirtymäkaaren pituus mitoitetaan nykäyksen perusteella.

Kallistetussa raiteessa siirtymäkaaren pituus mitoitetaan nykäyksen ja kallistusviisteen perusteella. Pidemmän siirtymäkaaren antava laskentatapa on määräävä.

## Tasoituskaisarjan käyttö siirtymäkaarena

Raitioteiden siirtymäkaaret toteutetaan tasoituskaisarina, jotka koostuvat tasoitusjaksoista. Tasoitusjaksoista johtuen kaartein pääkaaren säde jää pienemmäksi kuin vastaavan suorien osuuksien väliin piirretyn tasasäteisen kaaren säde. Lisäksi tasoitettu kaarre leikkaa kulman sisempää kuin vastaava tasasäteinen kaari, ja kaarre ulottuu tasoitusjaksojen takia pidemmälle suoran suuntaan. Mittojen erot tasoitettun ja tasoitamattoman kaaren välillä kasvavat kaaren säteen pienentyessä. Tasasäteisen kaaren ja tasoitettun kaaren ero on havaittavissa kuvasta 11.

Tasoituskaisaret toteutetaan sarjana vakiosäteisiä kaaria eli tasoitusjaksoina. Käytettävä sarja valitaan kahdesta vaihtoehdosta pääkaaren säteestä riippuen ja sarjasta käytetään yleensä sen verran jaksoja, että päästään lähelle pääkaaren sädettä. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty tasoituskaisareiden tasoitusjaksot ja niiden pituudet eri käyttötapauksissa.

| Kulmamuuos | 0,5°  | 1°    | 2°    | 3°    | 4°    | 5°    |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R(m)       | 250,5 | 150,5 | 70,5  | 40,5  | 30,5  | 25,5  |
| L(m)       | 2,186 | 2,627 | 2,461 | 2,121 | 2,129 | 2,225 |

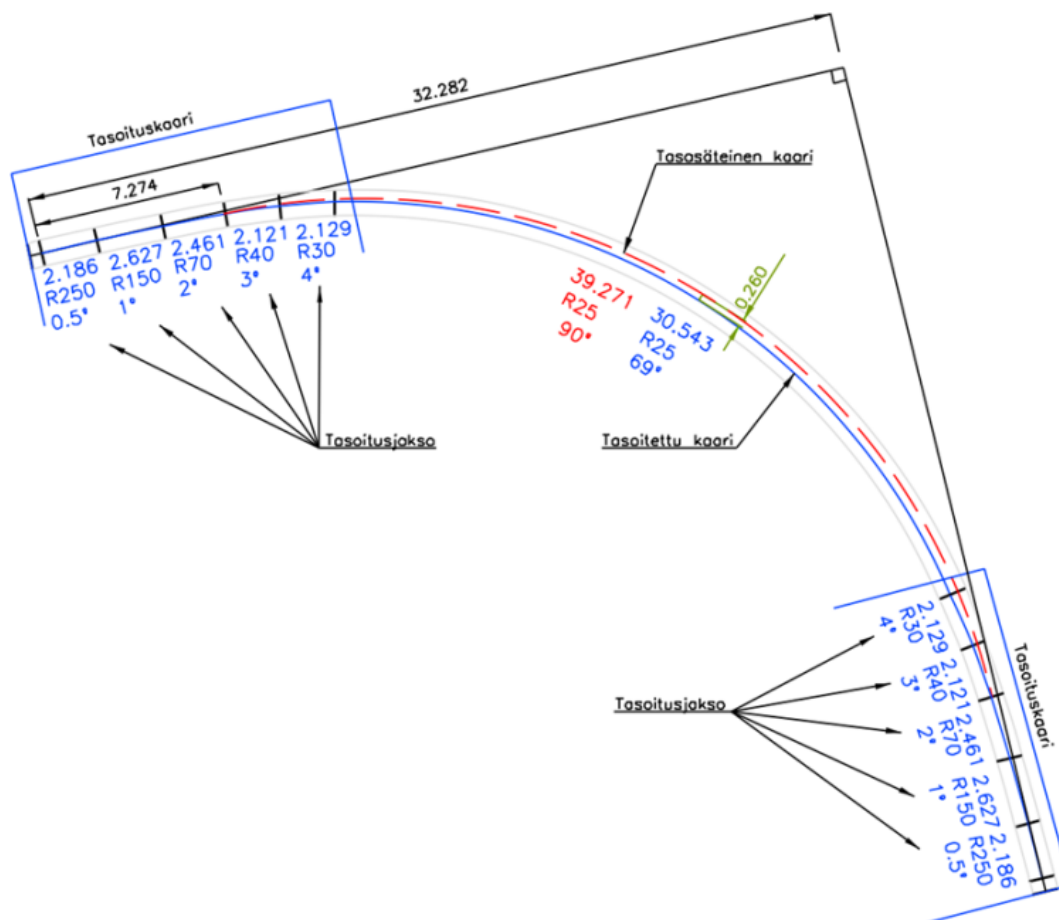
**Taulukko 3.** Tasoituskaisarien tasoitusjaksot, kun  $R < 50$  m.

| Kulmamuuos | 0,5°  | 1°    | 1,5°  | 3°    |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| R(m)       | 250,5 | 150,5 | 100,5 | 70,5  |
| L(m)       | 2,186 | 2,627 | 2,631 | 2,121 |

**Taulukko 4.** Tasoituskaisarien tasoitusjaksot, kun  $R > 50$  m.

Kuva 4 havainnollistaa tasoituskaisarissa käytettäviä tasoitusjaksoja ja vakiosäteisen sekä tasoitettun kaaren mittojen eroja. Kuvassa on 90 asteen tasasäteisen kaaren ja tasoitettun kaaren ero 25 metrin kaarresäteellä. Ero kasvaa säteen pienentyessä.

Kuvassa tasasäteinen kaari on piirretty punaisella katkoviivalla (kaaren pituus on 39,271 metriä). Sinisellä on piirretty eripituiset tasoitusjaksot sekä pääkaaren tasoitettu kaari (kaaren pituus on 30,543 metriä). Sivusiirtymän ero on 0,260 m.



**Kuva 4.** 90 asteen tasasäteisen kaaren (ilman siirtymäkaarta) ja tasoitetun kaaren ero 25 metrin kaar-resäteellä.

## Nykyys

Nykyksen arvo lasketaan

$$C = \frac{v \cdot \Delta a_q}{3,6 \cdot L_D}$$

**Kaava 5.**

Jossa  $C$  on nykyys yksikössä  $\text{m/s}^3$ ,  $v$  nopeus yksikössä  $\text{km/h}$ ,  $\Delta a_q$  sivuttaiskiihtyvyyden muutos siirtymäkaaren pituudella ja  $L_D$  kallistusviisteen pituus. Suurin sallittu nykyys  $C_{\max}$  on  $0,67 \text{ m/s}^3$ .

## Kallistusviiste

Kallistusviisteeksi kutsutaan aluetta, jolle *raiteen kallistus* eli *ulkokiskon ylikorotus* tehdään. Kohtaa, jossa raiteen kallistus on pienimmillään, kutsutaan kallistusviisteen aluksi, ja kohtaa, jossa se on suurimmillaan, kutsutaan kallistusviisteen loppuksi.

