

Hanna-Leena Tyynelä

## **RAUTATIELIIKENNEPAIKKOJEN ALUSRAKENNESUUNNITTELU**

# RAUTATIELIIKENNEPAIKKOJEN ALUSRAKENNESUUNNITTELU

Hanna-Leena Tyynelä  
Opinnäytetyö  
Kevät 2022  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, Yhdyskuntatekniikan suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Hanna-Leena Tyynelä

Opinnäytetyön nimi: Rautatieliikennepaikkojen alusrakennesuunnittelu

Työn ohjaajat: Jarmo Erho, Oulun ammattikorkeakoulu, Marja Isohaka, Proxion Plan Oy

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Kevät 2022

Sivumäärä: 50 + 8 liitettä

---

Routivasta ratarakenteesta johtuvat ongelmat aiheuttavat vuosittain liikenteellistä haittaa ja ylimääräisiä kunnossapitokustannuksia Suomessa. Rakennekerroksissa käytetyt routivat materiaalit ja liian ohuet rakennekerrospaksuudet mahdollistavat routarajan tunkeutumisen routivaan pohjamaahan sekä pengertäyttyöön. Maassa olevan huokosveden jäätyessä routivaan maaperään alkaa muodostua jäälinsejä, jotka aiheuttavat maan tilavuuden kasvua eli routimista. Epätasaiset muodonmuutokset aiheuttavat ratarakenteelle rasituksia, joiden vuoksi täytyy vuosittain asettaa nopeusrajoituksia sekä asentaa kiilauksia. Toimivalla alusrakennesuunnittelulla pyritään hallitsemaan routimishaittoja käyttämällä riittäviä alusrakennekerrospaksuuksia, routimattomia materiaaleja ja routaeristystä sekä kiinnittämällä huomiota toimivaan kuivatukseen.

Opinnäytetyön lähtökohtana oli lisätä rautatieliikennepaikkojen alusrakennesuunnittelun osaamista Proxion Plan Oy:ssä. Nykytilanteessa Proxionilla on vain yksi työntekijä, jonka vastuulla ovat kaikki alusrakennesuunnitteluun liittyvät projektit, joten lisäosaaminen auttaisi jakamaan työkuormaa sekä tietämystä aiheesta.

Työssä perehdyttiin routaan ilmiönä sekä routavaurioiden syihin ja vaikutuksiin ratarakenteessa Väyläviraston ylläpitämän Roudan hallintaraportin sekä muiden aiheeseen liittyvien tietoperustojen avulla. Työssä tutustuttiin myös voimassa oleviin virallisiin määräyksiin ja ohjeisiin, jotka koskivat ratarakenteeseen käytettäviä materiaaleja sekä rautatieliikennepaikkojen alusrakenteen routimishaittoja ehkäiseviä mitoituksia. Esimerkkikohteina käytettiin meneillään olevia Väyläviraston tilaamia vaihteidenvaihtoprojekteja.

Työssä saatiin laadittua Proxion Plan Oy:lle selkeä suunnitteluohje alusrakennesuunnittelun eri työvaiheista ja rakentamista varten tuotettavista suunnitteludokumenteista. Opinnäytetyön pohjalta laadittu suunnitteluohje on lisätty yrityksen sisäiseen suunnittelu- ja asiantuntijapalveluiden Holvitietopankkiin. Suunnitteluohjetta voidaan hyödyntää ja käyttää apuna tulevissa rautatieliikennepaikkojen alusrakennesuunnittelua sisältävissä projekteissa.

---

Asiasanat: Routiminen, alusrakenne, ratarakenne, rautatieliikennepaikka, suunnittelu, routamitointus

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Civil Engineering, Option of Municipal Engineering

---

Author: Hanna-Leena Tyynelä

Title of thesis: Substructure Planning of Railway Operating Point

Supervisors: Jarmo Erho, Oulu University of Applied Sciences and Marja Isohaka, Proxion Plan Ltd

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2022

Number of pages: 50 + 8 appendices

---

Frost heaving causes problems on railway every year. Problems due to frost action cause changes in the characteristics of the traffic and increase maintenance costs. Old structural materials, too thin structural layer thicknesses and frost susceptible substructure materials allow the frost boundary to penetrate the frost susceptible subsoil. When the pore water in the ground freezes, ice lenses begin to form and the volume of the ground increases. This phenomenon is called frost heaving. Uneven deformations cause stresses to the track structure. Effective substructure planning aims to control the damage of frost action by using sufficient substructure thicknesses, frost-resistant materials, frost insulation and paying attention to effective drainage.

The aim of the thesis was to get acquainted with the frost phenomenon and the causes and effects of frost damage in the track structure. The work introduced the official regulations and instructions on the basis of which a frost-resistant track structure is designed.

The purpose of the thesis was to gain more knowledge of Proxion Plan Ltd. There is currently only one person in the company who is responsible for all substructure planning projects. The aim was also to draw up a design guide for the company's internal use.

The work resulted in a clear design manual for Proxion Plan Ltd on the various stages of substructure design and the necessary design documents. The design manual can be used as an aid in future projects involving substructure design.

---

Keywords: frost heaving, substructure, rail structure, railway operating point, planning, frost protection

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	ROUTA RATARAKENTEESTA .....	9
2.1	Routavaurioiden yleiset syyt rataverkolla ja niiden vaikutus liikennöintiin sekä kunnossapitoon.....	12
2.2	Routavaurioiden havainnointi ratarakenteessa .....	16
3	RADAN RAKENNE.....	19
3.1	Rautatieliikennepaikka.....	19
3.2	Päällysrakenne .....	22
3.3	Alusrakenne .....	22
3.4	Alusrakenneluokat .....	24
3.5	Alusrakennemateriaalit .....	24
4	ALUSRAKENNESUUNNITTELU.....	29
4.1	Alusrakennesuunnittelussa tarvittavat lähtötiedot.....	30
4.2	Pohjatutkimusohjelma .....	31
4.3	Pohjatutkimustulosten analysointi.....	35
4.4	Suunnitteluperusteiden laatiminen.....	36
4.5	Routasuojaustarpeen määrittäminen.....	38
4.5.1	Routaeristämätön rata .....	39
4.5.2	Routaeristetty rata .....	40
4.5.3	Routaeristettävien vaihteiden esimerkkimitoitus .....	42
4.6	Suunnitelmadokumentit.....	45
4.6.1	Pohjatutkimuskartta .....	45
4.6.2	Routasuojauskartta ja routalevyluettelo.....	46
4.6.3	Työselostuksen laatiminen .....	46
4.6.4	Pituusleikkaus .....	47
5	YHTEENVETO .....	48
	LÄHTEET.....	49

## SANASTO

Etujatkos	vaihteen edessä sijaitseva jatkos, jossa vaihteen raiteesta poikkeava kiskonkallistus tasataan raiteen kiskonkallistusta vastaavaksi
GL	geotekniset luokat (GL1...GL3) geoteknisten suunnitteluvaatimusten määrittämiseen SFS EN 1997-1 mukaisesti
GTK	Geologian tutkimuskeskus
Huokosvesi	maa- ja kallioperän huokosissa oleva vesi
Pakkasmäärä	jäätympisteiden ja pakkaskauden aikaisten vuorokausilämpötilojen erotuksen summa (Kh tai h°C), joka lasketaan ilman vuorokautisista keskilämpötiloista
RATO	Väyläviraston ratatekniset ohjeet (1...22)
Takajatkos	vaihteen takana sijaitseva jatkos, jossa vaihteen raiteesta poikkeava kiskonkallistus tasataan raiteen kiskonkallistusta vastaavaksi.

# 1 JOHDANTO

Suomen rataverkolla on pitkä historia, sillä rataverkon rakentaminen aloitettiin jo 1850-luvulla ja ensimmäinen rataosuus Helsingistä Hämeenlinnaan avattiin vuonna 1862. Vielä tänäkin päivänä suurin osa rataverkosta on ajalta, jolloin ratoja rakennettiin vanhojen vaatimusten mukaisesti. Rakennekerroksissa on käytetty routivia materiaaleja, rakennekerrospaksuudet ovat liian ohuet ja rakenteissa käytetyt materiaalit, kuten routaeristeet, ovat tulleet iältään jo tiensä päähän, mistä johdettuaan routaraja pääsee tunkeutumaan routivaan pohjamaan ja pengertäyttöön. Tästä syystä rataverkolla ilmenee vuosittain routimisesta johtuvia ratarakenteelle haitallisia epätasaisia routanousuja sekä roudan sulamisaikaista pehmenemistä. (1, s. 10.)

Routimisesta aiheutuvat ongelmat haittaavat junien turvallista liikennöintiä sekä matkustusmukavuutta. Routimishaittojen korjaustoimenpiteet eli nopeusrajoitukset sekä kiilaustarpeet aiheuttavat ylimääräisiä kunnossapitokustannuksia. Nykypäivänä junien akselipainoja sekä kulkunopeutta halutaan lisätä entisestään ja nämä koko ajan kasvavat vaatimukset asettavat myös ratarakenteelle tiukempia vaatimuksia niin sallituille raidegeometriavirheille kuin materiaaleille. (2, s. 2.)

Toimivalla alusrakennesuunnittelulla pyritään siihen, että radan tasaisuusvaatimukset täyttyvät, liikennöinti pysyy sujuvana sekä vältetään routimisen aiheuttamilta ongelmilta ja sitä myöten ylimääräisiltä kunnossapitokustannuksilta. Routamitoituksella pyritään hallitsemaan roudan tunkeutumista pohjamaahan ja haitallisia epätasaisia routanousuja käyttämällä riittäviä alusrakennepaksuuksia, routimattomia maa- ja kiviaineksia ja routalevytystä sekä kiinnittämällä huomiota toimivaan kuivatukseen. Rautatieliikennepaikkojen osat, kuten vaihteet ja laiturit, ovat hyvin herkkiä epätasaisille muodonmuutoksille, joten niiden routasuojasuunnitteluun täytyy kiinnittää erityistä huomiota. (2, s. 1–2.)

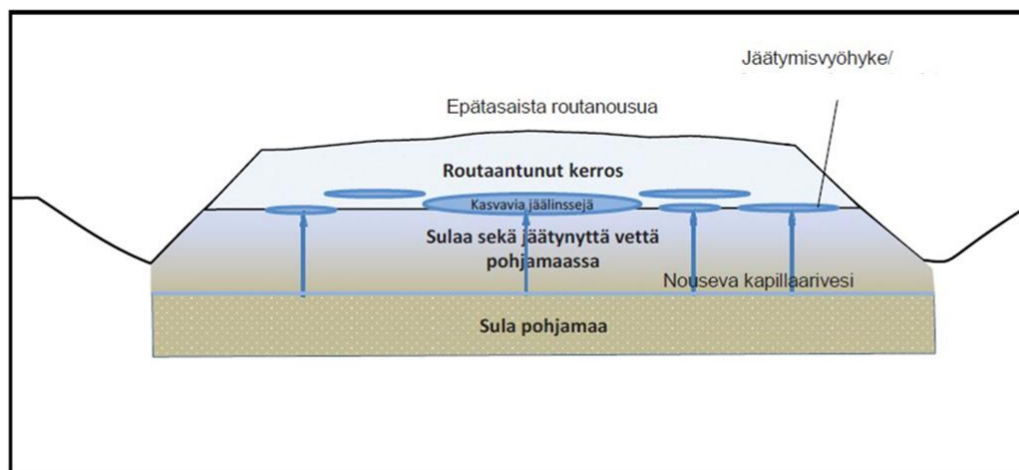
Tässä opinnäytetyössä käydään läpi radan rakenteen osat sekä käsitellään roudan tunkeutumista ratarakenteeseen, routavaurioiden syitä ja niiden vaikutusta radan toimivaan ja turvalliseen liikennöintiin. Työssä tutustutaan sekä käytetään esimerkkikohteina meneillään olevia vaihteidenvaihtoprojekteja, joissa tilaajana toimii Väylävirasto. Opinnäytetyön tavoitteena on laatia Proxion Plan

Oy:n sisäiseen käyttöön rautatieliikennepaikkoja koskeva alusrakenteen suunnitteluohje, joka perustuu virallisiin ohjeisiin ja vaatimuksiin sekä kokemuksen kautta saatuihin hyväksi todettuihin käytäntöihin.



