

Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3 Radan rakenne



Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3 Radan rakenne

Liikenneviraston ohjeita 13/2018

Kannen kuva: Arto Keski-Opas

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-317-534-1

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 029 534 3000

Tekniikka ja ympäristö -osasto

Korvaa
Ratatekniset ohjeet, Osa 3 Radan rakenne,
Liikenneviraston ohjeita 6/2016

Voimassa
26.3.2018 alkaen toistaiseksi

Asiasanat
Rautatiet, maanrakennus, ohjeet

Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3 Radan rakenne Liikenneviraston ohjeita 13/2018

Liikennevirasto on hyväksynyt RATO:n osan 3 Radan rakenne.

Ohje on voimassa Liikenneviraston tilaamissa toimeksiannoissa ja kunnossapidossa sen voimaantulosta alkaen. Ohjetta sovelletaan Liikenneviraston tilaamissa rautatiealueisiin kohdistuvissa suunnittelun, rakentamisen ja kunnossapidon toimeksiannoissa, jotka on tilattu dokumentin voimaantulon jälkeen. Ohjeiden käyttämisestä Liikenneviraston tilaamissa suunnittelun, rakentamisen ja kunnossapidon toimeksiannoissa, jotka on tilattu ennen dokumentin voimaantuloa, on sovittava Liikenneviraston kanssa.

RATO3 päivityksellä otetaan huomioon voimassa olevan Infrastruktuuri-YTE (2014). Radan rakenteen suunnittelun kannalta merkittävimmät muutokset aiempaan versioon ovat:

- YTE rataluokat
- Pohjarakenteiden ja pohjanvahvistusten mitoituksessa käytettävä junakuorma määräytyy sen mukaan, onko kyseessä vanha vai uusi rakenne. Jako vanhoihin tai uusiin ratoihin ei ole määräävä.
- Rakenteen murtokestävyys osoitetaan vain Eurokoodijärjestelmän mukaisilla mitoitusmenettelyillä.
- Penkereiden stabiliteettitarkasteluissa käytettävät junakuormien arvot on tarkistettu.

Tekninen johtaja

Markku Nummelin

Geoasiantuntija

Panu Tolla

*Ohje hyväksytään sähköisellä allekirjoituksella.
Sähköisen allekirjoituksen merkintä on viimeisellä sivulla.*

LISÄTIETOJA
Panu Tolla
Liikennevirasto
puh. 0295 34 3501

Esipuhe

Tämän Ratateknisten ohjeiden (RATO) osan 3 "Radan rakenne" päivityksen tavoitteena on ollut ohjeen ajantasaistaminen liittyen Yhteentoimivuuden teknisissä eritelmissä (Infrastuktuuri-YTE) sekä Liikenneviraston ohjeissa tehtyihin päivityksiin ja muutoksiin. Ohjeen päivitystä varten on laadittu selvitys /26/ ratapenkereiden stabiiliteettilaskennassa käytettävistä kuormituksista

Ohjeen päivityksen on toteuttanut Liikenneviraston toimeksiannosta Sitowise Oy. Ohjeen päivityksestä vastanneeseen työryhmään kuuluivat Arto Keski-Opas, Mikko Suoranta, Mikko Riikonen ja Aatu Eteläsaari. Työtä ohjasi Panu Tolla Liikennevirastosta.

Helsingissä maaliskuussa 2018

Liikennevirasto
Tekniikka ja ympäristö -osasto

Sisällysluettelo

3	RADAN RAKENNE.....	6
3.1	Määritelmiä	6
3.2	Radan alus- ja pohjarakenteiden suunnittelun ohjeistus.....	10
3.3	Yleiset suunnitteluperusteet.....	11
3.3.1	Yleistä.....	11
3.3.2	Alus- ja pohjarakenteiden käyttöikä.....	11
3.3.3	Mitoitusmenettelyn määräytyminen	12
3.4	Pohjasuhteiden ja maakerrosten geoteknisten ominaisuuksien selvittäminen.....	14
3.5	Rakennusmateriaalien ominaisuudet geoteknisessä suunnittelussa	15
3.6	Alusrakenneluokat	16
3.7	Mitoitusmenettely ja varmuusluvut.....	17
3.7.1	Stabiliteetti.....	17
3.7.2	Radan painumat	17
3.7.3	Pohjanvahvistusten ja pohjarakenteiden mitoitus	18
3.7.4	Pengerleveyden mitoitus	19
3.7.5	Routamitoitus	21
3.7.6	Siltojen ja paalulaattojen mitoitus	23
3.8	Ulkoiset kuormat	24
3.8.1	Junakuorma	24
3.8.2	Kuormakaavioiden valinta	24
3.8.3	Kuormakaaviot.....	24
3.8.4	Sysäys	30
3.8.5	Pystysuorien kuormien jakaantuminen penkereelle.....	31
3.8.6	Vaakuorimat	31
3.8.7	Muut radan alus- ja pohjarakenteisiin kohdistuvat kuormat	32
3.8.8	Työkonekuormat.....	32
3.8.9	Maanpaine	32
3.8.10	Vedenpaine ja huokosveden ylipaine	32
3.8.11	Värähtely.....	33
3.9	Radan ympäristögeotekniset suunnitteluperusteet	34
3.9.1	Junaliikenteen aiheuttama tärinä	34
3.9.2	Rakentamisesta aiheutuvat vaikutukset.....	34
3.10	Radan normaalipoikkileikkaukset.....	35
3.11	Kävelykulkutiet	37
3.11.1	Yleistä.....	37
3.11.2	Kävelykulkutien poikkileikkaus ja materiaalit	37
	VIITTEET	38

LIITTEET

Liite 1	Routamitoituskäyrästöt ja routamitoitusesimerkki.
Liite 2	Radan normaalipoikkileikkaukset
Liite 3	Palautuvan pystysuuntaisen siirtymän mittaaminen
Liite 4	Seurantamittaukset sekä ohjeet seurannan dokumentointista ja inklinometrin asentamisesta (A-D)
Liite 5	Routalevyjen sijoittaminen, periaatekuva

3 Radan rakenne

Ratateknisten ohjeiden (RATO) osassa 3 Radan rakenne täydennetään Eurokoodien ja NCCI-dokumenttien osia, jotka koskevat radan alus- ja pohjarakenteiden suunnittelua ja mitoitusperusteita.

Tässä RATO:n osassa on huomioitu tiedossa olevat rautatiejärjestelmien yhteentoimivuutta koskevat sekä Liikenteen turvallisuusviraston esittämät olennaiset vaatimukset.

Jos yleiset määräykset, ohjeet ja laatuvaatimukset sisältävät ristiriitaisia tietoja, ajallisesti myöhemmin julkaistu tieto on pätevä.

3.1 Määritelmiä

Alusrakenne koostuu välikerroksesta, eristyskerroksesta sekä mahdollisesta suodatinkerroksesta ja routalevystä.

Eristyskerros estää tai vähentää sen alla olevien maakerrosten routimista ja muodostaa välikerrokselle tasaisen ja kantavan alustan sekä siirtää ja jakaa kuormat pohjamaalle. Eristyskerroksen tehtävänä on myös pysäyttää kapillaarinen veden nousu kerroksen alaosaan ja toimia suodatinkerroksena. Eristyskerroksessa käytettävät materiaalit on esitetty julkaisussa InfraRYL /1/. Yleisiä vaatimuksia voidaan täsmentää hankekohtaisilla vaatimuksilla.

Infrarakenne sisältää kaikki rakenteet: päällys-, alus- ja pohjarakenteet ja rataan liittyvät rakenteet.

Jatkuvakiskoraide (Jk-raide) on raide, jossa kiskon pituus $l > 300$ metriä.

Jätkänpolku on välikerroksen yläpinta tukikerroksen ja välikerroksen ulkoreunan välillä.

Raitteen kantavuus tarkoittaa radan kykyä kestää sille kohdistuvia kuormia

Korkeusviiva (Kv) on määritelty RATO:n osassa 2 *Radan geometria*.

Leikkauspohja on leikatun pohjamaan yläpinta.

Lyhytkiskoraide (Lk-raide) on raide, jossa kiskon pituus $l > 25$ metriä.

Palle on raitteen tukikerroksen reunaan tehty korotus, jonka tarkoituksena on lisätä tukikerroksen kykyä ottaa vastaan raiteesta siihen kohdistuvat voimat.

Pengerleveys on radan alusrakenteen, normaalisti välikerroksen, yläpinnan leveys.

Pengerpohja on pengertäytteen alla olevan pohjamaan pinta.

Pengertäyte on pengerpohjan ja eristyskerroksen väliin rakennettu ratapenkereen osa. Pengertäytteessä käytettävät materiaalit on esitetty julkaisussa InfraRYL /1/. Yleisiä vaatimuksia voidaan täsmentää hankekohtaisilla vaatimuksilla.

Pohjamaa (perusmaa) on ratapenkereen alla oleva maa.

Pohjanvahvistus on toimenpide, jolla maakerroksen tai maarakenteen teknisiä ominaisuuksia on parannettu joko maakerrosta tiivistämällä tai lisäämällä maakerrokseen sen huokostilavuutta pienentävää tai maan kanssa kemiallisesti reagoivaa lisäainetta.

Pohjarakenne on joko pysyvä rakenne, kuten perustus ja maanpainesoinä tai työn-aikainen rakenne kuten kaivannon tukiseinä.

Pohjarakennussuunnitelma sisältää työselostuksen ja laatuvaatimukset sekä niihin liittyvät pohjatutkimus- ja pohjarakennuspiirustukset, geoteknisen suunnittelu-raportin ja rakennetekniset laskelmat. Geotekninen suunnitteluraportti tulee sisältää EN1997 mukaiset asiat. Geotekniset laskelmat ja pohjarakentamista koskevat selvi-tykset liitetään osaksi suunnitteluraportin liitteaineistoa.

Pohjarakennussuunnittelu on maan ja kallion käyttäytymisen mitoitettua yhteen-sovittamista pohjarakenteiden kanssa siten, että myös yläpuoliset rakenteet toimivat suunnitellulla tavalla ja rakenne ei vaurioidu tai tule käyttökelvottomaksi esimerkiksi roudan, kosteuden tai haitallisten aineiden vaikutuksesta.

Pohjarakentaminen käsittää rakenteiden perustusten ja maanpinnan alapuolisten tilojen tarkoituksenmukaiseksi ja turvalliseksi rakentamiseksi tarvittavat kaivu-, tuenta-, kuivanapito-, tiivistys-, lujitus- ja muut rakennustyöt sekä pysyvien pohja-rakenteiden rakennustyöt.

Päällysrakenne on radan rakenneosaa, johon kuuluu tukikerros ja raide.

Raide koostuu ratapölkkyistä, rataakiskoista, rataakiskojen kiinnitys- ja jatkososista sekä vaihteista ym. raiteen erikoisrakenteista.

Raideväli on vierekkäisten raiteiden keskilinjojen välinen lyhin etäisyys.

Rakennekerrokset ovat tuki-, väli-, eristys- ja suodatinkerros.

Ratapenger koostuu radan rakennekerroksista ja mahdollisesta pengertäytteestä.

Routalevy lisää rakenteen lämmöneristävyyttä ja estää tai vähentää radan rakenteen alla olevien maakerrosten routimista. Routalevyjen yleiset vaatimukset on esitetty InfraRYL:ssä /1/. Tarkemmat vaatimukset on esitetty routalevyjen osalta Liikenneviraston julkaisemissa XPS-routalevyjen teknisissä toimitusehdoissa /2/.

Sepeliraide on raide, jossa tukikerroksen materiaalina on raidesepeleli.

Soraraide on raide, jossa tukikerroksen materiaalina on raidesora.

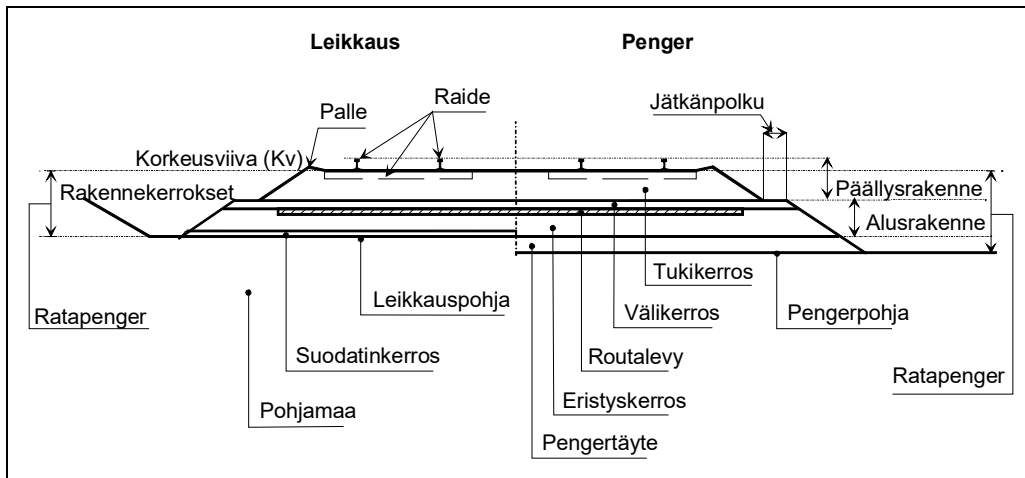
Suodatinkerros estää eristyskerroksen ja pohjamaan sekoittumisen. Suodatinkerroksessa käytettävät materiaalit on esitetty julkaisussa InfraRYL /1/. Yleisiä vaatimuksia voidaan täsmentää hankekohtaisilla vaatimuksilla.

Suunnitteluperusteet on Liikenneviraston kuhunkin suunnitteluvaiheeseen laatima hankekohtainen asiakirja työssä noudatettavista teknisistä ratkaisuista ja toimintatavoista.

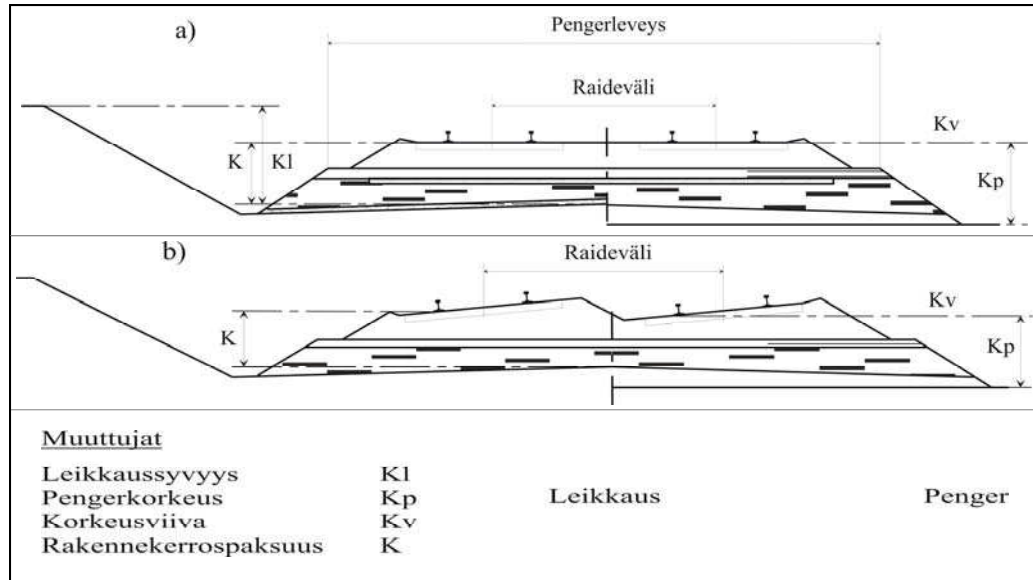
Tukikerros pitää raiteen geometrisesti oikeassa asemassa ja asennossa, jakaa kuormia alusrakenteelle ja muodostaa raiteelle tasaisen ja kantavan alustan. Tukikerroksen materiaalina käytetään raidesepeliä tai raidesoraa. Tukikerroksen materiaalien laatuvaatimukset on esitetty julkaisuissa SFS-EN 13450 Raidesepelikiviainekset, kansallinen soveltamisohje /3/, SFS-EN 13450 Raidesepelikiviainekset, CE-merkintä /4/ ja Päällysrakennetöiden yleiset laatuvaatimukset (PYL) /5 - 7/.

Välikerros muodostaa tukikerrokselle tasaisen ja kantavan alustan ja estää tukikerroksen sekoittumisen alla oleviin rakennekerroksiin. Välikerroksen materiaalivaatimukset on esitetty julkaisussa InfraRYL /1/. Yleisiä vaatimuksia voidaan täsmentää hankekohtaisilla vaatimuksilla.

Radan rakenteeseen liittyviä nimityksiä on esitetty kuvissa 1 ja 2.



Kuva 1. Radan rakenneseisiin liittyviä nimityksiä.



Kuva 2. a) Radan dimensioihin liittyviä nimityksiä ja b) niiden tulkinta, kun rata sijaitsee kaarteessa.

3.2 Radan alus- ja pohjarakenteiden suunnittelun ohjeistus

Radan alus- ja pohjarakenteiden suunnittelussa sovellettavien määräysten ja ohjeiden pätemisjärjestys on seuraava:

- Liikenteen turvallisuusviraston (TraFi) määräykset
- Yhteentoimivuuden tekniset eritelmat YTE
- Liikenneviraston määrittelemät hankkeen suunnitteluperusteet
- Eurokoodit kansallisine liitteineen (oleelliset lueteltuina alla):
 - EN 1990: Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet /8/
 - EN 1991: Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat /9/
 - EN 1997: Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu/10/
- Liikenneviraston julkaisemat Eurokoodien soveltamisohjeet (NCCI-sarja) /11,12/
- Liikenneviraston ohjeet, erityisesti Ratatekniset ohjeet (RATO)
- Muut alan yleiset ohjeet, joita ovat julkaisseet esimerkiksi Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.

Suunnittelussa laadittavilla hankekohtaisilla laatuvaatimuksilla ja työselostuksella voidaan korvata ja täydentää InfraRYL:n yleisiä laatuvaatimuksia. Sähköradan pylväspenustusten suunnittelussa noudatetaan ohjetta LO 32/2016 /25/.

3.3 Yleiset suunnitteluperusteet

3.3.1 Yleistä

Kaikki rataan liittyvät alus- ja pohjarakenteet ovat joko hyvin vaativia (geotekninen luokka GL3, esimerkiksi pehmeikölle perustettavat ratapenkereet ja ratakaivannot) tai vaativia (geotekninen luokka GL2) pohjarakenteita. Tästä johtuen niiden suunnittelu edellyttää aina geoteknistä erityisosaamista. Ellei hankekohtaisesti muuta sovita, on seuraamusluokka CC2.

Maanvaraisesti perustettavan radan geotekninen mitoitus samoin kuin mahdollisten vahvistus- ja pohjarakenteiden geotekninen ja rakenteellinen mitoitus on tehtävä siten, että itse pohjarakenteiden samoin kuin niiden varassa olevien rakenteiden painumat ja siirtymät ovat radan turvallisen liikennöinnin kannalta riittävän pienet ja että maapohjan ja rakenteiden varmuus sortumista, murtumista, eroosiota ja halkeilua vastaan on riittävän suuri. Radat suunnitellaan siten, että ne kantavat niille määritellyt kuormat kestävyuden ja muodonmuutosten suhteen tässä ohjeessa esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

Sekä radan maanvaraisen perustamisen, että mahdollisten vahvistus- ja pohjarakenteiden mitoitus tehdään ensisijaisesti laskennallisia menetelmiä käyttäen.

Seurantamittauksia voidaan käyttää vanhojen ratojen yhteydessä tässä ohjeessa esitetyllä tavalla. Seurantamittauksilla tarkoitetaan ratapenkereen pitkäaikaisen käyttäytymisen seurantaa. Seurantamittauksia on käsitelty liitteessä 4.

Julkaisussa *Rautatiejärjestelmän infrastruktuuriosajärjestelmä /13/* käytetty termi raiteen kantavuus (capability) tarkoittaa radan kykyä kestää sille kohdistuvia kuormia. Se on käsitteenä laajempi kuin ainoastaan ratapenkereen rakennekerrosten kantavuus.

Välittömiin korjaustoimenpiteisiin tai liikenne rajoituksiin olemassa olevilla radoilla on ryhdyttävä aina, jos radassa todetaan merkittäviä tai kiihtyviä siirtymiä tai vaurioita.

3.3.2 Alus- ja pohjarakenteiden käyttöikä

Uuden radan alusrakenteen samoin kuin näihin liittyvien pohjanvahvistus- ja pohjarakenteiden käyttöikävaatimus on 100 vuotta.

Routalevyjen käyttöikävaatimus on 40 vuotta.

3.3.3 Mitoitusmenettelyn määräytyminen

3.3.3.1 Käsitteet vanha ja uusi rata

Infrastruktuuri-YTE:n mukaisesti rata on joko uusi tai vanha rata.

Uudella radalla tarkoitetaan rataa, jonka avulla syntyy junareitti paikkaan, jossa ei sellaista ole ennestään.

Vanhalla radalla tarkoitetaan rataa, joka edellä esitetyn määritelmän mukaan ei ole uusi rata.

Seuraavat esimerkit, joissa tavoitteena on liikenneyhteyden suorituskyvyn parantaminen, ovat siis radan parantamista eivätkä uuden radan rakentamista:

- Vanhan radan osan oikaisu
- Ohitusradan rakentaminen
- Yhden tai useamman raiteen lisärakentaminen vanhalle reitille riippumatta siitä, mikä on alkuperäisten raiteiden ja lisäraiteiden välinen etäisyys.

Vanhaan rataan voi kohdistua seuraavia toimenpiteitä, jotka sinänsä eivät muuta rataa uudeksi radaksi:

- Radan parantaminen (upgrading), jolla tarkoitetaan radan suorituskyvyn parantamista (esim. akselipaino, nopeus)
- Radan uudistaminen (renewal), jolla tarkoitetaan radan osajärjestelmien systemaattista korvaamista siten, ettei radan suorituskyky muutu
- Kunnossapito (maintenance)

3.3.3.2 Uusien ratojen rakenteiden mitoituksen yleisperiaatteet

Infrastruktuuri-YTE:n mukaisesti uusien ratojen geotekninen suunnittelu tehdään SFS-EN 1997:n /10/ mukaan. SFS-EN1997-1 ja sen kansallisen liitteen (LVM) lisäksi noudatetaan julkaisua ”Eurokoodien soveltamisohje, Geotekninen suunnittelu - NCCI 7” /12/.

Mitoituksessa käytettävä junakuorma on määritelty standardeissa:

- SFS-EN 1990 Eurokoodi Rakenteiden suunnitteluperusteet /8/ ja SFS-EN 1991-2 Siltojen liikennekuormat sekä /14/
- Eurokoodin soveltamisohje, Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1. Liikenneviraston ohjeita 24/2017 /11/.

Maa- ja maanpainerakenteet suunnitellaan em. standardin kuormakaavion LM71 mukaisille kuormille. Edellä mainituissa julkaisuissa määritellään mm. kuorman ominaisarvo, kuormien yhdistely ja varmuusluvut.

3.3.3.3 Vanhojen ratojen rakenteiden mitoituksen yleisperiaatteet

Infrastruktuuri-YTE:n mukaisesti, kun vanhalle radalle suunnitellaan uusi rakenne tai rakenteella korvataan nykyinen rakenne, suunnitellaan tällainen rakenne kuten uusi. (ks. 3.3.3.2). Tällaisia pohjarakenteita ovat esimerkiksi:

- a) Uuden sillan pohjarakenteet
- b) Uusi paalulaatta
- c) Pysyvä tukiseinä tai tukimuuri
- d) Massa- tai syvästabilointi radan alla
- e) Maanvarainen ratapenger esimerkiksi lisäraidetta / rataoikaisua varten
- f) Leikkaus esimerkiksi alikulkusiltaan liittyen

Kun vanhan radan kykyä kestää kuormia tarkastetaan tai rakennetta korjataan, esimerkiksi vahvistamalla, mitoitetaan rakenteet kuten uusien ratojen rakenteet, mutta junakuorma määritetään standardin SFS-EN15528 /15/ mukaan.

Tällaisia mitoitustilanteita tai pohjarakenteita ovat esimerkiksi:

- a) Olemassa olevan rakenteen stabiliteettitarkastelu
- b) Vastapenkereiden lisääminen
- c) Luiskamassanvaihtojen lisääminen
- d) Massa- tai lamellistabilointi ratapenkereen vieressä
- e) Olemassa olevan pohjavahvistuksen tai rakenteen vahvistaminen
- f) Työnaikainen tukiseinä

Uutta rakennetta suunniteltaessa kaikki uuteen rakenteeseen vaikuttavat juna-kuormat mitoitetaan kuormakaavion LM71 mukaisille kuormille. Esimerkiksi uuden ja vanhan rakenteen rajapinnassa junakuormat valitaan seuraavasti:

- Nykyisen radan viereen paalutetaan lisäraide. Lisäraiteen paalulaattaan vaikuttavissa stabiliteettitarkasteluissa sekä uuden, että vanhan rakenteen mitoituksessa junakuormana käytetään LM71 mukaista kuormaa. Paalulaattarakenteen suunnitteluun liittymättömät nykyisen ratapenkereen tai muiden rakenteiden stabiliteettitarkastelut sen sijaan tehdään standardin SFS-EN-15528 /15/ mukaisin kuormin.
- Vanhalle radalle rakennettavan uuden sillan kohdalla tulopenkereiden keilojen ja etuluiskien stabiliteettitarkastelut tehdään käyttäen LM71 mukaista kuormaa. Tulopenkereen pituus on määritetty ohjeessa NCCI7 ja se ulottuu vähintään 20 m etäisyydelle sillan päästä. Sillan tulopenkereiden ulkopuolella stabiliteettitarkastelut (radan poikkisuunnassa) sen sijaan tehdään standardin SFS-EN15528 /15/ mukaisin kuormin.

3.4 Pohjasuhteiden ja maakerrosten geoteknisten ominaisuuksien selvittäminen

Pohjatutkimusten on oltava määrällisesti ja laadullisesti riittävät radan maanvaraisen perustamisen sekä vahvistus- ja pohjarakenteiden laskennallisessa mitoituksessa tarvittavien geoteknisten mitoitusarvojen luotettavaan määrittämiseen.

Uusien ratojen osalta tulee radan alus- ja pohjarakenteiden suunnittelua ja rakentamista palvelevien pohjatutkimusten ohjelmointi ja raportointi tehdä Liikenneviraston ohjeiden mukaisesti. Pohjatutkimusten ohjelmoinnissa ja pohjatutkimuksissa käytettävien tutkimusmenetelmien valinnassa käytetään erityisesti seuraavissa julkaisuissa annettuja ohjeita:

1. Geotekniset tutkimukset ja mittaukset, Liikenneviraston ohjeita 10/2015 /16/
2. Penkereiden stabiliteetin laskentaohje, Liikenneviraston ohjeita 14/2018 /17/

Laskennallisessa mitoituksessa tarvittavien maakerrosten geoteknisten ominaisuuksien määritysmenetelmiä on vastaavasti käsitelty mm. Liikenneviraston julkaisussa Penkereiden stabiliteetin laskentaohje /17/ sekä Liikenneviraston julkaisussa *Tien geotekninen suunnittelu /18/*.

3.5 Rakennusmateriaalien ominaisuudet geoteknisessä suunnittelussa

Radan alus- ja pohjarakenteiden rakentamisessa käytettävien rakennusmateriaalien laatuvaatimukset on esitetty InfraRYL:ssä /1/. Yleisiä laatuvaatimuksia voidaan täsmentää hankekohtaisilla laatuvaatimuksilla.

3.6 Alusrakenneluokat

Radat jaetaan viiteen alusrakenneluokkaan taulukon 1 mukaisesti. Alusrakenneluokan määrää joko henkilöliikenne tai tavaraliikenne riippuen siitä, kumman vaatimustaso on korkeampi.

Jatkuvakiskoraiteisen radan alusrakenteen on oltava aina vähintään alusrakenneluokan 1 mukainen.

Vaihdealueella radan alusrakenteen on oltava alusrakenneluokan 4 mukainen.

Taulukko 1. Alusrakenneluokat.

Alusrakenneluokka	Henkilöliikenteen suurin sallittu nopeus, V [km/h]	Tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus 225 kN akselipainolla, V [km/h]	Tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus 250 kN akselipainolla, V [km/h]
0	≤ 50	≤ 40	≤ 40
1	≤ 120	≤ 100	≤ 60
2	≤ 200	≤ 100	≤ 80
3	≤ 250	≤ 120	≤ 100
4	> 250	> 120	> 100

3.7 Mitoitusmenettely ja varmuusluvut

3.7.1 Stabiliateetti

Stabiliateetin laskenta sisältää sekä penkereet että leikkaukset.

Ratojen stabiliateetti on tutkittava Liikenneviraston ohjeiden mukaisesti kappaleessa 3.8 esitetyille kuormille. Mitoitusmenettelyn kuormien yhdistelyn ja varmuuslukujen osalta noudatetaan julkaisuja Eurokoodien soveltamisohje, Geotekninen suunnittelu - NCCI 7 /12/.

Stabiliateettimitoitus tehdään siirtymille herkille rakenteille lisäksi NCCI 7 kohdan 5.7.2 mukaisesti. Mitoitustilanteessa ”Siirtymille herkkä rakenteet” käytetään lyhytaikaisille kuormille arvoa 0 kPa ja pitkäaikaisille ominaisarvoa. Siirtymille herkkiä rakenteita ovat esimerkiksi paalutetut rakenteet ja sillat. Kyseistä tarkastelua ei tarvita, jos pohjamaassa tapahtuvat muodonmuutokset ja niiden vaikutukset rakenteisiin voidaan määrittää luotettavasti ja niistä ei ole haittaa rakenteelle.

3.7.1.1 Seurantamenetelmä

Olemassa olevien rakenteiden osalta voidaan stabiliateetin parantamisen sijasta asettaa seurantamittaus, kun radan stabiliateetin varmuus ODF ilman uusia stabiliateettia parantavia toimenpiteitä on välillä 0,9...1,0. Stabiliateettitarkastelussa selvitetään aina radan laskennallinen vakavuus ilman junakuorman vaikutusta ja junakuorman vaikuttaessa. Pohjasuhteiden selvittäminen ja vakavuuden arviointi tulee tehdä erityisen yksityiskohtaisesti kohteissa, joissa

- varmuus ODF ilman junakuormaa on <1,0 tai
- varmuus ODF junakuorman vaikuttaessa <1,0 ja joissa kohde sijaitsee sellaisella kohdalla rataa, jossa juna saattaa pysähtyä opastimelle; pysähtymisalueeksi on oletettava opastinta edeltävä 1 km pituinen osuus.

Seurantamittaukset ja kriteerit seurannan lopettamiselle on käsitelty liitteessä 4.

Radan stabiliateetin varmuus ei saa missään tilanteessa alittaa arvoa $ODF = 0,9$, vaan tällöin on ryhdyttävä stabiliateettia parantaviin toimenpiteisiin.

3.7.2 Radan painumat

3.7.2.1 Pysyvä painuma

Rata on suunniteltava siten, etteivät taulukossa 2 esitetyt tasaisen kokonaispainuman ja pituus- tai sivuttaiskaltevuuden muutoksen enimmäisarvot ylity radan liikenteelle oton jälkeen.

Vaihdealueilla (ks. RATO 4, 4.1.7 /24/) sovelletaan aina alusrakenneluokan 4 mukaisia tasaisen kokonaispainuman ja pituus- ja sivuttaiskaltevuuden muutoksen enimmäisarvoja. Vaihdealueella perustamistavan tulee olla homogeeninen ja routimaton. Vaihteiden sijoittamisessa tulee ottaa huomioon epäjatkuvuuskohdat radassa (siltakansi, rummut ja muutokset pohjamaassa).

Taulukko 2. Tasaisen kokonaispainuman sekä pituus- ja sivuttaiskaltevuuden muutoksen enimmäisarvot.

Radan alusrakenneluokka	Painuma-aika 100 vuotta Tasainen kokonaispainuma [mm]	0-2 vuoden aikana tapahtuva painuma		2-9 vuoden aikana tapahtuva painuma	
		Pituuskaltevuuden muutos [%]	Sivuttaiskaltevuuden muutos [%]	Pituuskaltevuuden muutos [%]	Sivuttaiskaltevuuden muutos [%]
0	800	0,4	0,8	0,4	0,8
1	800	0,3	0,6	0,3	0,6
2	500	0,2	0,4	0,2	0,4
3	300	0,15	0,3	0,15	0,3
4	100	0,1	0,2	0,1	0,2

3.7.2.2 Palautuva pystysuuntainen siirtymä

Olemassa olevilla maanvaraisesti perustetuilla radoilla ratapölkystä mitattu radan palautuva pystysuuntainen siirtymä saa mitoitusakselipainon suuruisen kuormituksen vaikutuksesta olla enintään 8 mm pohjamaan ollessa turvetta ja muissa tapauksissa 4 mm.

Uusi maanvaraisesti perustettava rata tulee suunnitella ja rakentaa siten, että radan mitoitusakselipainon suuruinen kuormitus aikaansaa kiskon selässä vähintään 0,3 mm ja ratapölkyn yläpinnassa enintään 3 mm palautuvan pystysuuntaisen siirtymän.

Uusi rata ja uusi rakenne pitää suunnitella siten, että kiskon selän palautuva laskennallinen pystysuuntainen siirtymä muutos on korkeintaan 1,0 mm 20 metrin matkalla.

Tulopenkereiden suunnittelua on käsitelty Liikenneviraston ohjeessa *Eurokoodin soveltamisohje, Geotekninen suunnittelu – NCCI 7 /12/*.

3.7.3 Pohjanvahvistusten ja pohjarakenteiden mitoitus

Rakenteiden ja pohjanvahvistusten mitoitus tehdään NCCI7 ja muiden Liikenneviraston ohjeiden mukaan.

3.7.3.1 Syvästabilointi

Stabiloinnin suunnittelua on käsitelty Liikenneviraston julkaisussa *Syvästabiloinnin suunnittelu 17/2018 /19/*.

Eloperäisten materiaalien stabilointi uuden radan alla ei ole sallittua ilman soveltuvuuden seikkaperäistä selvitystä. Pilarisyvästabiloinnin ja massastabiloinnin yhdistelmän käyttäminen ratapenkereen perustamisessa ei ole sallittua ilman tarkempaa selvitystä rakenteen toiminnasta.

Liikennöitävän käytössä olevan raiteen alla tai radan sivussa ei saa käyttää syvästabilointia, ilman tarkempaa selvitystä koskien lujittumisvaiheen stabiiliteettia ja kestoä.

3.7.4 Pengerleveyden mitoitus

Radan pengerleveydellä tarkoitetaan leveyttä, johon alusrakenteen ylin kerros rakennetaan. Näin pengerleveys on normaalisti välikerroksen yläpinnan leveys.

Radan normaalipoikkileikkaukset on esitetty liitteessä 2. Radan pengerleveyden valinta riippuu seuraavista tekijöistä:

- radan jäykkyys
- raiteiden lukumäärä
- alusrakenneluokka
- radan geometria
- raideväli
- sillan läheisyys

Alusrakenneluokissa 0,1 ja 4 ratapenkereen vähimmäisleveys määräytyy taulukon 3 mukaisesti.