Kallistusviisteen enimmäisjyrkkyys  $1/n$  [ $m^{-1}$ ] lasketaan

$$\frac{1}{n} = \frac{\Delta D}{L_D} = \frac{1}{14 \cdot v_e}$$

**Kaava 6.** Kallistusviisteen jyrkkyys, minimiarvo.

Jossa  $\Delta D$  on kiskon korotuksen muutos [mm],  $L_D$  kallistusviisteen pituus [m], ja  $v_e$  suunnittelunopeus yksikössä km/h. Kallistusviisteen enimmäisjyrkkyys on 1:500.

Poikkeustapauksissa kallistusviiste voi olla jyrkempi. Lupa-arvo lasketaan kaavan 7 mukaisesti.

$$\frac{1}{n} = \frac{\Delta D}{L_D} = \frac{1}{10 \cdot v_e}$$

**Kaava 7.** Kallistusviisteen jyrkkyys, lupa-arvo.

Suurin sallittu kallistusviisteen arvo on 1:250.

| Nopeus | Vähimmäisarvo | Lupa-arvo |
|--------|---------------|-----------|
| 20     | 1:500         | 1:250     |
| 30     | 1:500         | 1:300     |
| 40     | 1:560         | 1:400     |
| 50     | 1:700         | 1:500     |
| 60     | 1:840         | 1:600     |
| 70     | 1:980         | 1:700     |

**Taulukko 5.** Kallistusviisteen arvot nopeuden mukaan.

Kallistusviisteen perusteella määräytyvä vähimmäispituus  $l_R$  [m]  
lasketaan kaavan 8 mukaisesti.

$$l_R = \frac{n \cdot D}{1000}$$

**Kaava 8.** Siirtymäkaaren pituus kallistusviisteen perusteella.

Taulukkoon 6 on laskettu siirtymäkaarien pituuksia eräille tavallisimmille liikennöintinopeuksille ja kallistuksen arvoille, olettaen kaarteeseen sivuttaiskiiktyvyyden olevan enimmäisarvon  $a_q = 0.65 \text{ m/s}^2$  mukainen.

|                                       | N    | o    | p    | e    | u    | s    | (km  | /h)  |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Raite<br>en<br>kal-<br>listus<br>(mm) | 15   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   |
| 0                                     | 6,0  | 6,0  | 8,1  | 10,8 | 13,5 | 16,2 | 18,9 | 21,6 |
| 5                                     | 6,0  | 6,0  | 8,1  | 10,8 | 13,5 | 16,2 | 18,9 | 21,6 |
| 10                                    | 6,0  | 6,0  | 8,1  | 10,8 | 13,5 | 16,2 | 18,9 | 21,6 |
| 15                                    | 6,0  | 6,0  | 8,1  | 10,8 | 13,5 | 16,2 | 18,9 | 21,6 |
| 20                                    | 6,0  | 6,0  | 8,4  | 11,2 | 14,0 | 16,8 | 19,6 | 22,4 |
| 25                                    | 6,0  | 7,0  | 10,5 | 14,0 | 17,5 | 21,0 | 24,5 | 28,0 |
| 30                                    | 6,3  | 8,4  | 12,6 | 16,8 | 21,0 | 25,2 | 29,4 | 33,6 |
| 35                                    | 7,4  | 9,8  | 14,7 | 19,6 | 24,5 | 29,4 | 34,3 | 39,2 |
| 40                                    | 8,4  | 11,2 | 16,8 | 22,4 | 28,0 | 33,6 | 39,2 | 44,8 |
| 45                                    | 9,5  | 12,6 | 18,9 | 25,2 | 31,5 | 37,8 | 44,1 | 50,4 |
| 50                                    | 10,5 | 14,0 | 21,0 | 28,0 | 35,0 | 42,0 | 49,0 | 56,0 |
| 55                                    | 11,6 | 15,4 | 23,1 | 30,8 | 38,5 | 46,2 | 53,9 | 61,6 |
| 60                                    | 12,6 | 16,8 | 25,2 | 33,6 | 42,0 | 50,4 | 58,8 | 67,2 |
| 65                                    | 13,7 | 18,2 | 27,3 | 36,4 | 45,5 | 54,6 | 63,7 | 72,8 |

70      14,7      19,6      29,4      39,2      49,0      58,8      68,6      78,4

**Taulukko 6.** Sivuttaiskiihtyvyyden perusteella laskettu klotoidin pituus nopeuden ja kallistuksen mukaan.

---

## Siirtymä kaarelle ilman siirtymäkaaria

Siirtymäkaari voidaan jättää pois, mikäli raiteen kallistus ei muutu ympyränkaarien välillä ja ehdot täyttyvät:

$$v_{max} < 3,6 \cdot \sqrt[3]{C_{max} \cdot l_v \cdot \frac{1000}{\Delta k}}$$

**Kaava 9.**

Jossa kaarevuuden erotus  $\Delta k$  [1/m] on:

$$\Delta k = \frac{1000}{r_2} - \frac{1000}{r_1}$$

**Kaava 10.**

jossa

$$r_1 > r_2$$

Suoralta kaarteelle siirtyessä  $r_1 = \infty$ , jolloin  $1000/r_1 = 0$ . Tällöin kaava yksinkertaistuu muotoon:

$$v_{max} < 3,6 \cdot \sqrt[3]{C_{max} \cdot l_v \cdot r}$$

**Kaava 11.**

Jossa tehollisen siirtymäpituuden  $l_v$  arvona käytetään 6 m.

Vähimmäiskaarresäteet, joilla siirtymäkaarien jättäminen pois on sallittua siirryttäessä suoralta kaarelle, on esitetty taulukossa 3.

**Nopeu****s****(km/h  
)**

| 15 | 20 | 30  | 40  | 50  | 60   | 70   | 80   |
|----|----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 35 | 48 | 144 | 342 | 667 | 1152 | 1829 | 2730 |