## 2 ROUTA RATARAKENTEESSA

Maa jäätyy eli routaantuu tilanteessa, jossa ilman keskilämpötila laskee pitkäksi aikaa alle nollan asteen. Maassa oleva huokosvesi jäätyy, minkä seurauksena routivaan maaperään alkaa muodostua jäälinsskejä ja maan tilavuus kasvaa eli routii. Eri paksuisia ja pituisia jääkerroksia ja -linsskejä muodostuu ensin maanpinnan alapuolisissa suuremmissa maaonteloissa. Kuvasta 1 näkee, että jääkerrokset tai -linssit eivät ole välttämättä rakenteeltaan yhtenäisiä, mutta ne muodostuvat lähes samalle syvyydelle maahan. Jääkerrokset ja -linssit voivat olla yhteydessä toisiinsa tai erillään ja ne vuorottelevat sulan maan ja massiivisesti routaantuneiden kerrosten kanssa. (1, s. 66–71; 3, s. 24–25.)



KUVA 1. Jäälinssien muodostuminen (4, s. 13)

Kaikki maalajit ja maarakennemateriaalit routaantuvat, mutta vain osa niistä routii. Routiminen aiheuttaa maanpinnan kohoamista ja epätasaista routanousua, mikä aiheuttaa rakenteille rasituksia. Jotta maan routimista tapahtuu, seuraavien neljän ehdon tulee täytyä: maamateriaalin täytyy olla routiva, routivan maakerroksen lämpötilan täytyy laskea alle nollaan asteeseen, vettä täytyy olla saatavilla riittävästi jäälinssien muodostumiseksi sekä routimispaineen tulee ylittää yläpuolisten maakerrosten ja rakenteiden aiheuttaman kuormituksen. Radoilla routimispaine ylittää lähes aina yläpuolisen kuormituksen. Mikäli yksi näistä ehdoista jää toteutumatta, niin maa ei roudi. Myös

routimattomissa maalajeissa saattaa esiintyä routanousua, mikäli maa on vedellä kyllästetty tai osittain kyllästetty. Tätä ilmiötä kutsutaan in situ routanousuksi. (1, s. 44; 2, s. 1; 3, s. 18.)

Radan rakennekerroksille rasituksia aiheuttaa myös roudan sulaminen eli ilmiö nimeltään sulamispehmeneminen. Routa alkaa sulaa, kun lumettoman maanpinnan lämpötila nousee yli nollan asteen. Sulamispehmenemisessä sulamisvesi kyllästää maakerroksen, kun alapuolinen jäässä oleva maakerros estää sulamisveden poistumisen maakerroksesta alaspäin ja sivuille. Junien aiheuttama kuormitus ylikostean tai kyllästyneeseen maakerrokseen synnyttää huokosylipainetta ja sen seurauksena radan rakennekerrokset häiriintyvät sekä menettävät suuren osan lujuudestaan, mikä aiheuttaa radan kuormituskestävyyden heikkenemistä. Radan rakenteiden vaurioituessa radalla saattaa esiintyä epätasaisia muodonmuutoksia, epätasaisia painumia ja raidegeometrian vääristymiä. (2, s. 1.)

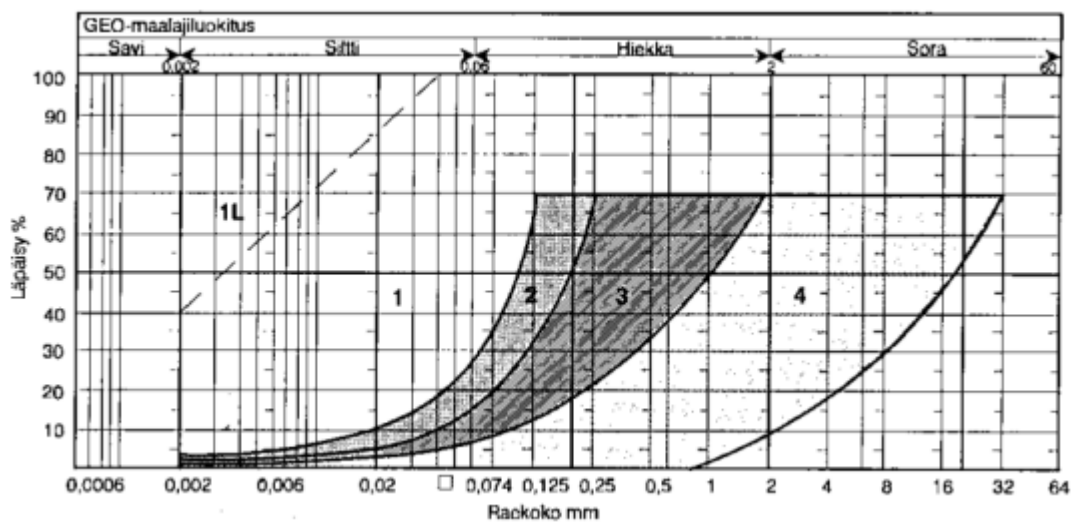
Roudan tunkeutumiseen ratarakenteessa vaikuttavat useat eri tekijät, jotka voidaan jakaa ilmasto-olosuhteisiin, ratarakenteeseen ja rakennemateriaaleihin taulukon 1 mukaisesti. Jotkut tekijät voidaan määrittää, kuten rakennemateriaalit, jotkut tekijät muuttuvat vuosittain, esimerkiksi ilmasto-olosuhteet, jotkut tekijät vaihtelevat eri kohdissa rataa, kuten pohjamaan ominaisuudet, ja osa tekijöistä ovat riippuvaisia radan kunnossapidosta. (5, s. 42.)

*TAULUKKO 1. Roudan tunkeutumiseen vaikuttavat tekijät ratarakenteessa (5, s. 42)*

<b>Ilmasto-olosuhteet</b>	<b>Ratarakenne</b>	<b>Rakennemateriaalit</b>
Pakkasmäärä ilmassa	Kuivatus	Kuivatiheys
Vuoden keskilämpötila	Rakenteen poikkileikkaus	Huokoisuus
Maan lämpötila	Kerrospaksuudet	Rakeisuus: - hienoainespitoisuus - d max
Maan pinnan lämpötila suhteessa ilman lämpötilaan	Ojkaltevuudet	Tiiviysaste
Edeltäneen kesän lämpötila	Leikkaussyvyys	Kosteuspitoisuus
Edeltäneen syksyn sadanta	Pohjamaa	Mineraalikoostumus
Lumi- ja tuuliolot	Viemärikaivot	Lämpötekniset ominaisuudet
Paikalliset ilmastovaihtelut	Alikulut	
Pilvisyys	Rummut	

Maalajien routivuuteen vaikuttavat maalajiominaisuudet, kuten vedenpidätyskyky, veden ja lämmön virtausten yhteisvaikutus sekä raekokojakauma, josta tärkeimpänä ominaisuutena routivuuden kannalta on hienoainespitoisuus. Maalajin hienoainespitoisuus ja tiiveys vaikuttavat myös oleellisesti veden kapillaariseen nousuun. Mitä hienorakeisempaa ja tiiviimpää maalaji on, sitä suurempi siis on kapillaarinen nousukorkeus, ja tästä syystä veden nouseminen pohjavedenpinnasta jäätymisvyöhykkeeseen parantuu. Silttimaalajit ovat ominaisuuksiensa vuoksi yleensä routivimpia, koska veden virtaus on niissä suurimmillaan johtuen kapillaarisuuden sekä vedenläpäisevyyden yhteisvaikutuksesta. (3, s. 28.)

Maalajien routivuus määritellään niiden rakeisuuden perusteella kuvan 2 mukaisesti.



KUVA 2. Routivuus rakeisuuden perusteella (6, liite 8 / 1)

Maalajit, joiden rakeisuuskäyrä on alueella 1L ja 1, ovat aina routivia. Rakeisuuskäyrältään alueella 2 sijaitsevat maalajit ovat routimattomia, kun raekokoa  $0,002 \text{ mm} \leq 3 \%$ , raekokoa  $0,02 \text{ mm} \leq 10 \%$  ja raekokoa  $0,074 \text{ mm} \leq 35 \%$  sekä  $d_{50}$  on  $0,1-0,2 \text{ mm}$ . Maalajit, jotka sijaitsevat alueella 3, ovat routimattomia, mikäli raekokoa  $0,002 \text{ mm} \leq 1,5 \%$ , raekokoa  $0,02 \text{ mm} \leq 5 \%$  ja raekokoa  $0,074 \text{ mm} \leq 18 \%$  sekä  $d_{50}$  on  $0,2-1 \text{ mm}$ . Maalajit, jotka sijaitsevat alueella 4 ovat routimattomia, jos raekokoa  $0,002 \text{ mm} \leq 1 \%$ , raekokoa  $0,02 \text{ mm} \leq 3 \%$  ja raekokoa  $0,074 \text{ mm} \leq 8 \%$  sekä  $d_{50}$  on  $> 1 \text{ mm}$ . On kuitenkin maalajeja, joiden routivuus on haastava määrittää pelkästään rakeisuuskäyrän perusteella eli "rajatapausroutivia". Näille tulee määrittää routivuus kapillaarisen nousukorkeuden perusteella. (6, liite 8/1.)

Koska ratarakenne on pinnaltaan avoin, päinvastoin kuin tierakenne, vesisade ja sulava lumi pääsevät paremmin imeytymään ratarakenteeseen. Toimivalla kuivatusjärjestelmällä voidaan lieventää radan alusrakenteen routimista. Väyläviraston mukaan routavaurioiden ennaltaehkäisyyn kuuluu rumpujen ja ojien avaaminen, jotta sulava vesi saadaan johdettua pois ratapenkoilta. (3, s. 20; 6.)

Roudan syvyydellä tarkoitetaan jäätyneen maakerroksen paksuutta ja routarajana pidetään kerroksen alarajaa. Roudan syvyyteen vaikuttavat monet tekijät, joita ovat lämpimän kauden ja pakkas-kauden lämpötila ja kesto, sateen määrä, olomuoto ja kertymisajankohta sekä tuulten voimakkuus ja jakauma ilmansuunnittain. Myös maalaji, mineralogia, tiiveys sekä vesipitoisuus ovat roudan syvyyteen vaikuttavia tekijöitä. Routimisessa roudan tunkeutumissyvyys on merkittävä tekijä ja tuleekin arvioida, ulottuuko routa routiviin maakerrokseen, kuinka useina talvina sen voidaan arvioida toistuvan tilastollisesti ja kuinka kauan routaraja säilyy routivissa maakerroksissa. (1, s. 44–57.)

Talvina, jolloin lumi sataa ennen kovia pakkasia ja lunta on runsaasti, roudan syvyys pienenee, koska lumella on eristävä vaikutus. Päinvastoin taas, mikäli kovat pakkaset ehtivät tulla ennen kuin lumipeite sataa maahan, routa pääsee tunkeutumaan syvemmälle maaperään. Pohjavedenpinnan taso vaikuttaa myös roudan syvyyteen, koska talvikaudella pohjavedenpinnasta vapautuu lämpöenergiaa kohti maanpintaa. Pohjavedenpinnan ollessa lähellä maanpintaa, routaantuneen maakerroksen paksuus on yleensä ohuempi. (1, s. 44–57.)