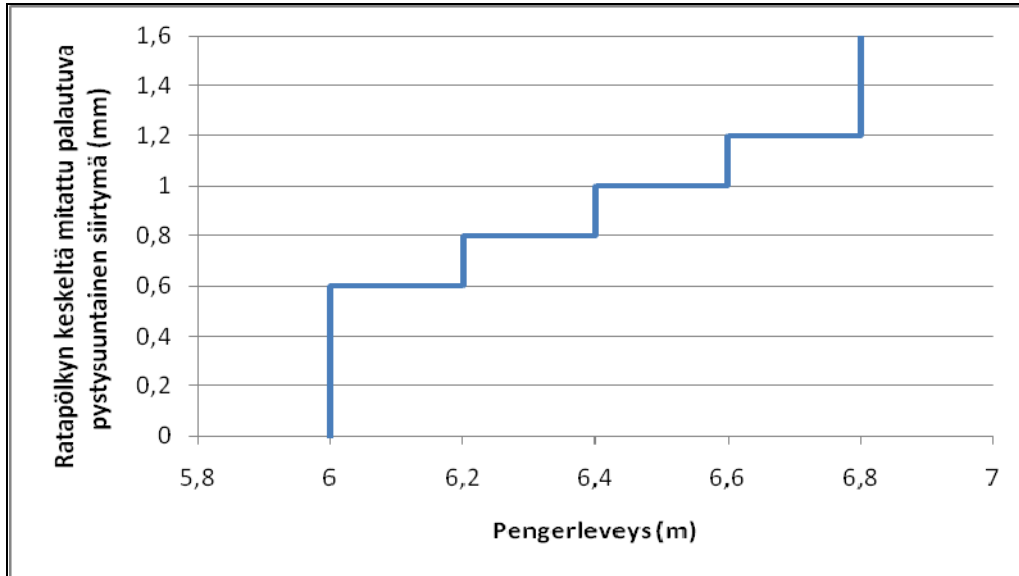
Taulukko 3. Ratapenkereen vähimmäisleveys raiteiden lukumäärän alusrakenneluokissa 0, 1 ja 4, kun raideväli on taulukon mukainen.

Raiteiden lukumäärä ¹⁾²⁾	Radan alusrakenneluokka	Pengerleveys [m]		Raideväli [m]
		Suoralla	Kaarteessa	
1	0	5,4 ³⁾	5,4 ³⁾	—
1	1	5,4 ³⁾	5,4 ³⁾	—
1	1	6,0	6,0	—
2	1	9,5	9,5	4,1
2	4	12,5	12,5	4,7

- 1) Siltojen päiden penkereen levennys on suunniteltava ratkaisuna, jossa pengerlevennys ulottuu 4 metrin etäisyydelle reunimmaisen raiteen keskilinjasta 10 m matkalla alkaen sillan siipimuurin päästä ja se muuttuu radan poikkileikkauksen mukaiseksi seuraavan 5 m matkalla.
- 2) Kolme- ja useampiraiteisen radan poikkileikkaukset muodostetaan yksi- ja kaksiraiteisen radan normaalipoikkileikkauksista.
- 3) Pengerleveyttä 5,4 m voidaan käyttää alusrakenneluokan 1 radalla vain, jos henkilöliikenteen suurin sallittu nopeus $V \leq 120$ km/h sekä tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus 225 kN akselipainolla ≤ 80 km/h ja 250 kN akselipainolla ≤ 50 km/h.

Alusrakenneluokkien 2 ja 3 osalta noudatetaan olemassa olevilla radoilla alla kuvattua menettelyä.

Vaadittu ratapenkereen vähimmäisleveys määräytyy ratapölkystä mitatun pystysuuntaisen palautuvan siirtymän perusteella kuvan 3 ja taulukon 4 mukaisesti. Palautuvan pystysuuntaisen siirtymän mittausprosessi on kuvattu liitteessä 3.



Kuva 3. Ratapenkereen (luiskakaltevuus 1:1,5) vähimmäisleveys alusrakenneluokissa 2 ja 3 ratapolkyn keskeltä mitatun palautuvan pystysuuntaisen siirtymän perusteella.

Taulukko 4. Ratapenkereen (luiskakaltevuus 1:1,5) vähimmäisleveys alusrakenneluokissa 2 ja 3 ratapolkyn keskeltä mitatun palautuvan pystysuuntaisen siirtymän perusteella.

Pengerleveys [m]		Mitattu ratapolkyn pystysuuntainen palautuva siirtymä [mm]
Suoralla	Kaarteessa	
6,0 ²⁾	6,4 ¹⁾²⁾	<0,6
6,2 ²⁾	6,6 ¹⁾²⁾	0,6..0,8
6,4 ²⁾	6,8 ¹⁾²⁾	0,81..1,0
6,6 ²⁾	7,0 ¹⁾²⁾	1,01..1,2
6,8 ²⁾	7,2 ¹⁾²⁾	>1,2

- 1) Kaarrelevitystä käytetään ainoastaan kaarteissa, joiden $R < 3000$ m, jolloin pengerlevitys tehdään kokonaisuudessaan ulkokaarten puolelle. Pengerleveys ilman kaarrelevitystä on $R < 3000$ m kaarteessakin riittävä silloin, kun radan rakenne rajoittuu kiinteään esteeseen (laiturit, kallioleikkaukset, sillat ja tunnelit).
- 2) Siltojen päiden penkereen levennys on suunniteltava ratkaisuna, jossa pengerlevennys ulottuu 4 metrin etäisyydelle reunimmaisen raiteen keskilinjasta 10 m matkalla alkaen sillan siipimuurin päästä ja se muuttuu radan poikkileikkauksen mukaiseksi seuraavan 5 metrin matkalla.

Pengerleveyttä 6,0 m luiskakaltevuudella 1:2 voidaan käyttää korvaavana vaihtoehtona leveydeltään 6,2–6,8 m oleville, luiskakaltevuuteen 1:1,5 rakennetuille ratapenkereille, mikäli se muista syistä arvioidaan mahdolliseksi tai tarkoituksenmukaiseksi.

Myös alusrakenneluokissa 2 ja 3 kaksiraiteisen radan ratapenkereen vaadittu vähimmäisleveys määräytyy ratapolkystä mitatun palautuvan pystysuuntaisen siirtymän perusteella samaan tapaan kuin yksiraiteisellakin radalla ottaen huomioon raideväli. Vähimmäisraideväli on määritetty ohjeissa RATO 2 ja RATO 7.

Kolme- ja useampiraiteisen radan poikkileikkaukset muodostetaan yksi- ja kaksiraiteisen radan normaalipoikkileikkauksista.

Uusilla ratapenkereillä, alusrakenneluokkien 2 ja 3 radoilla pengerleveyden mitoitusessa toimitaan seuraavasti:

- 1 Kokonaan uudella ratalinjalla voidaan käyttää pengerleveyttä 6,0 m (luiskakaltevuus 1:1,5) mikäli rata sijaitsee karkearakeisten pohjamaiden (Hk, Sr, Mr) alueella. Muissa tapauksissa käytetään pengerleveyttä 6,8 m (1:1,5).
- 2 Mikäli lisäraide tai uudella linjauksella oleva rata perustetaan paalulaatan tai tiivistetyn massanvaihdon varaan, voidaan käyttää pengerleveyttä 6,0 m (1:1,5)
- 3 Lisäraiteen rakentamisen yhteydessä toimitaan kuten olemassa olevilla radoilla siten, että ratapölkyn siirtymämittaukset tehdään olemassa olevalta raiteelta. Jos pohjatutkimusten perusteella pohjamaa voidaan luotettavasti todeta, että lisäraide sijaitsee karkearakeisella pohjamaalla (Hk, Sr, Mr), pengerleveytenä voidaan käyttää 3,0 m raiteen keskilinjasta mitattuna.

Edellä esitetyt pengerleveydet koskevat suoraa rataa tai kaarretta, jonka $R \geq 3000$ m.

Yllä kuvattu pengerleveyden määrittystapa vastaa ratapenkereen vähimmäisleveyttä enintään 250 kN akselipainolla. Mikäli halutaan tarkastella akselipainon nostoa 250 kN:sta ylöspäin, tulee ratapölkyn pystysiirtymän raja-arvoja skaalata vastaavasti seuraavan esimerkin mukaisesti:

Esimerkiksi jos akselipainoa nostetaan 250 kN:sta 300 kN:iin (korotus 20 %), pitää sallitun pystysuuntaisen siirtymän raja-arvoa pienentää vastaavasti 20 %. Tarvitaan siis 6,8 m leveä ratapenger, jos pystysuuntainen siirtymä $> 0,8 \times 1,2 \text{ mm} \approx 0,95 \text{ mm}$

Nykyisen raiteen viereen rakennettavan uuden raiteen vähimmäisraidevälin määrittelyssä on otettava huomioon raidevälin vaikutus rakentamiseen. Kapea raideväli hankaloittaa pehmeiköllä pohjanvahvistustöiden toteutusta, lisää tukiseinätarvetta ja aiheuttaa muodonmuutoksia (painumia, siirtymiä) nykyiselle radalle sekä lisää rakentamiskustannuksia. Lisäksi tulee ottaa huomioon nykyisen radan sähköistys ja olemassa olevat sillat sekä alueen maankäytön ja kaavoituksen asettamat rajoitukset.

3.7.5 Routamitoitus

3.7.5.1 Uudet radat, rataoikaisut ja lisäraiteen rakentaminen

Routaeristämättömillä radoilla routimattomien rakennekerrosten kokonaispaksuuden on oltava liitteen 1 kuvan 1 mukainen, kun radan alusrakenneluokka on 2, 3 tai 4. Alusrakenneluokan 1 radoilla routimattomien rakennekerrosten kokonaispaksuus saa kuitenkin olla 0,2 m ja alusrakenneluokan 0 radoilla 0,6 m liitteen 1 kuvan 1 mukaisia arvoja pienempi.

Kiviaineksista rakennettavien siirtymäkiilojen kaltevuudet alusrakenneluokittain on esitetty InfraRYL:ssa.

Routaeristettävien ratojen routamitoitus tehdään liitteen 1 mitoituskäyrästä avulla mitoituspakkasmäärän sekä vuotuisen ilman keskilämpötilan perusteella. Liitteen 1 kuvan 1 laadinnassa routamitoitus on tehty käyttäen kerran 50 vuodessa toistuvaa pakkasmäärää (F_{50}). Käyrästä tarvittava mitoituspakkasmäärän toistumisjakso valitaan taulukosta 5 radan alusrakenneluokan perusteella.

Routalevyjen käyttö uusien ratojen, lisäraiteiden ja rataoikaisujen routasuojauksessa edellyttää aina Liikenneviraston lupaa.

Taulukko 5. Routaeristettävän radan routamitoituksessa käytettävän mitoituspakkasmäärän toistumisjakson valinta radan alusrakenneluokan perusteella.

Radan alusrakenneluokka	Mitoituspakkasmäärän toistumisjakso [vuotta]	
	Ratalinja	Vaihdealue
0	5	20
1	20	50
2	50	50
3	50	50
4	50	50

Jos radan väli- ja eristyskerroksen materiaalina käytetään murskattua kiviainesta, on liitteen 1 kuvien mukaisia routimattoman radan rakennepaksumuksia kasvatettava 15 %. Tämä on huomioitu liitteen 2 normaalipoikkileikkausten yhteydessä esitetyissä kokonaisrakennekerrospaksumuksissa (K).

Pohjamaa luokitellaan joko routivaksi tai routimattomaksi. Routivuuden arviointi tehdään julkaisun ”Geotekniset tutkimukset ja mittaukset” LO 10/2015 /16/ mukaisesti. Routimattomalla pohjamaalla olevia ratoja ei routasuojata.

3.7.5.2 Parannettavat ja uudistettavat radat

Pohjamaa luokitellaan joko routivaksi tai routimattomaksi. Routivuuden arviointi tehdään julkaisun ”Geotekniset tutkimukset ja mittaukset” LO 10/2015 /16/ mukaisesti. Routimattomalla pohjamaalla olevia ratoja ei routasuojata.

Routasuojauksen parantaminen toteutetaan ensisijaisesti siten, että routivat materiaalit vaihdetaan routimattomiin tai toissijaisesti rakenne routasuojataan routalevyjä käyttäen.

Kiviaineksista rakennettavien siirtymäkiilojen kaltevuudet alusrakenneluokittain on esitetty InfraRYL:ssa.

Routalevyjä käytettäessä ratarakenteen routamitoitus tehdään liitteen 1 mitoituskäyrästöjen avulla.

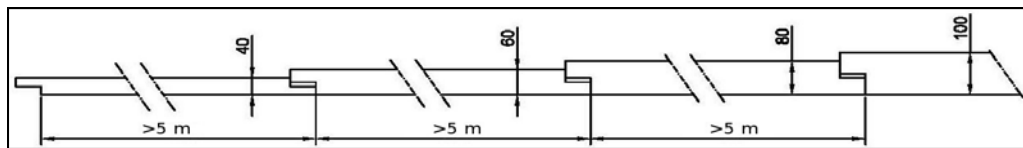
Routalevyä 40 mm käytetään vain siirtymärakenteissa.

Routalevyjen käyttö edellyttää aina Liikenneviraston lupaa.

Parannettavilla ja uudistettavilla radoilla on liitteen 1 kuvien mukaisia routimattomia radan rakennepaksumuksia kasvatettava 15 %, jos radan väli- ja eristyskerroksen materiaalina on käytetty murskattua kiviainesta.

Routaeristetyssä rakenteessa routalevyn alapuolella olevan routimattoman alusrakennekerroksen vähimmäispaksuus on 300 mm käytettäessä luonnonmateriaaleja ja 450 mm käytettäessä murskattua kiviainesta. Lisäksi etäisyys routalevyn alapinnasta ylimpään pohjavedenpintaan tulee olla suurempi kuin routalevyn alla olevan materiaalin kapillaarinen nousukorkeus. Routalevyn sijoitus ratarakenteeseen on esitetty liitteessä 5.

Routalevytetty osuus päätetään aina siirtymäkiilaan. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki kiilan rakenteesta. Tarvittaessa voidaan käyttää 5 m pidempiä osuuksia.



Kuva 4. Esimerkki routalevytetyn jakson päättämisestä.

Liitteessä 1 on routamitoituskäyrästä sekä pakkasmäärä- ja keskilämpötilakarttojen ohella esitetty esimerkki routamitoituksesta.

Vanhan routalevyn poisto tai paikalleen jättäminen määritetään suunnitteluperusteissa.

Vaihteiden routasuojaus on esitetty ohjeessa RATO 14.

Rumpujen ja muiden epäjatkuvuuskohtien kohdalla on ensin selvitettävä, liittyykö havaittu epätasaisuusongelma lainkaan routimiseen vai aiheutuuko havaittu epätasaisuus rakenteen jäykkyyden ja muodonmuutuskäyttäytymisen muutoksesta, joka on routimisesta riippumatonta. Routaongelmista kärsivien rumpujen kohdalla on tarkasteltava myös rummun alapuolisen rakenteen routimisen mahdollisuutta. Rumpujen routaongelmien lieventämiseksi voidaan selvittää, saadaanko haitallista routimista vähennettyä rumpuputken sisäpinnan lämmöneristämällä sekä etenkin talvikaudella kuivana olevan rummun tapauksessa rummun päiden lämmöneristämällä.

3.7.6 Siltojen ja paalulaattojen mitoitus

Siltoihin liittyvät asiat on esitetty ohjeessa *Eurokoodin Soveltamisohje, Geotekninen suunnittelu – NCCI 7 /12/*. Paalulaattoihin liittyvät asiat on esitetty Liikenneviraston ohjeessa *Paalulaatat ja paaluhatturakenteet /21/*.

3.8 Ulkoiset kuormat

3.8.1 Junakuorma

Radan maanvaraisen perustamisen sekä alus- ja pohjarakenteiden mitoituksessa käytettävä pystysuoran junakuorman ominaisarvo saadaan kertomalla kyseisen kuormakaavion perusteella määräytyvät, paikallaan olevan junan aiheuttamaa staattista kuormaa vastaavat nauha- ja akselikuormat asianomaisella sysäyskertoimella ϕ_v . Junakuorman mitoitusarvo saadaan junakuorman ominaisarvosta kertomalla se yhdistelykertoimella ja junakuorman osavarmuusluvulla.

Mitoituslaskelmissa junakuorma jaetaan ratapölkyn leveyselle alalle. Ratapölkyn pituutena käytetään 2,60 m ellei kohdekohtaisesti ole syytä käyttää muuta leveyttä.

3.8.2 Kuormakaavioiden valinta

Infrastruktuuri-YTE määrittää liikennekuormat sekä uusille, että vanhoille radoille. Suunnittelussa käytettävä YTE-rataluokka ja siitä seuraava kuormakaavio esitetään suunnitteluperusteissa.

YTE-rataluokan perusteella määräytyy käytettävä akselipaino ja kuormituskaavio sekä siihen liittyvä nopeus. Stabiliateetin, painumien ja maanpainerakenteiden mitoituksessa on yleensä mitoittava raskain tavaravaunu tai veturi. Värähtelytarkasteluissa on yleensä mitoittavana suurin sallittu nopeus.

3.8.3. Kuormakaaviot

Infrastruktuuri-YTE mukaisesti uusien infrarakenteiden ja korvattavien rakenteiden, mitoituksessa käytetään junakuormaa, joka vastaa kuormituskaaviota LM71. Pystykuormituksen ominaisarvot kerrotaan alfa-kertoimella YTE-rataluokan mukaisesti. Alfa-kerroin voi saada arvon 0,75 - 0,83 - 0,91 - 1,00 - 1,10 - 1,21 - 1,33 - 1.46.

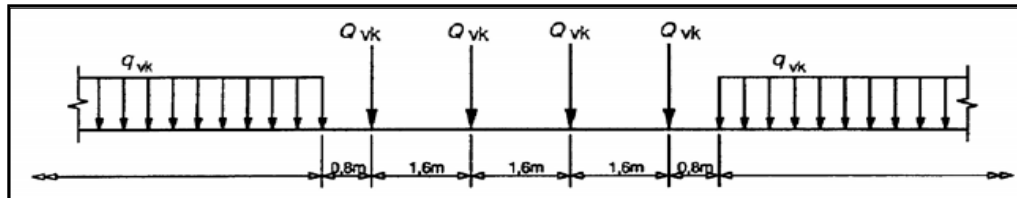
Pohjarakenteiden ja pohjanvahvistusten suunnittelussa käytetään alfa-kertoimelle arvoa $\geq 1,10$, ellei suunnitteluperusteissa esitettyä muuta arvoa.

Nykyisten ja vahvistettavien rakenteiden mitoitus tehdään standardin SFS-EN 15528 mukaisilla junakuormilla huomioiden YTE-rataluokan vaatimukset.

UUDET INFRARAKENTEET JA KORVATTAVAT RAKENTEET:

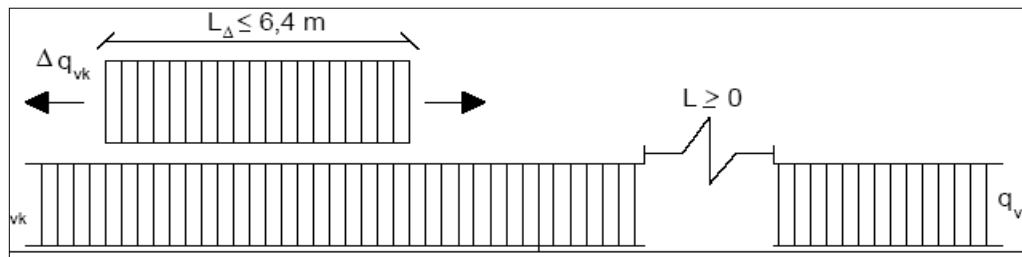
Mitoituksessa käytetään kuormituskaavion LM71 mukaisia kuormia.

LM71 kuormakaavio muodostuu nauhakuormasta q_{vk} ja neljästä akselikuormasta Q_{vk} , jotka sijaitsevat 1,6 m etäisyydellä toisistaan. Kuormakaavio LM71 on esitetty kuvassa 5 ja sitä vastaavat kuormien ominaisarvot taulukossa 6.



Kuva 5. SFS-EN1991-2 /17/ mukainen kuormakaavio LM71.

Kun radan korkeusviivan ja tarkastelutason välinen etäisyys on suurempi kuin 0,80 m, voidaan kuormakaaviota käsitellä kuvan 6 ja taulukon 6 mukaisesti kahtena tasaisena kuormana q_{vk} ja Δq_{vk} maanpainerakenteiden tai muiden rakenteiden mitoituksessa, jossa kuorman paikallisvaikutus on määräävä.



Kuva 6. Kuormakaavion LM71 käsittely kahtena tasaisena kuormana.

Taulukko 6. Kuormakaavion LM71 mitoitusakselipainot, niiden tunnuksot sekä vastaavat staattiset nauhakuormien ja akselikuormien ominaisarvot.

Mitoituskuormakaavion tunnus	α -kerroin (1)	Akselikuorman ominaisarvo Q_{vk} [kN]	Nauhakuorman ominaisarvo q_{vk} [kN/m]	Δq_{vk} [kN/m]
LM71-17	0,90	188	60	58
LM71-22,5	1,0	250	80	76
LM71-25	1,10	275	88	84
LM71-27,5	1,21	300	96	92
LM71-30	1,33	333	106	102
LM71-35	1,46	370	120	111

(1) α -kertoimen arvo, joka sisältyy taulukossa esitettyihin arvoihin

Kuvien 5 ja 6 kuormakaavioita ja taulukon 6 ominaiskuormia käytettäessä tulisi mitoituksessa huomioida kuormien vaikutuksen 3D-tarkastelu. 3D-tarkastelu voidaan tehdä kuormitusten vaikutusten optimoimiseksi.

Ratapenkereiden stabiiliteettimitoituksessa käytetään taulukon 7 mukaisia kuormien ominaisarvoja, kun laskenta tehdään tavanomaisena 2D-liukupintatarkasteluna. Näitä kuormia ei käytetä esimerkiksi tukiseinien maanpaineen määrittämiseen, vaan niiden mitoituksessa kuormat ovat kuvien 5 ja 6, sekä taulukon 6 mukaiset.

Taulukko 7. Kuormakaavion LM71 2D-stabiiliteettilaskennassa käytettävät ominaisarvot.

Mitoituskuormakaavion tunnus	α -kerroin (1)	2D-stabiiliteettilaskennassa käytettävä nauhakuorman ominaisarvo q_{stab} [kN/m]
LM71-17	0,90	92
LM71-22,5	1,0	103
LM71-25	1,10	111
LM71-27,5	1,21	119
LM71-30	1,33	129
LM71-35	1,46	142

(1) α -kertoimen arvo, joka sisältyy taulukossa esitettyihin arvoihin

VAHVISTETTAVAT INFRARAKENTEET


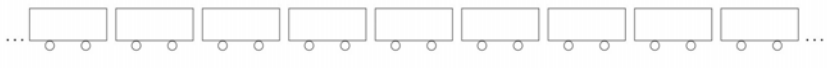
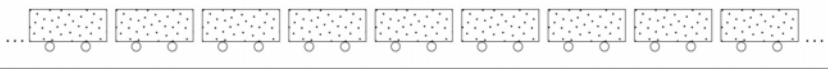
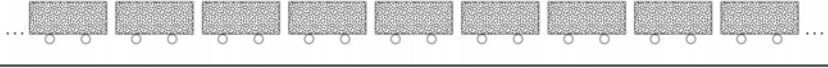



Vanhojen rakenteiden vahvistustarpeen selvityksessä ja korjauksen mitoituksessa käytetään alla olevan taulukon mukaisia kuormakaavioita.

Taulukko 8. SFS-EN15528 /15/ mukaiset kuormakaaviot ja mitoitusakselipainot.

Referenssi vaunu	Akselikuorma P (t)	Metripaino p (t/m)	Mitat
C2	20	6,4	
C3	20	7,2	
C4	20	8,0	
D2	22,5	6,4	
D3	22,5	7,2	
D4	22,5	8,0	
xL-a	20	8,0	
xL-b	22,5	7,4	
E4	25	8,0	
E5	25	8,8	

Alla olevassa taulukossa on esitetty, miten taulukon 8 kuormakaavioita tulee ryhmitellä laskennassa.

Taulukko 9. Standardin SFS-EN15528 /15/ mukaiset EN-rataluokat

EN-rataluokka	Referenssivaunujen sijoittelu n ... rajoittamaton lukumäärä
C4	n x C4 
D2	n x D2 
D3	n x D3 
D4	n x D4 
D4xL ^a	n x D4 xL-a xL-b xL-a n x D4 
E4 ^b	n x E4 
E5	n x E5 

a D4xL pätee vain vetureille

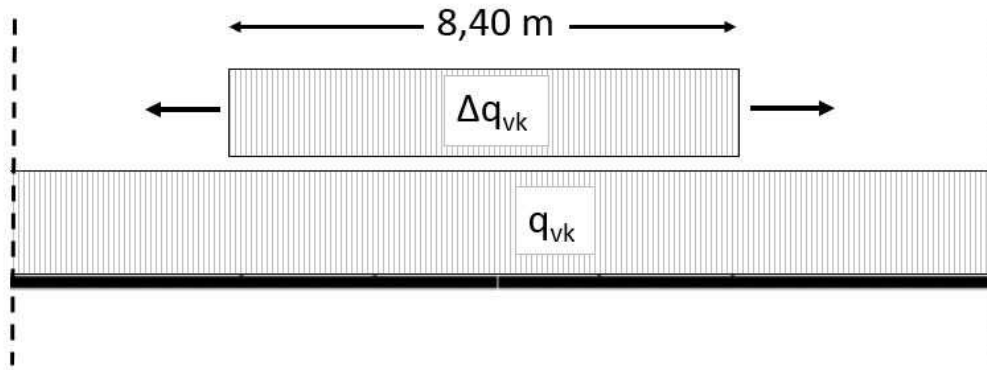
HUOMAUTUS 1 D4xL voidaan käyttää muun tyyppisille liikennevälineille

b E4 ja E5 pätee vain tavaravaunuille

HUOMAUTUS 2 D4xL > D4, mutta D4xL ≠ E4, E5

HUOMAUTUS 3 Erikoisliikenne voidaan myös luokitella muiden ohjeiden tai erilaisten EN-rataluokkien mukaisesti (esim. EN-rataluokka F - 27,5 t tai G - 30 t)

Kun radan korkeusviivan ja tarkastelutason välinen etäisyys on suurempi kuin 0,80 m, voidaan kuormakaaviota käsitellä kuvan 7 ja taulukon 10 mukaisesti kahtena tasaisena kuormana q_{vk} ja Δq_{vk} maanpainerakenteiden tai muiden rakenteiden mitoituksessa, jossa kuorman paikallisvaikutus on määräävä.



Kuva 7. EN15528 kuormakaavion C4, D4 tai E4 käsittely kahtena tasaisena kuormana. Kaavion kuormien ominaisarvot on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. SFS-EN15528 /15/ mukaisten mitoitusakselipainot, niiden tunnuksot sekä vastaavat staattiset nauhakuormien ja akselikuormien ominaisarvot.

Mitoituskuormakaavion tunnus	Akselikuorman ominaisarvo Q_{vk} [kN]	Nauhakuorman ominaisarvo q_{vk} [kN/m]	Δq_{vk} [kN/m]
C4	200	80	16
D4	225	80	28
E4	250	80	40

Kuvan 7 kuormakaavioiden ja taulukon 10 ominaiskuormien sijasta voidaan mitoitus tehdä taulukon 8 ja 9 kuormakaavioilla, kun huomioidaan kuormien 3D vaikutus. 3D-tarkastelu voidaan tehdä kuormitusten vaikutusten optimoimiseksi.

Ratapenkereiden stabiliteettimitoituksessa käytetään taulukon 11 mukaisia kuormien ominaisarvoja, kun laskenta tehdään tavanomaisena 2D liukupinta tarkasteluna. Näitä kuormia ei käytetä esimerkiksi tukiseinien maanpaineen määrittämiseen, vaan niiden mitoituksessa kuormat ovat taulukoiden 8 ja 9 sekä kuvan 7 mukaiset.

Taulukko 11. SFS-EN15528 /15/ mukaisten EN-rataluokkien 2D-stabiliteettilaskennassa käytettävät ominaisarvot.

Liikkuva kalusto (EN15528)	2D-stabiliteettilaskennassa käytettävä nauhakuorman ominaisarvo q_{stab} [kN/m]
C2	80
C3	86
C4	92
D2	80
D3	86
D4	92
D4xL	92
E4	92
E5	99

3.8.4 Sysäys

Uusien ratojen suunnittelussa sysäyskerroimelle käytetään arvoa $\varphi_v = 1,25$

Vanhojen ratojen suunnittelussa sysäyskerroimelle φ_v käytetään liikennöinti- nopeudesta ja radan kunnossapitotasosta riippuvaa arvoa. Sysäyskerroin lasketaan kaavojen 3.8:1 ja 3.8:2 sekä taulukon 12 mukaan.

$$\varphi_v = 1 + n \cdot \left(1 + 0.5 \frac{V - 60}{K_i} \right), \text{ kun } V > 60 \text{ km/h} \quad (3.8:1)$$

$$\varphi_v = 1 + n, \text{ kun } V \leq 60 \text{ km/h} \quad (3.8:2)$$

n = rataosan kunnossapitotasosta riippuva kerroin

V = kyseessä olevan junatyypin liikennöinti- nopeus rataosalla

$K_i = 80$ tavarajunilla ja $K_i = 190$ matkustajajunilla

Taulukko 12. Rataosan kuntoluokka, kunnossapitotaso ja n -kerroin.

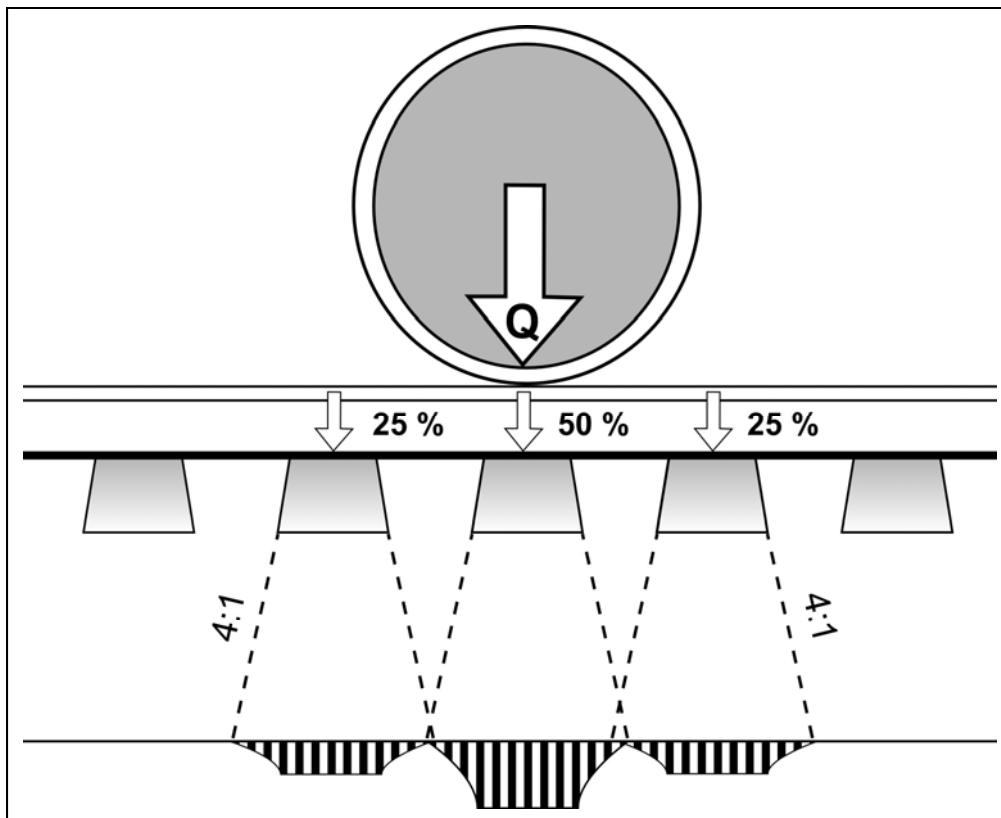
Rataosan kuntoluokka	Kunnossapitotaso	Kerroin n
Korkea kunnossapitotaso	1A, 1AA	0,15
Normaali kunnossapitotaso	1 - 4	0,20
Alhainen kunnossapitotaso	5 - 6	0,25

Pohjarakennustyömaan kohdalla kertoimelle n käytetään aina arvoa $n = 0,25$.

Maanvaraisen penkereen stabiliteetin osalta mitoittava tilanne on pysähtynyt juna, jolloin sysäyskerroimen arvo on 1,0.

3.8.5 Pystysuorien kuormien jakaantuminen penkereelle

Pystysuoran junakuorman jakaantuminen ratapölkkyjen kautta ratapenkereeseen voidaan likimäärin otaksua kuvan 8 mukaiseksi, ellei ole tapauskohtaisesti selvitetty.



Kuva 8. Pystysuoran junakuorman jakaantuminen ratapölkkyistä ratapenkereeseen. Ratapölkyn pituussuunnassa kuormitus kohdistuu molempiin päihin, runsaalle ratapölkyn kolmasosalle.

Tukikerroksessa kuorman voidaan olettaa jakaantuvan 4:1 kaltevuudessa ja muissa maakerroksissa 2:1 kaltevuudessa.

3.8.6 Vaakuorimat

Maanpainerakenteiden mitoituksessa on huomioitava keskipakovoimasta ja sivusuuntaisesta sysäyksestä aiheutuvat voimat.

Keskipakovoimasta aiheutuva kuorman ominaisarvo vaikuttaa 2 m korkeudella kiskon selästä ja lasketaan kaavalla 3.8:3.

$$F = P \cdot \frac{V^2}{9,81 \cdot R} \quad (3.8:3)$$

P = pystykuorma [kN] (ilman sysäyslisää)

R = kaarresäde

v = tavoitenopeus [m/s]

Sivusuuntaisen sysäyskuorman arvoja on annettu taulukossa 13.

Taulukko 13. Kaluston sallittua akselipainoa vastaava sivusuuntainen sysäyskuorma /11/

Kaluston sallittu akselipaino [kN]	Sivusuuntainen sysäyskuorma [kN]
350	146
300	133
275	121
250	110
225	100
170	75

3.8.7 Muut radan alus- ja pohjarakenteisiin kohdistuvat kuormat

Junakuorman lisäksi radan alus- ja pohjarakenteiden mitoituksessa tulee ottaa huomioon myös muut tapauskohtaisesti määräytyvät rakenteita kuormittavat tekijät, kuten ratapenkereen sisäisestä maanpaineesta paaluperustuksille ja paalulaatoille aiheutuvat vaakakuormat sekä paaluihin kohdistuvan negatiivisen vaippahankauksen vaikutus.

3.8.8 Työkonekuormat

Tavanomaisille kaivinkoneille (paino alle 250 kN) ja kuorma-autoille käytetään 20 kPa tasaista kuormaa. Raskaampien työkoneiden kuten paalutuskoneiden ja nosturien painot ja kuormitusalat selvitetään tapauskohtaisesti. Kuormien valinnassa pyritään mahdollisimman todellisiin kuorman arvoihin. Suunnittelussa käytetyt kuormat esitetään piirustuksissa.