**Taulukko 7.** Kaarresäteet, joilla suora-kaari-siirtymä ilman siirtymäkaarta on sallittu.

---

## Siirtymäkaaren aiheuttaman kaaren sivusiirtymän laskenta

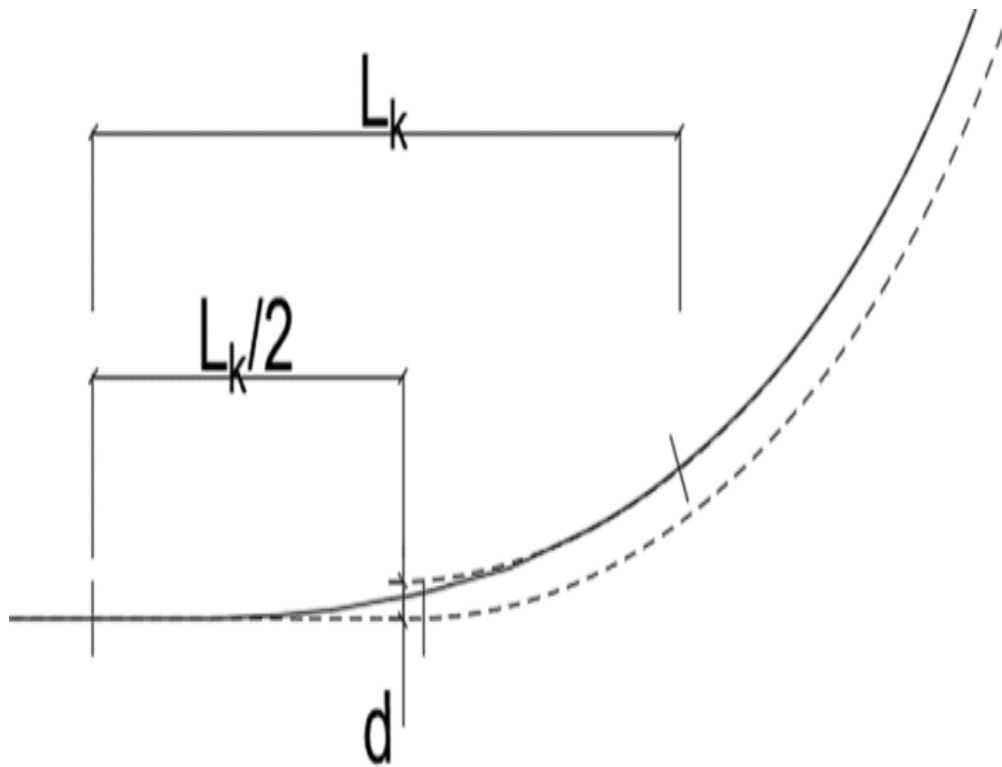
Siirtymäkaaren aiheuttama sivusiirtymä kaareen on tarpeen laskea, mikäli raitiotien geometriaa suunnitellaan työkaluilla, jotka eivät mahdollista siirtymäkaaren geometrialaskentaa.

Siirtymän suuruuteen  $d$  vaikuttaa siirtymäkaaren pituus  $L_k$  ja kaarteeseen kaarresäde  $R$  kaavan 12 mukaisesti. Siirtymä on havainnollistettu kuvassa 5.

$$d = \frac{L_k^2}{24R}$$

**Kaava 12.** Siirtymäkaaren aiheuttama kaaren sivusiirtymä.

Siirtymäkaaren pituus jakautuu kuvan 5 mukaisesti siirtymässä suoralta kaarelle tasan kaaren ja suoran välillä.



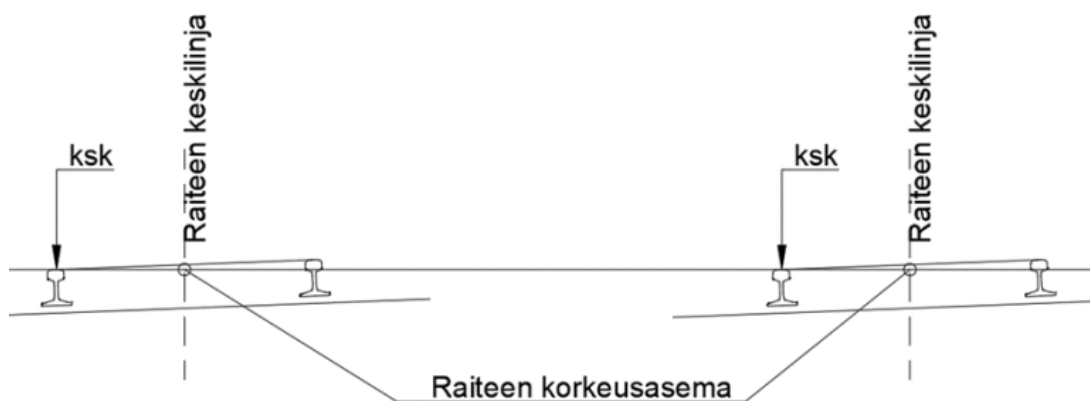
**Kuva 5.** Siirtymäkaaren aiheuttama ympyräkaaren sivusiirtymä.

## Radan taseus

Radan taseus koostuu suorista kallistusjaksoista. Kallistusjaksojen väliset siirtymät toteutetaan ympyräkaaren muotoisilla pyöristyskaarilla.

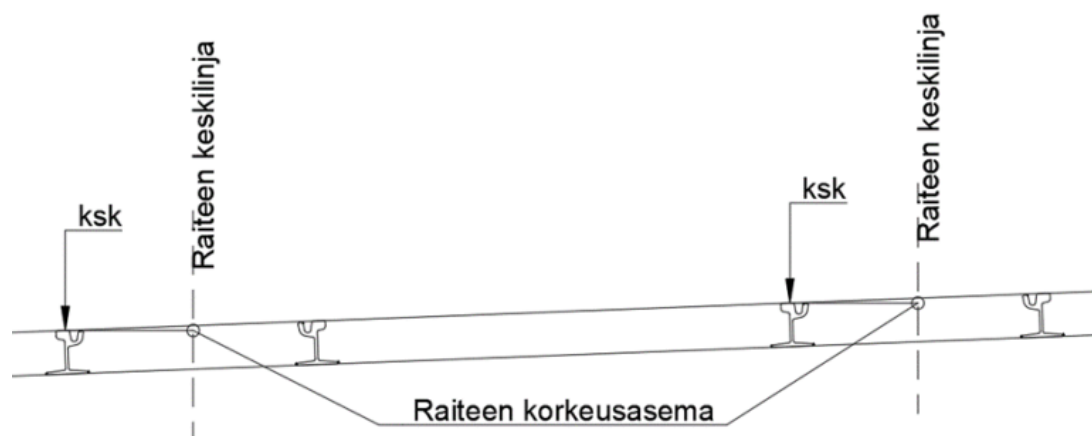
## Raiteiden keskinäinen asema korkeussuunnassa

Raiteiden ksk asetetaan lähtökohtaisesti keskenään samaan tasoon, ellei ympäristö edellytä tästä poikkeamista.



**Kuva 6.** Radan tasausten keskinäinen suhde.

Kun kallistettu kaksi- tai useampiraiteinen rata risteää kadun kanssa, raiteiden tasausten keskinäinen asema on sovitettava kaartessa siten, että raiteiden kulkupintojen tasot osuvat samaan tasoon. Ylityksien tasausten ja kallistusten suunnittelussa on huomioitava kohdan luvun Raitiotien rakenteet kohdan Suljetun ratarakenteen päällysteen muotoilu vaatimukset.