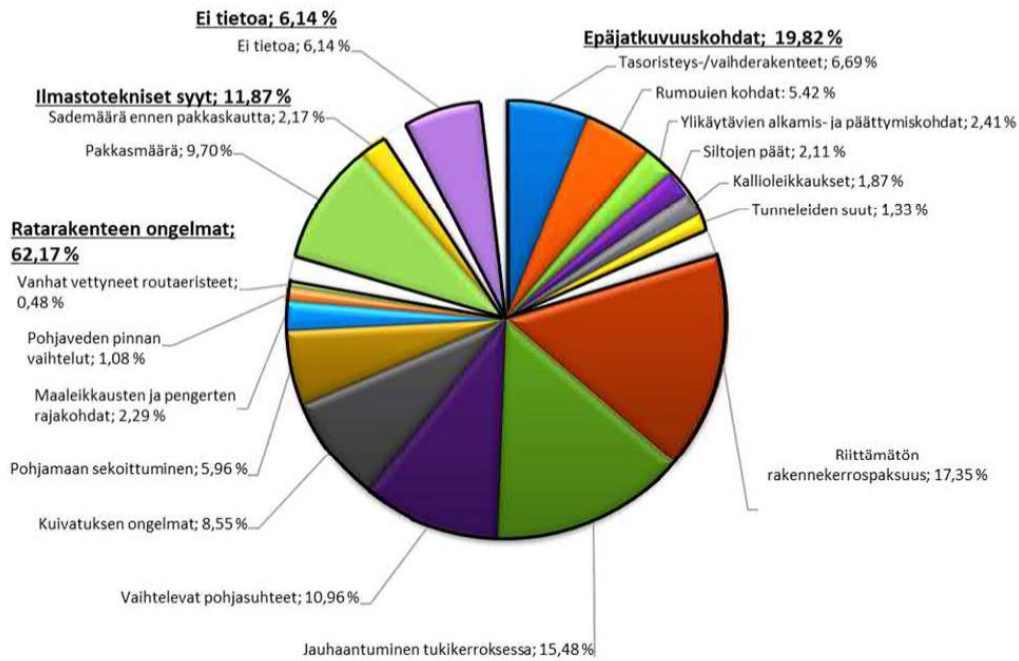
## **2.1 Routavaurioiden yleiset syyt rataverkolla ja niiden vaikutus liikennöintiin sekä kunnossapitoon**

Vuodesta 2003 lähtien Väylävirasto on ylläpitänyt routapaikkarekisteriä ja roudan hallintaraporttia, joiden tarkoituksena on kerätä tietoa rataverkon routapaikoista hyödyntämällä kerättyä tietoa radan kunnossapidossa ja perusparannusten suunnittelussa. Ennen vuotta 2021 tietoa routapaikoista kerättiin sähköpostikyselynä kunnossapitäjiltä, mutta vuodelle 2021 tiedon keräämiseen tehtiin muutoksia ja kunnossapitäjät ilmoittavat routapaikat suoraan Väyläviraston kunnossapitosovellukseen Raikuun. Roudan hallintaraporttiin on koostettu tieto routapaikkarekisteriin ilmoitetuista routapaikoista vuodesta 2003 lähtien, joten sen avulla toistuvat routapaikat pystytään tunnistamaan ja korjaustoimenpiteet mitoittamaan riittäviksi. (2, s. 1.)

Routapaikkailmoitukseen on listattu yleisimpiä routavaurion syntymiseen johtavia syitä, joista kunnossapitäjä arvioi kyseiselle routavaurio alueelle sopivimman tai sopivimmat. Routapaikkailmoituksessa kunnossapitäjät voivat myös sanallisesti kertoa tarkemmin routapaikasta ja routavaurion syistä. (2, s. 1.)

Roudan hallintaraportista otetun kuvan 3 mukaan kunnossapitäjien ilmoittamia ratarakenteesta johtuvia routaongelmien syitä ovat riittämätön routimaton rakennekerrospaksuus, maaleikkausten ja pengerten rajakohdat, routivan pohjamaan sekoittuminen rakennekerrokseen, epäpuhtaudet ja jauhaantumisen tukikerroksessa, vanhat vettyneet routaeristeet, vaihtelevat pohjasuhteet, pohjavedenpinnan vaihtelut sekä ongelmat kuivatuksessa. Lisäksi epätasaisuuksia on havaittu epäjatkuvuuskohtissa eli siltojen päissä, rumpujen kohdilla, tasoristeys- ja vaihderakenteissa, kallioleikkauksissa, tunneleiden suissa sekä ylikäytävien alkamis- ja päättymiskohtissa. Myös ilmastoteknisiä syitä on ilmoitettu routaongelmien syyksi. (2, s. 1.)

Edellä mainittuihin syihin liittyy olennaisesti se, että Suomen rataverkolla on vieläkin lukuisia ratakilometrejä ja useita vaihdekohteita sekä ratapihoja, jotka ovat rakennettu vanhojen vaatimusten mukaan. Alusrakenteissa on käytetty routivia materiaaleja ja rataosassa liian ohuita routimattomia rakennekerroksia, mikä mahdollistaa roudan tunkeutumisen routivaan pohjamaahan tai pengeräyttöön. Myös rakennekerrosmateriaalit ovat tulleet iältään sekä laadultaan jo tiensä päähän. Jauhaantunut ja hienontunut tukikerrosmateriaali lisää routimisherkkyttä ja vanhoilla vettyneillä routaeristeillä ei ole enää lämmöneristävyttä. Epäjatkuvuuskohtien epätasaisuudet selittyvät suurelta osin rakenteiden jäykkyyseroilla, kun rataverkko on rakennettu pehmeään pohjamaan varaan ja erikoisrakenteet taas routimattomista materiaaleista. (2, s. 1.)

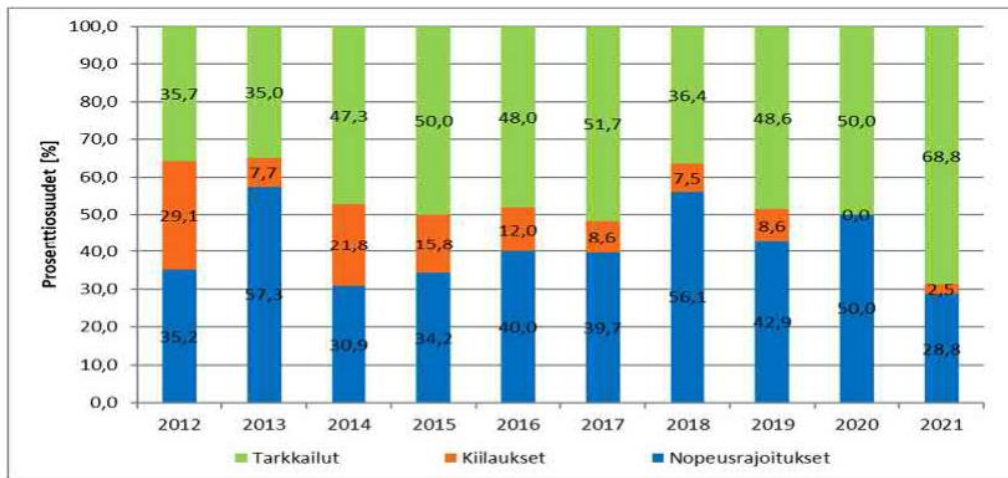


KUVA 3. Yleisimmät routaongelmien syyt vuosina 2011–2021 (2, s. 16)

Routavauriot aiheuttavat merkittävää liikenteellistä haittaa rataverkolla. Roudan aiheuttamien epätasaisten maanpinnan nousujen sekä raidegeometriavirheiden vuoksi radalle täytyy asettaa nopeusrajoituksia, jotta liikennöinti pysyisi turvallisena ja matkustajille mieleisenä. Nopeusrajoitusten myötä junien kohtaamiset menevät sekaisin ja vaihtoyhteydet voivat katketa. Lumipalloefektin lailla nämä vaikuttavat koko rataverkon toimintaan ja tilannetta on haastavaa saada normalisoitua. (2, s. 6.)

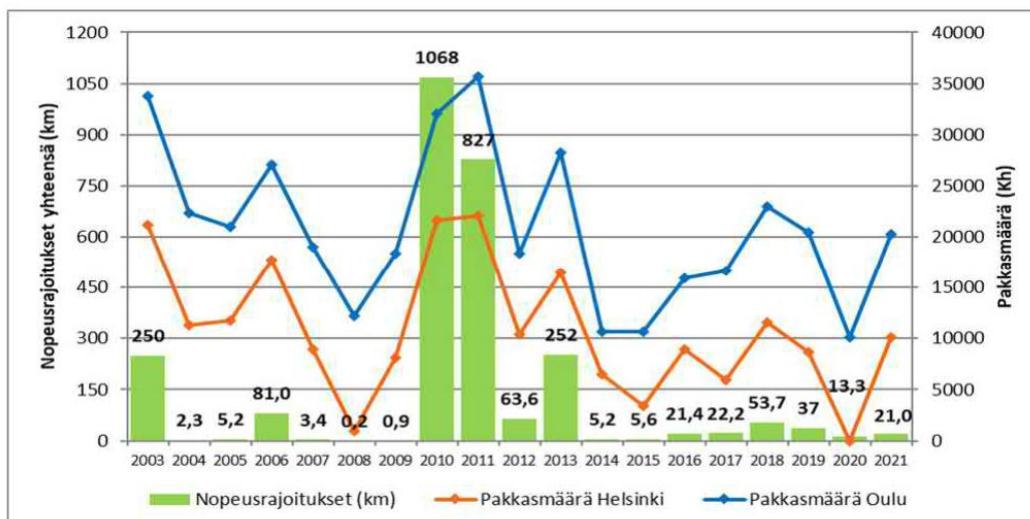
Roudan aiheuttamia raiteen pituussuuntaisia epätasaisuuksia ja kallistusvirheitä voidaan korjata raiteen kiilauksella. Kiilaustarve ilmenee pääasiassa sallitun virherajan ylittävänä kierousvirheenä ja se todetaan tarkastuksessa liikkuvalla kalustolla, kävelytarkastuksella, raiteen aseman ja asennon mittauksessa tai raiteentarkastusvaunulla. Joillain paikoin keväisin joudutaan asettamaan myös painorajoituksia. Useampana vuotena routinut paikka voidaan asettaa kunnossapidon tarkkailuun eli routapaikkaa tarkkaillaan tehostetusti mahdollisten ongelmien varalta. Kaikki nämä edellä mainitut toimenpiteet aiheuttavat ylimääräisiä liikenteellisiä- ja kunnossapitokustannuksia. Roudan hallintaraportista otetusta kuvasta 4 on nähtävissä eri routavauriotoimenpiteiden prosentuaalinen osuus vuosina 2012–2021. Routavaurioiden aiheuttamat epätasaisuudet aiheuttavat

myös ratakiskojen ja vaihteiden ennenaikaista kulumaa ja näin ollen lyhentävät niiden käyttöikä. (2, s. 6; 7, s. 14, 32–33.)



KUVA 4. Nopeusrajoitusten, kiilauksten ja tarkkailujen lukumäärä suhteessa routailmoitusten kokonaismäärään prosentteina vuodelta 2012–2021 (2, s. 10)

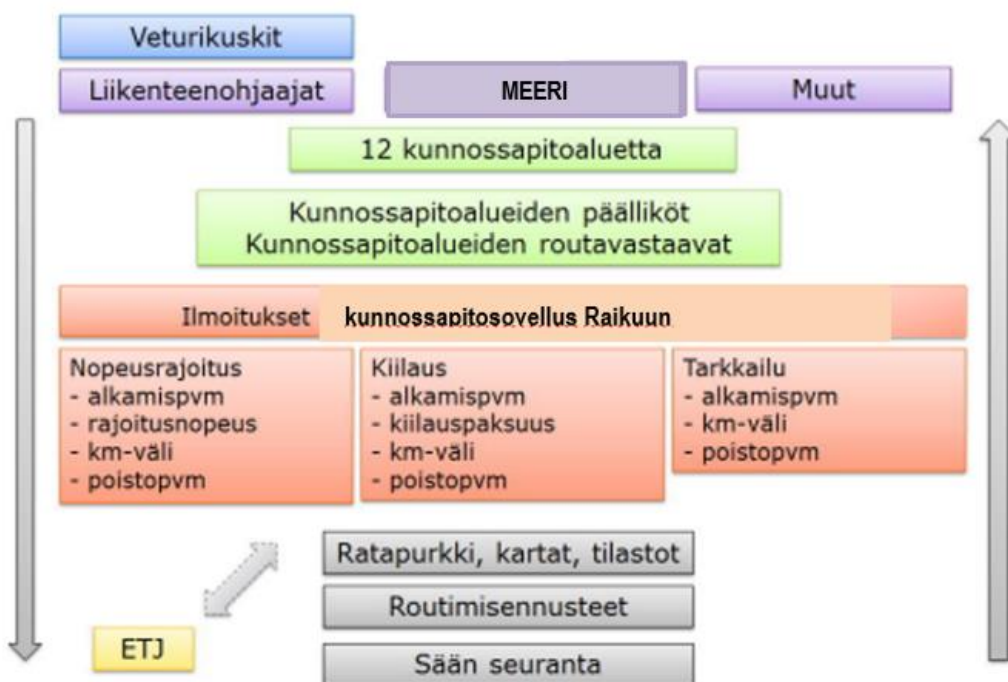
Kuvassa 5 on esitetty, miten pakkasmäärä vaikuttaa radalla ilmenevien routavaurioiden määrään. Kylmänä talvena routaraja on ulottunut syvemmälle pohjamaahan ja nopeusrajoituksia on jouduttu asettamaan huomattava määrä, kun taas leutona talvena nopeusrajoituksia on ollut vähemmän ja routapaikoille on riittänyt toimenpiteeksi pelkästään tarkkailu. (2, s. 11.)