Suunnitelmasta tulee ilmetä mitoituksessa käytetty työkonekuorma.

3.8.9 Maanpaine

Ratapenkereessä olevan maanpainerakenteen mitoitus tehdään ohjeen *Eurokoodin soveltamisohje, Geotekninen suunnittelu – NCCI 7/12/* mukaan.

3.8.10 Vedenpaine ja huokosveden ylipaine

Ratapenkereen läpi ei saa tapahtua jatkuvaa suotovirtausta eli ratapenger ei saa missään olosuhteissa toimia maapatona.

Mitoittava vedenpinta arvioidaan julkaisun *NCCI 7/12/* mukaisesti.

Pohjarakennustöiden aiheuttaman huokosveden ylipaineen vaikutus arvioidaan soveltaen Liikenneviraston Penkereiden stabiliteetin laskentaohjetta /17/.

Jos huokosveden ylipaineesta aiheutuu vaaraa radan stabiliteetille, huokosvedenpaineen kehittymistä on aina seurattava tarkkailumittausjärjestelmän avulla. Hälytysrajana radan stabiliteettia turvaaviin toimenpiteisiin valmistautumiselle on tällöin se, kun huokosveden ylipaine on saavuttanut puolet etukäteen arvioidusta sortumaan johtavasta arvostaan. Hälytysrajan ylittäminen johtaa välittömiin toimenpiteisiin, jotka tulee olla suunniteltu etukäteen.

3.8.11 Värähtely

Kvasistaattisella menetelmällä, jossa käytetään seisovan junan kuormaa kerrottuna sysäyskertomella, ei pystytä ennustamaan nopeiden junien aikaansaamaa pengervärähtelyriskiä. Mikäli värähtelyriski on mahdollinen, värähtely arvioidaan dynaamisella analyysillä. Dynaaminen analyysi saattaa olla tarpeen seuraavissa tapauksissa, jos henkilöjunien nopeus tarkasteltavalla raiteella voi olla suurempi kuin 160 km/h.

- 1) Penkereen ja tiiviin tai lujan penkereen alapuolisen maakerroksen yhteenlaskettu paksuus raiteen kohdalla on alle 2,5 m sekä näiden alla on pehmeä, vähintään 1 m paksu turve- taikka liejukerros.
- 2) Penkereen ja tiiviin tai lujan penkereen alapuolisen maakerroksen yhteenlaskettu paksuus raiteen kohdalla on alle 2,5 m sekä näiden alla on savikerros, joka on a) paksuudeltaan vähintään 2 m ja jonka suljettu leikkauslujuus on keskimäärin alle 20 kN/m², taikka b) paksuudeltaan on yli 4 m ja suljetulta leikkauslujuudeltaan keskimäärin alle 30 kN/m².

Jos värähtelyriski on edellä mainittujen ehtojen 1. tai 2. perusteella mahdollinen, tarkempi arviointi voidaan tehdä määrittämällä raiteen alapuolisen maakerroksen leikkausaallon etenemisnopeus. Leikkausaallon etenemisnopeus voidaan määrittää häiriintymättömillä maanäytteillä tehtävillä kokeilla laboratoriossa (Resonant Column taikka Bender-Element -koe) ao. penkereen alapuolisessa maan jännitystilassa taikka suoraan maastossa tehtävillä leikkausaallon etenemisnopeuden mittauksilla kuten nk. Cross-hole -mittauksilla. Savissa, joiden vesipitoisuus on välillä 30...120 %, leikkausaallon nopeus, v_s [m/s], on likimäärin arvioitavissa vesipitoisuuden, w [%], avulla kaavalla 3.8:4.

$$v_s = 135 - 0,75 \cdot w \quad (3.8:4)$$

Leikkausaallon nopeuden tulee olla vähintään 1,4 -kertainen verrattuna henkilöjunan suurimpaan nopeuteen raiteella.

Mikäli rakennustyö tai muu tärinä aiheuttaa maan lujuuden pienenemistä joko häiriintymisen tai huokosvedenpaineen nousun kautta, tulee tämä ottaa huomioon suunnittelussa.

3.9 Radan ympäristögeotekniset suunnittelu- perusteet

3.9.1 Junaliikenteen aiheuttama tärinä

Uusien ratojen suunnittelussa ja perustamisessa liikennetärinästä aiheutuvat ympäristöhaitat on otettava huomioon siten, ettei tärinästä aiheudu vaurioita rakennuksille tai kohtuutonta häiriötä rakennuksissa oleville ihmisille. Liikenteen aiheuttaman tärinän vaikutukset on huomioitava ja siihen liittyvät selvitykset tehtävä mahdollisuuksien mukaan yleissuunnittelun ja viimeistään ratasuunnittelun yhteydessä.

Junaliikenteestä syntyvän tärinän voimakkuus alueilla, joita käytetään, taikka on suunniteltu käytettäväksi, asumiseen tai sitä vastaaviin tarkoituksiin, ei saa ylittää viitteessä /22/ esitettyjä tärinän tunnuslukuja. Tunnusluvut on annettu häiritsevyyden suhteen ja ihmisen herkkyyden suhteen painotettuina. Uusille radoille ja radoille, joilla liikennenopeutta tai akselipainoja nostetaan aikaisempaan verrattuna, sovelletaan tärinän tunnusluvun luokkaa C (ks. viite /22/, s. 25). Vanhoilla radoilla sovelletaan luokkaa D. Vertailu tärinän tunnuslukujen suhteen tulee tehdä erikseen sekä vaaka- että pystysuunnissa. Tapauskohtaisesti voidaan arvioida haitan kohtuullisuuden ja tärinähaitan pienentämisen keinojen käytettävyyden perusteella sovellettavat tunnusluvut hanke- ja aluekohtaisesti.

Rakennusten ja rakenneosien vaurioituminen tapahtuu yleensä merkittävästi häiritsevyyttä suuremmilla tärinätasolla. Radan suunnittelussa vaurioitumisen suunnitteluarvona voidaan käyttää heilahdusnopeuden maksimiarvoa. Perinteisesti rakennetuille betoni-, tiili- tai puurakennuksille perustuksesta mitatun värähtelyn maksimiarvon tulee olla pienempi kuin 4 mm/s, kun dominoiva värähtelytaajuus on alueella alle 10 Hz. Taajuusalueella 10–30 Hz raja-arvo on 5 mm/s ja yli 30 Hz:n alueella 6 mm/s.

Erityisen ongelmallisia tärinän leviämisen suhteen ovat savikkolaaksopainanteet. Savikkoalueilla värähtely leviää tehokkaasti ja leviävän tärinä taajuus on useimmiten alle 10 Hz. Tällöin riskinä on rakennuksen rungon ja kantavien lattioiden resonanssi.

Liikennetärinä niveltyy kiinteästi alueiden maankäytön suunnitteluun. Vaikutusten arvioimisessa alueiden käyttöön tulee olla tarvittaessa yhteydessä kuntien maankäytön suunnitteluun.

3.9.2 Rakentamisesta aiheutuvat vaikutukset

Rakennustöiden ympäristölle aiheuttamia vaikutuksia voivat olla muun muassa pohjaveden alentuminen, maanpinnan painuminen tai kohoaminen ja maan sivuttaisuuntaiset liikkeet, paalutus-, louhinta- ja tiivistystöiden aiheuttama tärinä sekä melu ja pöly. Näiden vaikutukset otetaan huomioon InfraRYL:n /1/ asianomaisissa osissa ja julkaisussa RIL253-2010 /23/ esitetyllä tavalla. Rakentamisen aiheuttaman tärinän ja pohjaveden alentumisen vaikutukset on huomioitava ja niihin liittyvät selvitykset tehtävä mahdollisuuksien mukaan yleissuunnittelun ja viimeistään ratasuunnittelun yhteydessä.

3.10 Radan normaalipoikkileikkaukset

Radan rakenteesta on laadittu normaalipoikkileikkaukset, joissa on esitetty rakenneytyppien mitat. Normaalipoikkileikkausten mitat ovat minimimittoja. Normaalipoikkileikkausten pohjalta laaditaan tarvittaessa hankekohtaiset tyyppipoikkileikkaukset ja paalukohtaiset poikkileikkaukset.

Radan normaalipoikkileikkaus ilmoitetaan lyhenteillä, jotka muodostetaan seuraavien periaatteiden mukaisesti (kuva 9):

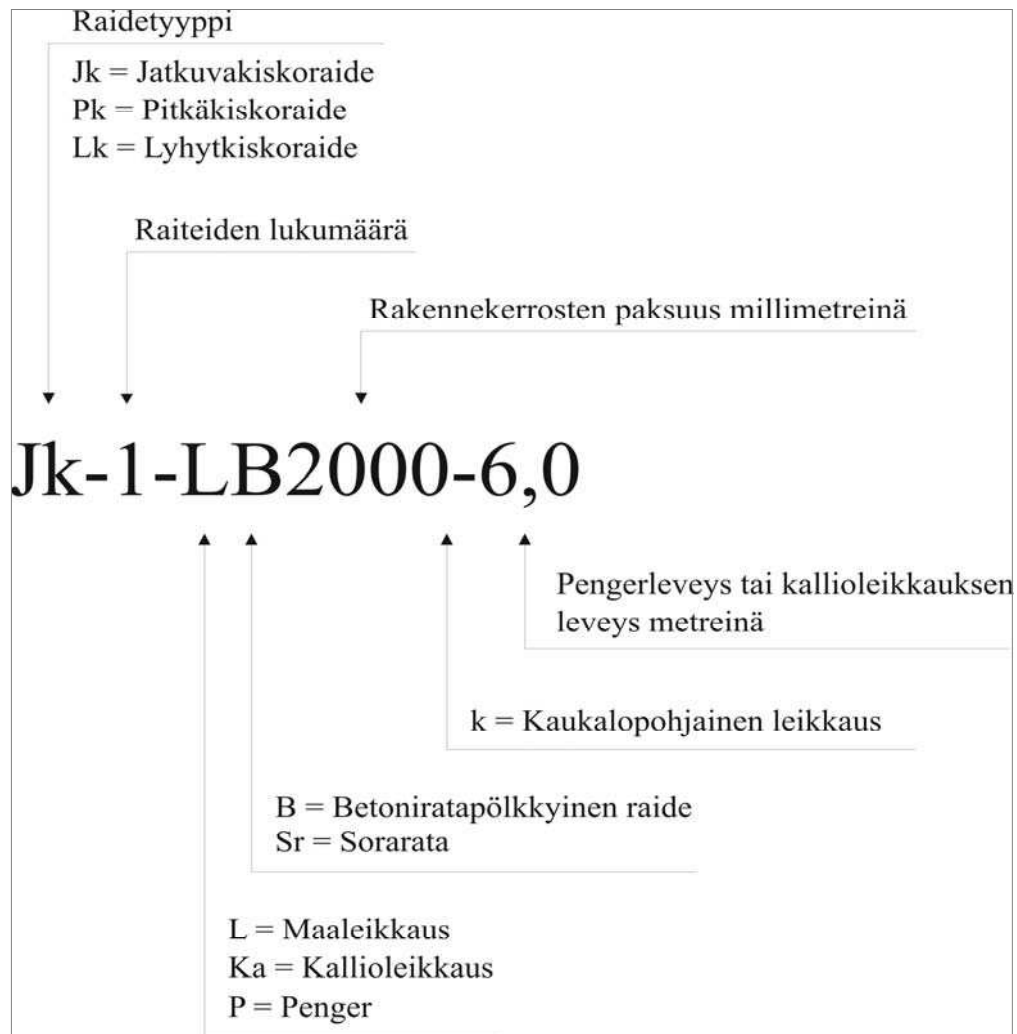
- 1) Raidetyypit ilmaistaan lyhenteillä Jk, jatkuva-, Pk, pitkä- ja Lk, lyhytkiskoraide
- 2) Raiteiden lukumäärää ilmaistaan raidetyyppiä kuvaavan lyhenteen jälkeen
- 3) Maaleikkausten rakennetunnus on L, penkereen P ja kallioleikkauksen Ka
- 4) Kirjaintunnus B tarkoittaa betoniratapölkkyraidetta
- 5) Soraradan tunnuksena käytetään merkintää Sr
- 6) Rakennekerrosten yhteispaksuus ilmoitetaan millimetreinä
- 7) Kirjaintunnus k tarkoittaa kaukalopohjaista leikkausta
- 8) Rakenteen pengerveys sekä kallioleikkauksen leveys suoralla radalla ilmoitetaan metreinä

Esimerkiksi lyhenne Jk-2-LB2000-10,3 tarkoittaa seuraavaa: Jatkuvakiskoinen kaksiraiteinen sepelöity betoniratapölkkyinen maaleikkausrakenne, jonka rakennekerrospaksuus on 2000 millimetriä ja pengerveys 10,3 metriä.

Kolme- ja useampiraiteisen radan poikkileikkaus muodostetaan yksi- ja kaksiraiteisen radan normaalipoikkileikkauksista.

Normaalipoikkileikkauspiirustukset on esitetty liitteessä 2.

Tunnelipoikkileikkaukset on esitetty ohjeessa RATO 18 Rautatietunnelit.



Kuva 9. Normaalipoikkileikkauksen lyhenteen muodostaminen. Kaukalopohjan leikkausta ei ole esitetty kuvan merkinnässä.

3.11 Kävelykulkutiet

3.11.1 Yleistä

Kävelykulkutie on vaihtotyöhenkilökunnan jalankulkuun tarkoitettu väylä ratapihalla.

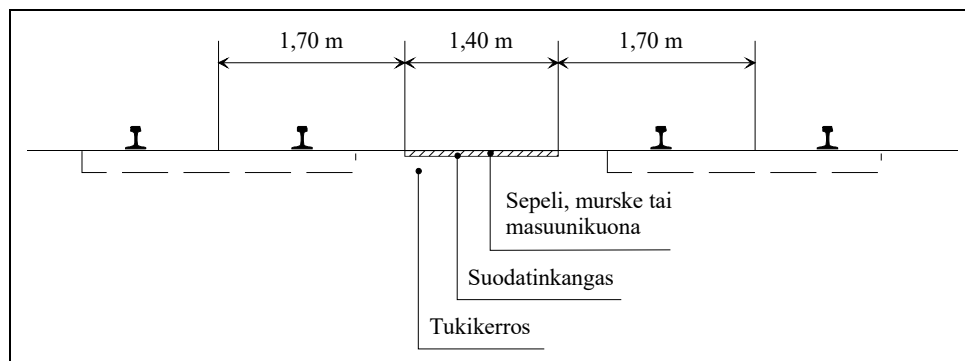
Kävelykulkutien suunnitteluperusteet on esitetty RATO:n osassa 7 ”Rautatieliikennepaikat”.

3.11.2 Kävelykulkutien poikkileikkaus ja materiaalit

Kävelykulkutien pohja ratapiha-alueella on tukikerros. Kävelykulkutie tehdään ratapihalla 1,40 m levyisenä tiivistämällä kerroksen pintaosa ja päällystämällä se enintään 50 mm paksuisella kerroksella mursketta, jonka maksimirae koko on 25 mm.

Jos kävelykulkutien materiaali sisältää 0...12 mm lajitetta enemmän kuin 10 %, se erotetaan raidesepelistä käyttöluokan 2 suodatinkankaalla (kuva 10).

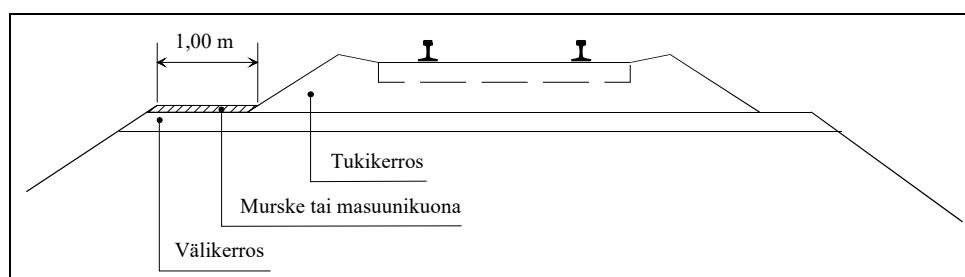
Työturvallisuuskäytännöistä johtuen kävelykulkutien materiaalina suositellaan käytettäväksi vaaleaa kiviainesta.



Kuva 10. Kävelykulkutien poikkileikkaus ratapihalla.

Ratalinjalla pengertä levennetään soralla tai hiekalla siten, että kävelykulkutie, joka tehdään ratalinjalla 1,00 m levyisenä, mahtuu penkereelle (kuva 11). Kävelykulkutien pinta päällystetään murskeella, jonka raekoko on 0...12 mm tai 0...25 mm.

Kävelykulkutien ja raiteen risteyskohdassa on kävelykulkutien pinnassa käytettävä raidesepeliä tai tasoristeyksen kansirakennetta TraFin määräyksen mukaisesti /10/.



Kuva 11. Kävelykulkutien poikkileikkaus ratalinjalla.

Viitteet

- /1/ InfraRYL 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset.
- /2/ XPS-routalevyjen tekniset toimitusehdot. RHK 291/731/02. Ratahallintokeskus, Helsinki 2002.
- /3/ SFS-EN 13450 Raidesepelikiviainekset kansallinen soveltamisohje. Ratahallintokeskus 8.11.2004, 1277/731/2002.
- /4/ SFS-EN 13450 Raidesepelikiviainekset, CE-merkintä. Ratahallintokeskus 25.10.2005, 2612/52/2005.
- /5/ Päällysrakennetöiden yleinen työselitys D16 (PYL). Ratahallintokeskus 15.10.2004.
- /6/ Päällysrakennetöiden yleiset laatuvaatimukset, osa 2 Raidetyöt, D8. Ratahallintokeskus 1.12.2000.
- /7/ Päällysrakennetöiden yleiset laatuvaatimukset, osa 3 Vaihdytöt, D5. Ratahallintokeskus 1.9.1999.
- /8/ SFS-EN 1990 Eurokoodi Rakenteiden suunnitteluperusteet. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- /9/ SFS-EN 1991 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- /10/ SFS-EN 1997 Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Suomen standardisoimisliitto SFS
- /11/ Eurokoodin soveltamisohje, Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1. Liikenneviraston ohjeita 24/2017.
- /12/ Eurokoodin soveltamisohje, Geotekninen suunnittelu – NCCI 7. Liikenneviraston ohjeita 13/2017.
- /13/ InfrastruktuuriYTE eli EU komission asetusta Euroopan unionin rautatiejärjestelmän infrastruktuuriasajärjestelmää koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä (2014/1299/EU) TRAFI/8591/03.04.02.00/2014
- /14/ SFS-EN 1991-2 Eurokoodi Siltojen liikennekuormat. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- /15/ SFS-EN 15528, Kiskoliikenne. Ratalinjojen luokitus. Rautatievaunujen kuormitusrajat ja infrastruktuuri. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- /16/ Geotekniset tutkimukset ja mittaukset. Liikenneviraston ohjeista 10/2015.
- /17/ Penkereiden stabiliteetin laskentaohje. Liikenneviraston ohjeita 14/2018.

- /18/ Tien geotekninen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 10/2012.
- /19/ Syvästabiloinnin suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 17/2018
- /20/ Ratojen routasuojaustarpeen selvittäminen. Ratahallintokeskuksen tutkimusohje B 8. Helsinki 2002.
- /21/ Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu, Pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 5/2014.
- /22/ Talja, Asko, Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta, 2004. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, VTT Tiedotteita - Research Notes: 2278. Espoo. 50 s. + liitt. 15 s.
- /23/ Rakentamisen aiheuttamat tärinät. RIL 253-2010.
- /24/ Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 4, vaihteet. Liikenneviraston ohjeita 22/2012.
- /25/ Sivukuormitettujen pylväsperustusten suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 32/2016.
- /26/ Savolainen Lauri, Mansikkamäki Juho, Kalliainen Antti: 2D Loads for Stability Calculations of Railway Embankments. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 56/2017.

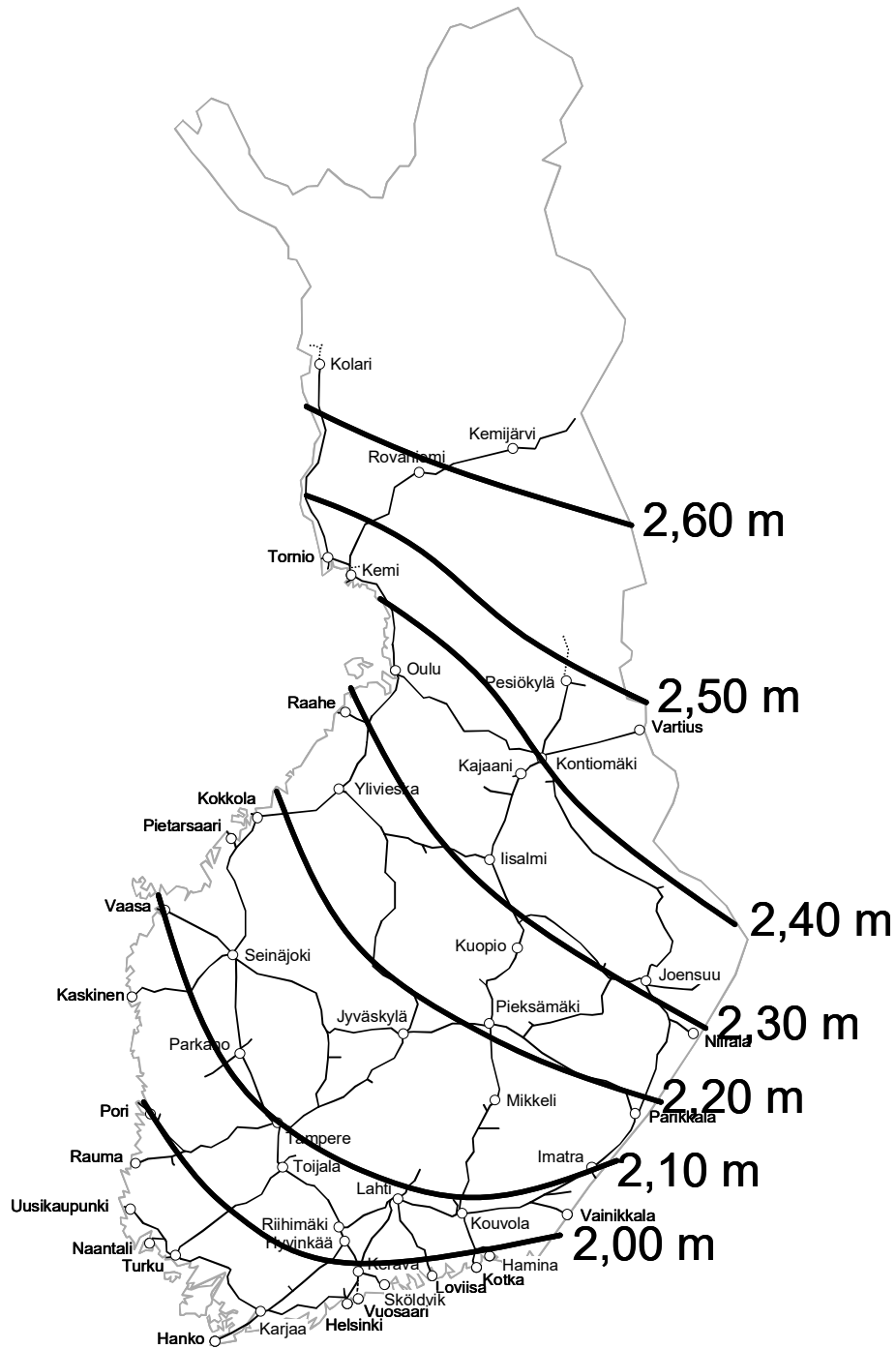
Routamitoituskäyrästöt ja routamitoitus- esimerkki

Taulukko 1. Routalevyepaksuus ja routimattoman rakenteen kokonaispaksuus

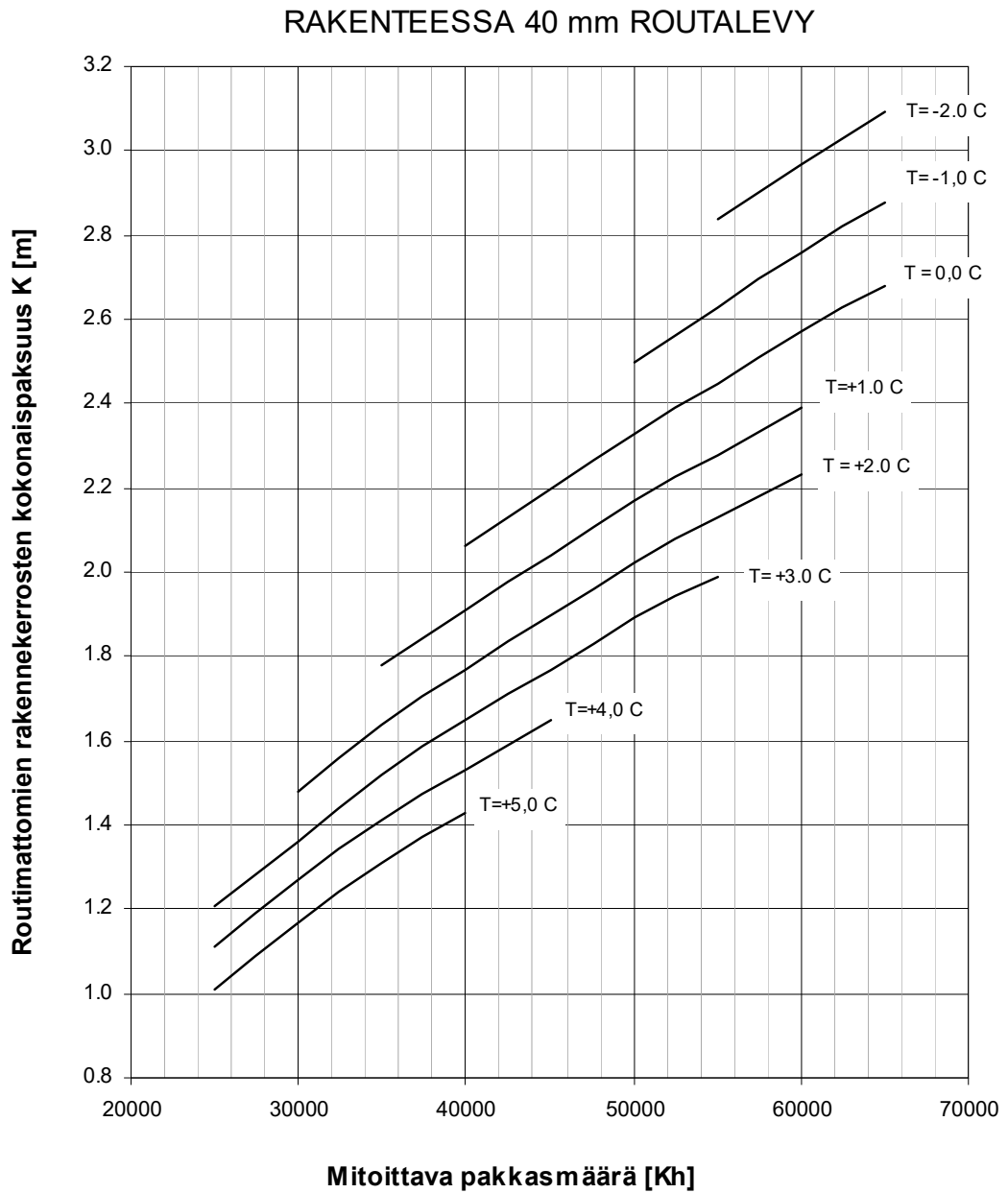
Routalevyepaksuus (mm)	Routimattoman rakenteen kokonaispaksuus (K) vähintään (m)
0 (eristämätön rakenne)	2,15
40	1,65
60	1,39
80	1,18
100	1,04
120	0,92

Taulukon 1 tuloksista on valittavissa routalevyille ja/tai alusrakenteelle sopivin paksuus. Jos esimerkiksi kohde on perusparannuskohde, jossa olemassa olevan routimattoman alusrakenteen paksuus on vaikkapa 1,1 m ja suunniteltu tukikerrospaksuus 0,55 m, kohteeseen tulee perusparannuksen yhteydessä asentaa 40 mm routalevy, jolloin routimattoman rakenteen kokonaispaksuus on 1,69 metriä. Vastaavasti, jos olemassa oleva alusrakennepaksuus on 0,60 metriä ja suunniteltu tukikerrospaksuus 0,55 metriä, asennettavan routalevyn paksuuden on oltava 80 mm, jolloin routimattoman rakenteen kokonaispaksuus (K) on 1,23 metriä.

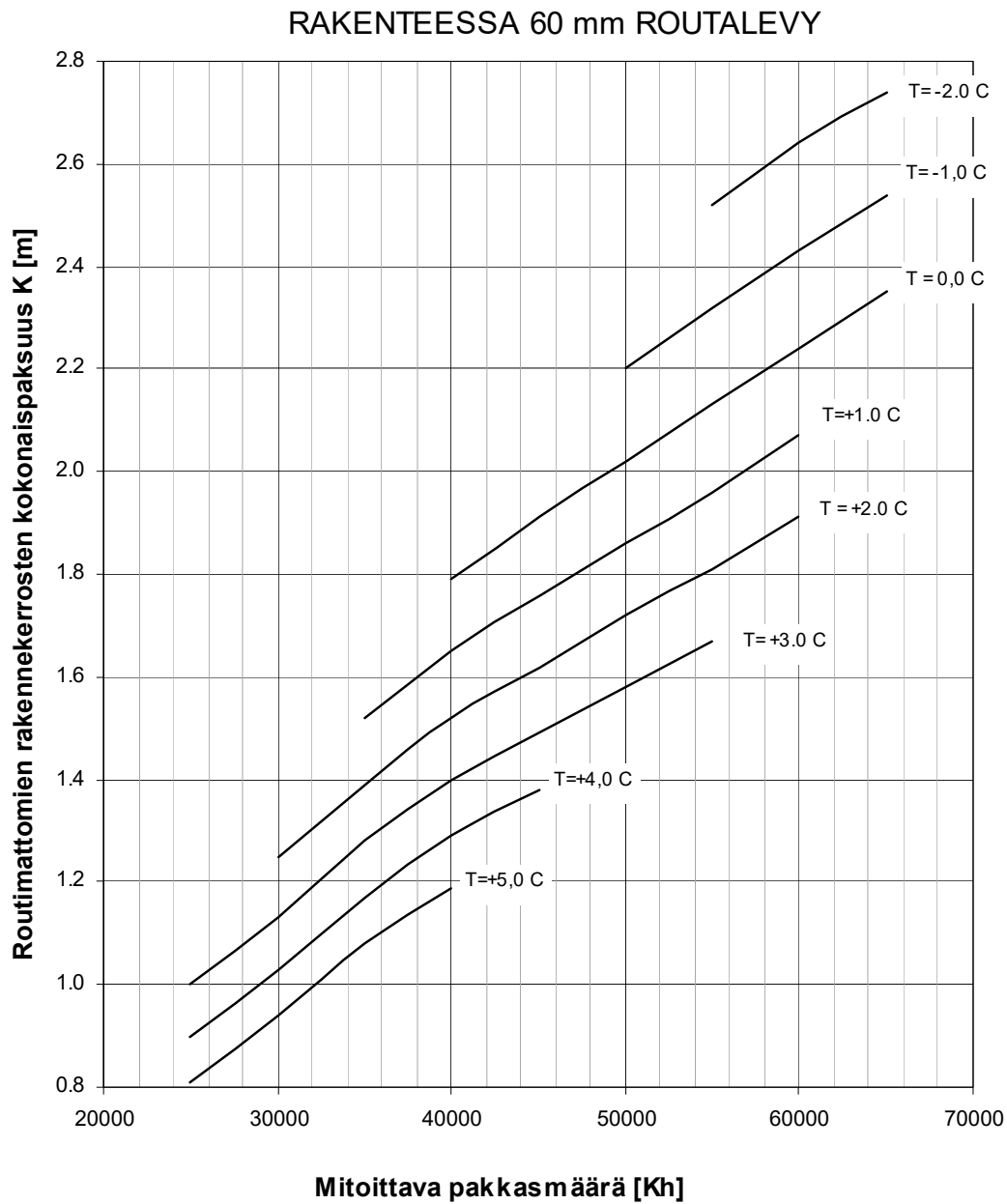
Mitoituskäyrästöissä on otettu huomioon raidesepeleirakeiden painautuminen routalevyyn olettamalla levyn tuhoutuvan painautumisen johdosta 10 mm paksuudelta. Routalevyjen mitoituslämmönjohtavuutena on käytetty arvoa $\lambda=0,050$ W/Km. Lähtöolettamuksista ja laskentamenetelmäeroista johtuen pohjoisessa Suomessa ohuimmalla (40 mm) eristelevyllä radan kerrospaksuuksissa ei saavuteta etuja eristämättömään rakenteeseen verrattuna.



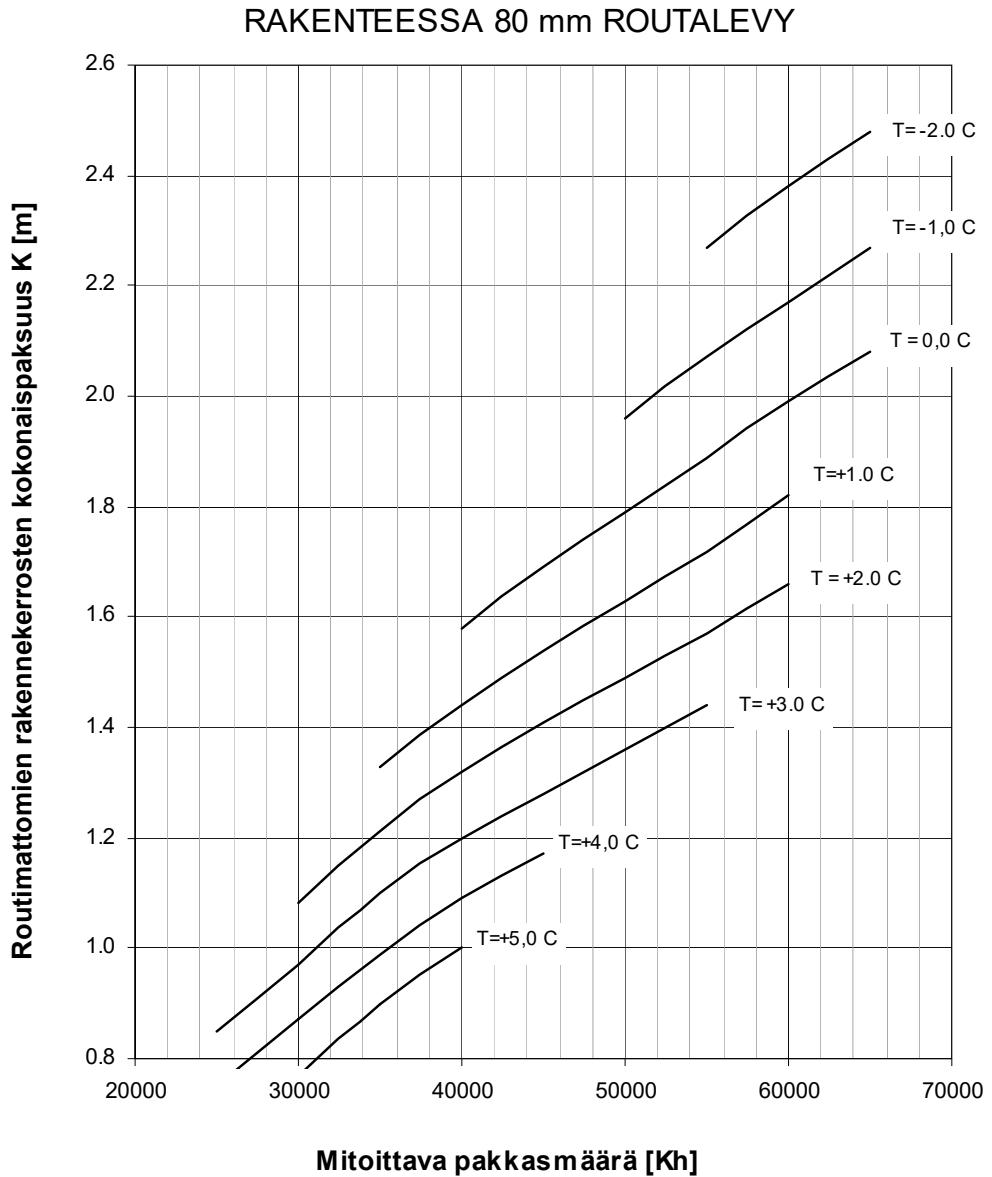
Kuva 1. Routimattoman radan rakennekerrosten kokonaispaksuus (perustuu ilmastotilastoihin kaudelta 1978–2007).