**Kuva 7.** Radan tasausten keskinäinen suhde kallistetun raiteen.

## Kallistusjakson pituuskaltevuus

Kallistusjakson pituuskaltevuuksien vähimmäis- ja enimmäisarvot on luetteloitu taulukossa 8.

|                              | Raitiotie<br>(pika) |               | Kaupunkiraitiotie |               |
|------------------------------|---------------------|---------------|-------------------|---------------|
|                              | Maksimi             | Lupa-<br>arvo | Maksimi           | Lupa-<br>arvo |
| <b>Linjalla</b>              | 4 %                 | 6 %           | 5 %               | 6 %           |
| <b>Vaihteen<br/>alueella</b> | 2 %                 | 3 %           | 2 %               | 2 %           |
| <b>Pysäkeillä</b>            | 2 %                 | 4 %           | 2 %               | 4 %           |
| <b>Varikoilla</b>            |                     | 0,50 %        |                   |               |

**Taulukko 8.** Radan pituuskaltevuuden enimmäis- ja lupa-arvot.

Kallistusjaksoilla on myös vähimmäispituuskaltevuus kiskouran kuivatuksen takaamiseksi, kun raitiotien päällysrakenne edellyttää kiskouran kuivatusta. Kiskouran kuivatusperiaatteet on selostettu luvussa Raitiotien rakenteet kohdassa Radan kuivatus. Vähimmäispituuskaltevuudet ovat on esitetty taulukossa 9.

|                                     | Minimiarvo | Lupa-arvo |
|-------------------------------------|------------|-----------|
| <b>Pituuskaltevuus katulinjalla</b> | 0,70 %     | 0,30 %    |

**Taulukko 9.** Radan vähimmäiskaltevuus.

## Pyöristyssäde

Pyöristyskaaren vähimmäissäde määräytyy kaavan 14 mukaisesti.

$$R = 0,4 \cdot V^2$$

**Kaava 14.** Pyöristyskaaren vähimmäissäde.

Jossa R on pyöristyskaaren säde metreissä ja V liikennöintinopeus yksikössä km/h. Pyöristyskaaren säteen tulee kuitenkin olla vähintään 1000 m.

Pyöristyskaaren säteen lupa-arvo määräytyy kaavan 15 mukaisesti.

$$R = 0,25 \cdot V_{max}^2$$

**Kaava 15.** Pyöristyskaaren lupa-arvo.

| Pyöristyskaaren säde |                   |               |
|----------------------|-------------------|---------------|
| Nopeus               | Vähimmäisarvo (m) | Lupa-arvo (m) |
| <b>20</b>            | 625               | 300           |
| <b>30</b>            | 625               | 300           |
| <b>40</b>            | 640               | 400           |
| <b>50</b>            | 1000              | 625           |

|           |      |      |
|-----------|------|------|
| <b>60</b> | 1440 | 900  |
| <b>70</b> | 1960 | 1225 |

**Taulukko 10.** Pyöristyskaaren säde.

## Pyöristyskaaren sijoittaminen kallistusviisteen kohdalle

Kaltevuustaitteen sijoittamista kallistusviisteen kohdalle tulee lähtökohtaisesti välttää, sillä kallistuksen ja pystysuuntaisen taitteen yhdistelmässä vaunun kiertöjäykkyys saa vaunun kuorman jakautumaan epätasaisesti pyörien välillä, joka aiheuttaa suistumisriskin.

Toistuvasta epätasaisesta kuormittumisesta johtuva kiertyminen aiheuttaa myös vaunun rakenteen väsymistä, joka lyhentää vaunun elinikää.

Mikäli taitteen sijoittamista kallistusviisteen kohdalle ei voida välttää, tulee pyöristyskaaren säteen  $r_a$  täyttää kaavan 16 ehdot.

$$r_a \geq \frac{10 \cdot v_e^3}{n}$$

**Kaava 16.** Pystytaitteen pyöristyksen vähimmäissäde kallistusviisteen kohdalla.

Jossa  $v_e$  on suunnittelunopeus. Kallistusviisteen jakajan  $n$  laskentatapa on esitetty kohdassa x.

Pyöristyskaaren säteen tulee kuitenkin olla vähintään 625 m (arvo sovitettava kaluston ominaisuuksiin).

Pystytaitteen pyöristyksen vähimmäissäteitä kallistusviisteen kohdalla on esitetty taulukossa 12.

|                |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Kallist</b> | <b>15</b> | <b>20</b> | <b>30</b> | <b>40</b> | <b>50</b> | <b>60</b> | <b>70</b> |
| <b>usviist</b> |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>e /</b>     |           |           |           |           |           |           |           |

**Nopeu  
s  
(km/h  
)**

|        |     |     |     |      |      |      |      |
|--------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 1:250  | 625 | 625 | –   | –    | –    | –    | –    |
| 1:300  | 625 | 625 | 900 | –    | –    | –    | –    |
| 1:350  | 625 | 625 | 771 | –    | –    | –    | –    |
| 1:400  | 625 | 625 | 625 | 1600 | –    | –    | –    |
| 1:450  | 625 | 625 | 625 | 1422 | –    | –    | –    |
| 1:500  | 625 | 625 | 625 | 1280 | 2500 | –    | –    |
| 1:600  | 625 | 625 | 625 | 1067 | 2083 | 3600 | –    |
| 1:700  | 625 | 625 | 625 | 914  | 1786 | 3086 | 4900 |
| 1:800  | 625 | 625 | 625 | 800  | 1563 | 2700 | 4288 |
| 1:900  | 625 | 625 | 625 | 711  | 1389 | 2400 | 3811 |
| 1:1000 | 625 | 625 | 625 | 640  | 1250 | 2160 | 3430 |
| 1:1200 | 625 | 625 | 625 | 625  | 1042 | 1800 | 2858 |
| 1:1400 | 625 | 625 | 625 | 625  | 893  | 1543 | 2450 |
| 1:1600 | 625 | 625 | 625 | 625  | 781  | 1350 | 2144 |
| 1:1800 | 625 | 625 | 625 | 625  | 694  | 1200 | 1906 |
| 1:2000 | 625 | 625 | 625 | 625  | 625  | 1080 | 1715 |

**Taulukko 11.** Pystyöörityksen vähimmäissäde nopeuden ja kallistusviisteen mukaan.

---

## Pystytaite vaihteen kohdalla

Vaihteita ei saa sijoittaa pyörityskaaren kohdalle.

## Pystytaite pysäkin kohdalla

Pysäkillä pyöristyskaaren minimiarvo on 3500 m. Lupa-arvo on 1500 m.

Minimiarvoa pienemmillä pyöristyssäteillä tulee selvittää pyöristyksen vaikutus laiturin korkeuteen suhteessa KSK-tasoon. Pyöristys muuttaa ovien suhteellista asemaa KSK-tasoon nähden, jolloin tulee varmistaa, että ovilla on riittävä aukeamistila ja ettei tasoero raitiovaunun ovenkynnyksen ja laiturin välillä muodostu liian suureksi.

## Pystygeometrian elementtien vähimmäispituus

Pystygeometrian elementtien vähimmäispituus lasketaan kaavan 17 mukaisesti.

$$L = \frac{V}{2,4}$$

**Kaava 17.** Pystygeometrian elementin minimipituus.

Jossa  $L$  on elementin pituus (m) ja  $V$  liikennöintinopeus (km/h).  
Pystygeometrian elementin pituuden vähimmäispituus on 12 m.

| Nopeus | Vähimmäispituus |
|--------|-----------------|
| 20     | 12,00           |
| 30     | 12,50           |
| 40     | 16,67           |
| 50     | 20,83           |
| 60     | 25,00           |
| 70     | 29,17           |