KUVA 5. Nopeusrajoitusten määrä verrattuna pakkasmääriin Helsingissä ja Oulussa vuosina 2003–2021 (2, s. 11)

## 2.2 Routavaurioiden havainnointi ratarakenteessa

Ratojen tarkastuksen tarkoituksena on varmistaa, että radoilla on turvallista liikennöidä, palvelutaso pysyy tavoitteiden mukaisena ja radanpito on taloudellista kunnossapitotöiden kohdistuttua oikein. Kuvasta 6 näkee, että nykypäivänä kunkin rataosan kunnossapitäjät havainnoivat radan kuntoa ja siihen liittyviä poikkeamia monella eri tavalla. Routavaurioista aiheutuvat epätasaisuudet huomioivat todennäköisesti ensimmäisenä päivittäin radalla kulkevat veturinkuljettajat, joiden velvollisuutena on ilmoittaa poikkeavista havainnoistaan liikenteenohjaajalle. (8, s. 15.)

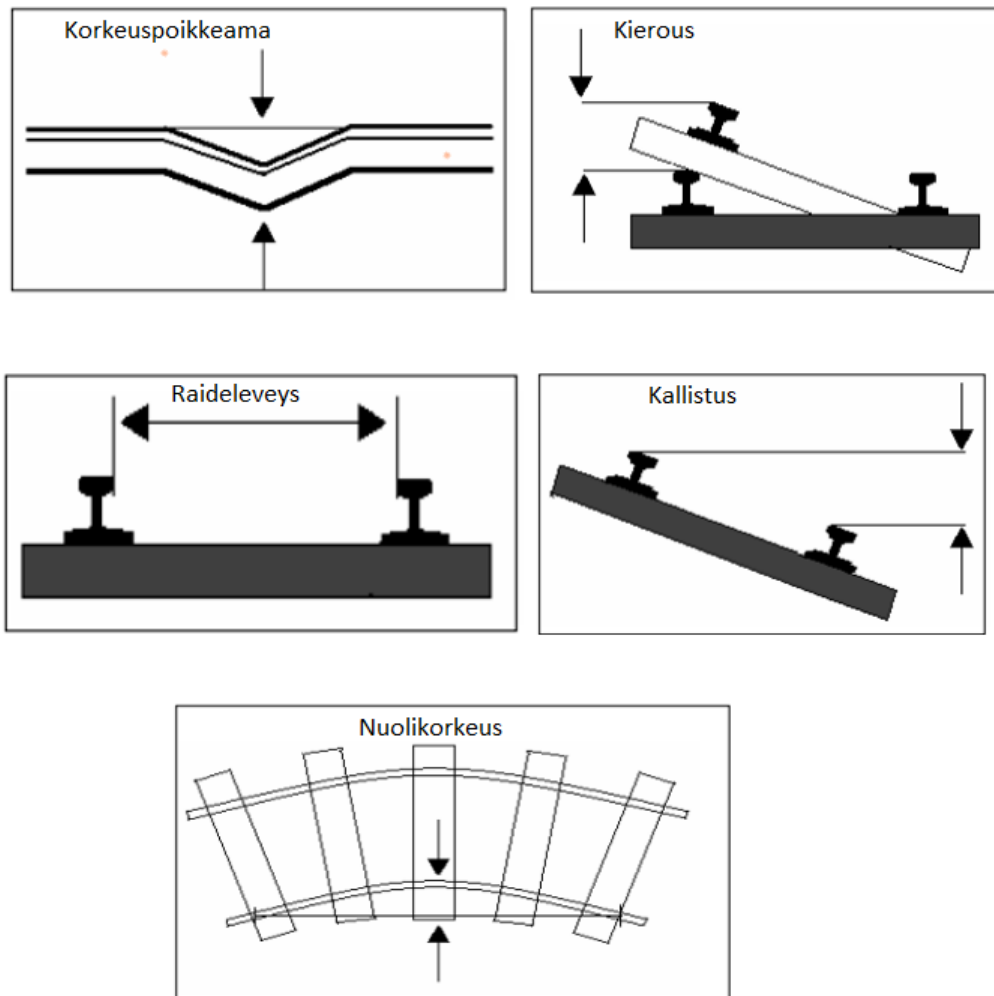


KUVA 6. Tiedonkulku routahavainnoista (muokattu lähteestä 9, s. 3)

Radan rakenteen tarkistukseen käytetään useita eri mittauksia, mutta oleellisimpina menetelminä routaongelmien havaitsemiseksi käytetään tarkastusvaunumittausta ja kävelytarkastusta. Tarkastustarpeen määrä vuodessa ja tarkastusmenetelmä riippuu kunnossapitotasosta. Kunnossapitotaso määräytyy radan maksiminopeuden, päällysrakenteen ja liikenteellisten tarpeiden mukaan. Radan kunnossapitotasoja on kahdeksan. Viikkaimmat ja nopeimmin liikennöitävät radat tarkastetaan 6 kertaa vuodessa, kun taas muut rataosat 2–3 kertaa vuodessa. (8, s. 16.)



**Radantarkastusvaunumittaus** on raiteen koneellista tarkastusta, jolla mitataan raiteen geometristä kuntoa eli kiskoja vaaka- ja pystygeometrian muutoksia sekä sähköradan ajolangan suhteellista asemaa raiteeseen nähden. Raiteesta mitataan raidelevyettä, kallistusta, korkeuspoikkeamaa, kieroutta ja nuolikorkeutta (kuva 7). Mittaustuloksiin on sidottu myös tarkka paikkatieto, joten esimerkiksi tietoa radan tuentatarpeesta tai vaihtoa vaativasta vaihteesta saadaan selville täsmällisesti. (8, s. 19.)



KUVA 7. Tarkastusvaunulla mitattavat suureet (10, s. 3–5)

Suomessa on käytössä radantarkastusvaunu MEERI. MEERI on uudenaikaisin, useita mittalaitteita sisältävä mittausvaunu, jonka mittaamaa dataa voi analysoida kätevästi suoraan web-käyttöliittymästä. Web-käyttöliittymässä voi muun muassa havainnollistaa kartan avulla virheitä valitulla rataosalla, katsella MEERIn kuvaamia videoita ja ladata tarkastusraportteja omalle koneelle.

**Kävelytarkastus** toteutetaan kulkemalla jalkaisin rata-alueella tekemällä näköhavaintoja ja käyttämällä apuna mittalaitteita. Kävelytarkastuksesta laaditaan tarkastusdokumentti. Tarkastuskohteisiin täytyy liittää myös paikkatieto, jotta kunnostettavat kohteet saadaan tarkasti selville. (8, s. 39.)

### 3 RADAN RAKENNE

Rautatiejärjestelmän rakenteet koostuvat radan päällys- ja alusrakenteesta, sähköradasta, turvalaitteista, vahvavirtalaitteista, merkeistä, laitureista, silloista ja muista rakenteista. Muita rakenteita ovat muun muassa tukimuurit sekä kalusteet, opasteet ja asemarakennukset (kuva 8). (11, s. 6.)

Tässä opinnäytetyössä käydään lyhyesti läpi radan päällysrakenteen rakenneosat ja keskitytään pääosin rautatieliikennepaikan osiin sekä radan alusrakenteeseen.



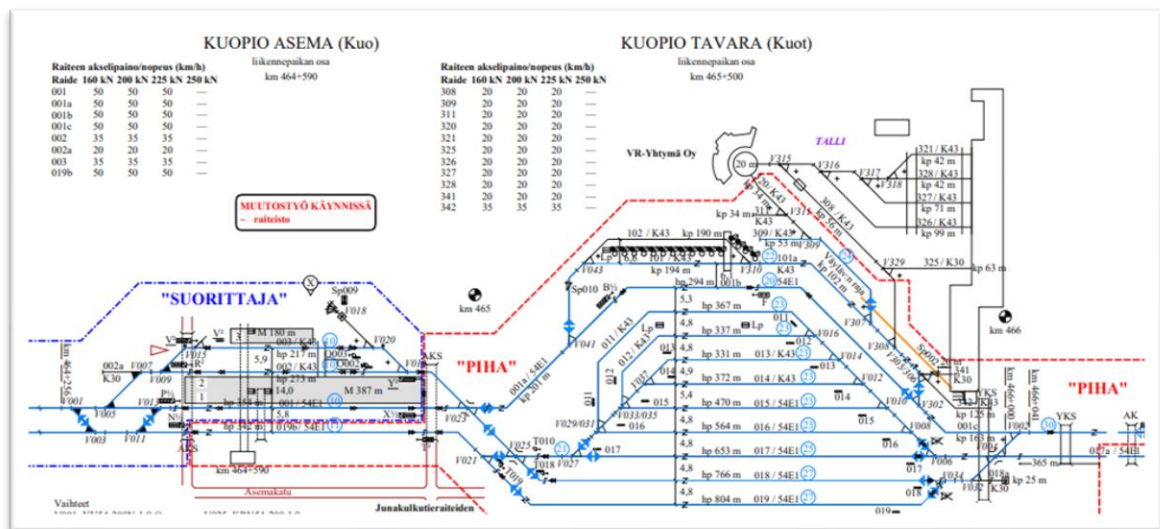
*KUVA 8. Kuva rautatiejärjestelmästä Kuopion ratapihalta*

#### 3.1 Rautatieliikennepaikka

Rautatieliikennepaikka on liikennöinnin ohjaamista tai asiakaspalvelua varten nimetty paikka. Rautatieliikennepaikat jaetaan liikennepaikkoihin, linjavaihteisiin ja seisakkeisiin. Liikennepaikoilla voi

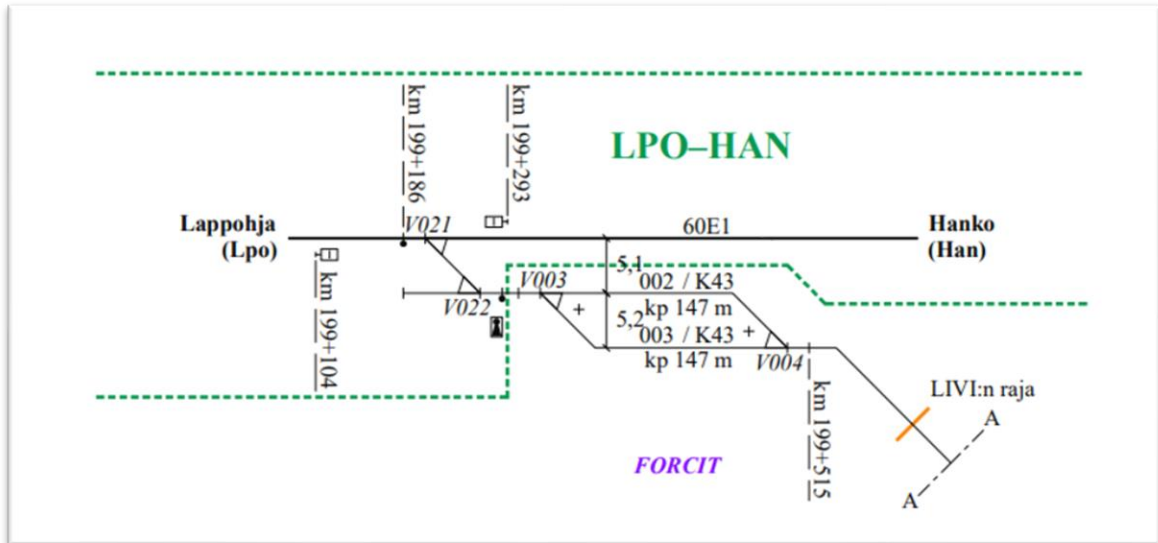
olla raiteita eri tarkoituksiin sekä liikenteenhoitoon ja asiakaspalveluun tarvittavia rakennuksia ja rakennelmia, kuten asemarakenus, ratapiha, opastimia sekä veto- ja vaunukaluston huoltoon liittyviä huoltotiloja. (12, s. 9.)