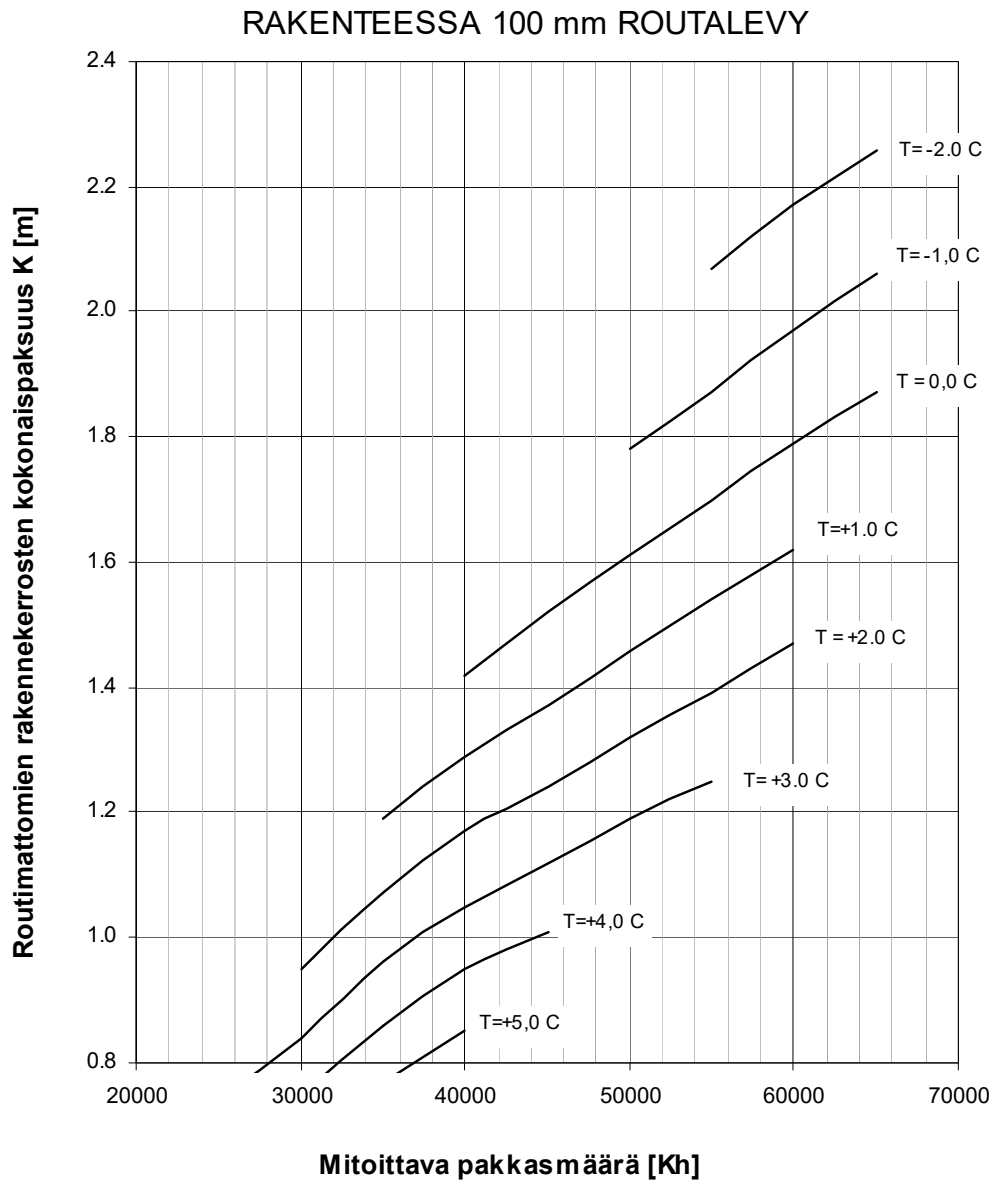
Kuva 2. Routamitoitus 40 mm routalevyllä eristetyssä rakenteessa vuotuisen ilman keskilämpötilan (T) ja mitoittavan pakkasmäärän perusteella.



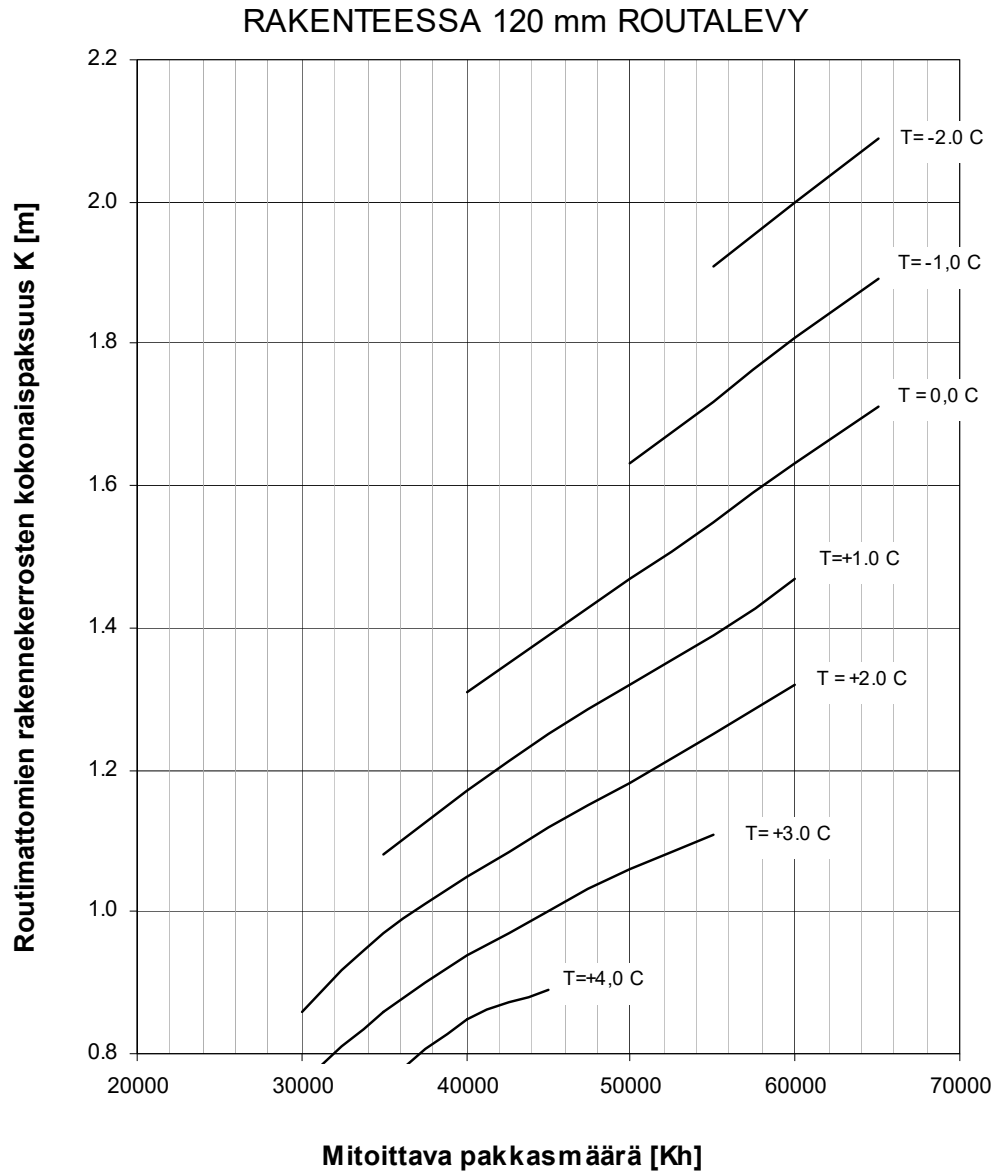
Kuva 3. Routamitoitus 60 mm routalevyllä eristetyssä rakenteessa vuotuisen ilman keskilämpötilan (T) ja mitoittavan pakkasmäärän perusteella.



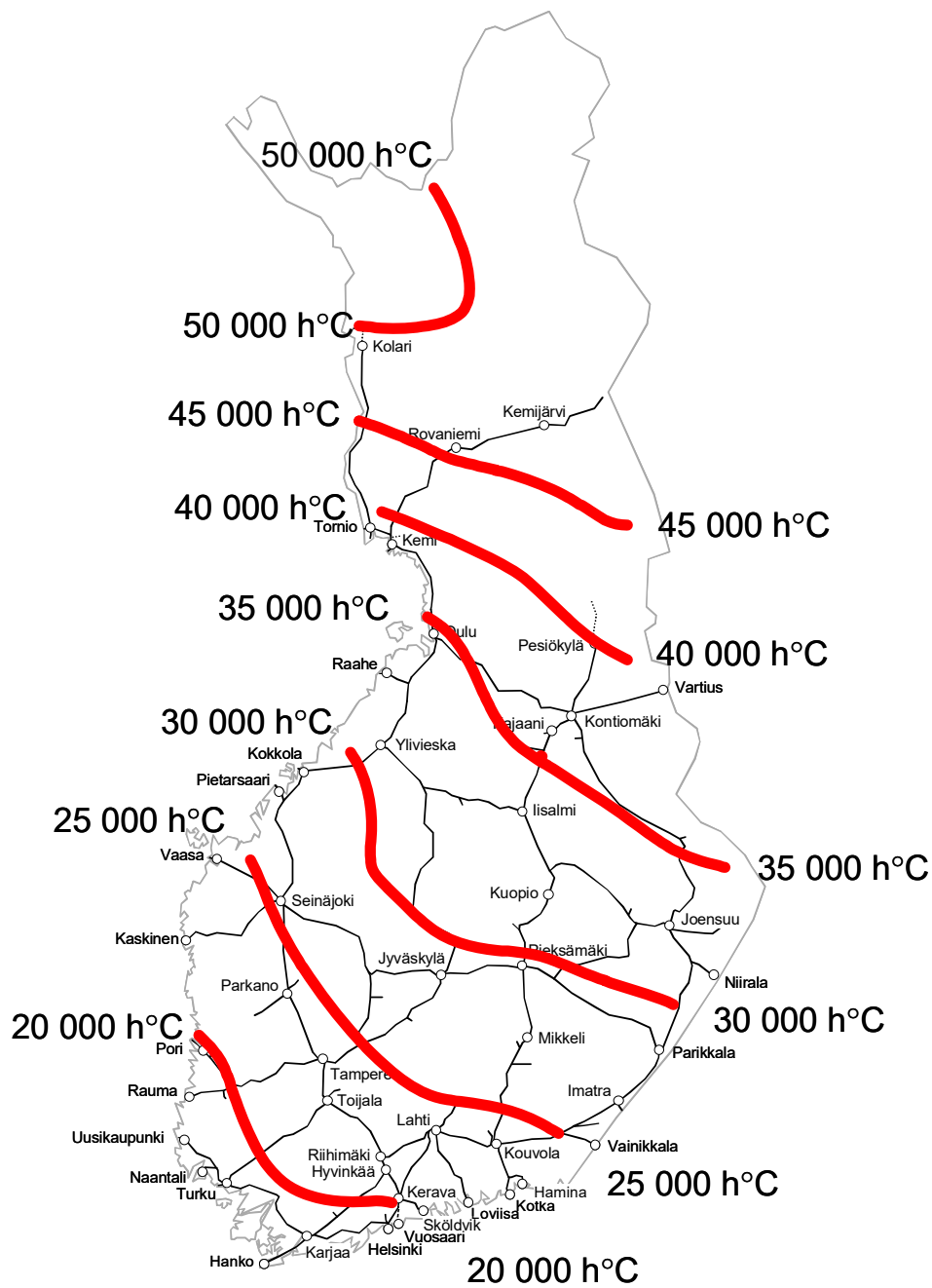
Kuva 4. Routamitoitus 80 mm routalevyllä eristetyssä rakenteessa vuotuisen ilman keskilämpötilan (T) ja mitoittavan pakkasmäärän perusteella.



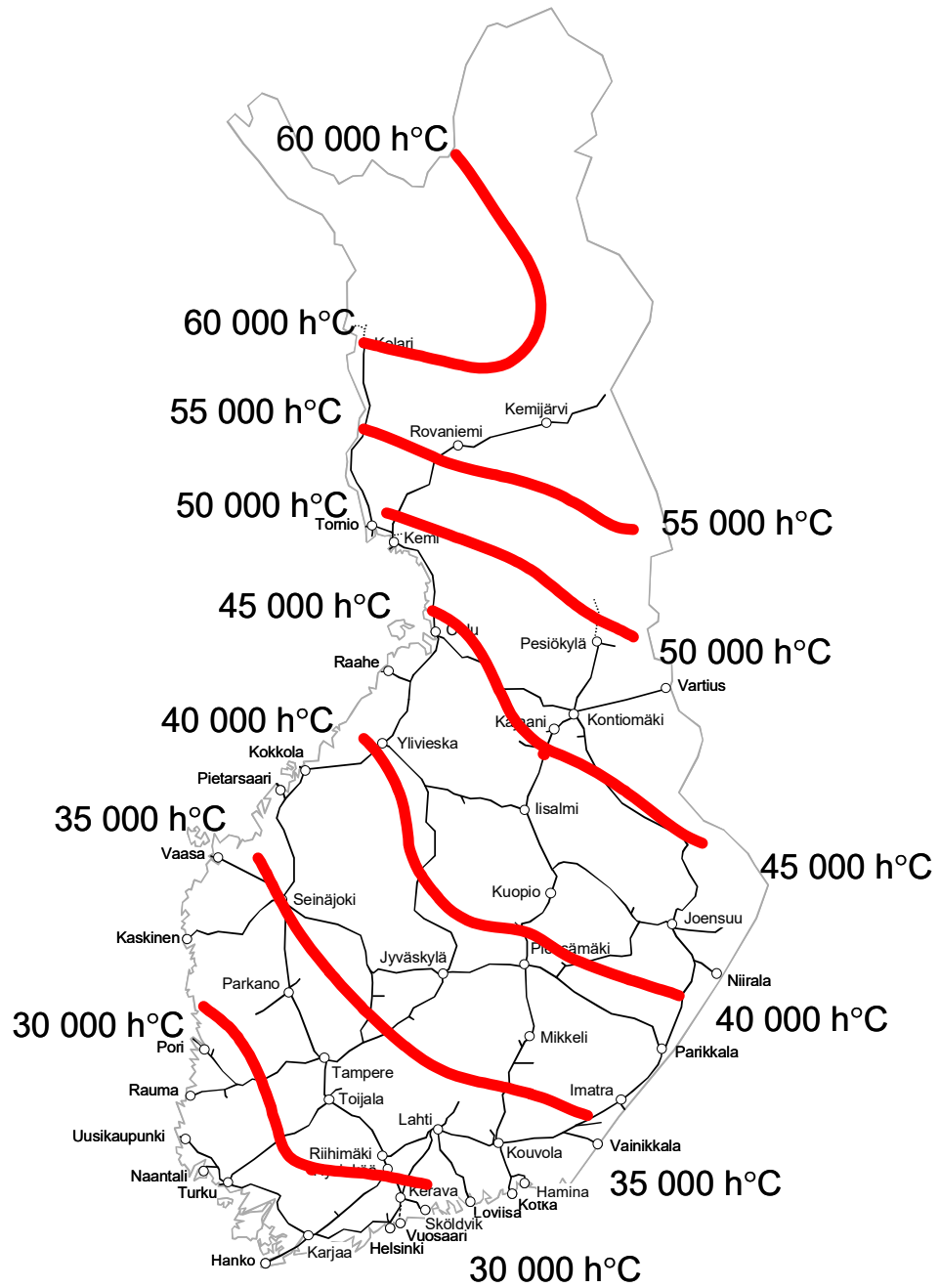
Kuva 5. Routamitoitus 100 mm routalevyllä eristetyssä rakenteessa vuotuisen ilman keskilämpötilan (T) ja mitoittavan pakkasmäärän perusteella.



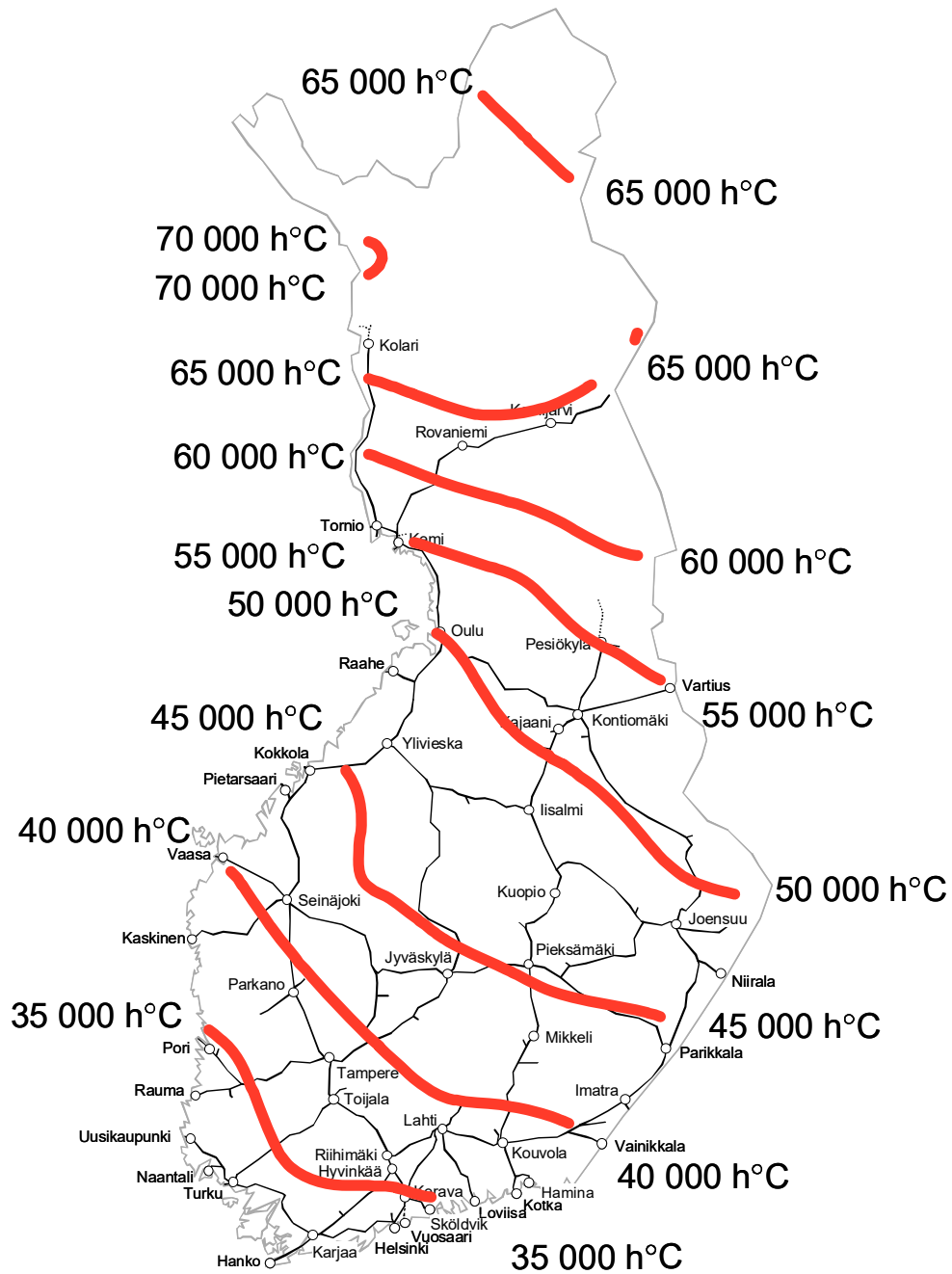
Kuva 6. Routamitoitus yhteispaksuudeltaan 120 mm routalevyillä (kaksi 60 mm routalevyä päällekkäin) eristetyssä rakenteessa vuotuisen ilman keskilämpötilan (T) ja mitoittavan pakkasmäärän perusteella.



Kuva 7. Kerran 5 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä F5 (h°C) kauden 1978-2007 ilman lämpötilahavaintojen perusteella.



Kuva 8. Kerran 20 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä F20 (h°C) kauden 1978–2007 ilman lämpötilahavaintojen perusteella.



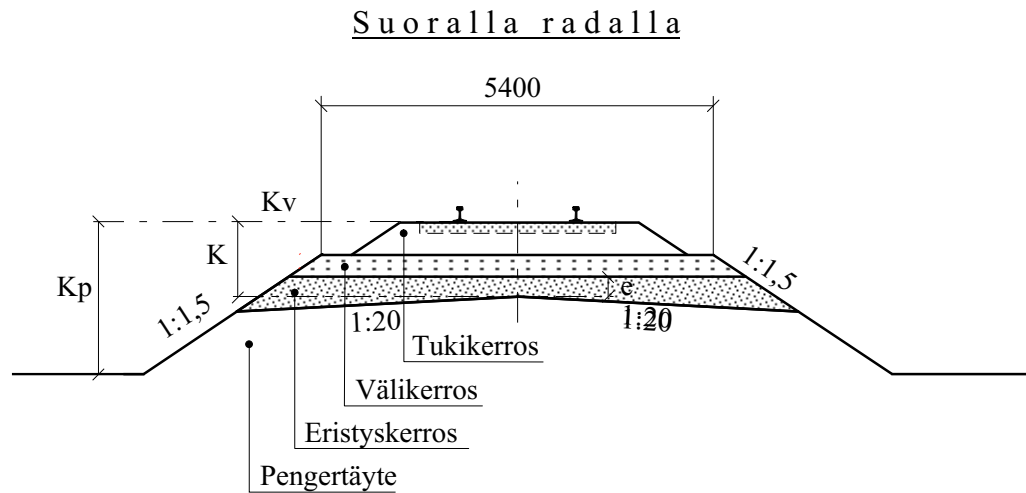
Kuva 9.

Kerran 50 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä F_{50} ($h^{\circ}C$) kauden 1978–2007 ilman lämpötilahavaintojen perusteella.

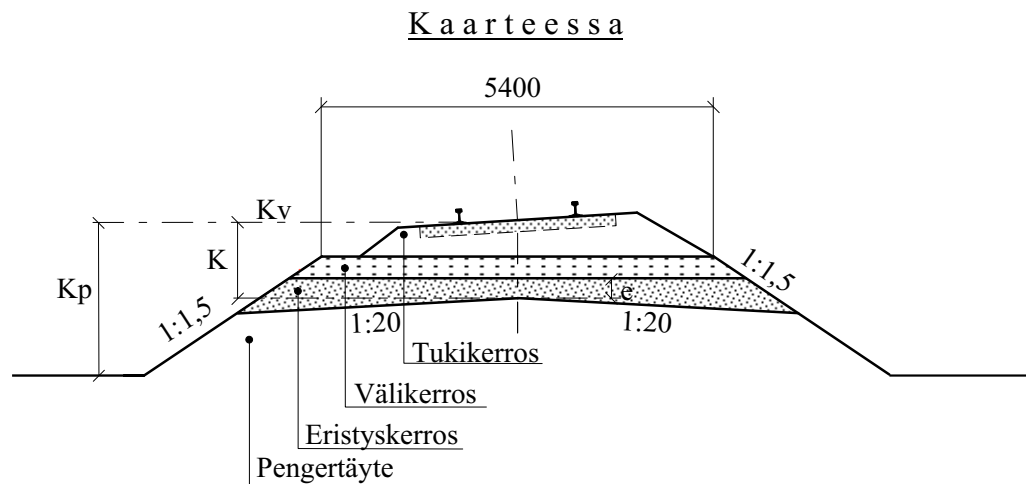
Radan normaalipoikkileikkaukset

Nopeus [km/h]	Normaalipoikkileikkauksen tyyppi		Raide- väli [mm]	Sivu- nro
Yksiraiteisen radan normaalipoikkileikkaukset				
V ≤ 120 km/h	Penger	Lk-1-P800-5,4...Lk-1-P2400-5,4 Pk-1-P800-5,4...Pk-1-P2400-5,4		3
	Maaleikkaus	Lk-1-L800-5,4...Lk-1-L2400-5,4 Pk-1-L800-5,4...Pk-1-L2400-5,4		4
		Lk-1-L1400k-5,4...Lk-1-L2400k-5,4 Pk-1-L1400k-5,4...Pk-1-L2400k-5,4		5
V ≤ 200 km/h	Penger	Jk-1-PB900-6,0...Jk-1-PB2400-6,0 Jk-1-P800-6,0...Jk-1-P2400-6,0		6
	Maaleikkaus	Jk-1-LB900-6,0...Jk-1-LB2400-6,0 Jk-1-L800-6,0...Jk-1-L2400-6,0		7
V ≤ 250 km/h	Penger	Jk-1-PB900-6,8...Jk-1-PB2400-6,8		8
	Maaleikkaus	Jk-1-LB900-6,8...Jk-1-LB2400-6,8		9
Kallio- leikkaus yksi- raiteisella radalla	Kallio- leikkaus	Lk-1-KaB900-12,0 Pk-1-KaB900-12,0 Jk-1-KaB900-12,0 Lk-1-Ka800-12,0 Pk-1-Ka800-12,0 Jk-1-Ka800-12,0		10
	Maaleikkaus- syvyyteen rakennettu kallio- leikkaus	Lk-1-KaB1400-13,9...Lk-1-KaB2400-17,2 Pk-1-KaB1400-13,9...Pk-1-KaB2400-17,2 Jk-1-KaB1400-13,9...Jk-1-KaB2400-17,2 Lk-1-Ka1400-13,9...Lk-1-Ka2400-17,2 Pk-1-Ka1400-13,9...Pk-1-Ka2400-17,2 Jk-1-Ka1400-13,9...Jk-1-Ka2400-17,2		11
Kaksiraiteisen radan normaalipoikkileikkaukset				
V ≤ 140 km/h	Penger	Jk-2-P800-9,5...Jk-2-P2400-9,5	4100	12
	Maaleikkaus	Jk-2-L800-9,5...Jk-2-L2400-9,5	4100	13
V ≤ 200 km/h	Penger	Jk-2-PB900-10,3...Jk-2-PB2400-10,3 Jk-2-P800-10,3...Jk-2-P2400-10,3	4100 ¹⁾ / 4300	14
	Maaleikkaus	Jk-2-LB900-10,3...Jk-2-LB2400-10,3 Jk-2-L800-10,3...Jk-2-L2400-10,3	4100 ¹⁾ / 4300	15
	Penger	Jk-2-PB900-10,5...Jk-2-PB2400-10,5 Jk-2-P800-10,5...Jk-2-P2400-10,5	4500	16
	Maaleikkaus	Jk-2-LB900-10,5...Jk-2-LB2400-10,5 Jk-2-L800-10,5...Jk-2-L2400-10,5	4500	17
¹⁾ Raidevälillä 4100 mm suurin sallittu nopeus on 140 km/h				

Nopeus [km/h]		Normaalipoikkileikkauksen tyyppi	Raideväli [mm]	Sivunro
V ≤ 250 km/h	Penger	Jk-2-PB900-11,3...Jk-2-PB2400-11,3	4500	18
	Maaleikkaus	Jk-2-LB900-11,3...Jk-2-LB2400-11,3	4500	19
V > 250 km/h	Penger	Jk-2-PB900-11,5...Jk-2-PB2400-11,5	4700	20
	Maaleikkaus	Jk-2-LB900-11,5...Jk-2-LB2400-11,5	4700	21
Kallioleikkaus kaksiraiteisella radalla	Kallioleikkaus	Lk-2-KaB900-16,7 Pk-2-KaB900-16,7 Jk-2-KaB900-16,7 Lk-2-Ka800-16,7 Pk-2-Ka800-16,7 Jk-2-Ka800-16,7	4100/ 4300/ 4500/ 4700	22
	Maaleikkauksyvytyteen rakennettu kallioleikkaus	Lk-2-KaB1400-18,8...Lk-2-KaB2400-22,1 Pk-2-KaB1400-18,8...Pk-2-KaB2400-22,1 Jk-2-KaB1400-18,8...Jk-2-KaB2400-22,1 Lk-2-Ka1400-18,8...Lk-2-Ka2400-22,1 Pk-2-Ka1400-18,8...Pk-2-Ka2400-22,1 Jk-2-Ka1400-18,8...Jk-2-Ka2400-22,1	100/ 4300/ 4500/ 4700	23
Tunnelipoikkileikkaukset on esitetty RATO:n osassa 18 Rautatietunnelit				



Pengerkorkeus K_p
 Rakennekerrospaksuus K
 Korkeusviiva K_v



Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 raitteen keskilinjasta lukien

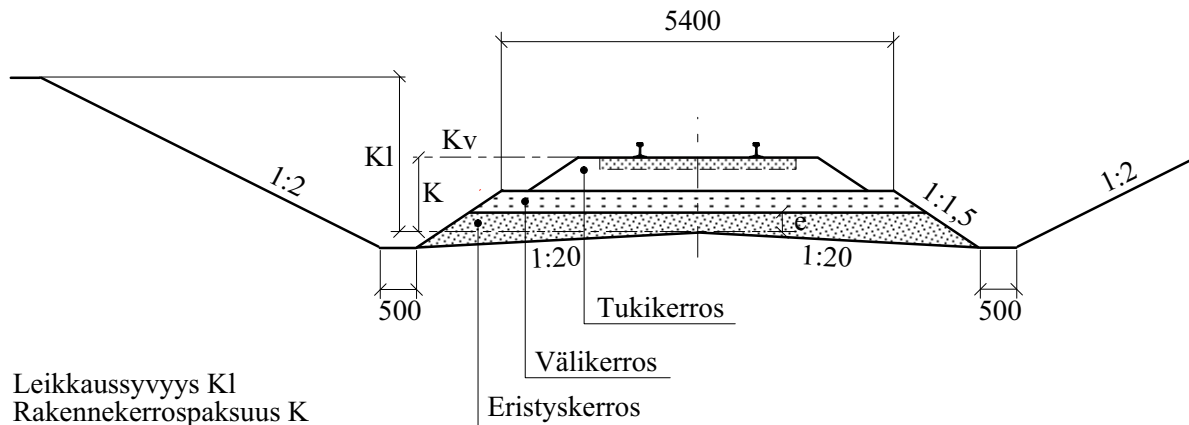
Poikkileikkausmitat								
Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta			Eristyskerros murskeesta		
	Betonirata-pölkky	Puurata-pölkky	Välikerros	Eristyskerros e	K	Välikerros + eristyskerros	K	
			Puuratapölkkyraide					
P800		450	350	-	800	450	900	
P1200		450	300	450	1200	950	1400	
P1400		450	300	650	1400	1150	1600	
P1600		450	300	850	1600	1350	1800	
P1800		450	300	1050	1800	1550	2000	
P2000		450	300	1250	2000	1850	2300	
P2200		450	300	1450	2200	2050	2500	
P2400		450	300	1650	2400	2250	2700	



Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
 Lk-1-P800-5,4...Lk-1-P2400-5,4
 Pk-1-P800-5,4...Pk-1-P2400-5,4

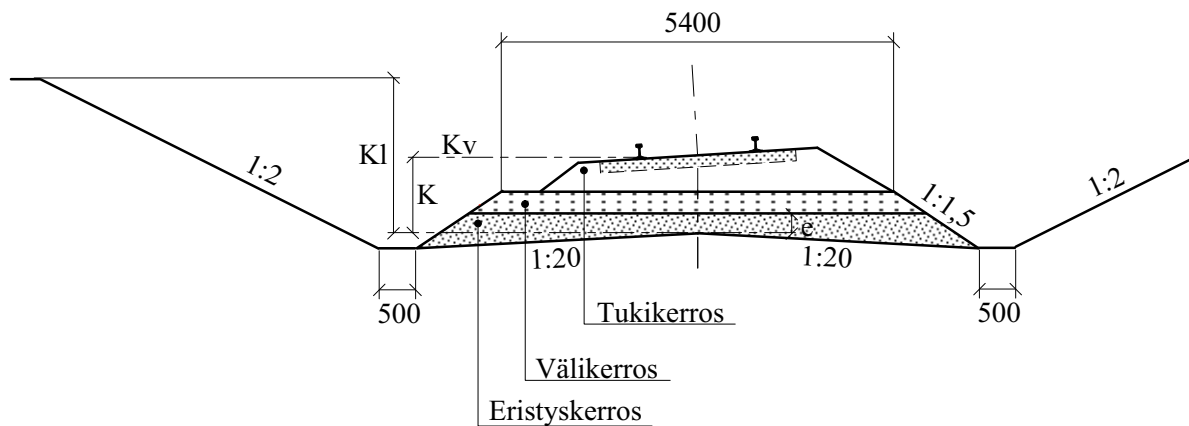
Suoralla radalla



Leikkaussyvyys Kl
 Rakennekerrospaksuus K
 Korkeusviiva Kv

Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 raiteen keskilinjasta lukien