**Taulukko 12.** Pystygeometrian elementin vähimmäispituus.

## Vaihteet ja raideristeykset

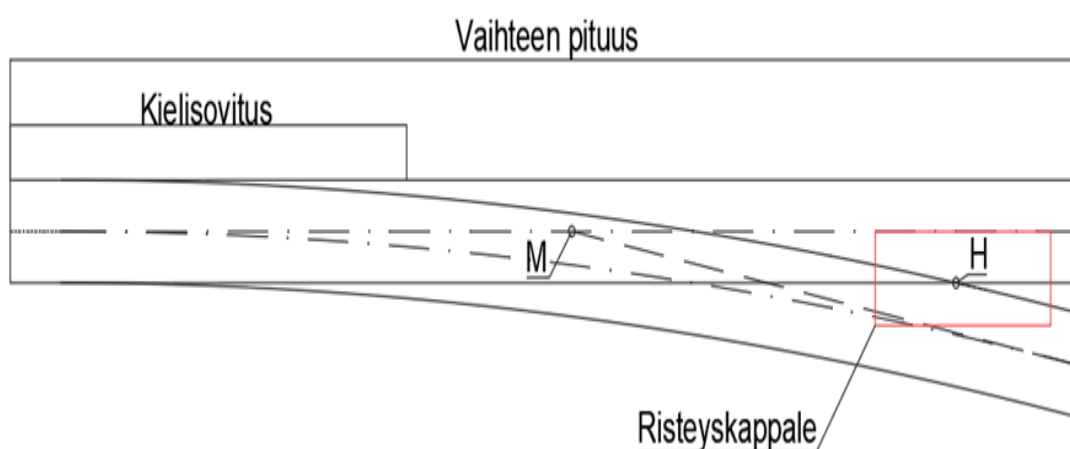
## Vaihteet ja raideristeykset

*Vaihde* on mekaaninen laite, jolla vaunu ohjataan poikkeavalle tai suoraan menevälle raideosalle, ja joka yhdistää eri suunnista tulevat raiteet.

*Raideristeys* on raiteen ylittävä, ristikoista koostuva risteysosa.

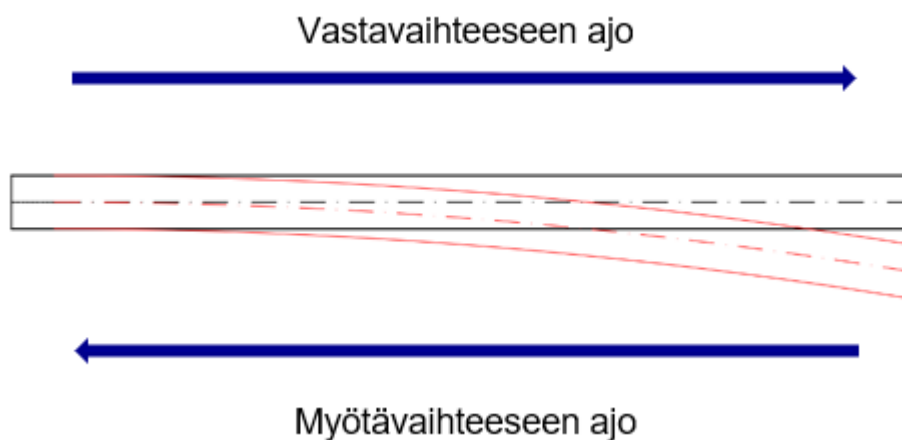
Yksinkertainen vaihde, joka on eniten käytetty vaihdetyyppi, koostuu kielisovituksesta ja risteyksestä.

Vaihteen osat on esitetty kuvissa 8 ja 9.



**Kuva 8.** Vaihteen osat.

Vaihteen ajosuunta merkitään kuvan 10 mukaan.



**Kuva 9.** Vaihteen ajosuunnat.

Vaihteen risteyssuhde on merkitty symbolilla  $\alpha$ .

## Vaihteiden merkintä

Vaihteiden nimeäminen noudattaa seuraavaa kaavaa:

| Vaihdetyyppi | Vaihteen kiskoprofiili | – | Vaihteen kielisovituksen kaarresäde | Kiskon kallistus | – | Vaihteen risteysuhde | – | Vaihteen kätisyys |
|--------------|------------------------|---|-------------------------------------|------------------|---|----------------------|---|-------------------|
| YV           | 60R1                   | – | 100                                 |                  | – | 1:6,154              | – | O                 |
| YV           | 49E1                   | – | 25                                  | P                | – | 1:4                  | – | V                 |

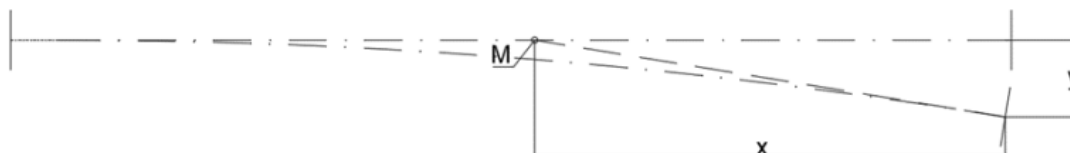
**Taulukko 13.** Vaihteiden nimeäminen.

**Vaihteen kiskoprofiili** ilmoittaa vaihteen liitoskiskojen kiskoprofiilin.

**Vaihteen kielisovituksen kaarresäde** ilmoittaa poikkeavan suunnan kaarresäteen.

**Kiskon kallistuksen puuttuminen** merkitään, mikäli vaihteesta on olemassa versioita sekä kiskon kallistuksella että ilman kiskon kallistusta

**Vaihteen risteysuhde** ilmoittaa vaihteen erkaneman jyrkkyyden matemaattisen pisteen suhteen muodossa  $y/x$ .



**Kuva 10.** Vaihteen risteysuhde.

**Vaihteen kätisyys** ilmoitetaan suhteessa vastavaihdesuuntaan.

## Vaihdetyypit

Vaihdetyypit ja näiden lyhenteet on lueteltu alla.