**Liikennepaikalla** on tarjolla joko henkilö- tai tavaraliikenteen tai molempien palveluita ja liikennepaikoilla voi järjestää junien kohtaamisia. Liikennepaikka voi olla myös jaettu osiin kuvan 9 mukaisesti. (12, s. 9.)



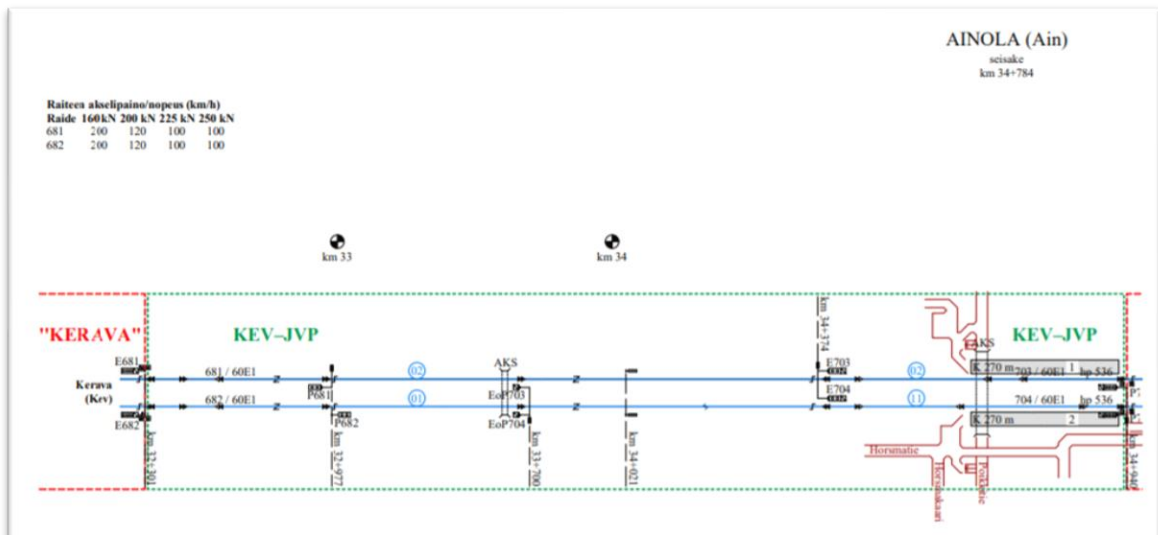
KUVA 9. Osiin jaettu liikennepaikka (13)

**Linjavaihde** (kuva 10) on tarkoitettu tavar- ja ratatyöliikenteen käyttöön ja sitä ei ole varustettu liikenteenohjauslaitteilla. Linjavaihteen alueella saattaa olla pieni ratapiha, jota käytetään tavarankuormaamiseen ja purkamiseen, mutta siinä ei ole mahdollista toteuttaa junien kohtaamisia. Linjavaihde on yksinkertaisimmillaan pääraide, josta haarautuu raide kuormausalueelle. (12, s. 10.)



KUVA 10. Linjavaihte (13)

**Seisake** (kuva 11) on tarkoitettu henkilöliikenteen käyttöön ja se sisältää henkilölaiturin ja mahdollisesti asemarakennuksen. Seisakkeella ei ole kuitenkaan liikenteenhoitoon liittyviä toimintoja, kuten ratapihaa tai raiteenvaihtopaikkaa. Seisakkeelta saattaa lähteä vaihteita pisto- tai kuormausraiteille, mutta niitä ei käytetä junaliikenteessä tai liikenteenohjauksessa. (12, s. 10.)



KUVA 11. Seisake (13)

### 3.2 Päälysrakenne

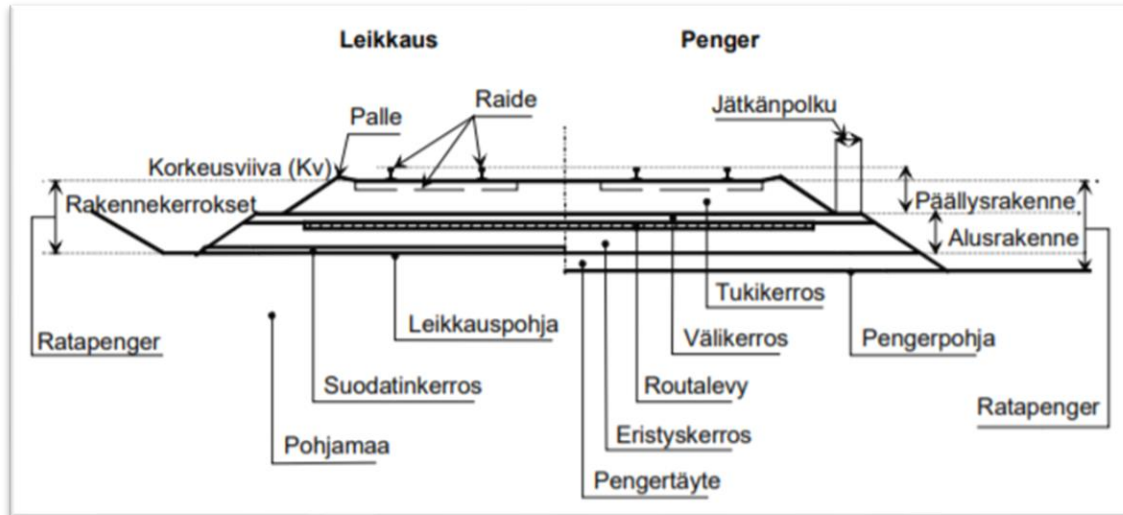
Päälysrakenne on radan rakenneosana, johon kuuluvat tukikerros ja raide (kuva 12). Raide koostuu ratapölkkyistä, ratakiskoista, ratakiskojen kiinnitys- ja jatkososista sekä vaihteista ja muista raiteen erikoisrakenteista. Raide muodostaa alustan liikenteelle ja ottaa vastaan liikenteen kuormat. (14, s. 7.)

Tukikerros pitää raiteen geometrisesti oikeassa asemassa ja asennossa, jakaa kuormia alusrakenteelle sekä muodostaa raiteelle tasaisen ja kantavan alustan. Tukikerroksen materiaalina käytetään raidesepeliä tai raidesoraa. Laadukkaan tukikerroksen kokonaisuuteen vaikuttavat tukikerroksen paksuus ja leveys, kiviaineksen laatu, raekoko sekä tiivistymisominaisuudet. Korkealaatuisessa tukikerroksessa käytetään yleensä kovia, kulutusta hyvin kestäviä kiviaineksia. Tukikerroksen tulee koostua raidesepelistä, kun rakennetaan uutta tuettavaa raidetta. Soratukikerroksen kyky jakaa kuormia on sepelitukikerrosta alhaisempi. Uutta soratukikerrosta ei saa rakentaa, mutta olemassa olevaa soratukikerrosta voidaan parantaa raidesoralla tai raidesepelillä. Tukikerroksen mitat määräytyvät rataluokan, suurimman sallitun nopeuden sekä kiskopituuden, tukikerrosmateriaalin ja ratapölkkytyypin perusteella. (14, s. 7, 18; 15.)

### 3.3 Alusrakenne

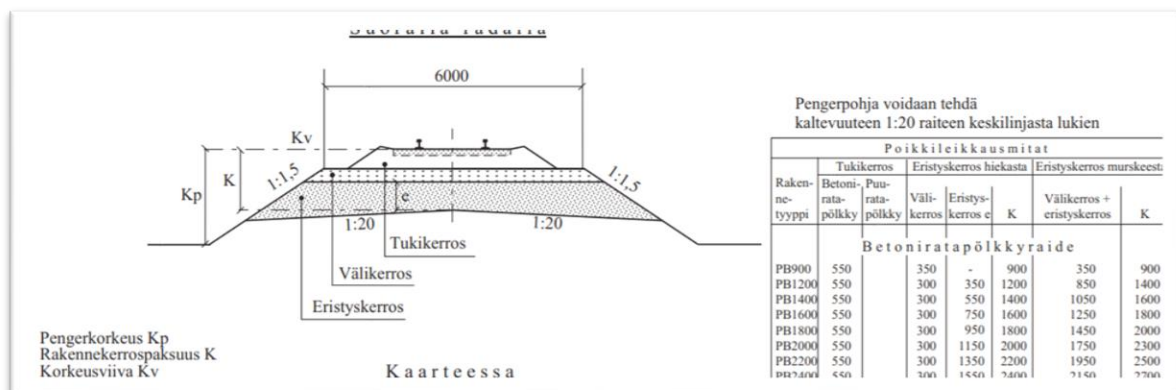
Alusrakenne (kuva 12) on radan rakenneosana, johon kuuluvat välikerros, eristyskerros ja mahdollinen suodatinkerros sekä routalevy. Alusrakenteen tehtävänä on jakaa kuormia alapuoliselle maatai kalliopohjalle sekä yhdessä muiden rakennekerrosten kanssa estää tai pienentää alla olevien maakerrosten routimisesta aiheutuvat haitalliset muodonmuutokset radassa. (16, s. 8.)

**Välikerros** muodostaa tukikerrokselle tasaisen ja kantavan alustan sekä estää tukikerroksen sekoittumisen alla oleviin rakennekerroksiin. **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. **Suodatinkerroksen** tehtävänä on estää eristyskerroksen ja pohjamaan sekoittuminen. **Routalevy** lisää rakenteen lämmöneristävyyttä ja estää tai vähentää radan rakenteen alla olevien maakerrosten routimista. (16, s. 6–8.)



KUVA 12. Radan rakenneosat, poikkileikkaus leikkauksessa ja penkereessä (16, s. 8)

Radan rakenteesta on laadittu normaalipoikkileikkaukset, joissa on esitetty rakennetyyppien mitat. Normaalipoikkileikkausten mitat ovat minimimittoja. Poikkileikkauksen mitat riippuvat siitä, sijaitseeko rata leikkauksessa, kalliioleikkauksessa vai penkereellä. Poikkileikkauksen mittoihin vaikuttavat myös väli- ja eristyskerroksen materiaali, akselipaino sekä liikennöinti nopeus ja ratapölkyn materiaali. Normaalipoikkileikkausten pohjalta laaditaan tarvittaessa hankekohtaiset tyyppipoikkileikkaukset ja paalukohtaiset poikkileikkaukset. Kuvassa 13 on esimerkki poikkileikkausmitoista penkereelle rakennettavasta radasta, jossa on käytetty betoniratapölkkyä. (16, s. 35.)



KUVA 13. Normaalipoikkileikkaus (16, liite 2/5)

### 3.4 Alusrakenneluokat

Radat jaetaan viiteen alusrakenneluokkaan taulukon 2 mukaisesti. Alusrakenneluokan määrää joko henkilöliikenne suurimman sallitun nopeuden mukaan tai tavaraliikenne riippuen siitä, kumman vaatimustaso on korkeampi eli suurimman sallitun nopeuden mukaan akselipainosta riippuen. Taulukosta poiketen jatkuvakiskoraiteisen radan alusrakenteen on oltava kuitenkin aina vähintään alusrakenneluokan 1 mukainen ja vaihdealueella radan alusrakenteen on oltava alusrakenneluokan 4 mukainen. (16, s. 16.)