Kaarteessa



Poikkileikkausmitat

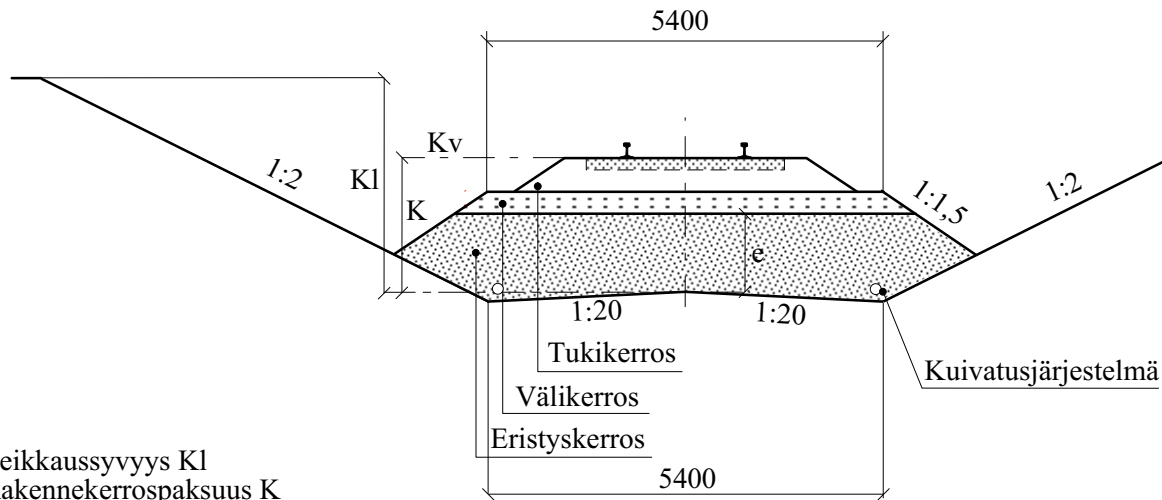
Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta			Eristyskerros murskeesta	
	Betonirata-pölkky	Puurata-pölkky	Välikerros	Eristyskerros e	K	Välikerros + eristyskerros	K
Puuratapölkkyraide							
L800		450	350	-	800	450	900
L1200		450	300	450	1200	950	1400
L1400		450	300	650	1400	1150	1600
L1600		450	300	850	1600	1350	1800
L1800		450	300	1050	1800	1550	2000
L2000		450	300	1250	2000	1850	2300
L2200		450	300	1450	2200	2050	2500
L2400		450	300	1650	2400	2250	2700



Mittakaava 1:100

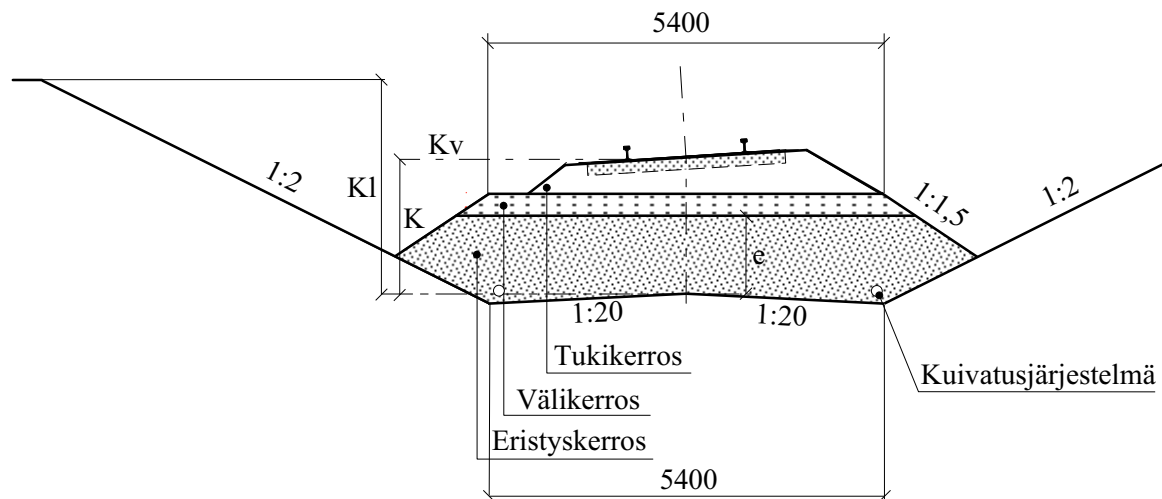
Normaalipoikkileikkaus
 Lk-1-L800-5,4...Lk-1-L2400-5,4
 Pk-1-L800-5,4...Pk-1-L2400-5,4

Suoralla radalla



Leikkaussyvyys K1
 Rakennekerrospaksuus K
 Korkeusviiva Kv

Kaarteessa



Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 raiteen keskilinjasta lukien

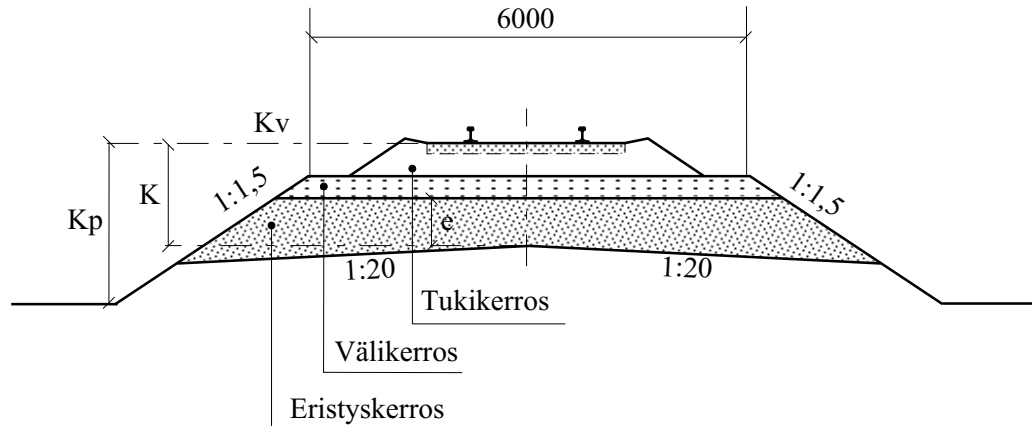
Poikkileikkausmitat							
Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta		Eristyskerros murskeesta		
	Betoni-rata-pölkky	Puura-pölkky	Välikerros	Eristyskerros e	K	Välikerros + eristyskerros	K
Puuratapölkkyraide							
L1400	450	300	650	1400	1150	1600	
L1600	450	300	850	1600	1350	1800	
L1800	450	300	1050	1800	1550	2000	
L2000	450	300	1250	2000	1850	2300	
L2200	450	300	1450	2200	2050	2500	
L2400	450	300	1650	2400	2250	2700	



Mittakaava 1:100

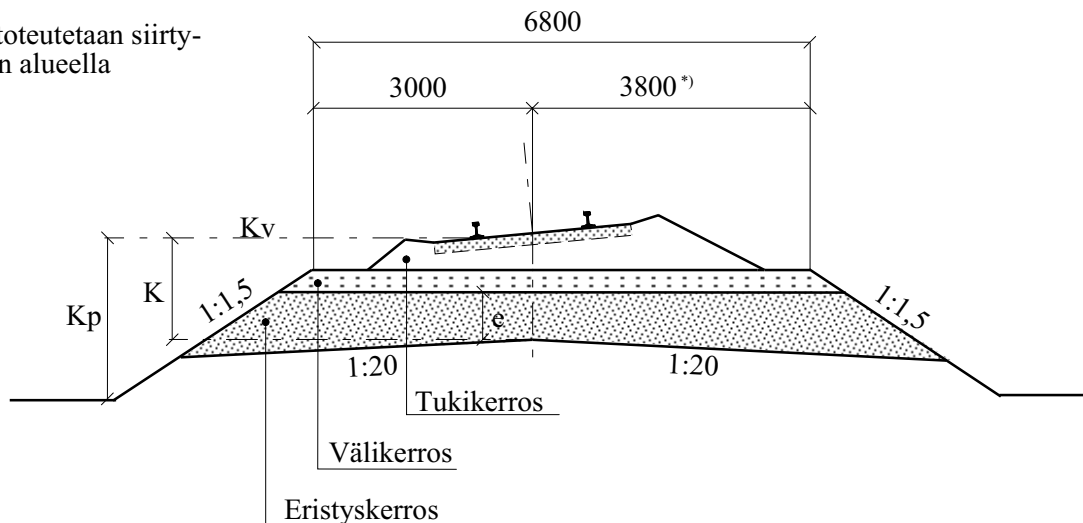
Normaalipoikkileikkaus
 Lk-1-L1400k-5,4...Lk-1-L2400k-5,4
 Pk-1-L1400k-5,4...Pk-1-L2400k-5,4

Suoralla radalla



Pengerkorkeus K_p
Rakennekerrospaksuus K
Korkeusviiva K_v

Kaarteessa



^{*)} Muutos toteutetaan siirtymäkaaren alueella

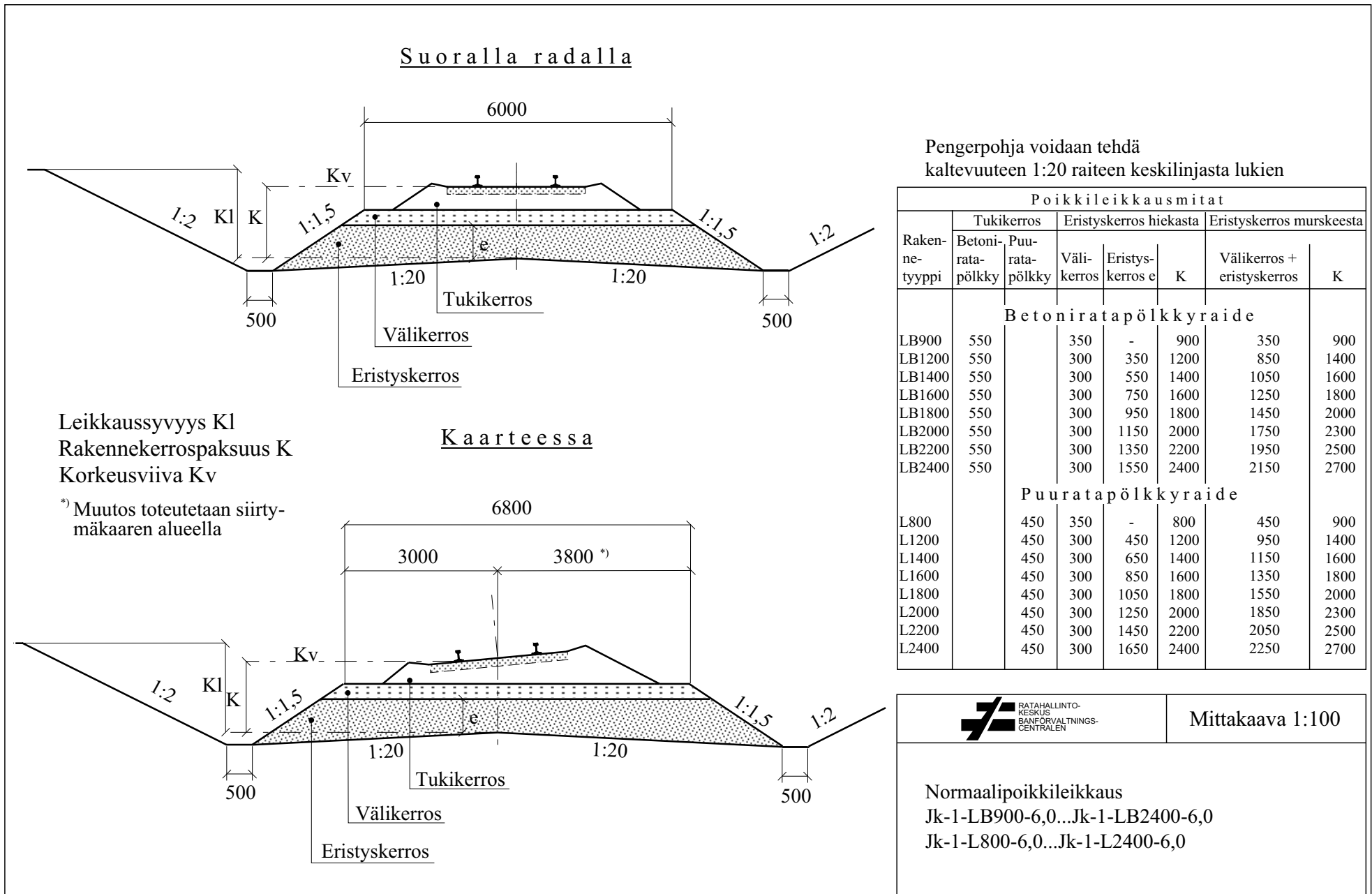
Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 raiteen keskilinjasta lukien

Poikkileikkausmitat							
Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta		Eristyskerros murskeesta		K
	Betoni-rata-pölkky	Puurata-pölkky	Välikerros	Eristyskerros e	Välikerros + eristyskerros	K	
Betonirata-pölkkyraide							
PB900	550		350	-	900	350	900
PB1200	550		300	350	1200	850	1400
PB1400	550		300	550	1400	1050	1600
PB1600	550		300	750	1600	1250	1800
PB1800	550		300	950	1800	1450	2000
PB2000	550		300	1150	2000	1750	2300
PB2200	550		300	1350	2200	1950	2500
PB2400	550		300	1550	2400	2150	2700
Puurata-pölkkyraide							
P800		450	350	-	800	450	900
P1200		450	300	450	1200	950	1400
P1400		450	300	650	1400	1150	1600
P1600		450	300	850	1600	1350	1800
P1800		450	300	1050	1800	1550	2000
P2000		450	300	1250	2000	1850	2300
P2200		450	300	1450	2200	2050	2500
P2400		450	300	1650	2400	2250	2700

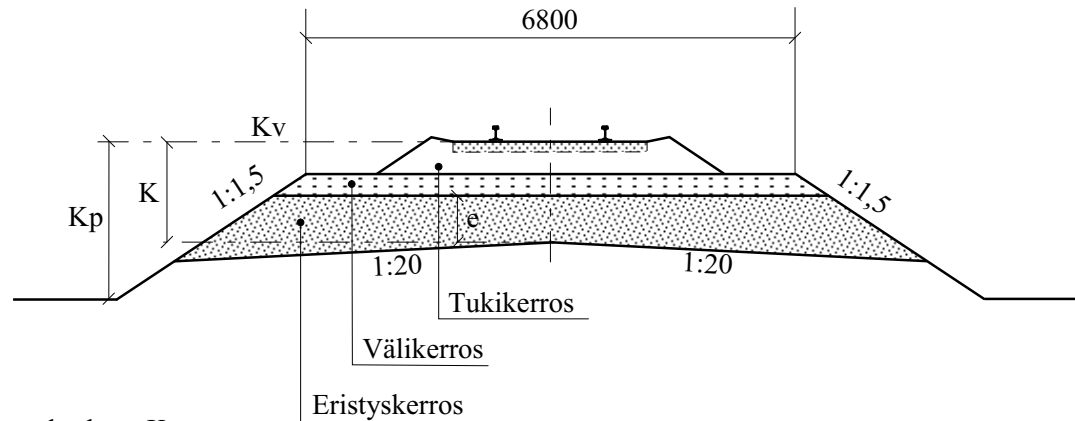


Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
Jk-1-PB900-6,0...Jk-1-PB2400-6,0
Jk-1-P800-6,0...Jk-1-P2400-6,0



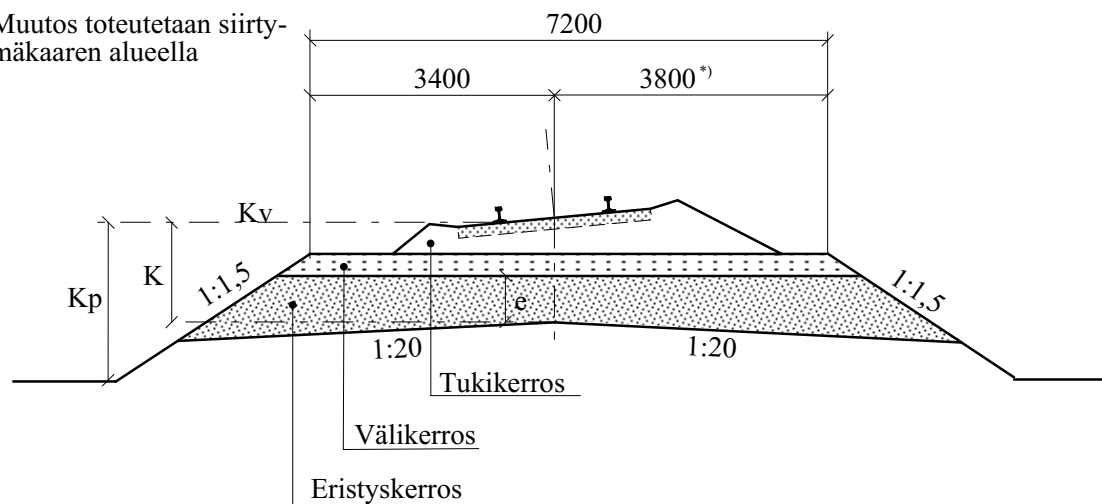
Suoralla radalla



Pengerkorkeus K_p
Rakennekerrospaksuus K
Korkeusviiva K_v

Kaarteessa

^{*)} Muutos toteutetaan siirtymäkaaren alueella



Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 raiteen keskilinjasta lukien

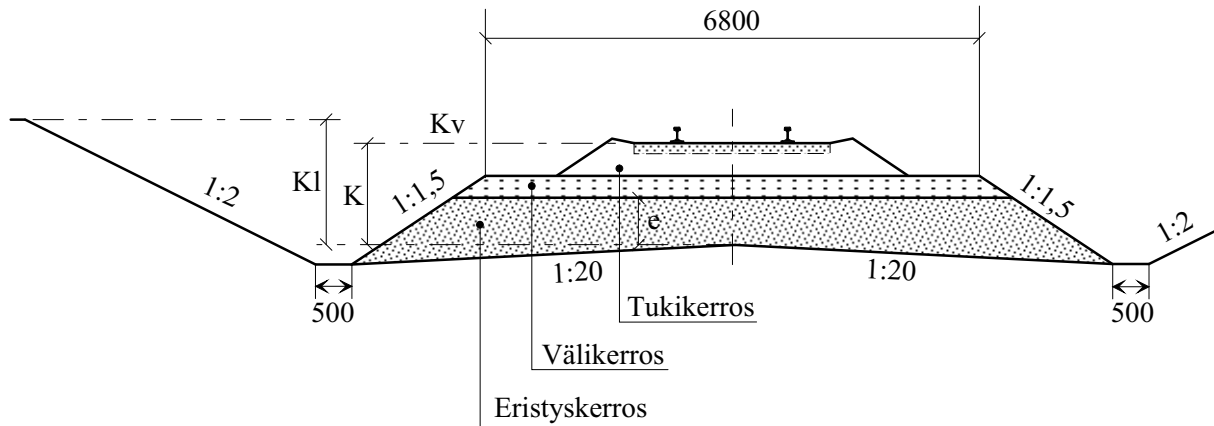
Poikkileikkausmitat							
Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta		Eristyskerros murskeesta		K
	Betonirata-pölkky	Puurata-pölkky	Välikerros	Eristyskerros e	K	Välikerros + eristyskerros	
Betonirata-pölkkyraide							
PB900	550		350	-	900	350	900
PB1200	550		300	350	1200	850	1400
PB1400	550		300	550	1400	1050	1600
PB1600	550		300	750	1600	1250	1800
PB1800	550		300	950	1800	1450	2000
PB2000	550		300	1150	2000	1750	2300
PB2200	550		300	1350	2200	1950	2500
PB2400	550		300	1550	2400	2150	2700



Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
Jk-1-PB900-6,8...Jk-1-PB2400-6,8

Suoralla radalla



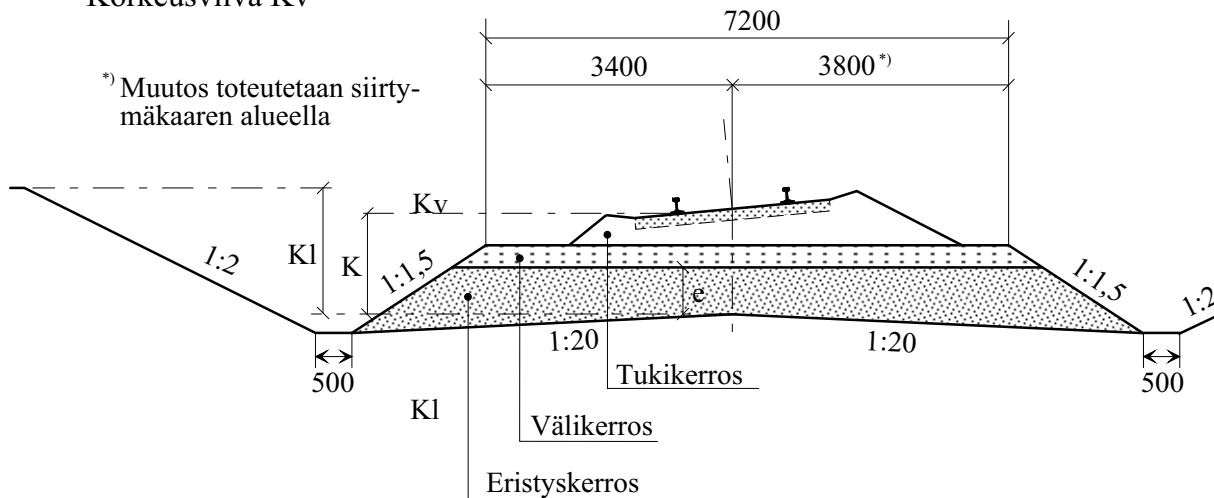
Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 raiteen keskilinjasta lukien

Poikkileikkausmitat

Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta		Eristyskerros murskeesta		
	Betoni-rata-pölkky	Puu-rata-pölkky	Välikerros	Eristyskerros e	K	Välikerros + eristyskerros	K
Betonirata-pölkkyraide							
LB900	550		350	-	900	350	900
LB1200	550		300	350	1200	850	1400
LB1400	550		300	550	1400	1050	1600
LB1600	550		300	750	1600	1250	1800
LB1800	550		300	950	1800	1450	2000
LB2000	550		300	1150	2000	1750	2300
LB2200	550		300	1350	2200	1950	2500
LB2400	550		300	1550	2400	2150	2700

Leikkaussyvyys K1
 Rakennekerrospaksuus K
 Korkeusviiva Kv

Kaarteessa

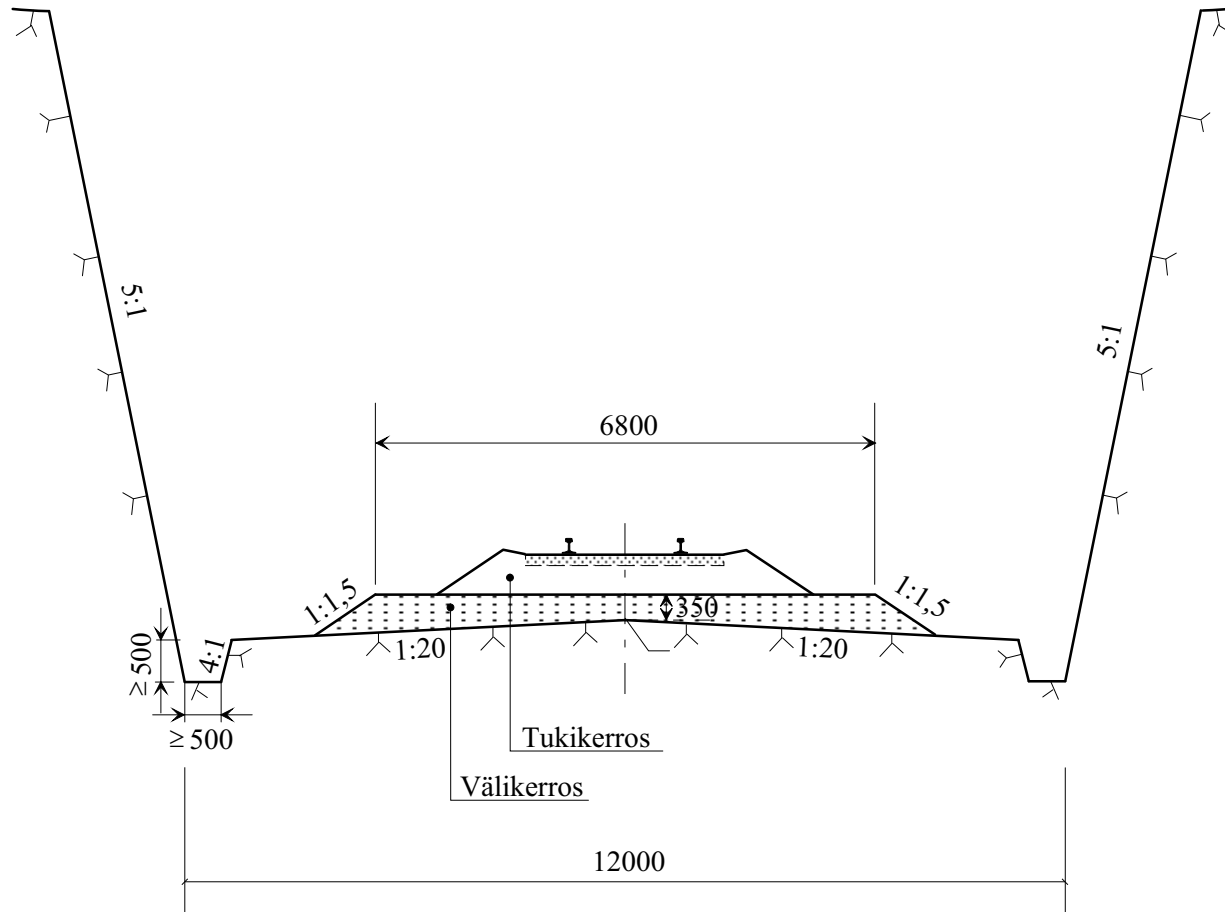


*) Muutos toteutetaan siirtymäkaaren alueella



Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
 Jk-1-LB900-6,8...Jk-1-LB2400-6,8



Leikkauspohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 raitteen keskilinjasta lukien

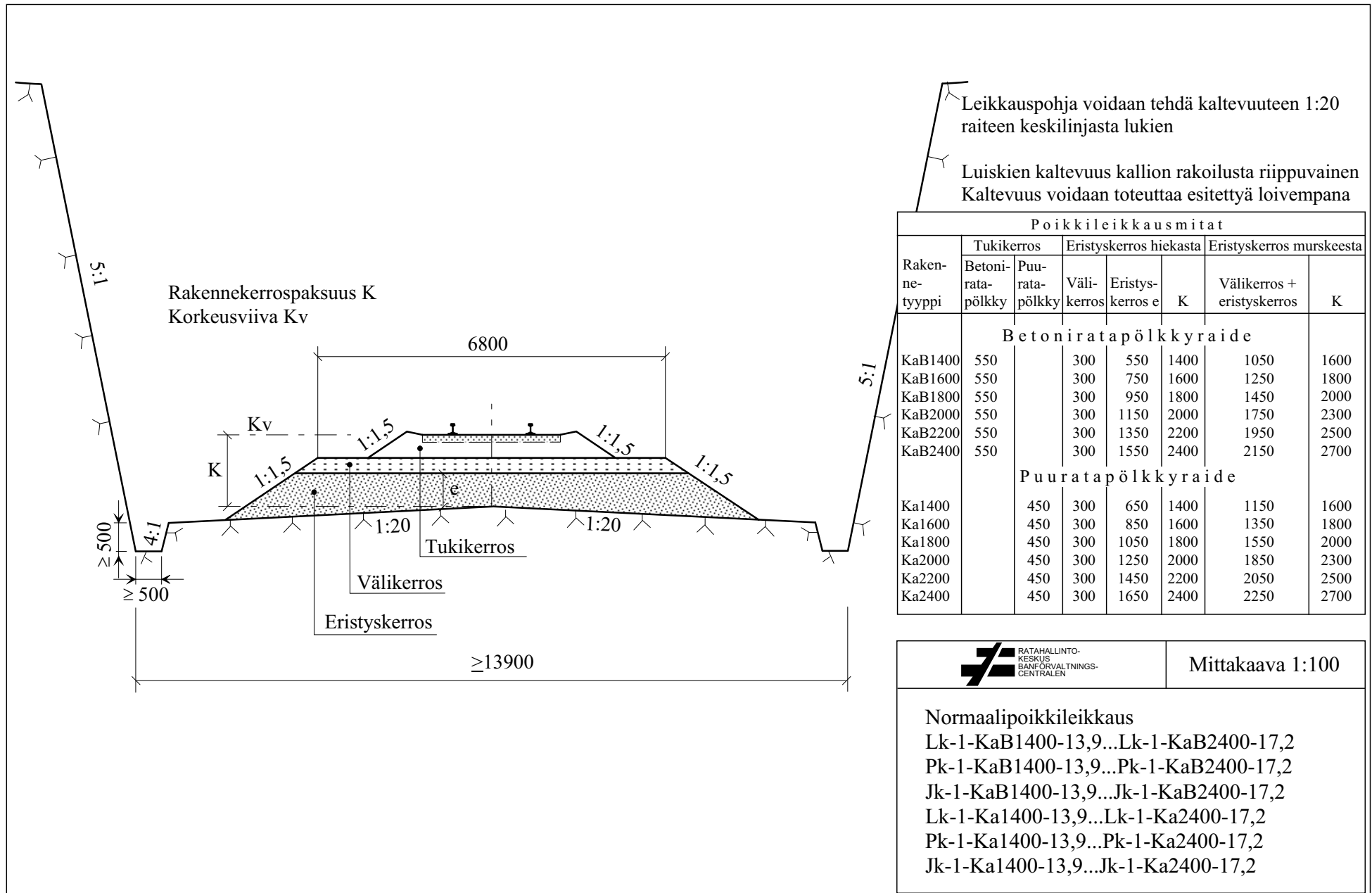
Luiskien kaltevuus kallion rakoilusta riippuvainen
 Kaltevuus voidaan toteuttaa esitettyä loivempana

Poikkileikkausmitat							
Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta		Eristyskerros murskeesta		
	Betonirata-pölkky	Puurata-pölkky	Välikerros	Eristyskerros e	K	Välikerros + eristyskerros	K
KaB900	Betonirata-pölkkyraide						
	550		350	-	900	350	900
Ka800	Puurata-pölkkyraide						
		450	350	-	800	450	900

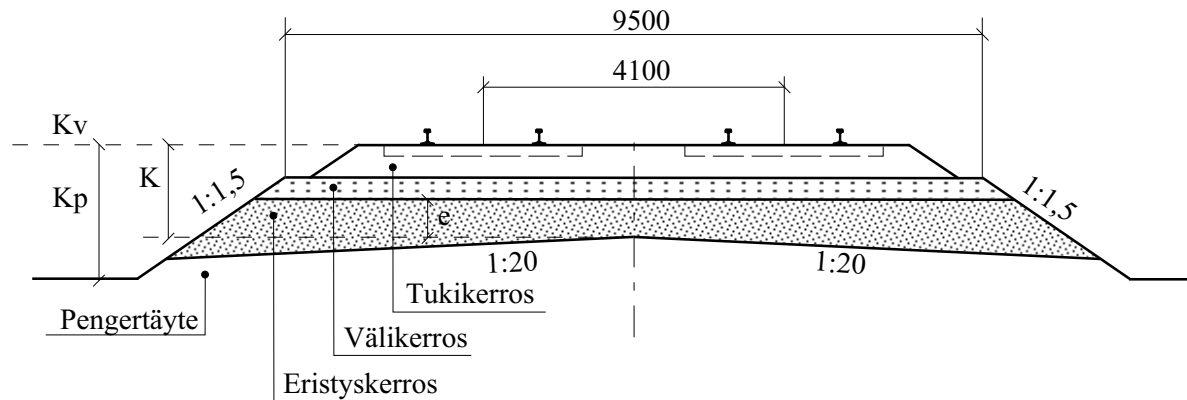


Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
 Lk-1-KaB900-12,0
 Pk-1-KaB900-12,0
 Jk-1-KaB900-12,0
 Lk-1-Ka800-12,0
 Pk-1-Ka800-12,0
 Jk-1-Ka800-12,0



Suoralla radalla

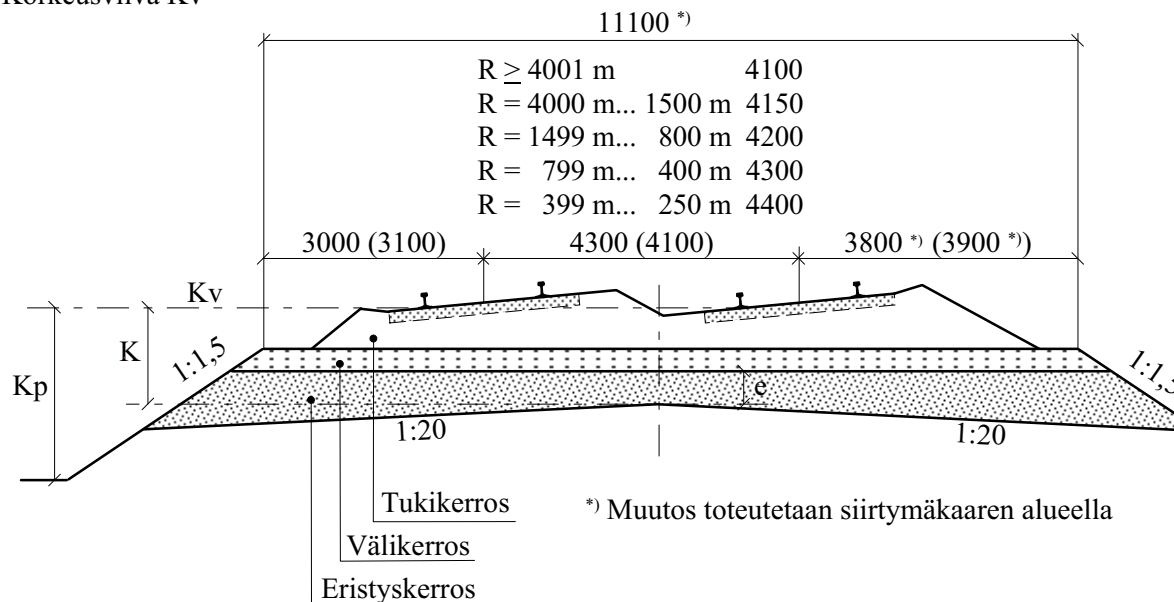


Jos ulomman raiteen kallistus on suurempi kuin sisemmän, on raideväliä vastaavasti suurennettava

Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 tai loivempänä

Pengerkorkeus K_p
Rakennekerrospaksuus K
Korkeusviiva K_v

Kaarteessa



*) Muutos toteutetaan siirtymäkaaren alueella

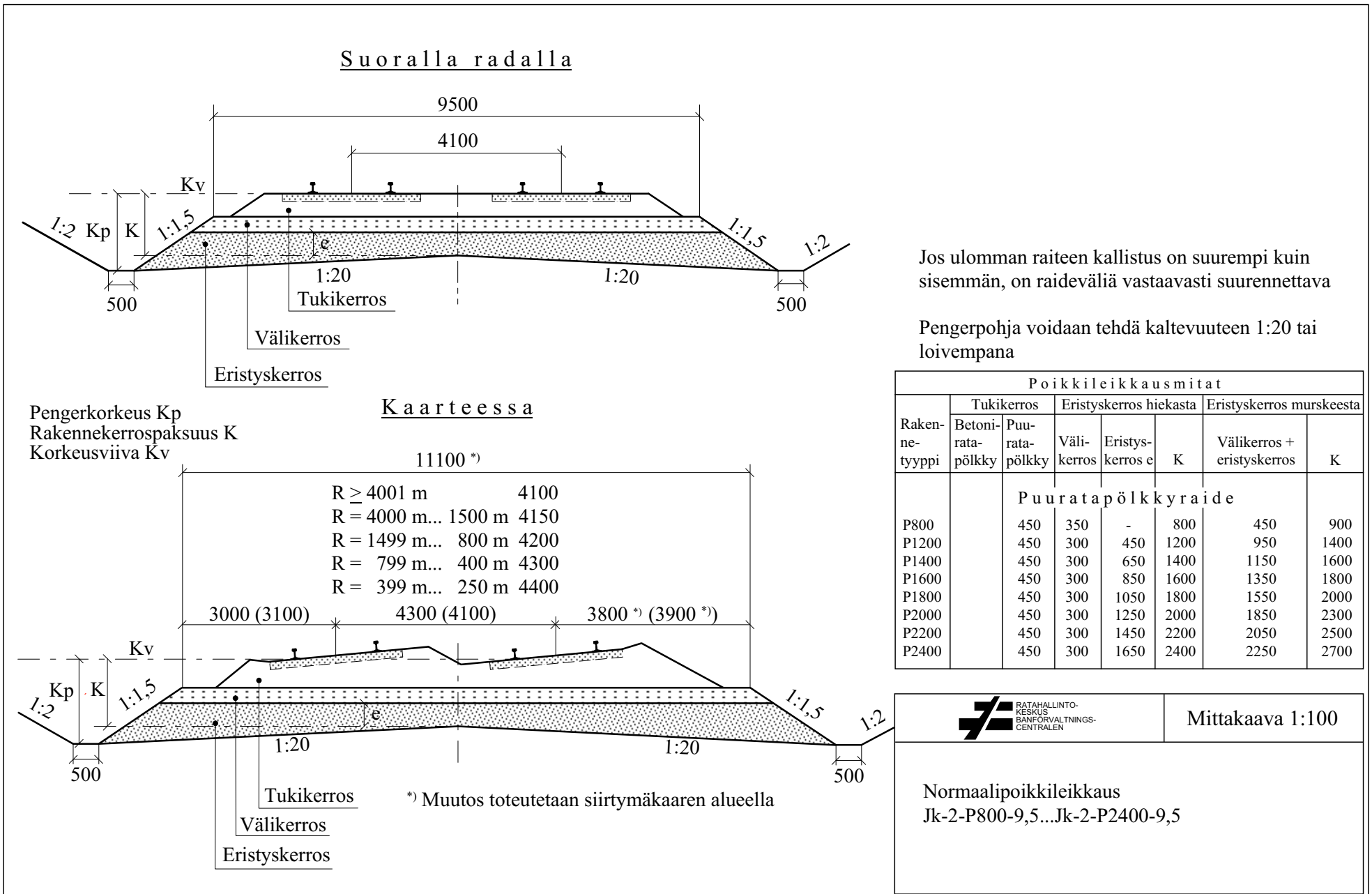
Poikkileikkausmitat

Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta		Eristyskerros murskeesta		
	Betonirata-pölkky	Puurata-pölkky	Välikerros	Eristyskerros e	K	Välikerros + eristyskerros	K
	Puuratapölkkyraide						
P800		450	350	-	800	450	900
P1200		450	300	450	1200	950	1400
P1400		450	300	650	1400	1150	1600
P1600		450	300	850	1600	1350	1800
P1800		450	300	1050	1800	1550	2000
P2000		450	300	1250	2000	1850	2300
P2200		450	300	1450	2200	2050	2500
P2400		450	300	1650	2400	2250	2700



Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
Jk-2-P800-9,5...Jk-2-P2400-9,5



Jos ulomman raiteen kallistus on suurempi kuin sisemmän, on raideväliä vastaavasti suurennettava

Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 tai loivempänä

Poikkileikkausmitat

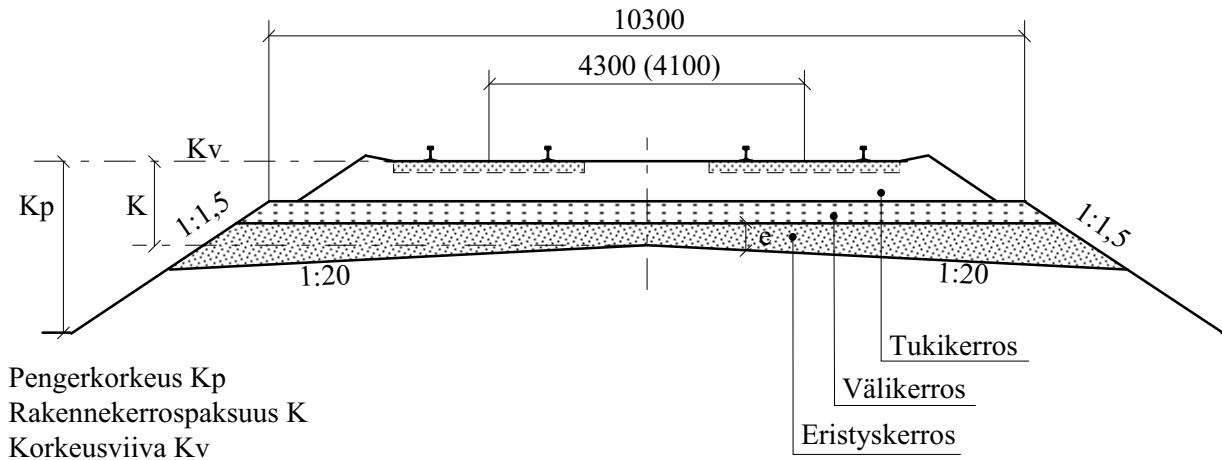
Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta		Eristyskerros murskeesta		
	Betoni-rata-pölkky	Puu-rata-pölkky	Väli-kerros	Eristys-kerros e	K	Välikerros + eristyskerros	
Puuratapölkkyraide							
P800	450	350	-	800	450	900	
P1200	450	300	450	1200	950	1400	
P1400	450	300	650	1400	1150	1600	
P1600	450	300	850	1600	1350	1800	
P1800	450	300	1050	1800	1550	2000	
P2000	450	300	1250	2000	1850	2300	
P2200	450	300	1450	2200	2050	2500	
P2400	450	300	1650	2400	2250	2700	



Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
 Jk-2-P800-9,5...Jk-2-P2400-9,5

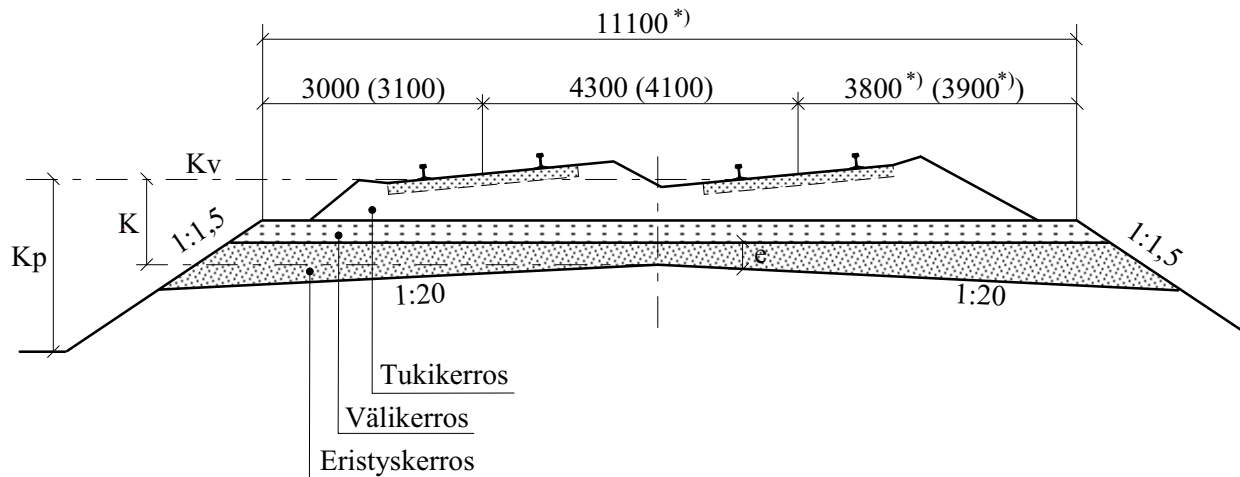
Suoralla radalla



Pengerkorkeus K_p
Rakennekerrospaksuus K
Korkeusviiva K_v

*) Muutos toteutetaan
siirtymäkaaren alueella

Kaarteessa



Jos ulomman raitteen kallistus on suurempi kuin sisemmän, on raideväliä vastaavasti suurennettava

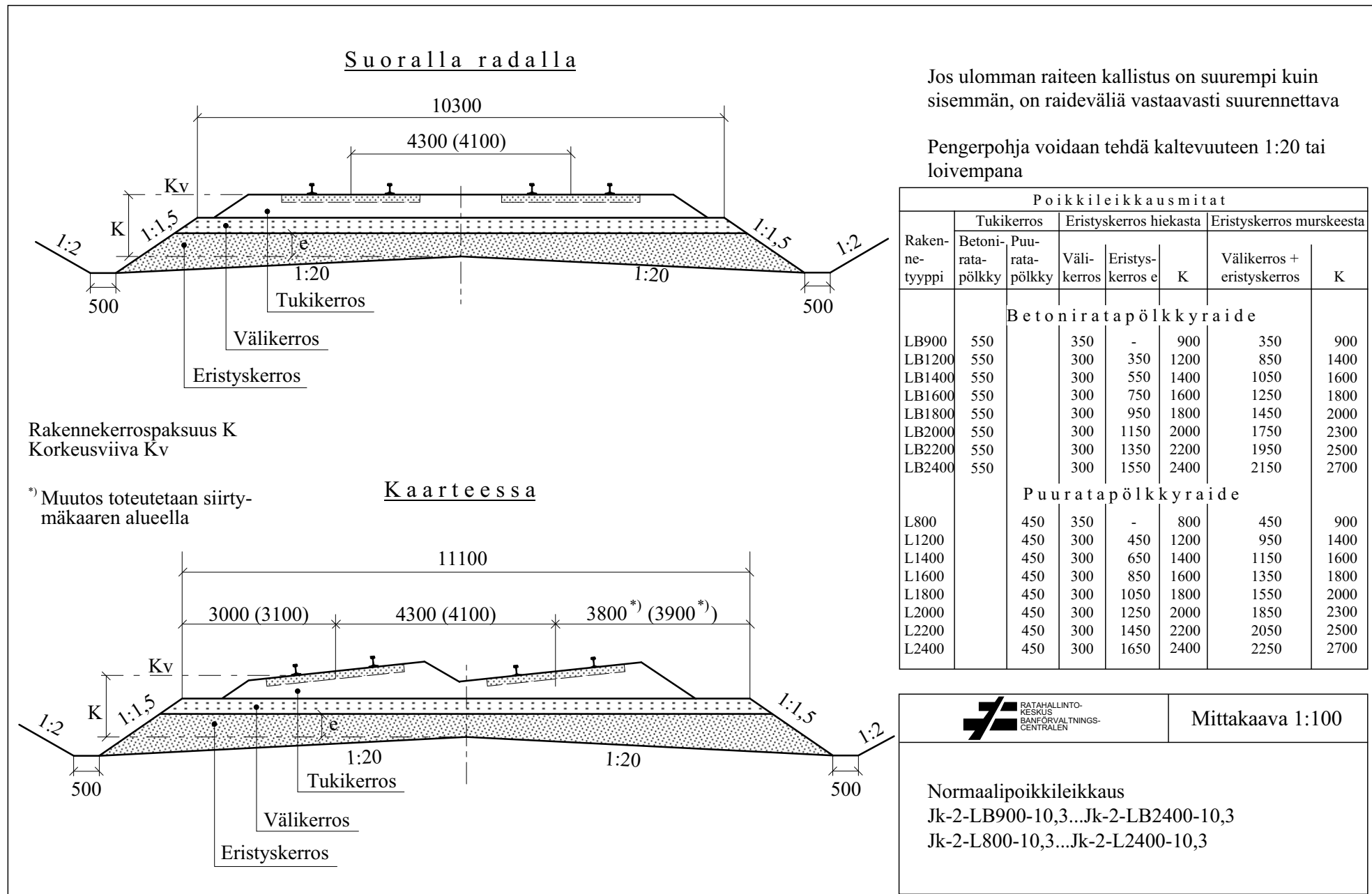
Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 tai loivempana

Poikkileikkaukset							
Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta		Eristyskerros murskeesta		Välikerros + eristyskerros K
	Betonirata- pölkky	Puurata- pölkky	Väli- kerros	Eristys- kerros e	K	Välikerros + eristyskerros K	
Betonirata-pölkkyraide							
PB900	550		350	-	900	350	900
PB1200	550		300	350	1200	850	1400
PB1400	550		300	550	1400	1050	1600
PB1600	550		300	750	1600	1250	1800
PB1800	550		300	950	1800	1450	2000
PB2000	550		300	1150	2000	1750	2300
PB2200	550		300	1350	2200	1950	2500
PB2400	550		300	1550	2400	2150	2700
Puurata-pölkkyraide							
P800		450	350	-	800	450	900
P1200		450	300	450	1200	950	1400
P1400		450	300	650	1400	1150	1600
P1600		450	300	850	1600	1350	1800
P1800		450	300	1050	1800	1550	2000
P2000		450	300	1250	2000	1850	2300
P2200		450	300	1450	2200	2050	2500
P2400		450	300	1650	2400	2250	2700



Mittakaava 1:100

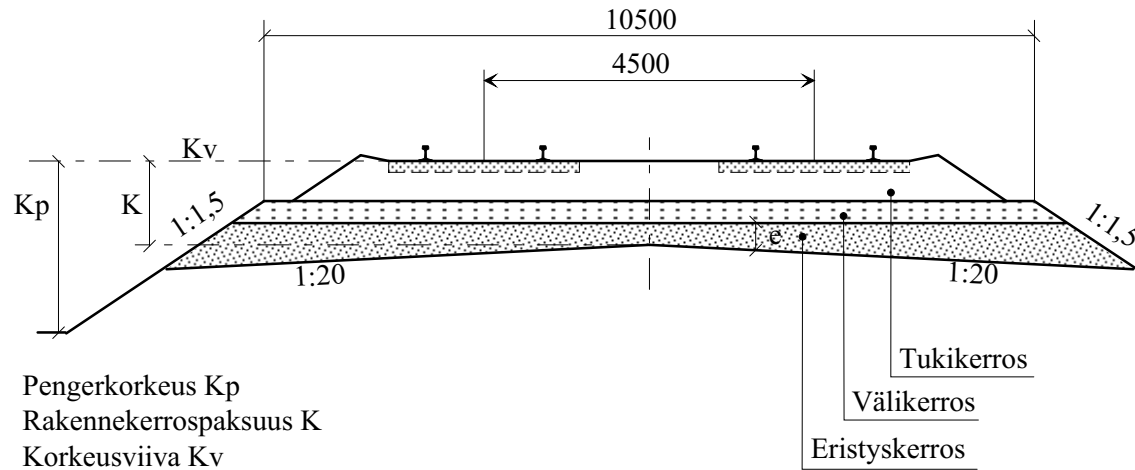
Normaalipoikkileikkaukset
Jk-2-PB900-10,3...Jk-2-PB2400-10,3
Jk-2-P800-10,3...Jk-2-PB2400-10,3



Jos ulomman raiteen kallistus on suurempi kuin sisemmän, on raideväliä vastaavasti suurennettava

Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 tai loivempänä

Suoralla radalla



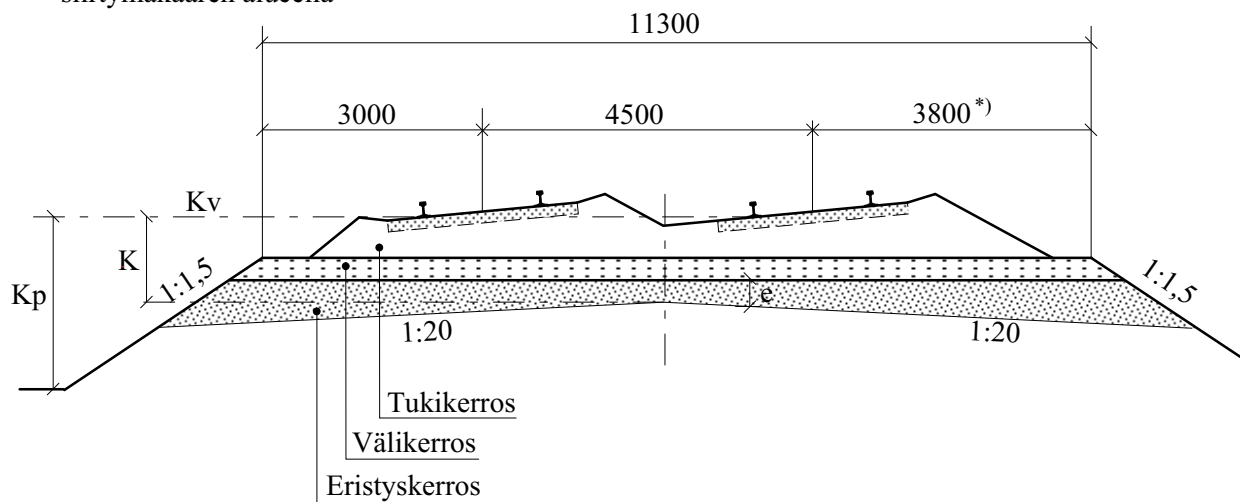
Pengerkorkeus K_p
 Rakennekerrospaksuus K
 Korkeusviiva K_v

Tukikerros
 Välikerros
 Eristyskerros

Jos ulomman raiteen kallistus on suurempi kuin sisemmän, on raideväliä vastaavasti suurennettava

Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 tai loivempana

Kaarteessa



*) Muutos toteutetaan siirtymäkaaren alueella

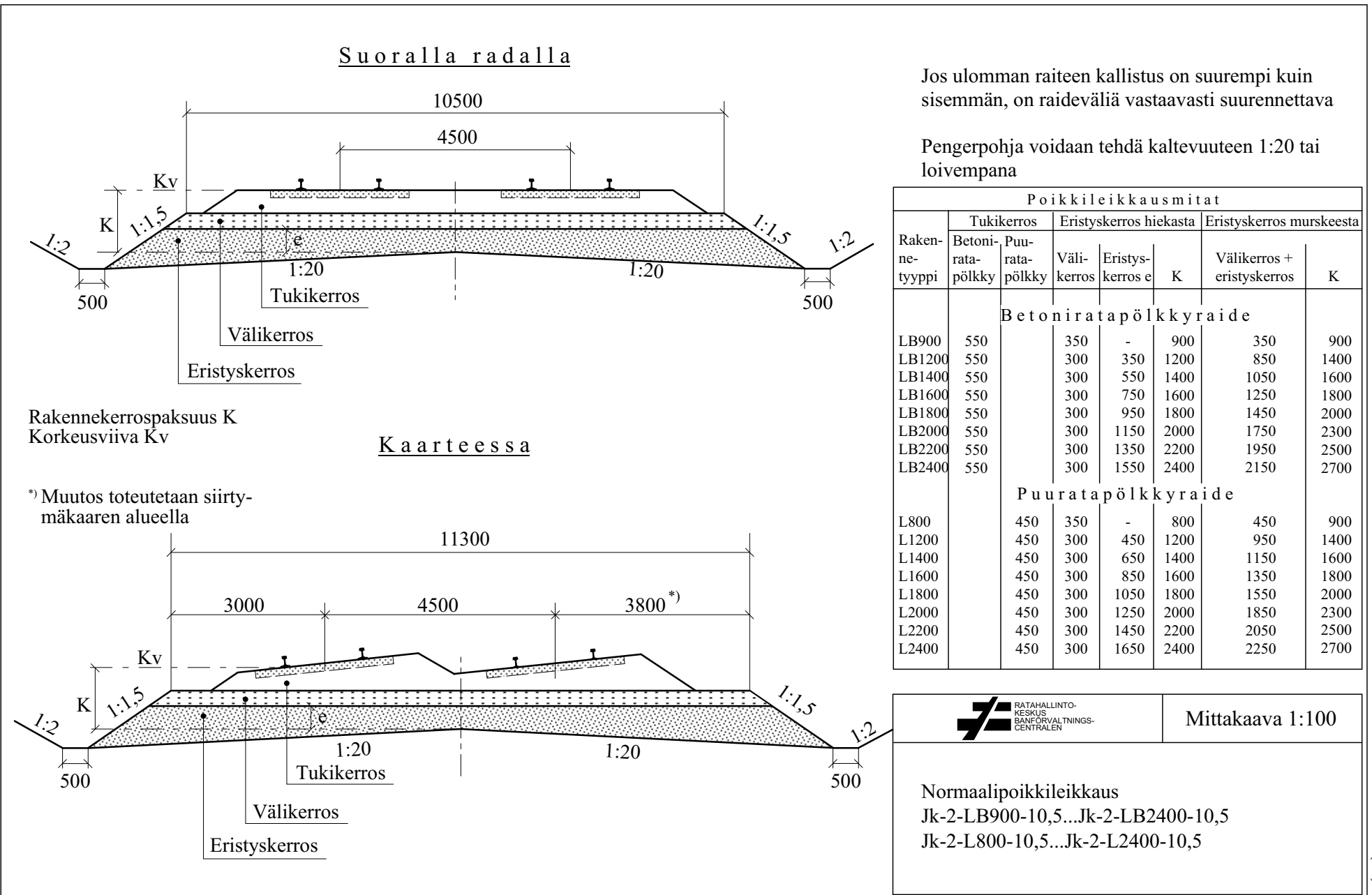
Tukikerros
 Välikerros
 Eristyskerros

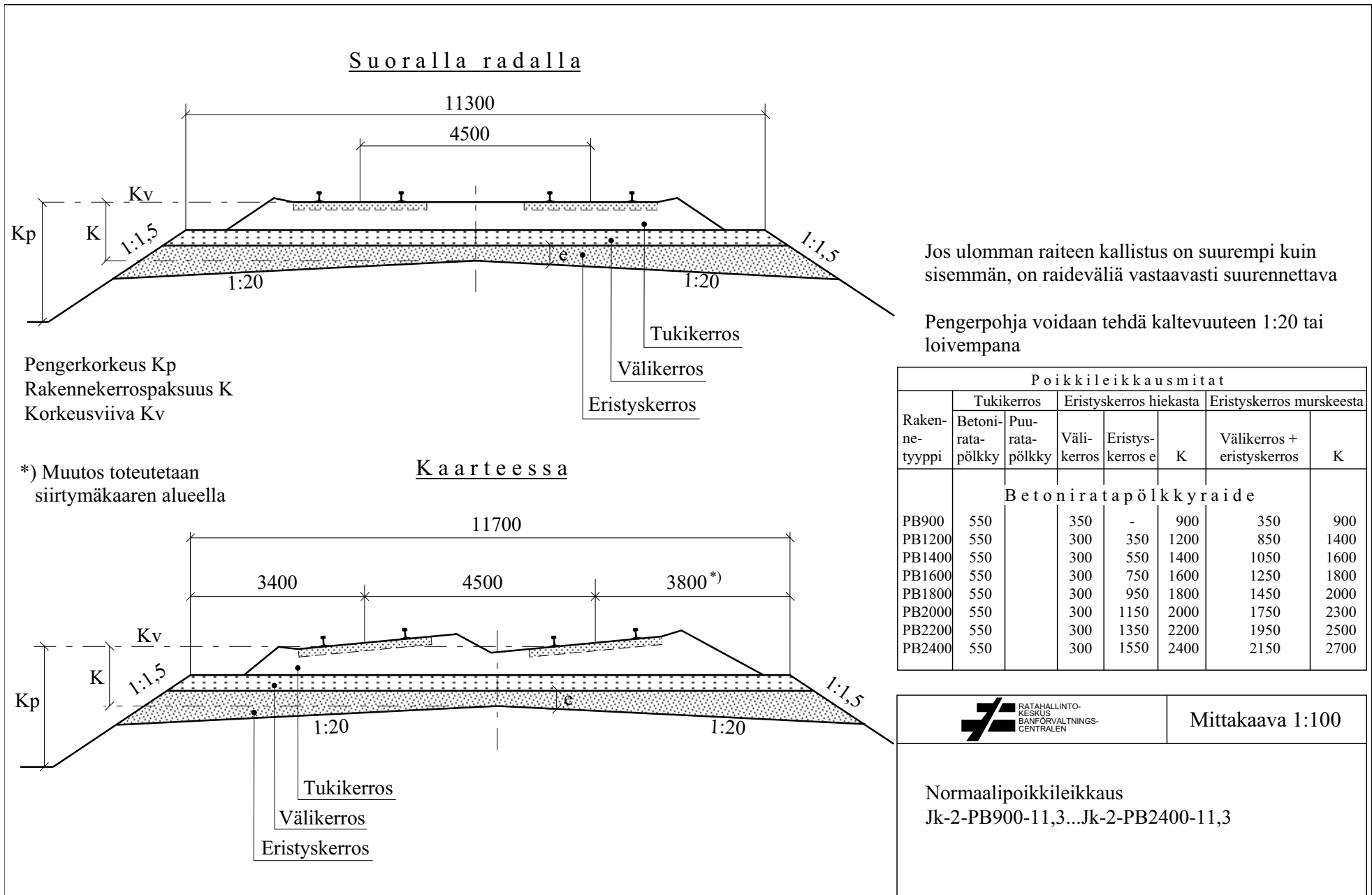
Poikkileikkausmitat						
Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta		Eristyskerros murskeesta	
	Betoni-rata-pölkky	Puura-rata-pölkky	Välikerros	Eristyskerros e	K	Välikerros + eristyskerros K
Betonirata-pölkkyraide						
PB900	550		350	-	900	350 900
PB1200	550		300	350	1200	850 1400
PB1400	550		300	550	1400	1050 1600
PB1600	550		300	750	1600	1250 1800
PB1800	550		300	950	1800	1450 2000
PB2000	550		300	1150	2000	1750 2300
PB2200	550		300	1350	2200	1950 2500
PB2400	550		300	1550	2400	2150 2700
Puurata-pölkkyraide						
P800	450	350	-	800		450 900
P1200	450	300	450	1200		950 1400
P1400	450	300	650	1400		1150 1600
P1600	450	300	850	1600		1350 1800
P1800	450	300	1050	1800		1550 2000
P2000	450	300	1250	2000		1850 2300
P2200	450	300	1450	2200		2050 2500
P2400	450	300	1650	2400		2250 2700

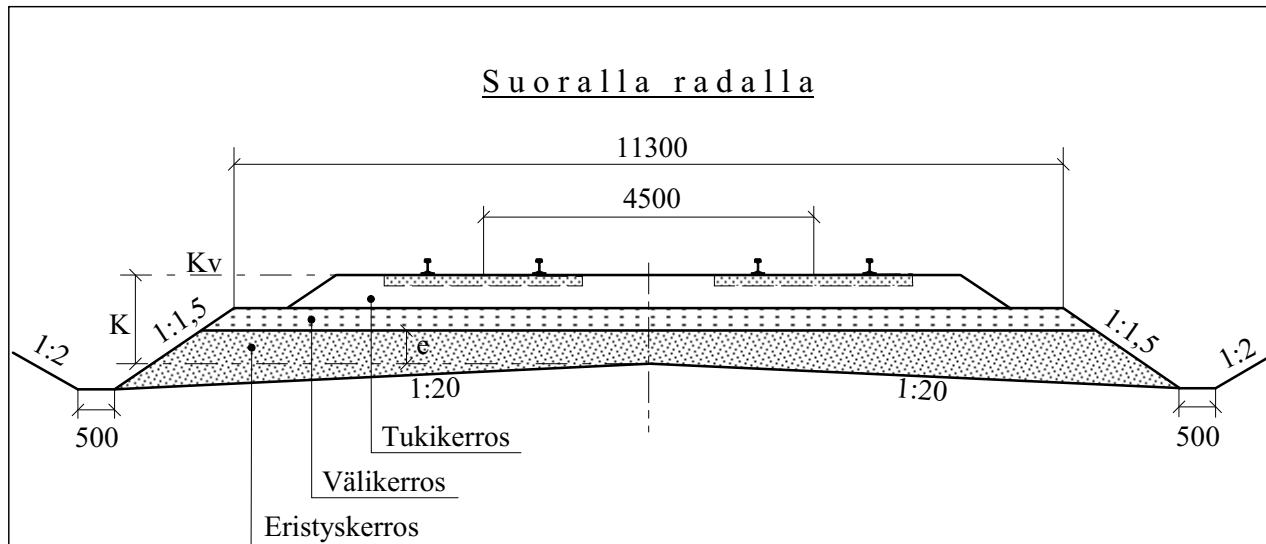


Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
 Jk-2-PB900-10,5...Jk-2-PB2400-10,5
 Jk-2-P800-10,5...Jk-2-P2400-10,5





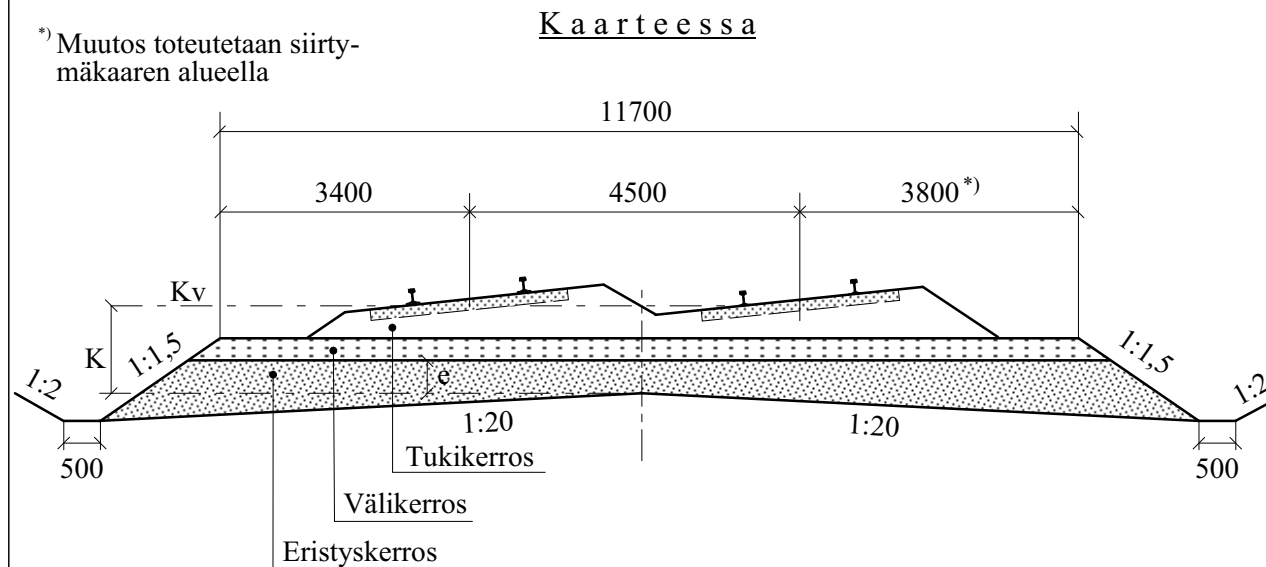


Jos ulomman raiteen kallistus on suurempi kuin sisemmän, on raideväliä vastaavasti suurennettava

Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 tai loivempuna

Rakennekerrospaksuus K
 Korkeusviiva Kv

^{*)} Muutos toteutetaan siirtymäkaaren alueella



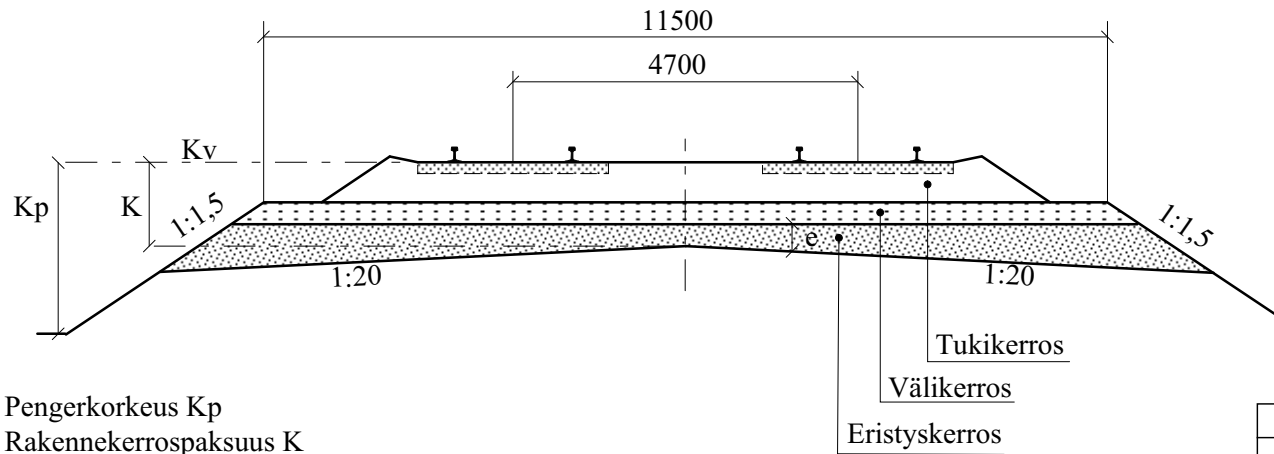
Poikkileikkausmitat							
Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta			Eristyskerros murskeesta	
	Betonirata-pölkky	Puurata-pölkky	Välikerros	Eristyskerros e	K	Välikerros + eristyskerros	K
Betonirata-pölkkyraide							
LB900	550		350	-	900	350	900
LB1200	550		300	350	1200	850	1400
LB1400	550		300	550	1400	1050	1600
LB1600	550		300	750	1600	1250	1800
LB1800	550		300	950	1800	1450	2000
LB2000	550		300	1150	2000	1750	2300
LB2200	550		300	1350	2200	1950	2500
LB2400	550		300	1550	2400	2150	2700



Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
 Jk-2-LB900-11,3...Jk-2-LB2400-11,3

Suoralla radalla

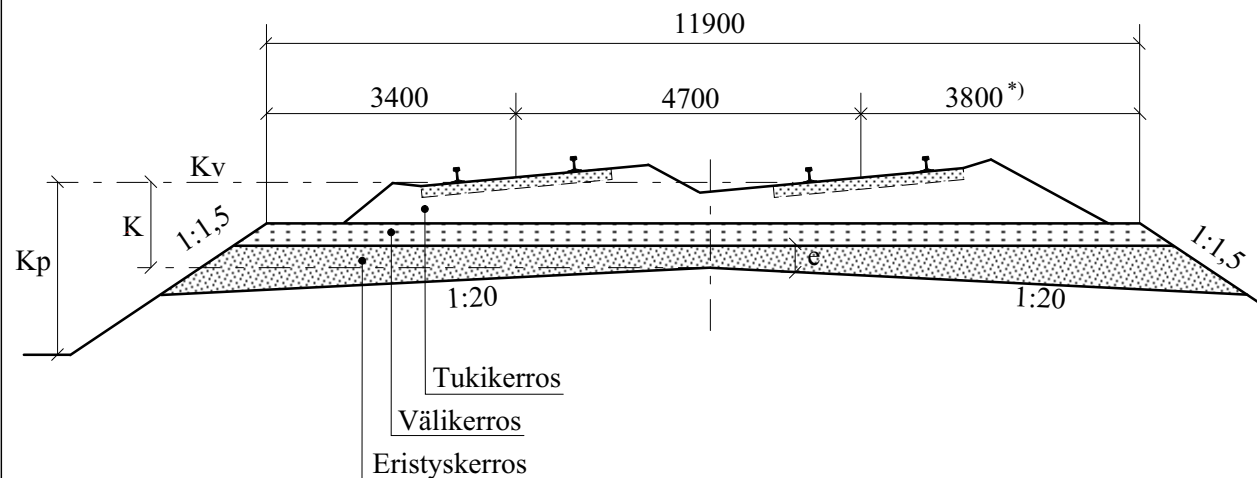


Jos ulomman raiteen kallistus on suurempi kuin sisemmän, on raideväliä vastaavasti suurennettava
 Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 tai loivempänä