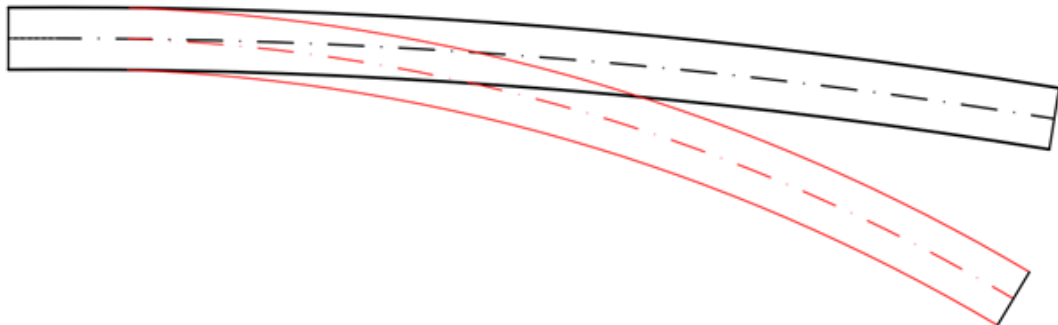
### Yksinkertainen vaihde YV, oikea



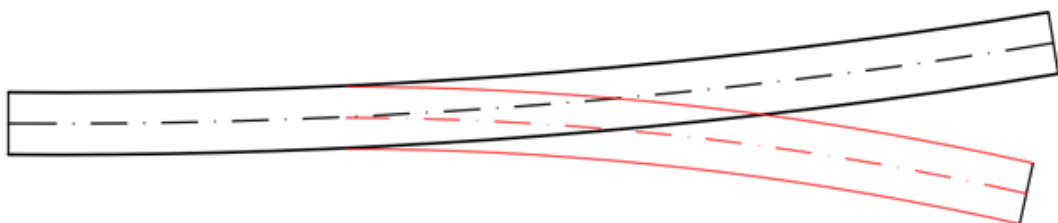
### Yksinkertainen vaihde YV, vasen



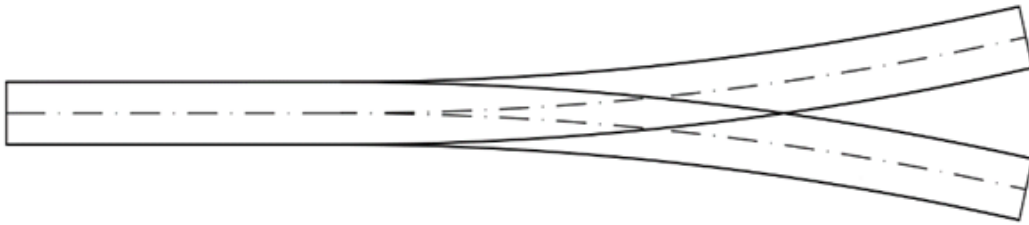
### Sisäkaarrevaihde SKV



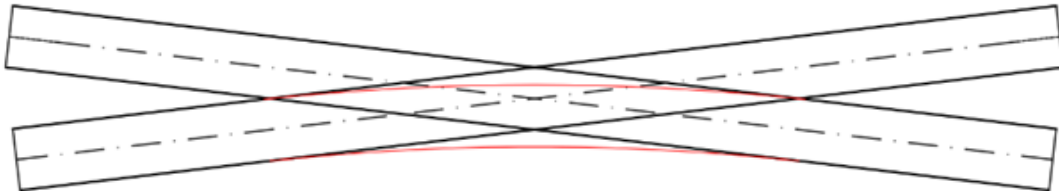
### Ulkokaarrevaihde UKV



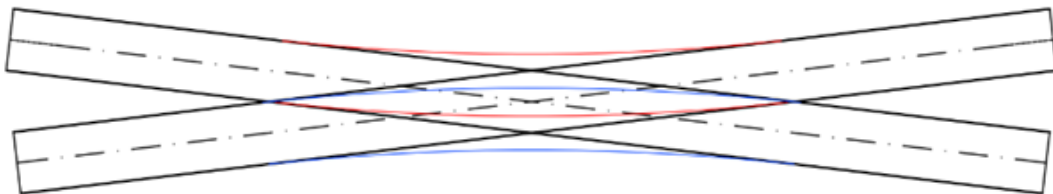
### Tasapuolinen vaihde TYV



### Yksipuolinen risteysvaihde YRV

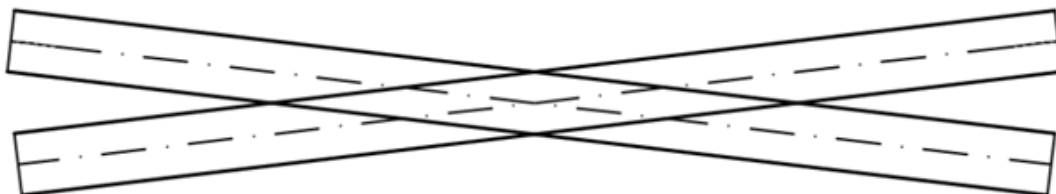


### Kaksipuolinen risteysvaihde KRV

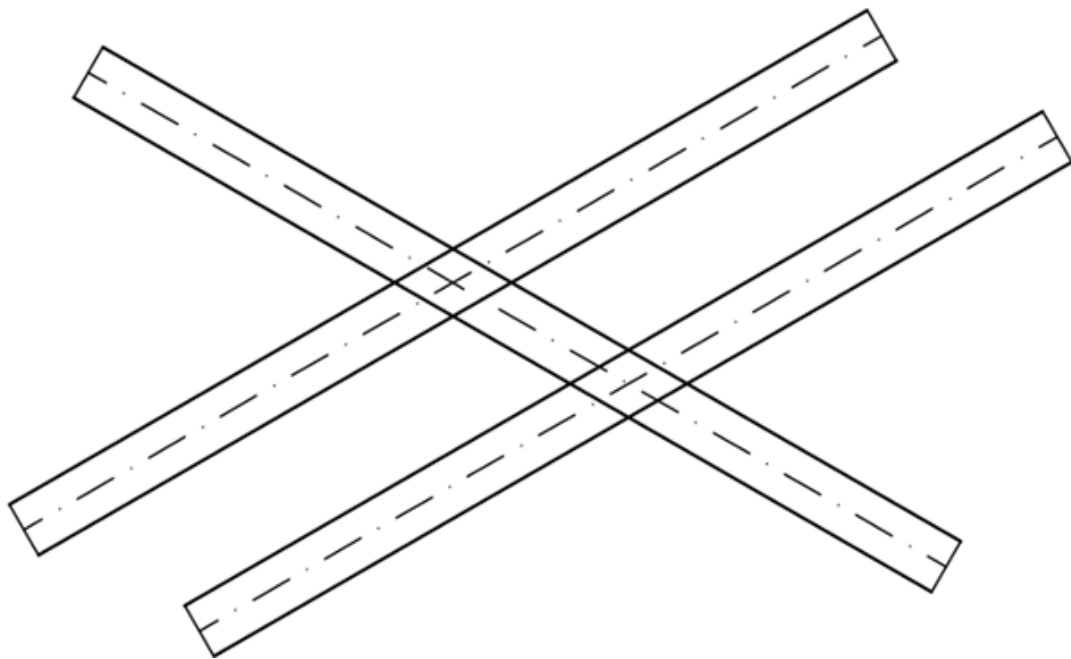


**Raideristeys** eli **ristikko** on kahden tai useamman raiteen risteyskohta. Raideristeyksen kertaluku määräytyy risteävien raiteiden lukumäärän perusteella.