TAULUKKO 2. Radan alusrakenneluokat (16, s. 16)

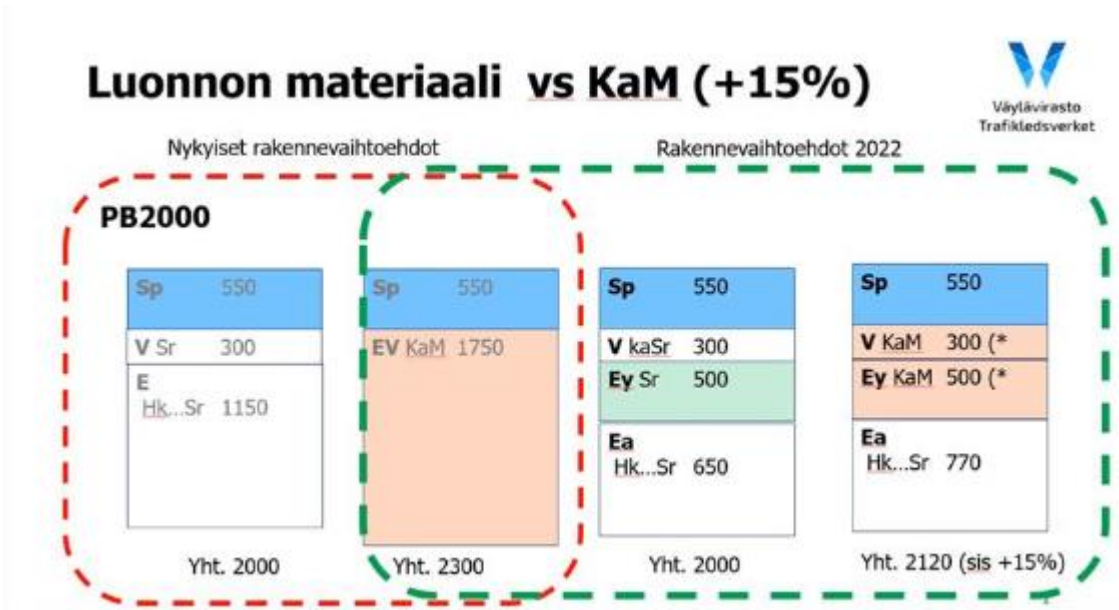
Alusrakenneluokka	Henkilöliikenteen suurin sallittu nopeus, V [km/h]	Tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus 225 kN akselipainolla, V [km/h]	Tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus 250 kN akselipainolla, V [km/h]
0	≤ 50	≤ 40	≤ 40
1	≤ 120	≤ 100	≤ 60
2	≤ 200	≤ 100	≤ 80
3	≤ 250	≤ 120	≤ 100
4	> 250	> 120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

### 3.5 Alusrakennemateriaalit

Kaikki radan alus- ja pohjarakenteet luokitellaan joko hyvin vaativiksi (GL 3) tai vaativiksi (GL 2) rakenteiksi ja tämän vuoksi myös alusrakenteissa käytettäviltä materiaaleilta edellytetään korkeita laatuvaatimuksia. Uuden radan alusrakenteen samoin kuin näihin liittyvien pohjanvahvistus- ja pohjarakenteiden käyttöikävaatimus on 100 vuotta ja routalevyjen käyttöikävaatimus on 40 vuotta. (16, s. 11.)

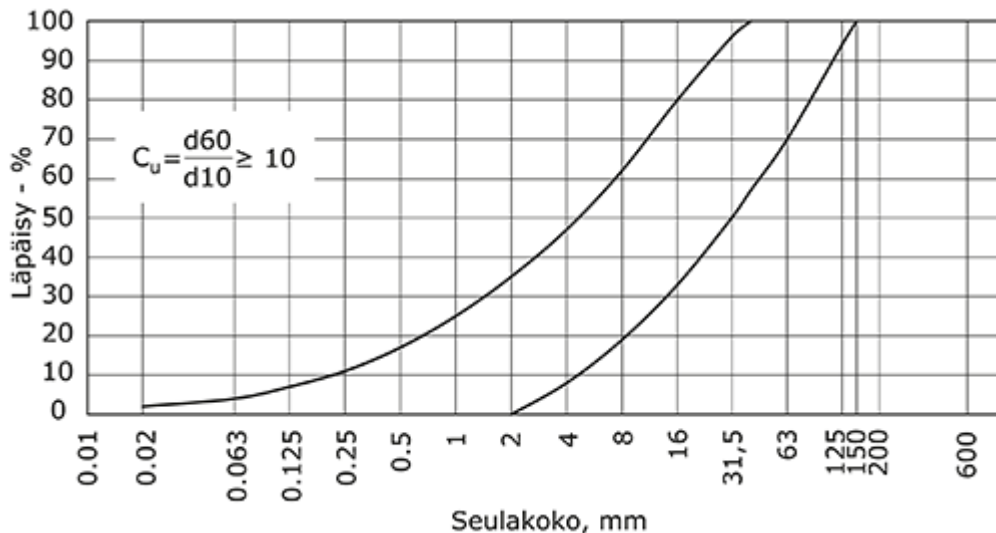
Alusrakennemateriaalien vaatimukset muuttuivat vuoden 2022 alussa. Kuvassa 14 on esitetty vertailua nykyisistä ja vuoden 2022 alussa muuttuneista rakennevaihtoehdoista, jotka noudattavat uusia alusrakennemateriaalivaatimuksia.





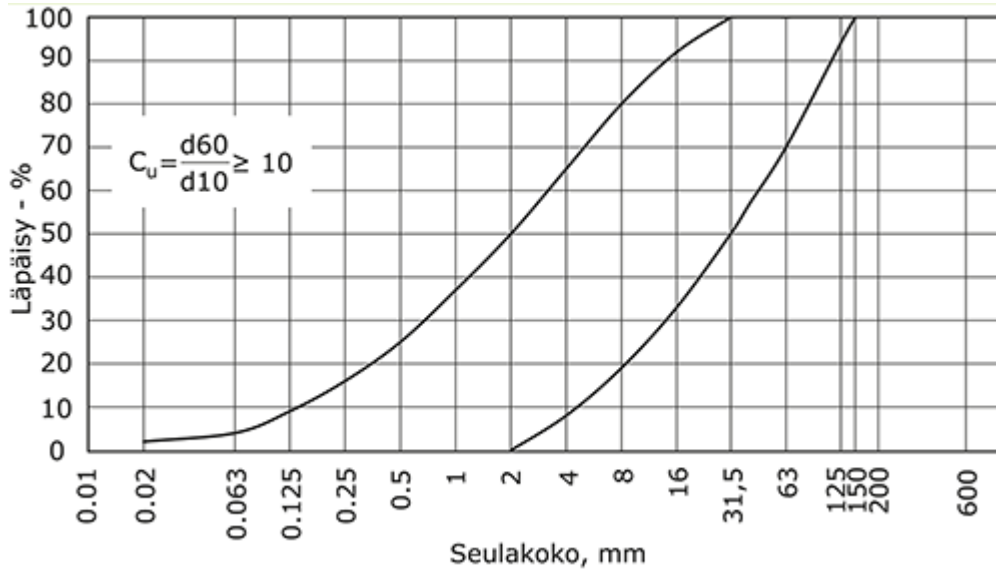
KUVA 14. Esimerkkirakenteita ennen vuotta 2022 ja sen jälkeen

Infra RYLin kohdassa 21230.1 on määritelty, että **välikerrosmateriaalina** käytetään routimatonta soraa tai kalliomurskettä. Käytettäessä soraa välikerrosmateriaalina, tulee rakeisuuden olla kuvan 15 mukainen ja raekokosuhte  $d_{60}/d_{10} \geq 10$ . Kalliomurskettä käytettäessä materiaalin tulee täyttää kuvan 18 eristyskerroksessa käytettävälle kalliomurskeelle asetetut rakeisuusvaatimukset. (17.)



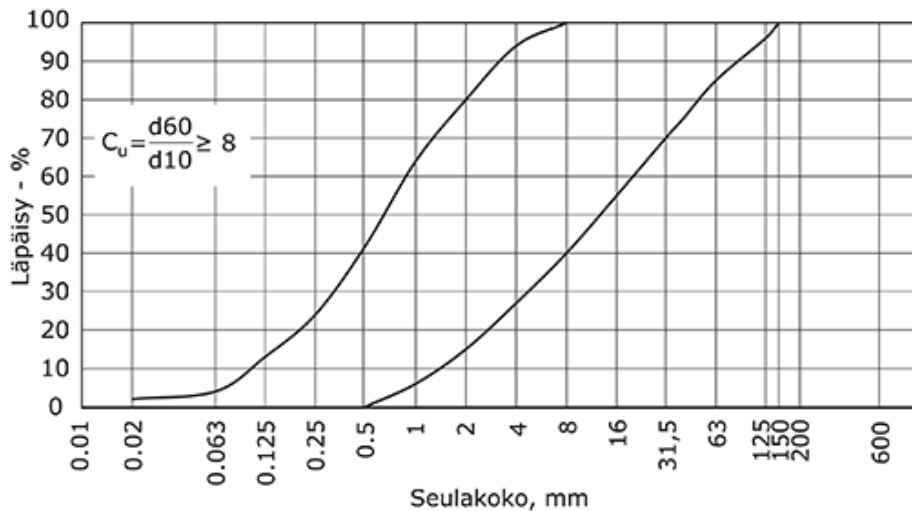
KUVA 15. Sorasta tehtävän välikerroksen rakeisuusvaatimus (17)

Infra RYLin kohdassa 21220.1.2 on määritelty, että **eristyskerros** rakennetaan ensisijaisesti kokonaan eristyskerroksen yläosan rakeisuusvaatimuksen täyttävästä sorasta. Eristyskerroksen yläosan materiaalina käytetään soraa, jonka rakeisuus on kuvan 16 mukainen ja raekokosuhte  $d_{60}/d_{10}$  on  $\geq 10$ . Eristyskerroksen yläosan paksuus tulee olla vähintään 0,5 metriä. (18.)



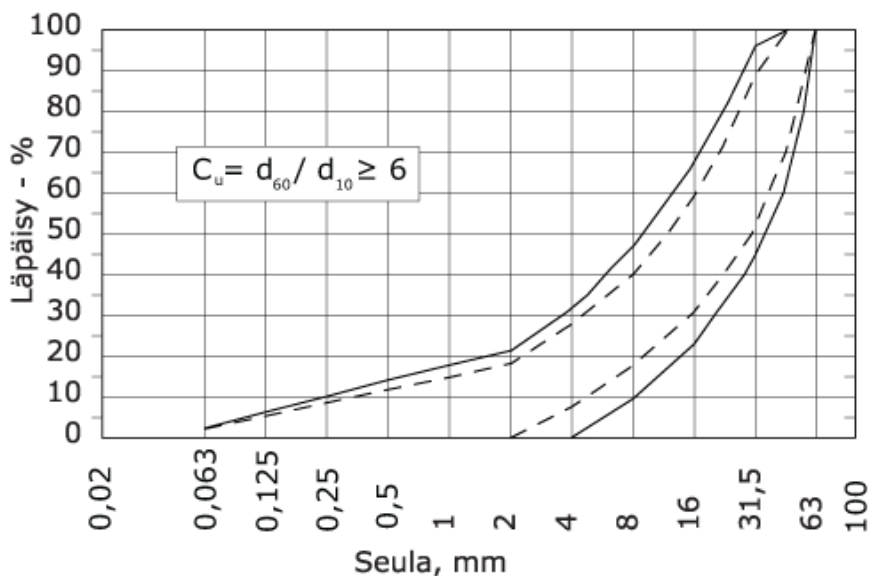
KUVA 16. Eristyskerroksen yläosan rakeisuusvaatimus (18)

Eristyskerroksen alaosa voidaan rakentaa myös rakeisuudeltaan kuvan 17 mukaisesta luonnonmateriaalista eli hiekasta tai sorasta, jonka raekokosuhte  $d_{60}/d_{10}$  on  $\geq 8$ . Mikäli eristyskerroksessa käytetään luonnonmateriaaleja, rakeisuuskäyrän tulee olla rakeisuusvaatimuksen rajakäyrien suuntainen, koska keskiraekoon lähistöllä oleva vaakasuorainen rakeisuuskäyrä eli tasarakeinenmateriaali tuottaa alhaisen kantavuuden ja materiaalin tiivistäminen on hankalaa. (18.)



KUVA 17. Eristyskerroksen alaosan rakeisuusvaatimus (18)

InfraRYLin kohdan 21220.1.3 mukaan eristys- ja välikerrokseen voidaan käyttää kalliomursketta, jonka rakeisuus on kuvan 18 mukainen. Kalliomurskeen hienoainespitoisuus on kaikissa näytteissä pesuseulontana määritettynä enintään 2 %. Mikäli eristyskerros rakennetaan kalliomurskeesta, myös välikerros rakennetaan samanaikaisesti kuvan 18 mukaisesta kalliomurskeesta. Kalliomursketta käytettäessä rakennettavien rakennekerrosten tulee olla 15 % paksumpia kuin hiekka- ja soramaalajeista tehtyjen rakennekerrosten routimisen välttämiseksi. (17; 18.)