Pengerkorkeus K_p
 Rakennekerrospaksuus K
 Korkeusviiva K_v

*) Muutos toteutetaan siirtymäkaaren alueella

Kaarteessa

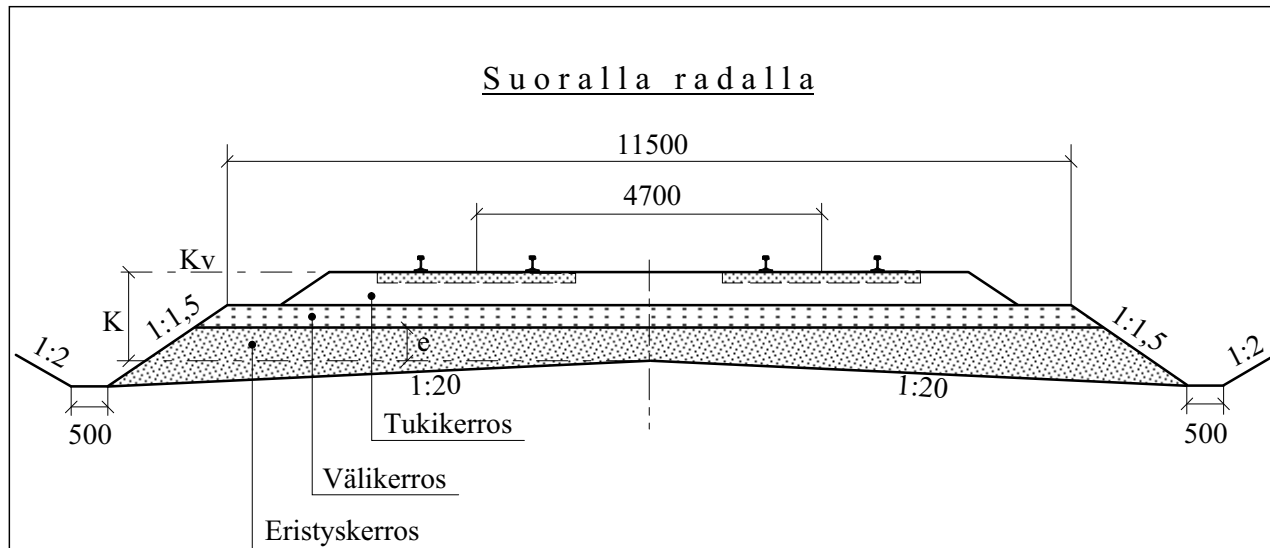


Poikkileikkausmitat							
Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta		Eristyskerros murskeesta		Välikerros + eristyskerros K
	Betonirata-pölkky	Puurata-pölkky	Välikerros	Eristyskerros e	K		
Betonirata-pölkkyraide							
PB900	550		350	-	900	350	900
PB1200	550		300	350	1200	850	1400
PB1400	550		300	550	1400	1050	1600
PB1600	550		300	750	1600	1250	1800
PB1800	550		300	950	1800	1450	2000
PB2000	550		300	1150	2000	1750	2300
PB2200	550		300	1350	2200	1950	2500
PB2400	550		300	1550	2400	2150	2700



Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
 Jk-2-PB900-11,5...Jk-2-PB2400-11,5



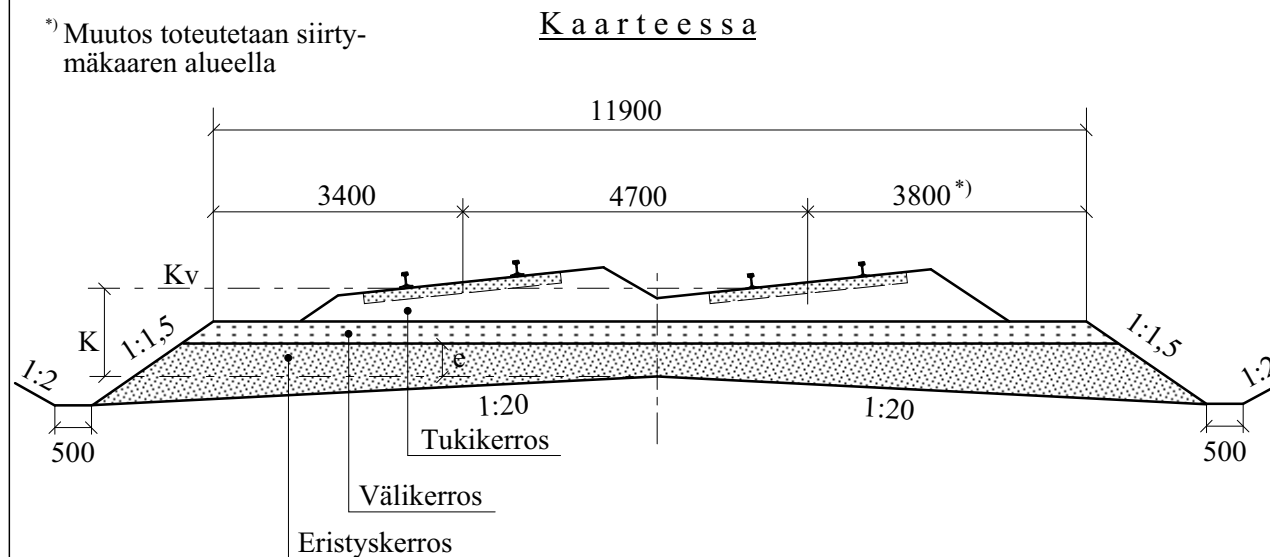
Jos ulomman raiteen kallistus on suurempi kuin sisemmän, on raideväliä vastaavasti suurennettava

Pengerpohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 tai loivempänä

Poikkileikkausmitat							
Rakennetyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta			Eristyskerros murskeesta	
	Betoni-rata-pölkky	Puu-rata-pölkky	Väli-kerros	Eristys-kerros e	K	Välikerros + eristyskerros	K
Betonirata-pölkkyraide							
LB900	550		350	-	900	350	900
LB1200	550		300	350	1200	850	1400
LB1400	550		300	550	1400	1050	1600
LB1600	550		300	750	1600	1250	1800
LB1800	550		300	950	1800	1450	2000
LB2000	550		300	1150	2000	1750	2300
LB2200	550		300	1350	2200	1950	2500
LB2400	550		300	1550	2400	2150	2700

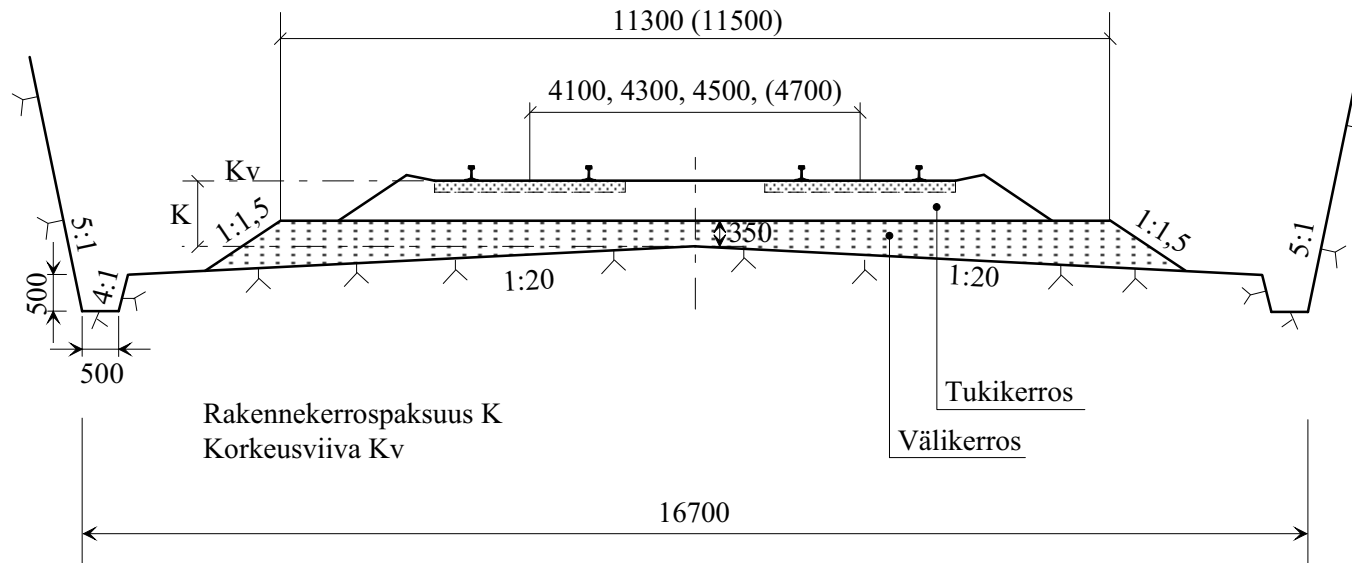
Rakennekerrospaksuus K
 Korkeusviiva Kv

^{*)} Muutos toteutetaan siirtymäkaaren alueella



Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
 Jk-2-LB900-11,5...Jk-2-LB2400-11,5



Leikkauspohja voidaan tehdä kaltevuuteen 1:20 tai loivempana

Luiskien kaltevuus kallion rakoilusta riippuvainen
 Kaltevuus voidaan toteuttaa esitettyä loivempana

Poikkileikkausmitat								
Rakenne-tyyppi	Tukikerros		Eristyskerros hiekasta			Eristyskerros murskeesta		
	Betoni-rata-pölkky	Puu-rata-pölkky	Väli-kerros	Eristys-kerros e	K	Välikerros + eristyskerros	K	
KaB900	550	Betoni ratapölkkyraide					350	900
Ka800		450	350	-	800	450	900	
		Puurata-pölkkyraide						



Mittakaava 1:100

Normaalipoikkileikkaus
 Lk-2-KaB900-16,7
 Pk-2-KaB900-16,7
 Jk-2-KaB900-16,7
 Lk-2-Ka800-16,7
 Pk-2-Ka800-16,7
 Jk-2-Ka800-16,7

Palautuvan pystysuuntaisen siirtymän mittaaminen

- Maaperätutkimusten perusteella pohjamaa jaetaan homogeenisiin alueisiin ja jaon jälkeen mitataan junanylityksen aikana tapahtuvat palautuvat siirtymät. Homogeenisiin alueisiin jakamalla voidaan vähentää mittaustarvetta etenkin jäykempien (karkearakeisten) pohjamaiden alueilla.
- Ratapölkyn pystysuuntaista siirtymää tarkkaillaan Sr2-tyyppisen veturin ylityksen aikana ja veturin aiheuttama paikallinen palautuva pystysuuntainen siirtymä mitataan. Mikäli Sr2-tyyppinen veturi ei tule kysymykseen (esim. sähköistämättömät radat), voidaan mittaaminen tehdä Sr2-veturin akselipainoa vastaavista muista akseleista
- Mittaukset on tehtävä kesäkauden aikana (kesä-syyskuu)
- Mittaus voidaan tehdä esim. kiihtyvyyssantureilla tai siirtymäantureilla siten, että siirtymäanturi kiinnitetään kovaan pohjaan asti asennettuun kairatankoon.
- Mittaukset tehdään ratapölkyn keskeltä. Tällä tavoin voidaan suurimmalta osin eliminoida erilaisten tuentatilanteiden vaikutukset mittaustuloksiin. Lisäksi voidaan ainakin jossain määrin eliminoida kaarteen vaikutusta mittaustuloksiin.
- Mittaukset tehdään viidestä ratapölkystä viiden ratapölkyn välein
- Mittaustuloksista lasketaan määräävä palautuva pystysuuntainen siirtymä siten, että kolmen keskimmäisen mittaustuloksen arvot huomioidaan, ja näistä lasketaan keskiarvo. Tällä tavoin voidaan eliminoida mahdollisia paikallisia vaihteluita mittaustuloksissa sekä mahdollisia mittausvirheitä.
- Kaksiraiteisen radan osalta toimitaan kuten yksiraiteisella radalla. Kaarteessa mittaukset tehdään ulommaiselta raiteelta.
- Mittaustulokset arkistoidaan Liikenneviraston edellyttämällä tavalla

Seurantamittaukset

Sisällysluettelo

1.	Mittausten tarkoitus.....	2
2.	Käyttökohteet.....	2
3.	Mittausmenetelmät.....	2
4.	Sortumaa indikoivat tekijät.....	3
5.	Seurantamittausmenetelmän soveltuvuus.....	4
6.	Seurantamittaussuunnitelma.....	6
7.	Mittalaitteiden sijoittaminen pehmeikölle.....	6
8.	Tulosten tulkinta.....	8
9.	Inklinometrimittausten suorittamisesta ja tulkinnasta.....	11
10.	Tehostettu seuranta.....	13
11.	Mittaustulosten raportointi.....	13
A	Projektisuunnitelma, sisällysluettelo	
B	Malli seurantakortista	
C	Inklinometrin asennusohje	
D	Malli Inframodel -tiedonsiirtoformaatin mukaisesta inklinometripurkitiedostosta	

1. Mittausten tarkoitus

Seurantamittauksilla tarkoitetaan tässä liitteessä vanhan ratapenkereen käyttäytymisen seurantaa, jolla varmistetaan penkereen riittävä vakavuus turvalliseen liikennöintiin. Seurannan tavoitteena on varmistaa, ettei ratapenkereessä tai pohjamaassa tapahdu sortumaa.

2. Käyttökohteet

Seurantamittauksia käytetään yleensä rataosalla, jolla penkereen varmuus on välillä $ODF=0,90\dots 1,0$ standardin SFS-EN15528 mukaisella, rataosan akselipainon mukaan määräytyvällä junakuormalla laskettuna. Seuranta voidaan käynnistää myös, jos akselipainon nosto aiheuttaa kokonaisvakavuuden pientymisen em. välille.

Uuden kohteen seurantamittauksen aloittamisesta tehdään päätös Liikenneviraston tekniikka ja ympäristö -osaston asiantuntijan toimesta. Päätöksen perustana kohteesta tulee olla käytössä riittävät pohjatutkimustiedot, niihin perustavat stabiliteettilaskelmat sekä näiden perusteella laadittu geotekninen analyysi kohteesta.

Rakentamistoimenpiteiden aikaisiin mittauksiin tätä ohjetta voidaan soveltaa, mutta mittauskriteerit on määriteltävä hankekohtaisesti. Tällöin mm. mittauslaitteet ja tiheys on valittava hankkeen toimenpiteisiin ja rakennusaikatauluun soveltuviksi.

3. Mittausmenetelmät

Seurantamittaukset perustuvat pääosin inklinometrimittauksiin, joilla voidaan suoraan mitata maassa tapahtuvaa leikkautumista ja vaakasuuntaisia siirtymiä. Inklinometrit voivat olla tyypiltään joko manuaalisia tai automaattisia.

Inklinometriä lisäksi seurantamittauksiin on käytettävissä useita muitakin laitteita, joilla mittauksia voidaan täydentää. Käytössä olevia menetelmiä ovat esimerkiksi painumaletku, takymetrimittaus ja huokospainemittaus, jossa maassa vallitsevaa huokosvedenpainetta mitataan huokospainekärjillä.

Huokospainemittauksessa tulee käyttää automaattisesti mittaavia kärkiä. Savessa kärjen huokospaineen tasaantuminen voi asentamisen jälkeen kestää 1–2 viikkoa, mikä pitää huomioida asentamisaikataulussa.

Lisätietoja arvioinnin tueksi voi olla saatavissa radantarkastusmittauksista (Emmat), sekä muista radanpitäjien kunnossapitotiedoista.

Kun kohteessa käynnistetään seurantamittaukset, tulee harkita myös kokonaisuutta tukevien muiden mittausten käyttöä. Tällaisia mittauksia ovat radanmittaus, penkereen painuman ja vaakasiirtymän mittaus esimerkiksi pengertuista tangoista, sekä ajojohtopylväiden siirtymien ja kallistumien mittaus. Näitä mittaustuloksia inklinometrimittauksiin peilaamalla on helpommin tulkittavissa, tapahtuvatko mahdolliset siirtymät penkereessä vai pohjamaassa.

4. Sortumaa indikoivat tekijät

Tärkein sortumaa indikoiva tekijä on pohjamaassa tapahtuvan leikkausmuodonmuutosnopeuden tai siirtymänopeuden kasvu.

Toissijaisesti toimenpiteisiin voidaan ryhtyä riittävän suurien ja jatkuvien siirtymien johdosta, vaikka ne eivät olisikaan kiihtyviä. Tällöin päätös kohteen parantamisesta tehdään tapauskohtaisesti tässä ohjeessa esitettyjä leikkausmuodonmuutoksen ohjearvoja soveltaen.

Apuna ratapenkereen heikon vakavuuden tulkinnassa voidaan käyttää pysty- ja vaakasiirtymän suhdetta sekä pohjamaassa tapahtuvaa huokospaineen kasvua.

Sortumaa edeltää aina kiihtyvä leikkausmuodonmuutosten kasvu. Mitä suurempi vaakasiirtymä on suhteessa pystysiirtymään, sitä heikompi kohteen vakavuus yleensä on. Absoluuttinen siirtymän arvo tai pysty- ja vaakasiirtymän suhde riippuvat merkittävästi maaperän ominaisuuksista ja maanpinnan tai maakerrosten kaltevuudesta, ja ovat siten usein vaikeasti tulkittavissa.

Radan kunnossa tapahtuvat muutokset voivat olla heikon vakavuuden indikaattoreita ja näin ollen muutosten aiheuttaja tulee aina selvittää. Pengerluiskan heikosta vakavuudesta johtuvat muodonmuutokset voivat näkyä radan kunnossa, mutta eivät välttämättä luiskan juuressa inklinometrimittauksessa.

Koska maassa ennen sortumaa syntyvä leikkausmuodonmuutoksen arvo riippuu paljon olosuhteista, tulee kunkin kohteen mittaustulokset analysoida huolellisesti ja kohdekohtaisesti. Erityisesti tulee pyrkiä selvittämään, mikä muodonmuutokset on aiheuttanut, eli ovatko muodonmuutokset seurausta esimerkiksi rakentamistoimenpiteistä, paikallisesta penkereen lakoamisesta tai kuivatuksen puutteista tai em. yhdistelmistä ja onko oletettavaa, että mitattu muodonmuutosnopeus muuttuu jatkossa.

Savessa huokospaineen kasvu on erinomainen indikaattori lähestyvistä sortumasta, mutta huokospainekärkeä on harvoin mahdollista asentaa pohjamaahan niin runsaasti, että seuranta voisi pohjautua ensisijaisesti niihin.

Huokospainemittauksesta saatava tieto on pistemäistä. Savessa sortuman lähestyessä tapahtuva, saven myötäämisestä johtuva huokospaineen kasvu on paikallista, joten mittaava kärki pitää olla lähellä todellista liukupintaa. Jos huokospainekärkeä käytetään tähän tarkoitukseen, niitä tulee olla useita samassa poikki-leikkauksessa, jotta voidaan varmistua siitä, että jokin kärjistä sijaitsee lähellä muodostuvaa liukupintaa.

Kärkien sijainti tulee suunnitella mahdollisimman tarkoilla stabiliteettilaskelmilla, joissa on huomioitu maan lujuuden kasvu syvyyden funktiona.

Huokospainemittauksella voidaan helposti havaita tulvimisen aiheuttama vedenpaineen kasvu. Tarkat havainnot kuitenkin edellyttävät, että tulvivan veden ja huokoskärjen välissä oleva maa on vedellä kyllästynyt.

5. Seurantamittausmenetelmän soveltuvuus

Yleisesti

Seurantamittaukset soveltuvat kohteeseen yleisesti ottaen sitä paremmin, mitä vähemmän junakuorma vaikuttaa kohteen vakavuuteen, eli mitä suurempi kohteessa on pysyvän kuorman osuus. Vastaavasti seurantamittausten käyttäminen stabiliteetin varmistamismenetelmänä on haastavaa kohteissa, joissa muuttuva kuorma (juna-kuorma) vaikuttaa merkittävästi penkereen kokonaisvarmuuteen, ja missä kokonaisvarmuus ilman junakuormaa on suuri.

Tyypillisesti junakuorman vaikutus varmuuteen on sitä suurempi, mitä matalampi ratapenger on. Tällainen tilanne on yleensä pehmeillä savikoilla. Näissä tapauksissa penger sortuu todennäköisesti äkillisesti junakuorman vaikutuksesta junan syystä tai toisesta pysähtyessä kriittiselle alueelle. Tällöin reaaliaikainen seuranta ei välttämättä riitä estämään onnettomuutta.

Eryistä huomiota tulee kuitenkin kiinnittää sivukalteviin paikkoihin, joissa sortumassa tapahtuvat muodonmuutokset voivat olla selvästi suurempia kuin tasamaan pehmeiköllä. Lisäksi sivukaltevissa paikoissa osittain kyllästyneen maakerroksen näennäinen koheesio (imupaine) saattaa pitää penkereen stabiilina mutta maakerroksen kyllästyessä, esimerkiksi rankkojen sateiden vaikutuksesta, imupaine voi pienentyä aiheuttaen vakavuuden heikkenemisen.

Soveltuvuus eri pohjamailla

Seurantamittausten käytettävyys riippuu pohjamaan ominaisuuksista. Taulukossa 1 on esitetty päälinjat seurantamittausten soveltumisesta eri pohjamaatyypeille ja leikkausmuodonmuutostasot, joilla sortuman voi otaksua kyseisillä pohjamaatyypeillä lyhytaikaisessa kuormituksessa tapahtuvan.

Taulukko 1. Seurantamittausten soveltuvuus eri pohjamaatyypeille.

Pohjamaatyyppi	Sortuman aiheuttava leikkausmuodonmuutos	Tunnistusominaisuudet	Soveltuvuus
Turve	$\gamma_f > 4 \%$	vesipitoisuus $w(\%) > 200$	Soveltuu
Myötölujittuva pohjamaa (saSi, Si, ljSi)	$\gamma_f > 4 \%$	Sensitiivisyys $St < 10$ ja $w(\%) < 50$	Soveltuu
Vähän sensitiivinen savi (liSa, laSa, ljSa)	$\gamma_f = 1,5 \dots 3 \%$	Sensitiivisyys $St < 10$	Soveltuu varauksin
Sensitiivinen savi (liSa, laSa)	$\gamma_f < 1,5 \%$	Sensitiivisyys $St > 10$	Soveltuu huonosti

Leikkausmuodonmuutoksen arvo $\gamma_f=1,0$ % vastaa 10 mm sivusiirtymää yhden metrin syvyyssmatkalla. Lisäksi taulukossa on esitetty tyypillisiä sensitiivisyysarvoja ja vesipitoisuuksia (%), joilla näitä pohjamaatyyppejä voi alustavasti tunnistaa. Sensitiivisyysarvo voi perustua joko siipikairaukseen tai kartiokokeisiin.

Tarkemmin sortumaa edeltäviä muodonmuutoksia ja sortuman jälkeistä käyttäytymistä voidaan tutkia kolmiaksaalikokeilla. Kokeiden tulee olla ansiotrooppisesti konsolidoituja. Tuloksia tulkitessa tulee huomioida, että tulokset ovat riippuvaisia näytteen laadusta ja koenopeudesta.

Pohjamaan tyyppiä arvioitaessa tulee huomioida, että selvästi ylikonsolidoituneilla savilla (tyypillisesti $S_u > 30$ kPa, $OCR > 1,8$) vesipitoisuus voi olla alle 50 %, mutta savet voivat silti olla erittäin sensitiivisiä, myötöpehmeneviä ja mahdollistavat laaja-alaisen sortuman.

Sortuman aiheuttava leikkausmuodonmuutos on aikariippuvainen. Kun leikkausmuodonmuutokset syntyvät vuosien aikajaksolla, voi sortuman aiheuttava leikkausmuodonmuutos olla taulukossa 1 esitettyä arvoa suurempi.

Turvepehmeiköille siirtymämittaukset soveltuvat, sillä murto tapahtuu suurella leikkausmuodonmuutostasolla. Turve ei yleensä myöskään menetä voimakkaasti lujuttaan murtotilan saavutettuaan vaan tyypillisesti leikkauslujuus joko kasvaa tai pysyy suurin piirtein vakiona, mikä vähentää äkillisen sortuman riskiä.

Turvepehmeiköillä voidaan tavata penkereen hyvin paikallista lakoaamista. Siihen voi liittyä turvepohjamaan paikallinen murto tai ”repeäminen”, jonka johdosta pengermateriaalia painuu pohjamaahan aiheuttaen paikallisen muodonmuutoksen.

Liejupitoinen pohjamaa luokitellaan tarkempien tutkimuksien puuttuessa kivennäismateriaalin perusteella yleensä joko myötölujittuvaksi (ljSi) tai vähän sensitiivisiin saviin (ljSa).

Maamateriaali kasvattaa murtuman jälkeen leikkauslujuuttaan, jos se on riittävän karkearakeista ja tiivistä. Silttinen pohjamaa (saSi, Si, ljSi) yleensä käyttäytyy näin, jos kerros ei ole erityisen löyhä. Seurantamittaus on omimmillaan penkereen vakavuuden varmistamisessa, kun vakavuusongelma johtuu penkereen omasta painosta, eikä muuttuva kuorma vaikuta vakavuuteen merkittävästi. Korkean penkereen alla pohjamaa käyttäytyy yleensä myötölujittuvasti.

Jos pohjamaa on vähän sensitiivistä savea, inklinometrimittaus soveltuu seuranta-menettelmäksi varauksin. Saven sensitiivisyys tulee todeta siipikairauksien tai kartiokokeiden avulla. Vähän sensitiivisillä savilla penkereillä vakavuus on yleensä suuresti riippuvainen junakuormasta, jolloin sortuman todennäköinen aiheuttaja on pysähtynyt juna.

Sensitiivisessä savessa murtuminen voi tapahtua hyvin pienellä, jopa alle $\gamma_f=0,5$ % leikkausmuodonmuutoksella. Näin pieniä, muutaman mm/m muodonmuutoksia ei pystytä luotettavasti mittaamaan. Tästä syystä seurantamittaukset soveltuvat huonosti stabiliteetin varmistamiseen, jos pohjamaa on sensitiivistä savea. Lisäksi mahdollinen sortuma aiheuttaa myötöpehmenemisestä johtuen todennäköisesti hyvin suuria muodonmuutoksia.

Esitetyissä arvoissa tai pohjamaatyyppeissa ei ole huomioitu pohjamaan mahdollista kerroksellisuutta, joka luonnollisesti tulee huomioida mitattuja leikkausmuodonmuutoksia arvioitaessa.

Kerroksellisessa maassa lujuudeltaan heikoimmat kerrokset ovat alttiimpia leikkautumiselle. Leikkausmuodonmuutokset ovat ensin havaittavissa juuri näissä kerroksissa. Jos mahdollisesti leikkautumassa oleva kerros on pohjatutkimusten perusteella hyvin ohut, tulee huomioida, että inklinometrillä mitataan vaakasiirtymää tietyin syvyysvälein, esim. 0,5 m välein. Kyseisessä kohtaa 0,5 m syvyysvälillä mitattu siirtymä on todellisuudessa voinut tapahtua kokonaisuudessaan vielä ohuemmassa heikossa kerroksessa, jolloin tapahtunut leikkausmuodonmuutos on todellisuudessa mitattua suurempi.

6. Seurantamittausuunnitelma

Seurantamittauksista laaditaan mittausuunnitelma, jossa esitetään motiivi mittauksille, määritellään mitä instrumentteja käytetään, mihin ne asennetaan ja miten mitataan. Viimeistään mittausuunnitelmaa laadittaessa suoritetaan myös maastokatselmus. Katselmuksessa todetaan pehmeiköllä sijaitsevan penkereen kunto ja muoto, kuivatusolosuhteet, alueen geometria ja soveltuvimmat paikat mittausinstrumenteille.

Suunnitelmassa esitetään mittausohjelma, jossa määritetään millä ajallisella tiheydellä mittauksia tehdään. Suunnitelmasta tulee ilmetä myös, minne tai kenelle mittauksien tulokset raportoidaan sekä suunnittelijan yhteystiedot. Mittausinstrumentit tulee valita ja mittausohjelma laatia siten, että mittaustiheyttä voidaan säätää tarpeen mukaan mittauksien perusteella.

Suunnitelmassa esitetään kartta sekä pituus- ja poikkileikkaukset, joissa mittalaitteiden sijoittelu on sidottu radan kilometrilukuun ja etäisyyteen mittalinjasta.

Inklinometrejä käytettäessä esitetään pohjatutkimusleikkaukset sijoituskohdista ja arvioitu inklinometriputken alapään tavoitetaso. Lisäksi esitetään inklinometrin malli (manuaalinen/automaattinen), sekä putkien A- ja B-suunnat liitteen 4 mukaisesti.

Mittausuunnitelmaan sisällytetään myös muut kohteessa tehtävät mittaukset ja katselmuksat. Näitä voivat olla esimerkiksi radasta tai ratapenkereestä tehtävät seurantamittaukset, sekä kohteen tarkastukset maastossa.

7. Mittalaitteiden sijoittaminen pehmeikölle

Mittaukset kohdennetaan laskennallisen tarkastelun pohjalta heikoimpaan kohtaan seurattavalla rataosuudella.

Seurantamittauksissa käytetään yleensä alkuvaiheessa joko manuaalisia tai automaattisia inklinometrejä. Näiden mittauksien perusteella voi olla perusteltua tai tarpeen laajentaa mittausohjelmaa joko asentamalla lisää automaattisia inklinometrejä, painumamittauslaitteita (painumaletku tai vaakasuuntainen inklinometri), siirtymämittauspisteitä tai huokospaineantureita.

Kulloinkin parhaiten radan geometriaan ja olosuhteisiin soveltuva mittaus suunnitellaan stabiliteetilaskentojen ja todennäköisimmän siirtymäsuunnan perusteella. Inklinometrin tyypiksi valitaan kohteeseen paremmin soveltuva. Manuaalinen inklinometri soveltuu erityisesti kohteeseen, jossa ei oletettavasti tarvita tiheää mittauksia. Automaattinen inklinometri on omimmillaan tiheässä, mutta rajallisen aikaa kestävässä mittauksessa.

Automaattista inklinometriä käytettäessä pitää ensisijaisesti käyttää mallia, joka automaattisesti lähettää mittaustulokset tulosten tulkitsijan saataville. Pehmeiköllä voidaan käyttää myös laitetyyppejä ristiin siten että tiheään mittaavan automaatti-inklinometrin tuloksia täydennetään manuaalisilla putkilla, joita käydään mittaamassa harvemmin.

Pitkäaikaiseen mittaustarpeeseen voidaan varautua myös asentamalla samalla kertaa rinnakkain sekä automaattinen että manuaalinen putki, jolloin manuaalista putkea ryhdytään mittaamaan vasta mittausvälin harventuessa.

Inklinometrit tulee radan pituussuunnassa sijoittaa stabiliteetiltään kriittisimpiin kohtiin.

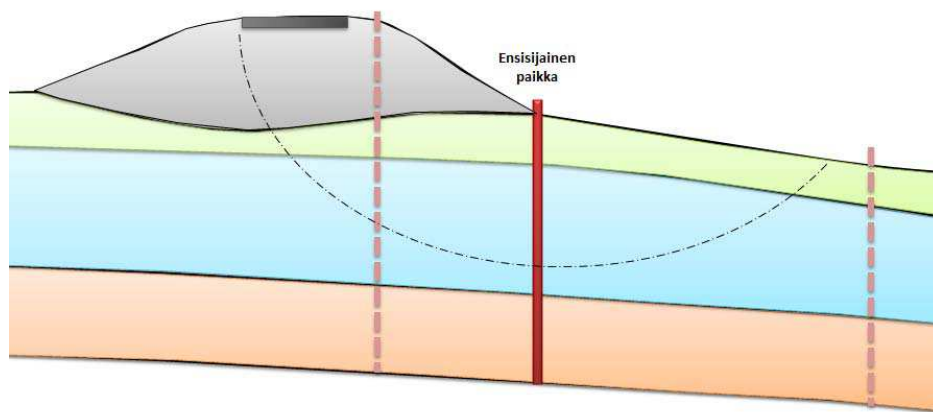
Pehmeikön seurantaan selväpiirteisessä tapauksessa voi riittää yksi inklinometri, jos pehmeikön pituus on alle 200 m. Pitemmällä pehmeiköllä tai sivukaltevuuden tai pohjaolosuhteiden vaihdellessa, mittalaitteita tarvitaan enemmän. Noin 1000 m mittaisella pehmeiköllä suositeltava määrä on kolme inklinometriä.

Inklinometri sijoitetaan radan poikkisuunnassa ensisijaisesti ratapenkereen juureen kuvan 1 mukaisesti. Sijoituskohtaa valittaessa tulee huomioida kohteesta laskettujen vaarallisimpien liukupintojen muoto ja laajuus. Inklinometrin tulee mieluiten sijaita oletetun liukupinnan vaakasuoran leikkauksen alueella tai tästä hieman lähempänä rataa. Liukupinnan loppupäässä vetopuolella leikkausmuodonmuutokset saattavat näkyä vasta viiveellä.

Sijoittelussa tulee ottaa huomioon, että sivukalteva maasto on usein heikolle stabiliteetille altistava tekijä. Samoin tulee huomioida toispuoleisen vedenpaineen mahdollisuus, esimerkiksi veden kerääntyminen ylärinteen puolelle, vaikkakin tällaiset riskitekijät tulee aina ensisijaisesti poistaa varmistamalla alueen kunnollinen kuivatus.

Jos ratapenger on erityisen korkea tai jyrkkä siten että merkittävä penkereen luiskan sortuma on mahdollinen, voi olla tarpeen sijoittaa inklinometri myös jätkänpolulle RSU:n ulkopuolelle.

Kohteessa voidaan joskus tarvita samaan poikkileikkaukseen kaksikin inklinometriä jos liukupinnan sijaintiin liittyy huomattava epävarmuutta, tai jos kohteessa on lisäksi vastapenger, jonka vakavuudessa on puutteita. Tällöin toinen inklinometri voidaan sijoittaa suunnittelijan harkinnan mukaan esimerkiksi jätkänpolulle tai vastapenkereen luiskan juureen.



Kuva 1. Inklinometri sijoitetaan yleensä ensisijaisesti ratapenkereen juureen. Mahdolliset täydentävät sijoituspaikat on esitetty katkoviivoilla. Sijoituspaikka tulee kuitenkin päättää aina tapauskohtaisesti harkintaa käyttäen. Sijoittelussa huomioidaan laskennallisesti arvioitujen, vakavuudelta kriittisimpien liukupintojen sijainti.