### Yksinkertainen raideristeys RR

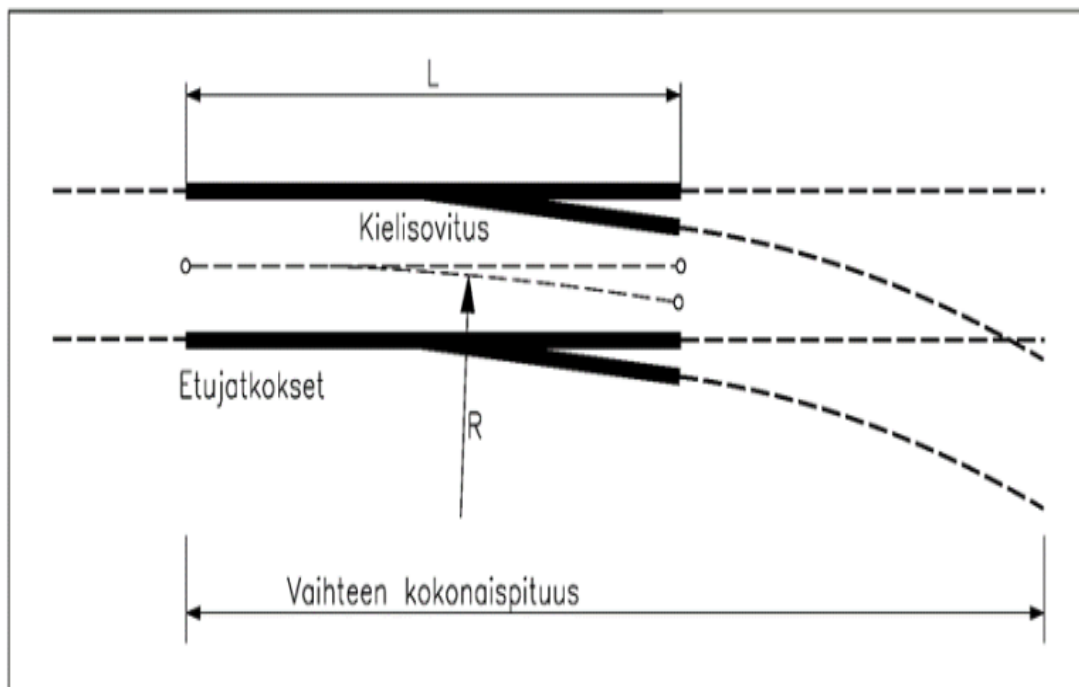


### Kaksinkertainen raideristeys



## Vaihteen kielisovitus

Vaihteen kohdalla on oltava suoraa rataa kielisovituksista ja etujatkoksista muodostuvan ns. vaihteen kielisovituksen pituuden ( $L$ ) verran, mikä on esitetty kuvassa 11.



**Kuva 11.** Kielisovituksen mittoja.

Vaihteiden kielisovituksia tehdään pääsääntöisesti 50 ja 100 metrin säteellä. Mitoituksen lähtökohtana tulee olla aina mahdollisimman suuri säde matkustusmukavuuden takaamiseksi. Kielisovituksen jälkeen kaartuva rata sovitetaan kielisovituksen säteeseen siirtymäkaaren avulla.

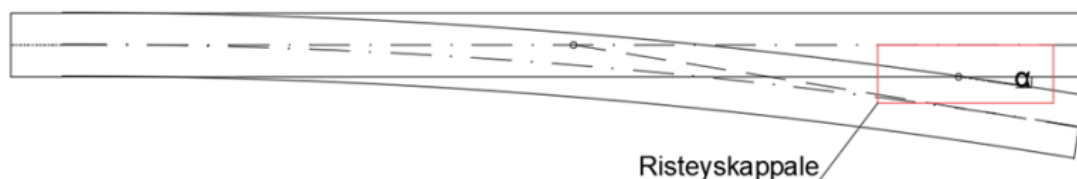
Yleisimmin käytössä olevat vaihdetyypit ja niiden kielisovituksien pituudet on esitetty taulukossa 14.

| Poikkeavan raiteen<br>kaarresäde $R$ (m) | Vaihdetyyppi      | Kielisovituksen pituus<br>$L$ (m) |
|------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| 25 (varikoilla)                          | YV 60 R1 – 25     | 5,45                              |
| 25 (varikolla)                           | YV49 E1-25        | 6,454                             |
| 50                                       | YV 60 R1 – 50     | 5,95                              |
| 50                                       | YV 49 E1-50       | 5,65                              |
| 100                                      | YV 60 R1 –<br>100 | 7,8                               |

**Taulukko 14.** Raitiotievaihteiden kielisovitusten pituuksia.

## Urakiskovaihteiden risteyskappale

Risteyskappale on vaihteessa tai raideristeyksessä osa, jossa eri kulkusuuntien kulkupinnat kohtaavat ja pyörän kantopinta vaihtuu. Risteyskappaleen kiskon kantopintaan aiheuttaman epäjatkuvuuskohdan takia risteyskappaleen yli ajaminen aiheuttaa usein tuntevan ja kuuluvan kolahduksen.



**Kuva 12.** Urakiskovaihteiden risteyskappale.

Raitiotiellä käytettävät vaihteet ja raideristikot jakautuvat syvä- ja matalauraisiin vaunun pyörien risteyskappaleessa käyttämän kantopinnan mukaan.

**Syväuraisessa vaihteessa tai raideristeyksessä** raitiovaunun pyörä kulkee ristikosta kulkupinnan kannattelemana. Syväuraisen vaihteen kriittinen risteyskulma  $\alpha$  riippuu käytettävästä pyörän leveydestä.

Kriittiset risteyskulmat pääkaupunkiseudun raitioteillä käytetyille pyörille on esitetty taulukossa 15.

| Pyörän leveys (mm) | Risteyskulma $\alpha$ (°) |
|--------------------|---------------------------|
| 95                 | 18                        |
| 105                | 22                        |

**Taulukko 15.** Kriittiset risteyskulmat eri pyörän leveyksille.

**Matalauraisessa vaihteessa tai raideristeyksessä** risteyskulma  $\alpha$  on suurempi kuin kriittinen risteyskulma, jolloin raitovaunun pyörän on kuljettava risteyskesän läpi pyörän laipan kannattelemana. Matalauraisen vaihteen läpi ajavan raitiovaunun tuottaman melun ja värinän, sekä kalustoon kohdistuvien voimien takia matalauraisissa vaihteissa sallittu ajonopeus on sekä suoralla että poikkeavalla suunnalla 10 km/h.

Alhaisen nopeuden ja suurten melu- ja värinähaittojen vuoksi matalauraisia vaihteita tulee lähtökohtaisesti välttää.

## Vignoles-vaihteiden vastakiskosovitus

Vignoles-vaihteessa raitiovaunun kulun ohjaukseen tarvitaan urakiskon uralaipan puuttuessa siipikiskot. Sisempien siipikiskojen, kärkikiskojen ja kärkikappaleen kokonaisuutta kutsutaan risteyskesäksi. Yhdessä ulompien siipikiskojen kanssa ne muodostavat vastakiskosovituksen.



**Kuva 13.** Risteys ja vastakiskosovitus.

## Vaihteiden sijoittelu

Vaihteet pyritään sijoittamaan kohtiin, joissa raitiovaunun nopeus on hidas, esimerkiksi katualueella risteysiin. Vaihteiden sijoittamisessa tulee huomioida myös niiden meluvaikutus.

Vaihteen keskeisin osa on kielisovitus. Vaihteen kohdalla on oltava suoraa rataa kielisovituksista ja etujatkoksista muodostuvan ns. vaihteen kielisovituksen pituuden (L) verran. Vaihteiden kielisovitukset tulee pyrkiä sijoittamaan ajoneuvoliikenteen käyttämien alueiden ulkopuolelle toimintavarmuuden takaamiseksi. Vaihteeseen kulkeutuva lika voi haitata vaihteen toimintaa ja esimerkiksi estää vaihteen lukittumisen. Vastavaihteita ei lähtökohtaisesti tulisi sijoittaa muun liikenteen sekaan.

Suojateiden liukkaudentorjuntaan käytettävän sepelin kulkeutuminen kielisovitukseen edellyttää talvella tehostettua puhtaanapitoa. Kielisovitusten ja risteyskappaleen suurten teräspintojen aiheuttaman liukastumisvaaran takia kielisovituksia ja risteyskappaleita ei tulisi sijoittaa suojateiden kohdalle.

Kaarrelevitysten takia vaihteita ei tule sijoittaa pysäkkialueelle tai 15 m lähemmäs pysäkkiä.