KUVA 18. Eristys- ja välikerroksen kalliomurskeen rakeisuusvaatimus (18)

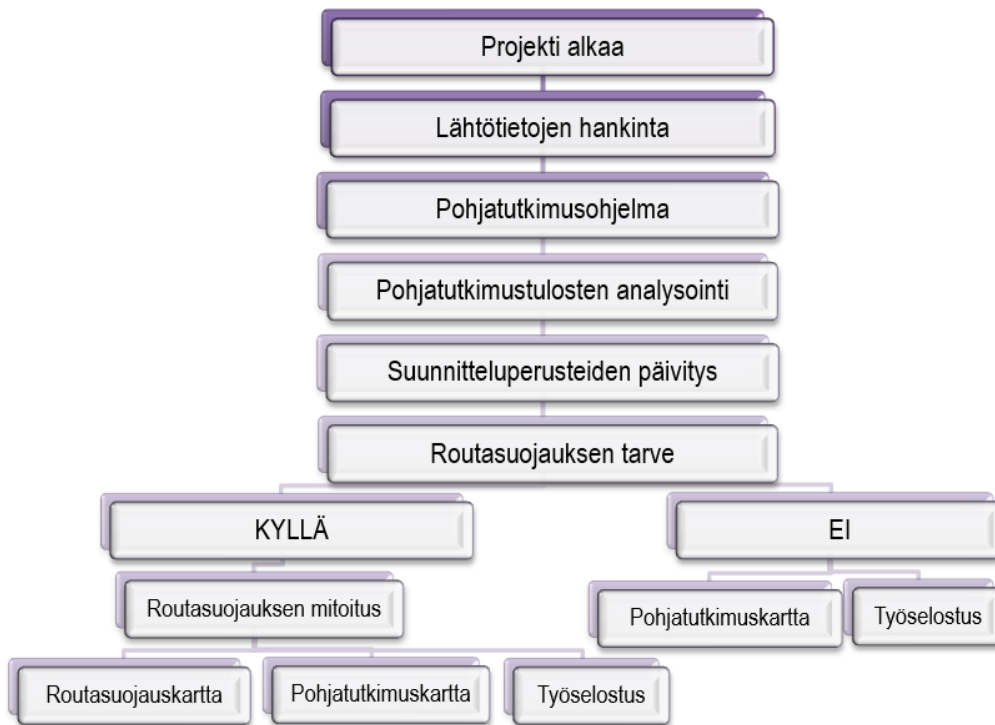
InfraRYL määrittää, että väli- ja eristyskerroksessa käytettäviä materiaaleja ei saa valmistaa sekoittamalla eri raaka-ainelähteistä peräisin olevia materiaaleja keskenään. Materiaalit eivät myöskään saa sisältää epäpuhtauksia, kuten hajoavaa eloperäistä ainesta. (17; 18.)

InfraRYLin kohdassa 21220.3 uusien alusrakennemateriaalivaatimusten mukaan ennen varsinaista rakentamista toteutetaan rakentamiseen käytettävällä materiaalilla koerakenne, jonka perusteella päätetään materiaalille soveltuva tiivistämistapa ja tiivistämistyön laaduntarkkailumenetelmä. Koerakenteen on oltava laajuudeltaan riittävä, jotta sen avulla on mahdollista luotettavasti todentaa materiaalin, työmenetelmän ja laaduntarkkailumenetelmän soveltuvuus vaatimusten mukaisen rakenteen saavuttamiseksi. Koerakenne on toteutettava kantavuudeltaan vastaavalla alustalla, jolle varsinainen rakennekerros rakennetaan. Koerakenne voi olla osa rakennettavaa rata-pengertä. Esim. lisäraiteen rakentaminen mahdollistaa koerakentamisen ratalinjalla. Lyhyissä liikennekatkoissa toteutettavissa töissä koerakentaminen ei ole yleensä mahdollista ratalinjalla vaan koerakentaminen toteutetaan etukäteen esim. maa-aineksen otto paikalla. (18.)

## 4 ALUSRAKENNESUUNNITTELU

Toimivalla alusrakennesuunnittelulla pyritään siihen, että radan tasaisuusvaatimukset täyttyvät, liikennöinti pysyy sujuvana ja vältetään haitallisilta routaongelmilta sekä ylimääräisiltä kunnossapitokustannuksilta. Yleisimmin ratarakenteen epätasaisuutta aiheuttavat roudan sulamisen aikaiset painumat sekä routanousut, mutta suurten tasaisuusvaatimusten vuoksi sallittujen epätasaisten muodonmuutosten sekä raidegeometriavirheiden tulee olla mahdollisimman vähäisiä. Routamitoituksella pyritään hallitsemaan routarajan tunkeutumista pohjamaahan ja siitä johtuvia epätasaisia muodonmuutoksia käyttämällä riittäviä alusrakennepaksuuksia, routimattomia maa- ja kiviaineksia ja routalevytystä sekä kiinnittämällä huomiota toimivaan kuivatukseen. Luvuissa 4.1–4.6 esitetyt tiedot perustuvat suurilta osin työkokemuksen kautta saatuihin sekä Proxionin käytänteisiin.

Rautatieliikennepaikkojen alusrakennesuunnittelu etenee kuvan 19 mukaisesti.



KUVA 19. Alusrakennesuunnittelun eteneminen

#### 4.1 Alusrakennesuunnittelussa tarvittavat lähtötiedot

Lähtötietoaineisto luo pohjan suunnittelutyölle. Radan alusrakennesuunnittelussa lähtötietoina käytetään kohteen vanhoja pohjatutkimuksia, tietoja nykyisestä radan rakenteesta, maaperästä ja vaihteista sekä kunnossapitäjien kommentteja ja maastokäyntejä.

Vanhoja pohjatutkimuksia voi hakea GTK:n arkistosta. Lisäksi voi hyödyntää aiemmissa projekteissa tehtyjä tutkimuksia ja havaintoja kohteesta.

Radan rakenteeseen liittyviä lähtötietoja ovat suunnittelualueelle aiemmin laaditut suunnitelmat sekä nykyisen raiteiston geometriatiedot ja rakenteet. Oleellinen tieto alusrakenteen suunnittelua varten ovat aikaisemmin toteutetut routalevytykset ja vaihteidenvaihtosuunnitelmat. Aiemmin laadittuja suunnitelmia on saatavilla Väyläviraston ylläpitämästä Ratapiirustusarkistosta, jonne voi tehdä tietopyynnön Väyläviraston Extranetistä (vaatii käyttäjälisenssin) löytyvällä lomakkeella. Ratarumpujen ja siltojen suunnitelmat ovat nähtävillä Väyläviraston ylläpitämässä Taitorakennerekisterissä (vaatii käyttäjälisenssin).

Kunnossapitäjien kommentit ovat ensiarvoisen tärkeää tietoa, koska he työskentelevät päivittäin rataverkon parissa ja tietävät, missä kohdissa rataa on ilmennyt ongelmia. Kunnossapitäjien kommentteja kohteesta voi tiedustella erilliskyselynä sähköpostitse, haastatteleamalla kunnossapitäjää maastokäynnillä tai selvittää projektia koskevasta työkohdekuvauksesta.

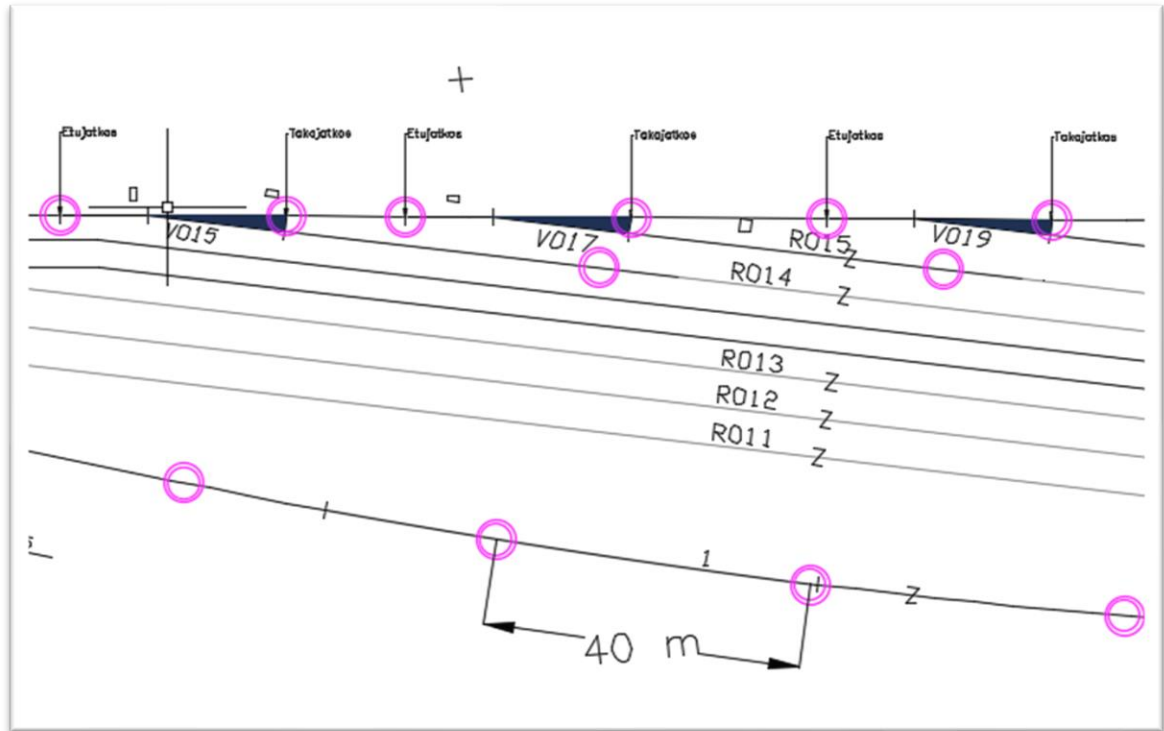
Maastokäynneillä saa hyvän kuvan alueen maaperästä, maanpinnan muodoista, alueen kuivatuksen toimivuudesta, raideliikennepaikan kunnosta sekä rumpujen sijainnista ja kunnosta. Mikäli maastokäynnille ei ole mahdollisuutta, niin aluetta voi tarkastella videoiden avulla Väyläviraston ylläpitämästä Ratakuvapalvelusta (vaatii käyttäjälisenssin) tai radantarkastusvaunu Meerin taltioimasta videokuvasta. Kuvassa 20 on ote Ratakuvapalvelusta saatavasta datasta Sköldvikin ratapihalta.

Käynnäjä						Kuva			
Aika	Suunta	Alku km+m	Alku raide	Loppu km+m	Loppu raide	No	Raide	km+m	Lähellä
2009-05-02	vähenevä	0028+0164	131 KYTSLD/1	0055+0660	131 SLD/1	892	131 SLD/1	0056+0598	Skokkvik
2008-04-26	vähenevä	0028+0160	131 KYTSLD/1	0056+0617	131 SLD/1	891	131 SLD/1	0056+0568	Skokkvik
2007-04-28	vähenevä	0028+0151	131 KYTSLD/1	0056+0564	131 SLD/1	890	131 SLD/1	0056+0538	Skokkvik
2020-04-26	vähenevä	0027+0917	131 KYTVARHT/1	0056+0598	131 SLD/1	889	131 SLD/1	0056+0508	Skokkvik
2019-05-05	kärsivä	0027+0577	131 KYTVARHT/1	0056+0786	131 SLD/1	888	131 SLD/1	0056+0478	Skokkvik
2018-04-29	vähenevä	0027+0689	131 KYTVARHT/1	0056+0655	131 SLD/1	887	131 SLD/1	0056+0448	Skokkvik

KUVA 20. Ote ratakuva palvelusta

## 4.2 Pohjatutkimusohjelma

Rautatieliikennepaikkojen alusrakennesuunnittelua varten tarvitaan tieto suunnittelualueella olevan nykyisen radan rakenteen ominaisuuksista. Pohjatutkimuksilla selvitetään mahdollinen routasuojaustarve, joka määrittelee kunnossapito- ja perusparannushankkeiden toimenpidesyvyyden. Routatutkimukset teetetään vaihteiden etu- ja takajatkokselta, pitkillä vaihteilla matikkapisteestä sekä raiteelta 40–300 metrin välein, kohteesta riippuen (kuva 21). Näytteenottomenetelmänä käytetään yhdistelmänäytteenottoa tai koekuoppamenetelmää Väyläviraston ohjeen 37/2021 Ratojen routasuojaustarpeen selvittämisen mukaisesti. (6, s. 4.)