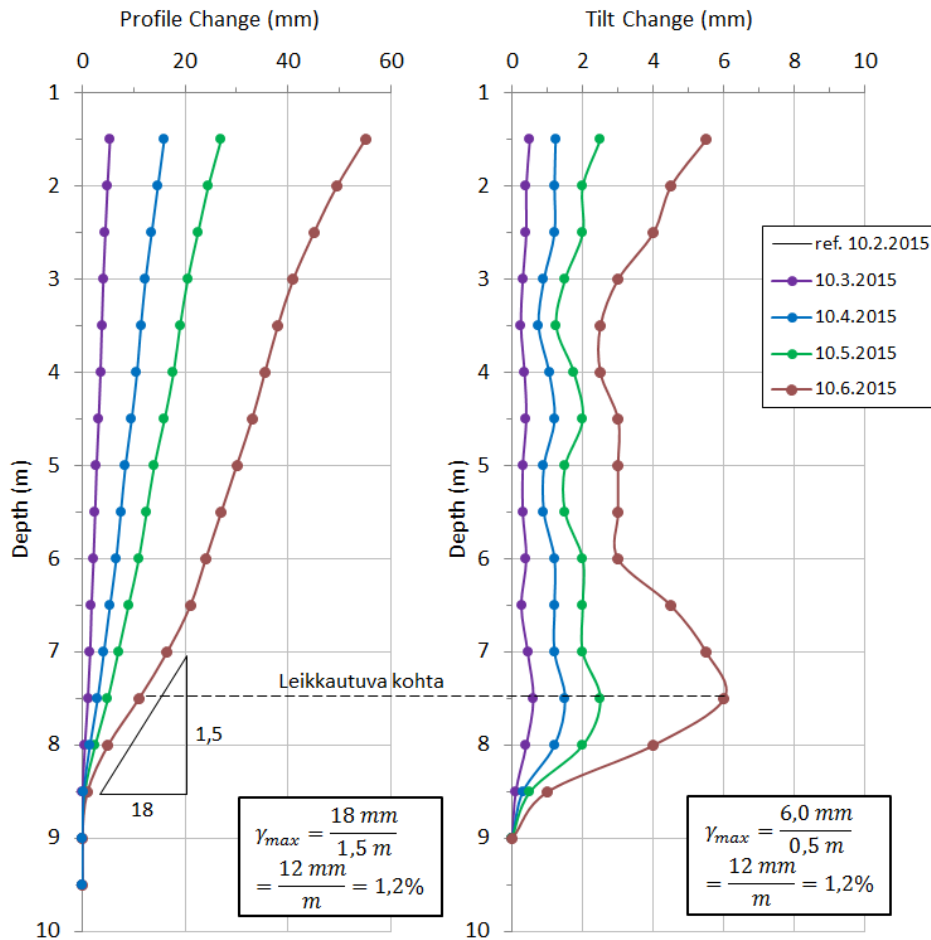
Inklinometriputki on ohutseinämäinen muovi- tai alumiiniputki, joka nurjahtaa helposti maakerrosten painuman seurauksena. Näin ollen inklinometrin kohdalla tapahtuva painuma aiheuttaa putken vaakasuuntaisia muodonmuutoksia kokoonpuristuvassa maakerroksessa, joita voi olla hankala erottaa stabiliteettiin liittyvistä vaakaliikkeistä. Tästä syystä inklinometrin sijoituspaikka ja -ajankohta on mahdollisuuksien mukaan valittava siten, että painumaa putken kohdalla putken asennuksen jälkeen syntyisi mahdollisimman vähän.

Painumamittauksella voidaan täydentää seuranta erityisesti, jos suuret painumaerot ovat oletettuja, kuten esimerkiksi siirryttäessä pehmeiköltä kalliolle, siltapaikalla tai radan viereen rakennettavan kaivannon yhteydessä. Painumamittausta ei tule käyttää ainoana mittasuurena kohteen vakavuutta arvioitaessa, vaan painumamittaus tulee aina liittää sivusiirtymän mittaukseen.

8. Tulosten tulkinta

Pohjamaassa tapahtuvan suurimman leikkausmuodonmuutoksen arvon määrittäminen tapahtuu inklinometrin tulostuskuvasta kuvassa 2 esitetyn periaatteen mukaisesti. Syvyys, jolla suurimmat leikkausmuodonmuutokset tapahtuvat, on helpoiten määritettävissä Tilt Change -kuvaajasta (kuva 2b), joka kuvaa kahden perättäisen mittaustason välillä tapahtunutta sivusiirtymän määrää.

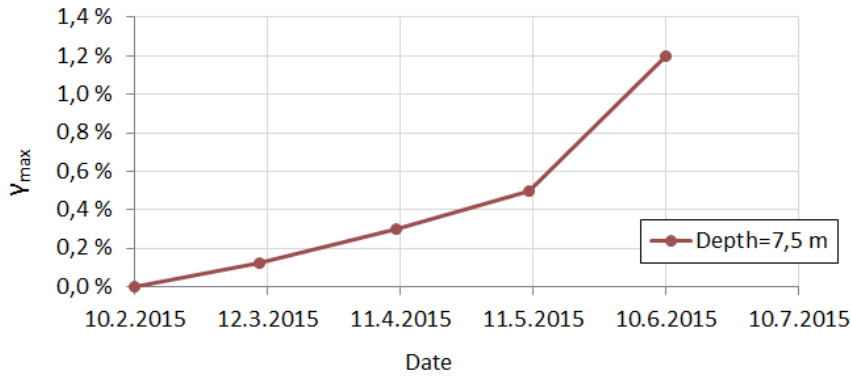
Kuvassa 2a leikkausmuodonmuutoksen arvon määrittäminen on esitetty kuvasta mittaamalla ja kuvassa 2b suoraa Tilt Change -arvosta laskemalla.



Kuva 2a ja b. Leikkausmuodonmuutoksen arvon määrittäminen inklinometrimittauksesta. Tässä kuvassa arvo on määritetty referenssimittauksesta lähtien (aikaväli 10.2.–10.6.2015).

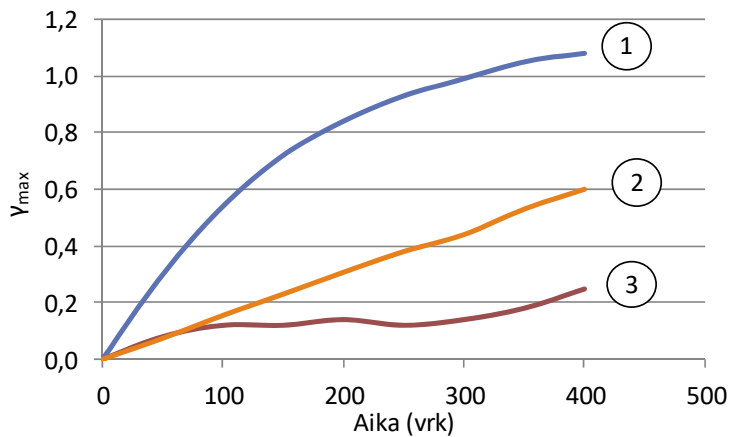
Esimerkissä määritetty leikkausmuodonmuutos $\gamma_{max}=1,2\%$ vastaa 12 mm vaakaliikettä 1 m paksussa maakerroksessa. Liike on tapahtunut 4 kk aikana aikavälillä 10.2.–10.6.2015. Esimerkin leikkausmuodonmuutos on niin suuri, että se edellyttää välittömiä toimenpiteitä penkereen vakauttamiseksi.

Absoluuttista arvoa hälyttävämpää on kuitenkin muodonmuutosnopeuden kasvu leikkautuvassa vyöhykkeessä, joka on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Leikkausmuodonmuutoksen kehitys ajan funktiona 7,5 m syvyydessä kuvasta 2. Siirtymät kasvavat suurella vakionopeudella noin $\gamma=0,2\%$ /kk, kunnes aikaväli 10.5.–10.6.2015 on tapahtunut hälyttävä muodonmuutosnopeuden kasvu. Mittaustuloksia tulkitessa tulee huomioida, että lämpötilan vaihtelut vaikuttavat aina mittaustuloksiin kaikissa mittauksissa. Lisäksi ratapenkereen routaantuminen tai pohjamaan routiminen voivat aiheuttaa liikkeitä esimerkiksi inklinometriputken yläpäässä.

Kuvassa 4 on esitetty tulkintaesimerkki inklinometreilla mitatuista leikkausmuodonmuutoksen arvoista suhteessa aikaan. Aina kun siirtymämittauksilla havaitaan liikettä, tulee mitatut siirtymät analysoida ja löytää syy liikkeiden syntyyn. Vaaralliseksi luokiteltava siirtymätaso riippuu pohjamaan ominaisuuksista. Siirtymätasosta riippumatta kiihtyvä liike luokitellaan aina vaaralliseksi.



Kuva 4. Mitattuja leikkausmuodonmuutoksen arvoja ajan suhteen kolmesta eri esimerkkikohteesta:

(1) Yleinen siirtymätapa turvekohteissa, joihin on rakennettu vastapenger. Inklinometrin profiili on viuhkamainen. Muodonmuutokset ovat suuria mutta tasaisesti hidastuvia. Muodonmuutosten primäärisyy on yleensä vastapenkereen painuminen, jolloin hidastuva siirtymä ei lähtökohtaisesti ole vaarallinen. Kyseinen siirtymän muoto voi liittyä myös penkereen lakoamiseen, jolloin siirtymä keskittyy erityisesti inklinometrin yläpäähän.

(2) Mahdollinen siirtymätapa erityisesti sivukaltevissa paikoissa, joissa pengeri voi luisua alaspäin rinnettä melko tasaisella nopeudella joko pohjamaan painumien tai leikkausmuodonmuutosten seurauksena. Edellyttää riittävän tiheää seurantaa ja tarvittaessa leikkausmuodonmuutosten ollessa suuria, rakennussuunnitelmaa liikkeen pysäyttämiseksi.

(3) Kohteessa liike on ollut käytännössä pysähdyksissä mutta sittemmin lähtenyt kiihtymään. Vaikka siirtymätaso on vielä pieni, on kiihtyvä liike aina hälytysmerkki. Mittaustiheyttä on välittömästi tihennettävä ja ryhdyttävä selvittämään syytä liikkeen kiihtymiseen.

9. Inklinometrimittausten suorittamisesta ja tulkinnasta

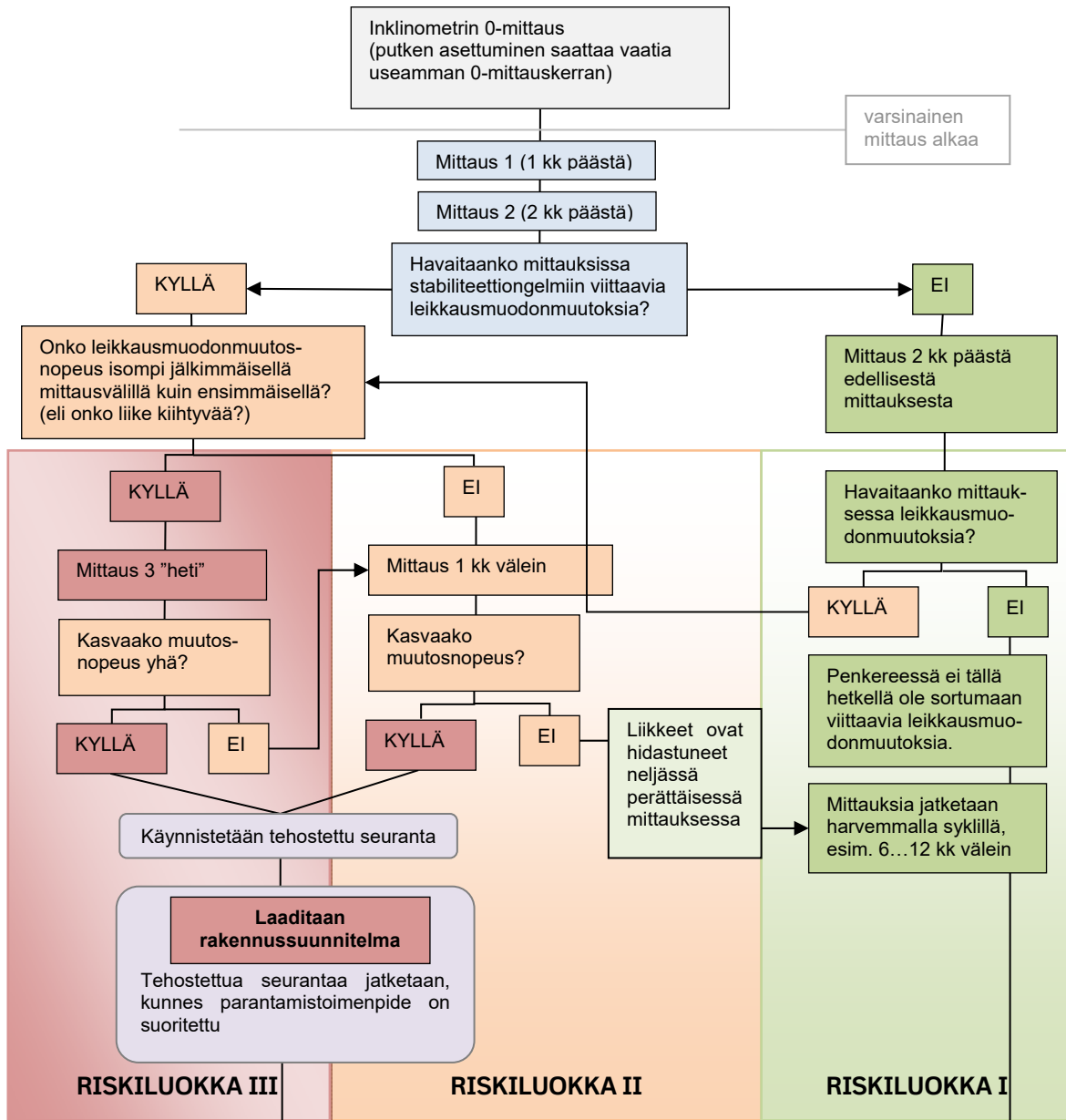
Kaaviokuvassa 5 on esitetty mittausvälit, tulosten tulkinta ja toimenpiteet. Yksinkertaistetusti voidaan sanoa, että mittauksilla tutkitaan, onko siirtymä kiihtyvää. Jos on, aloitetaan tehostettu mittaus ja laaditaan rakennussuunnitelma kohteen stabiliteetin parantamiseksi.

Jos kohteessa on jatkuvaa merkittävää liikettä, joka ei kuitenkaan ole kiihtyvää, laaditaan toimenpideselvitys kohteen parantamisesta tapauskohtaisesti harkintaa käyttäen. Lähtökohtaisesti mitattujen leikkausmuodonmuutoksen arvojen tulee pysyä selvästi tässä ohjeessa esitettyjä, potentiaalisesti sortuman aiheuttavia arvoja pienempinä.

Kaaviokuvan 5 peruslähtökohtana on 1 kk mittausväli manuaalisilla inklinometreilla, jolloin uusissa seurantakohteissa pystytään nopeasti muodostamaan käsitys kohteen mahdollista siirtymistä. Automaattisia inklinometreja käytettäessä mittausvälin tulee olla tiheämpi, mutta geoteknisen asiantuntijan tulee analysoida siirtymämittaus-tulokset vähintään 1 kk välein. Mittausvälistä voidaan poiketa tapauskohtaisesti. Inklinometrien tulkinnan yhteydessä tulee analysoida myös mahdollinen muu kohteesta saatavilla oleva mittaustieto.

Jos kohteessa ei havaita stabiliteettiongelmia viittaavia leikkausmuodonmuutoksia, mittaustiheyttä harvennetaan. Tilaajan päätöksellä mittaukset voidaan keskeyttää, jos leikkausmuodonmuutoksia ei ole kaaviokuvassa 5 esitetyllä tavalla havaittu kolmeen vuoteen.

Parantamistoimenpiteet suunnitellaan lähtökohtaisesti siten, että toimenpiteen jälkeen kohteen vakavuus on riittävä. Tällöin seurantaa ei enää tarvita vakavuuden vuoksi, mutta mittauksia voidaan jatkaa, jos halutaan esimerkiksi seurata uusien vastapenkereiden aiheuttamia ratapenkereen muodonmuutoksia.

**Parantamistoimenpide**

Työnaikainen mittaus suoritetaan erillisen suunnitelman mukaan. Suunnitelmassa esitetään työnaikainen ja mittausten lopettaminen parantamistoimenpiteiden jälkeen. Toimenpiteiden jälkeen kohteen vakavuus on riittävä.

Tilaaajan päätöksellä mittaukset voidaan keskeyttää, kun leikkausmuodonmuutoksia ei ole havaittu 3 vuoteen. Tänä aikana mitattujen siirtymien tulee olla savisella siltillä tai **savella** alle 0,5 mm/m/vuosi. Mittaukset voidaan lopettaa myös, mikäli vakavuus ei vaarannu (1).

RISKILUOKAT

- I Hyvin epätodennäköinen
- II Epätodennäköinen
- III Mahdollinen

(1) Jos mitattujen vakionopeudella tapahtuvien vähäisten siirtymien todetaan aiheutuvan vain konsolidaatio- tai sekundääripainumasta ja niiden seurauksena kohteen vakavuus paranee, voidaan tilaaajan päätöksellä mittaukset keskeyttää.

10. Tehostettu seuranta

Kun todetaan tehostetun seurannan tarve, siitä ilmoitetaan viipymättä Liikenneviraston radan kunnossapito -yksikölle.

Tehostettu seuranta toteutetaan kohteessa, jossa on kiihtyvää liikettä kuvan 5 mukaisesti. Mittauksissa käytetään automaattista inklinometriä tai vastaavaa riittävän jatkuvaa mittaustietoa tuottavaa menetelmää. Tehostettua mittausta jatketaan tarvittaessa niin pitkään, että kohteeseen on suunniteltu ja toteutettu stabiliteetinparantamistoimenpide.

Mittauksista laaditaan projektisuunnitelma (liite 1). Suunnitelma sisältää muun muassa mittauksen toimintamallin, hälytysrajat ja vastuutahot.

Ääritilanteessa seuranta suorittavalla organisaatiolla tulee olla valmius juna-liikenteen keskeyttämiseen, jos kohteessa mittaustulosten perusteella todetaan välitön sortumavaara. Jos sortuma on mittausten perusteella mahdollinen, mutta ei kuitenkaan välitön, tulee mitattuja siirtymiä seurata päivittäin ja tarpeen mukaan asettaa kyseiseen kohtaan nopeus- tai painorajoitus, kunnes kohde on saatu korjattua.

11. Mittaustulosten raportointi

Jokaisesta seurattavasta pehmeiköstä ylläpidetään Excel-muotoista seurantakorttia, jota mittaaja päivittää mittausten edetessä. Seurantakortti sisältää mm. pehmeikkökohteen perus- ja historiatiedot, inklinometriputkikortit, vakavuuslaskelmat ja mittaustulokset sekä mittausajankohtien jälkeen tehtävän asiantuntija-arvion kohteen tilasta. Liitteessä 3 on esitetty esimerkki seurantakortista.

Mittausten päätyttyä laaditaan kohteittain loppuarvio ja perustellaan mittauksen päättäminen (yleensä parantamistoimenpide), sekä arvioidaan kohteen nykyinen vakavuus. Näillä tiedoilla päivitetty seurantakortti tallennetaan ja arkistoidaan Liikenneviraston ohjeiden mukaisesti.

12. Ohjeet seurannan dokumentointista ja inklinometrin asentamisesta (A-D)**A: Mittausten projektisuunnitelma, ohjeellinen sisällysluettelo**

1. Johdanto
2. Lähtötiedot ja vastuutahot
3. Putken asentaminen ja nollamittaus
4. Mittaustiheys
5. Mittaustulosten käsittely
6. Siirtymät ja hälytysrajat
7. Ilmoitusvastuut
8. Yhteystietoluettelo

B: Seurantakortti

Jokaisesta pehmeiköstä pidetään Excel-muotoista seurantakorttia. Seurantakortissa esitetään vähintään alla esitetyn listan kolme ensimmäistä välilehteä. Loput välilehdet esitetään soveltuvin osin tai tarveharkintaisesti. Välilehdistä 1 ja 2 on esitetty mallit ohessa.

Välilehti 1: Koostesivu, jossa esitetty tiivistetysti oleelliset tiedot sis. riskiarvion

Välilehti 2: Inklinometriputkikortti, jokaisesta putkesta laaditaan omakortti

Välilehti 3: Inklinometrien mittaustiedot (numeerinen ja graafinen)

Välilehti 4: Mahdolliset muut mittaustiedot (esim. painumaletku)

Välilehti 5: Pohjatutkimukset, pehmeikön oleelliset pituus- ja poikkileikkaukset, inklinometrin siirtymäkuvaaja poikkileikkauksessa

Välilehti 6: Pehmeikkörekerin tiedot

Välilehti 7: Parametrisoidun laskennan tiedot (RATUS)

Välilehti 8: Tarkemmat stabiliteettilaskelmat kohteesta

Välilehti 9: Kunnossapidon tiedot kohteesta



Pehmeikön riskiarviointi

18.11.2015

Lähtötiedot	Rataosa		Tilirataosa		Ratanumero 003
Rataosa	Riihimäki-Tampere				
Pehmeikön kmv	Alku 104+060	Loppu 104+340	Pituus (m)	280	Kunnossapitoalue 3
Perustamistapa	Osittainen massanvaihto		Raiteiden lkm	3	
Kriittisimmät sijainnit	104+210 ja 104+260				
Maakerrokset	Penger 1-2,5 m	Turve 0-4 m	Savi 2-11 m	Huom.	
Penger painunut	Pohjaantäyttö painunut 3-7 m				Tutkittu 1933, 1937, 2002, 2006
Vahvistustoimenpiteet	Toimenpide	Vuosi	Vasen	Oikea	Lisätietoa
	Vastapenger	2003	104+100...+320	104+100...320	
Stabiileetti	Laskentatapa	F ilman junaan	F junalla	Junakuorma (kPa)	Laskenta pvm
	cfii	1,45	1,25	40,4	31.8.2006
	c=0	2,20	2,00	40,4	31.8.2006
	cfii RATUS	1,35	1,17	40,4	6.6.2013
Kunnossapito Lisääntynyt kunnossapitotarve	Rata nykyisin asettunut, vastapenkereiden rakentamisen jälkeen oli lisääntynyttä kunnossapitotarvetta.				
Alennettu nopeusrajoitus	Ei nopeusrajoitusta (2013), aiemmin 140 km/h.			Syy	Vastapenkereiden aiheuttama liike
Emma	Pieniä virheitä (C-luokka) vuosittain koko pehmeikön matkalla			Vuosi	2011-2013
Seurantamittaukset Inklinometri	Siirtymät jatkuivat tasaisina (2009-2013), oikealla puolella viuhkamainen, yläpäässä 5 mm/vuosi. Vasemmalla pieni siirtymä rataa kohti.				
	Sijainti 104+160 oik. 3,1m, 104+260 vas 3,1 m.				
	Riskiluokka (RATO 3)	I	Alkanut	2007	Loppunut
Pysty- ja vaakasiirtymä sekä putken painuma	Painumaa mitattu 2005-2006				
Riskien arviointi Mahdolliset vaarat ja niiden syyt	Penger oletettavasti edelleen lakoaa ja syrjäyttää turvetta sivuillaan. Vaarana voi olla raiteen äkilliset ja paikalliset painumat.				
Puuttuvat tiedot					
Arvio riskeistä	Sortumariski erittäin vähäinen			Riskiluokka	
Jatkotoimenpiteet	Seurantaa suositellaan jatkettavaksi, sillä siirtymät pehmeiköllä jatkuvat edelleen. Seurantatiheydeksi suositellaan 2 kertaa vuodessa.				
Pvm	20.11.2013	Laatija	Mauno Mattila		
Muutos pvm		Laatija			
Muutos					

Liikennevirasto					
INKLINOMETRIPUTKIKORTTI					
Rataosa	Riihimäki-Tampere			Rataosan n:o	003
	Kunnossapitoalue				
Putken sijainti	Kilometri	104+160	Sivumitta	oik. 3,1 m	Maalajit (kairaajan arvio)
	Koordinaatit	X			Syvyys
		Y			
	Korkeudet	Z putkenpää			4,5-13 m
Z maanpinta				13-	Mr
Koordinaattijärj.		Korkeusjärj.	N2000		
Asennuspäivämäärä	30.11.2006	Putken pituus	14,00 m		
	Putki maanpinnalla		Putki maanpinnan alla		
Mittaustapa	manuaali	Suojaputki		Lukko	
Taustatiedot inklinometriputken asennukselle					
Kommentit	Kohteeseen on rakennettu v2003 vastapenkereet välillä kmv 104+100 - 104+320 stabiileetin parantamiseksi.				
Jatkotoimenpiteet					
Pvm	31.12.2009	Laatija	Virve Virtanen		
Muutos pvm	29.11.2013	Laatija	Liisa Vitikka		
Muutos	Poikkileikkauspäivitetty				

C: Inklinometrin asennusohje

Asentamisessa tulee noudattaa standardia "EN ISO 18674-3 Geotechnical Investigation and testing – Geotechnical monitoring by field instrumentation – Part 3: Measurement of displacements across a line: Inclinometers", kun se on vahvistettu SFS:n toimesta.

Inklinometriputken (manuaali ja automaatti) asennuksesta tulee laatia Infra-model tiedosto ja inklinometriputkikortti, joka sisältää vähintään seuraavat asiat:

- asennuskalusto ja työmenetelmäkuvaus
- asennuspäivä, asentajan nimi ja yhteystiedot, suunnittelija (yritys ja henkilö)
- ratakilometri ja sivuetäisyys (oikealle tai vasemmalle)
- inklinometriputken sijainti x-, y- ja z-koordinaatteina, sekä käytetty korkeus- ja koordinaattijärjestelmä
- putken pituus (maanpinnasta alaspäin ja maanpinnalle jäävä osuus)
- havaitut maalajirajat
- huomiot pohjavedestä
- maaputken ja inklinometriputken välinen täyttö tai mikäli sitä ei tehdä
- mittausahlojen suunnat (pyritään asentamaan hahlo kohtisuoraan rataa vasten)
- muut huomiot asennuksen aikana

Inklinometreista esitetään karttatuloste, jossa on esitetty inklinometrien positiiviset A- ja B-suunnat. Suunnat asetetaan ja esitetään kuvan L4.1. mukaisesti.

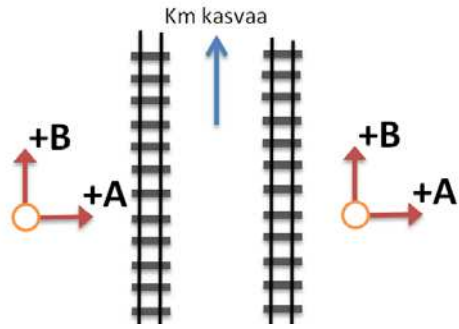
Suojaputkea nostettaessa ei tule käyttää pyöritystä. Asentajan on kirjattava ylös, mikäli nostessa kuitenkin on jouduttu pyöritystä käyttämään. Tällöin putket saattavat asettua kierteelle. Mikäli havaitaan inklinometriputken kiertyvän, on asennus aloitettava alusta.

Inklinometriputken asettumisaikaa voidaan lyhentää, ja luotettavuutta lisätä, käyttämällä taustatäyttöä maaputkireiän ja inklinometriputken välissä. Mikäli maaputken noston yhteydessä muodostuvaa reikää ei täytetä, voi inklinometriputken ympärille jäädä tyhjättilaa, jossa putki pääsee liikkumaan ja aiheuttaa tuloksissa huojuntaa.

Täyttömateriaalina voidaan käyttää soveltuvaa tasarakeista hiekkaa (esim. asennushiekka 1–2 mm). Bentoniittia tai kovettuvaa täytettä ei saa käyttää.

Asennusputkea nostettaessa on riski, että myös inklinometriputki nousee mukana. Tätä riskiä voidaan pienentää tekemällä täyttöä vähän kerrallaan putkea nostettaessa. Koko maa- ja inklinometriputken välistä osuutta ei saa täyttää kerralla.

Inklinometriputki pyritään asentamaan riittävän aikaisin ennen mittauksen suorittamista, jotta putki ehtii asettua, eikä tästä aiheudu virheellisiä siirtymiä. Inklinometriputki tulisi asentaa noin 3 kk ennen mittauksen aloitusta ja/tai valita referenssimittaukseksi sellainen mittaus, joka on asettuneesta putkesta.

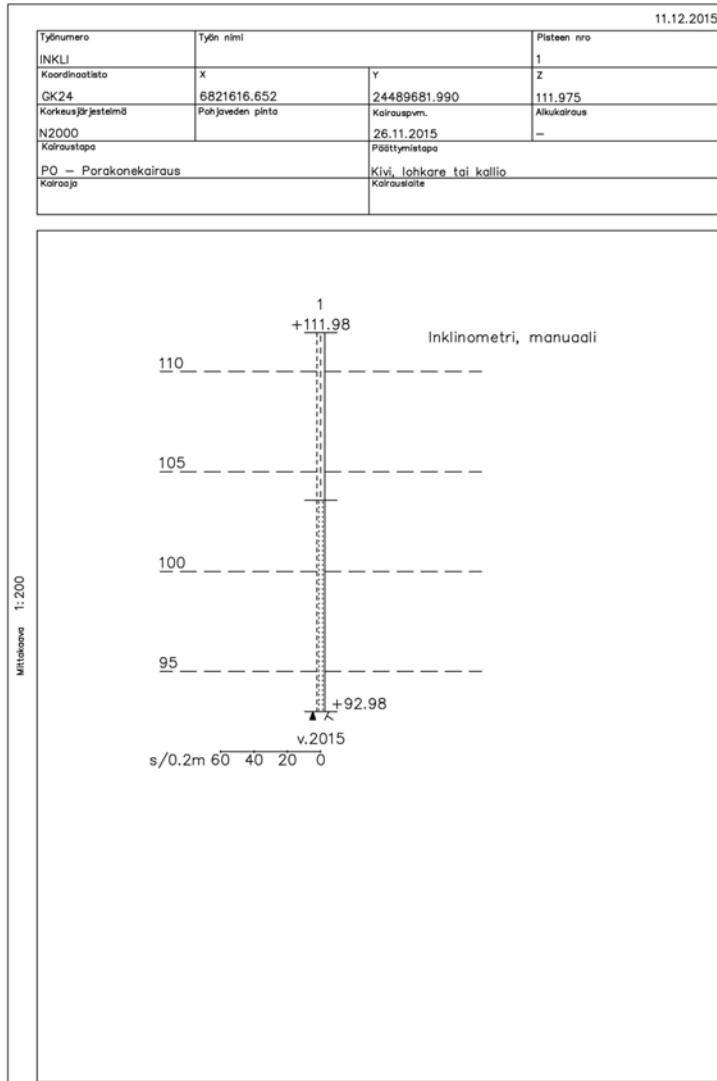


Kuva L4.1. Inklinometrien + suunnan asettaminen.

D: Malli Inframodel -tiedonsiirtoformaatin mukaisesta Inklinometriputkitiedostosta

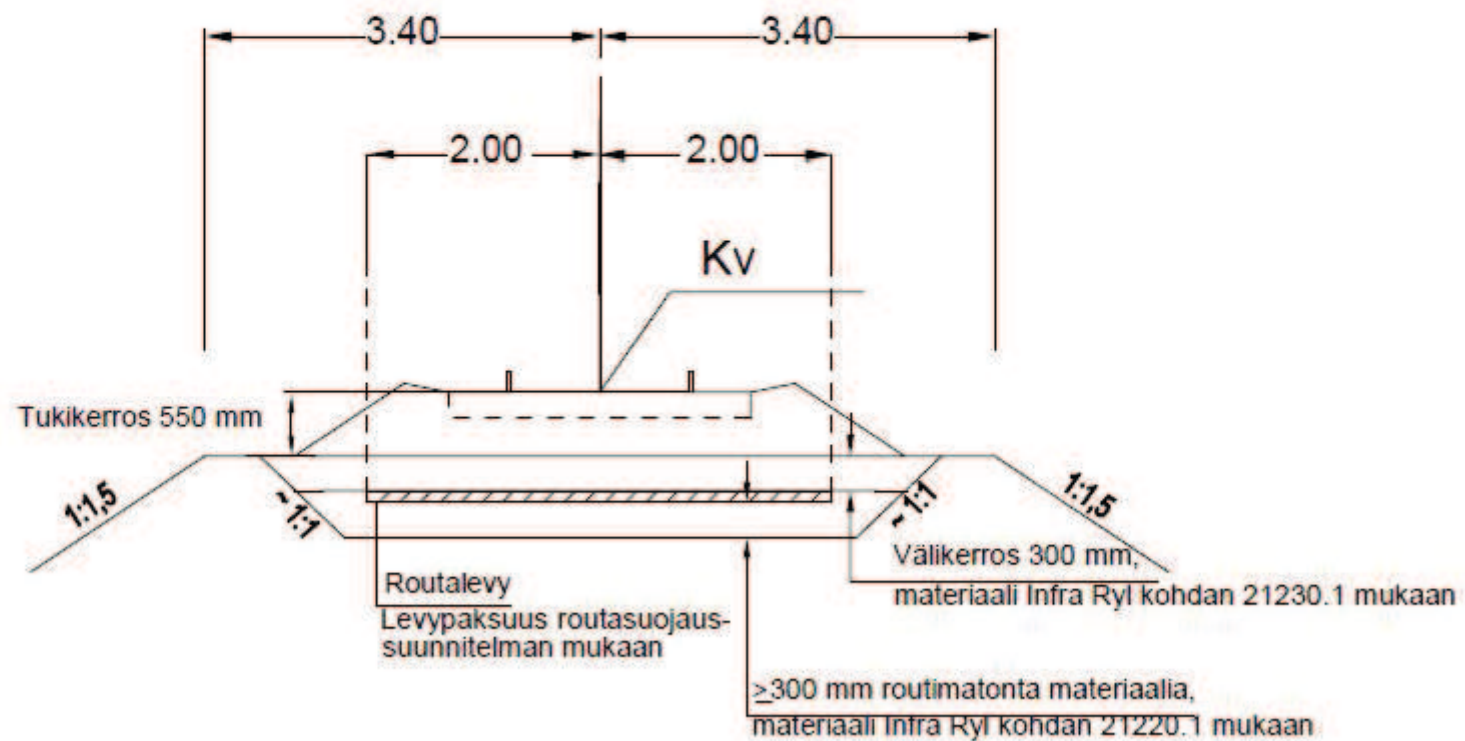
FO 2.2 Novapoint_Soundings_Editor 3.0.7
KJ GK24 N2000
TY INKLI
TT PO - 1 - -
XY 6821616.652 24489681.990 111.975 26112015 - 0.00 0 srHk
HM Inklinometri, manuaali
1.35 0 Sa
8.40 0 Sa
11.40 0 Hk
17.55 0 Hk
18.00 0 Hk
18.20 0
18.40 0
18.60 0
18.80 0
19.00 0
-1KL

Siirtotiedosto kairausdiagrammina alla



Routalevyjen sijoittaminen, periaatekuva

Poikkileikkaus Kaivamalla



ISSN-L 1798-663X
ISSN 1798-6648
ISBN 978-952-317-534-1
www.liikennevirasto.fi

Liik
enne
vira
sto

Tämä asiakirja on allekirjoitettu

Lista allekirjoittajista

Allekirjoittaja

Todennus