Vaihteita ei saa lähtökohtaisesti sijoittaa pystygeometrian pyöristyskaaren kohdalle. Lupa-arvo pystypyöristykselle vaihteen kohdalla on 5000 m.

Kaupunkiraitioteillä voidaan käyttää venytettyä kielisovitusta vaihteen sijoittelun helpottamiseksi.

## Vaihteiden ja raideristeyksien mitoitus

Vaihteissa sallittu ajonopeus riippuu vaihteessa käytettävästä kulkupinnasta (matala- vai syväurainen vaihde), kulkusuuntien geometriasta (suora vai kääntyvä suunta, näiden kaarresäteet), vaihteen ohjausmenetelmästä (opastimellinen lukittava, lukittava, ei lukittava), ajosuunnasta (myötä- vai vastavaihde) ja myötävaihteeseen ajettaessa siitä onko vaihde käännetty auki vai ajetaanko se auki.

Vaihteen rakenteen salliessa, voidaan myötävaihteeseen ajaessa kääntää vaihde ajamalla suljettuun kielisovitukseen, jolloin vaunu pakottaa kielisovituksen auki. Tätä kutsutaan **aukiajoksi**.

Raitiotievaihteiden valinnassa tulee huomioida erilaisten vaihteiden vaikutus raitiotien läpiajonopeuteen. Läpiajonopeus vaikuttaa muun muassa raitiotien sujuvuuteen ja raiteenvaihtopaikkojen käytettävyyteen.

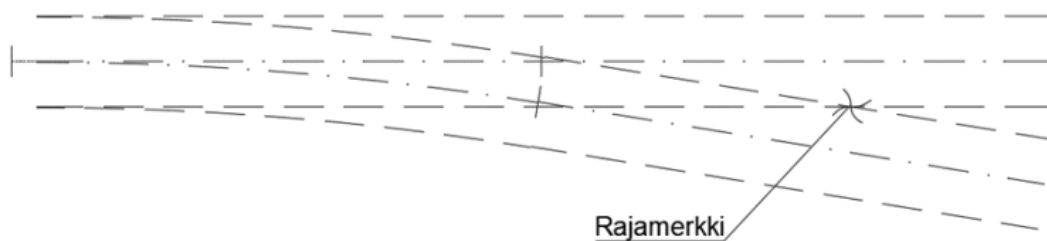
|                                                                     |                                | Myötävaihde                     |      |               | N<br>k      |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------|---------------|-------------|
|                                                                     |                                | Suoran<br>suuntaan              |      |               | P           |
|                                                                     |                                | Vaihde<br>oikeassa<br>asennossa |      | Ajo auki      | V<br>o<br>a |
| Syväurainen                                                         | Lukittuna<br>ja<br>opastimella | R=100                           | 70   | 10*           | 3           |
|                                                                     |                                | R=50                            |      |               | 2           |
|                                                                     |                                | R=25                            |      |               | 15          |
|                                                                     | Ei lukittuna                   | R=100                           | 15** | 15            | 15          |
|                                                                     |                                | R=50                            |      |               | 15          |
|                                                                     |                                | R=25                            |      |               | 15          |
| Matalaurainen                                                       | Lukittuna<br>ja<br>opastimella | R=100                           | 10   | 10*           | 10          |
|                                                                     |                                | R=50                            |      |               | 10          |
|                                                                     |                                | R=25                            |      |               | 10          |
|                                                                     | Ei lukittuna                   | R=100                           | 10   | 10            | 10          |
|                                                                     |                                | R=50                            |      |               | 10          |
|                                                                     |                                | R=25                            |      |               | 10          |
| Raideristeys,<br>syväurainen***                                     |                                | ei rajoita***                   |      | ei rajoita*** | e           |
| Raideristeys,<br>vähintään 1<br>risteyskappaleista<br>matalaurainen |                                | 10                              |      | 10            | 10          |

|                           |                                                            |                       |               |               |  | T<br>n         |
|---------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|---------------|--|----------------|
| Myötävaihde               |                                                            |                       |               |               |  |                |
| Suoran suuntaan           |                                                            |                       |               |               |  | P              |
| Vaihde oikeassa asennossa |                                                            |                       |               |               |  | V<br>o<br>a    |
| Ajo auki                  |                                                            |                       |               |               |  |                |
| Syväurainen               | Lukittuna ja opastimella                                   | R=100<br>R=50<br>R=25 | 70            | 10*           |  | 3<br>2<br>1!   |
|                           | Ei lukittuna                                               | R=100<br>R=50<br>R=25 | 70**          | 15            |  | 3<br>2<br>1!   |
|                           | Lukittuna ja opastimella                                   | R=100<br>R=50<br>R=25 | 15            | 10            |  | 10<br>10<br>10 |
| Matalaurainen             | Ei lukittuna                                               | R=100<br>R=50<br>R=25 | 15            | 15            |  | 1!<br>1!<br>1! |
|                           | Raideristeys, syväurainen***                               |                       | ei rajoita*** | ei rajoita*** |  | e              |
|                           | Raideristeys, vähintään 1 risteyskappaleista matalaurainen |                       | 10            | 10            |  | 10             |

**Taulukko 17.** Raitiotievaihteiden läpiajonopeudet.

## Rajamerkki

Vaihteen rajamerkki merkitsee kohdan, jossa vaihteen suoran ja kääntyvän suunnan aukean tilan ulottumat kohtaavat.



**Kuva 13.** Rajamerkki.

|                                              |   |
|----------------------------------------------|---|
| Etsi...                                      | 🔍 |
| Pääkaupunkiseudun raitiotien suunnitteluohje |   |
| Raitiotiejärjestelmän suunnitteluperiaatteet | ▶ |
| Raitiotien suunnittelu                       | ▶ |
| Rata ja rakenteet                            | ▼ |
| Ratasuunnittelu                              |   |
| Raitiotien rakenteet                         |   |
| Suistumissuojaus                             |   |
| Johdot, putket ja kaapelit                   |   |
| Ratasähkö ja tekniset järjestelmät           | ▶ |
| Elinkaari ja ympäristövaikutukset            | ▶ |
| Hakemisto                                    | ▶ |

## Tulevaisuus rakennetaan raiteilla

Kaupunkiraideverkosto kasvaa ja kehittyy pääkaupunkiseudulla. Meillä on kaupungin raideliikenneverkoston kehittämiseksi käynnissä useita mielenkiintoisia suurhankkeita ja kunnianhimoisia tavoitteita. Me työskentelemme ohjaamoissa, varikoilla, raiteilla ja suunnittelupöydissä, ja haluamme toimia hiilineutraalin infran ja liikennepalvelujen suunnannäyttäjänä nyt ja tulevaisuudessa.





## Kaupunkiliikenne Oy lukuina

**147** milj.

matkaa Kaupunkiliikenteen kyydissä / vuosi

**173** km

raitiotietä

**46** km

metrorataa kahteen suuntaan

**1571**

työntekijää

**460**

pyöräasemaa

**4600**

kaupunkipyörää

# Seuraa @ Kaupunkiliikenne



---

© Pääkaupunkiseudun Kaupunkiliikenne Oy, 2026

**Tietosuoja** | **Saavutettavuusseloste** | **Evästekäytäntö**

**Takaisin ylös** ↑