KUVA 21. Ote pohjatutkimusohjelmasta

Pohjatutkimusohjelmasta laaditaan pohjatutkimuskonsultille tarvittaessa pisteluettelo sekä pohjatutkimusohjelmakartta. Pisteluettelo laaditaan laajemmissa projekteissa, joissa ohjelmoidaan muitakin tutkimuksia kuin vain routatutkimukset. Pisteluettelossa esitetään tarkat ohjeet pohjatutkimusten tekemiselle, tutkimuspisteiden numerot ja koordinaatit sekä mahdollinen tutkimuksen tavoitesyvyys. Pohjatutkimusohjelmakartalla täytyy tulla ilmi alueen korkeus- ja koordinaattijärjestelmä, esittää kohteessa oleva raiteisto, vaihteet ja oleelliset rakenteet sekä pisteiden sijoitus koordinaattien mukaisesti. Mikäli kohteeseen laaditaan vain pohjatutkimusohjelmakartta, siinä tulee olla esitettyä myös ohjeistus tutkimusten tekemiselle.


**Yhdistelmänäytteenotossa** näyte otetaan raiteen vierestä jatkuvana ikkunanäytteenottimella pohjatutkimusohjelmassa määritettyyn tavoitesyvyyteen. Ikkunanäytteenotin valokuvataan, tulkitaan maakerrosrajat ja jokaisesta sepelitukikerroksen alapuolisesta kerroksesta otetaan näyte laboratoriotutkimuksia varten (kuva 22). Tämän lisäksi tehdään matala koekuoppa, josta otetaan näytteet väli- ja eristyskerroksesta. (6, s. 11.)





*KUVA 22. Ikkunanäytteenotin (6, liite 6/1)*

**Koekuoppamenetelmässä** raiteen viereen kaivetaan kaivinkoneella koekuoppa pohjatutkimusohjelmassa määritettyyn tavoitesyvyyteen. Koekuopan raiteen puoleiselle seinämälle tehdään lapiolla puhdistettu ura, josta määritetään silmämääräisesti maakerrosrajat ja jokaisen kerroksen syvyys sepelitukikerrosta lukuun ottamatta. Koekuopasta otetaan näyte laboratoriotutkimuksia sekä valokuva koekuoppakorttia varten (kuva 23).

KOEKUOPPAKORTTI, routatutkimuksien näytteenotto				
Yrityksen yhteystiedot:	Pohjatutkimusorganisaatio			
Tilaaaja:	Väylävirasto			
Rataosa:	Oulu-Kontiomäki	Näytteenoton pvm:	14.7.2021	
Näytteenoton km+m:	663+491	Näytteenoton puoli:	Oikea	
Näytteenottaja/Kairaja:	Riitta Routanäytteenottaja			
Huomiot:	Ei pohjavesihavaintoa			
Mahdollinen routalevy	Yläpinta kv:n suhteen [m]:	Paksuus [cm]:	Väri:	
Koekuoppa				
Kerroksen ylä- ja alapin kv:n suhteen [m]	Näytteenottotapa	Rakennekerros/ Pohjamaa	Silmämääräinen maalaji-arvio	Huomiot
0,00-0,2	Lapio	Rak	hkSrMr	
0,2-0,5	Lapio	Rak	Hk	
0,5-1,5	Lapio	Pohjamaa	Sa	
Tehtävät tutkimukset:	Vesipitoisuus, pesuseulonta/rakeisuus			
				

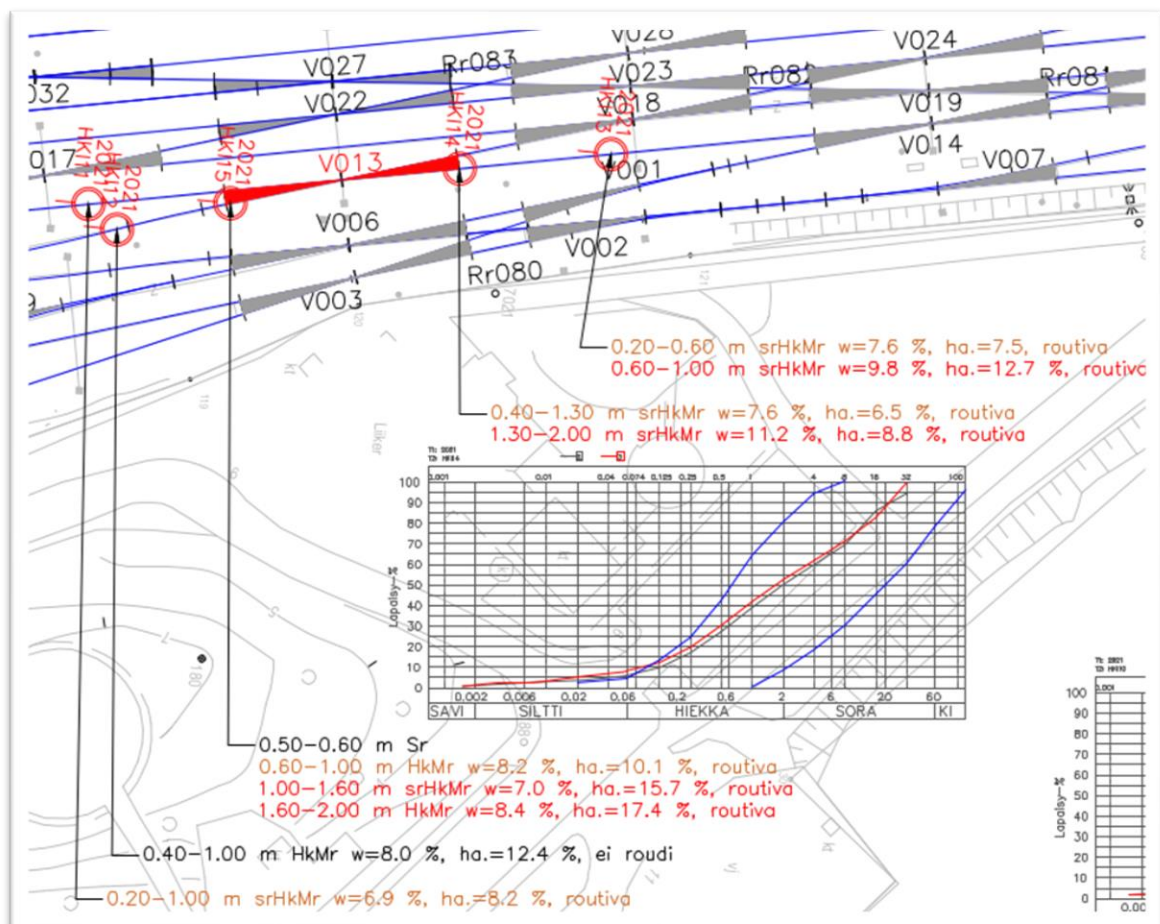
KUVA 23. Koekuoppakortti

Laboratoriossa näytteille tehdään silmämääräinen arvio maalajista, määritetään vesipitoisuus, rakeisuus sekä hienoainepitoisuus ja määritetään näiden perusteella maalajin routivuus. Tämän lisäksi joissakin projekteissa halutaan selvittää mahdolliset pilaantuneet maa-alueet erillisellä PIMA-näytteenotolla, jossa tutkitaan maaperän haitta-ainepitoisuuksia.

Radan rakennekerrosten paksuutta sekä laatua, pohjamaan laatua ja routivan kerroksen yläpinnan syvyyttä voidaan tutkia myös maatulkuotauksella. Maatulkuotauksella voidaan lisäksi arvioida esimerkiksi routalevyjen, paalulaatta- ja paaluhattujen sijaintia ja kuntoa. (6, s. 24.)

### 4.3 Pohjatutkimustulosten analysointi

Pohjatutkimuskonsultilta tulevat pohjatutkimusten Tekla-tiedostot viedään suunnitteluohjelmaan, josta tehdyt pohjatutkimukset voi tulostaa dwg-muotoon. AutoCAD-ohjelmalla laaditaan pohjatutkimuskartta, johon tuodaan tietoa routanäytteiden laboratoriotuloksista eli vesipitoisuudesta ja hie-noainespitoisuudesta. Toisinaan on hyvä tuoda kartalle myös rakeisuuskäyrät, etenkin jos kyse on materiaaleista, jotka ovat routivuuden kannalta rajatapauksia. Pohjatutkimuskarttaan koodataan eri väreillä routimattomat, rajatapausroutivat ja routivat materiaalit. Näin tieto suunnittelualueen maa-materiaalien ominaisuuksista sekä kerrospaksuuksista on selkeästi nähtävissä yhdellä silmäyksellä ja suunnittelualueesta on helpompi luoda kokonaiskuva kuvan 24 mukaisesti.

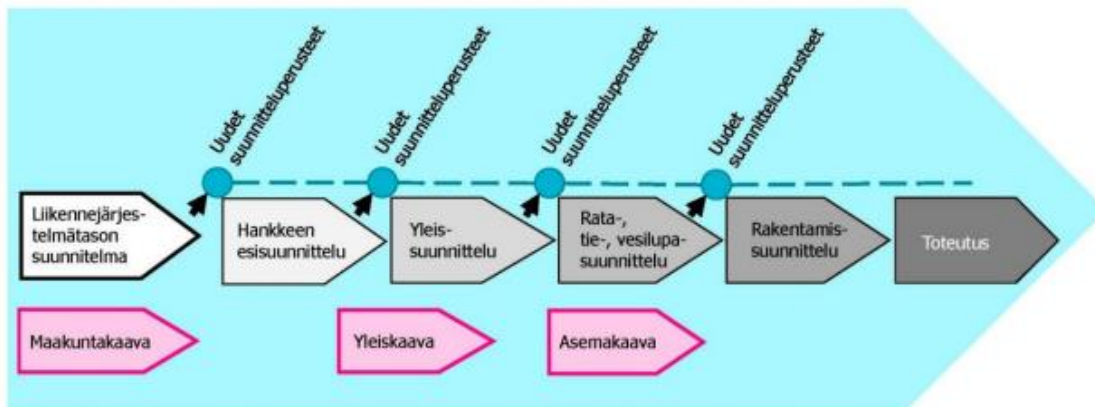


KUVA 24. Pohjatutkimusten analysointi

#### 4.4 Suunnitteluperusteiden laatiminen

Suunnitteluperusteet on suunnittelun aikainen työkalu, jolla haetaan eri osapuolien hyväksyntä valittuihin tavoitteisiin, lähtökohtiin ja teknisiin ratkaisuihin. Suunnitteluperusteisiin on kirjattava suunnittelun tapauskohtaisia tai kohdekohtaisia vaatimuksia Väyläviraston vaatimusten ja ohjeiden lisäksi. Hyväksytyillä suunnitteluperusteilla tarkennetaan, miten ohjeita noudatetaan tai myönnetään lupa poiketa rautateiden suunnittelussa käytetyistä yleisistä ohjeista. Suunnitteluperusteisiin on kirjattu suunnittelun kannalta tärkeimpiä valintoja. Suunnitteluperusteet laaditaan hankekohtaisesti jokaiseen suunnitteluvaiheeseen (kuva 25). (19, s. 6.)

Suunnitteluperusteissa käsitellään hankkeen yleistietoja ja rajataan suunnittelualue, kuvaillaan nykytilannetta sekä määritellään hankkeen vaatimukset jokaiselle tekniikka-alalle radan suunnittelusta varten. Alusrakenteen suunnittelua varten suunnitteluperusteissa määritellään raiteiden alusrakenneluokat sekä routimattomien rakennekerrosten kokonaispaksuus. Kohteesta riippuen määritellään myös siirtymärakenteiden kaltevuudet, routalevytyksen käyttö sekä vanhojen routalevyjen poisto, paikalleen jättäminen tai uusiminen.



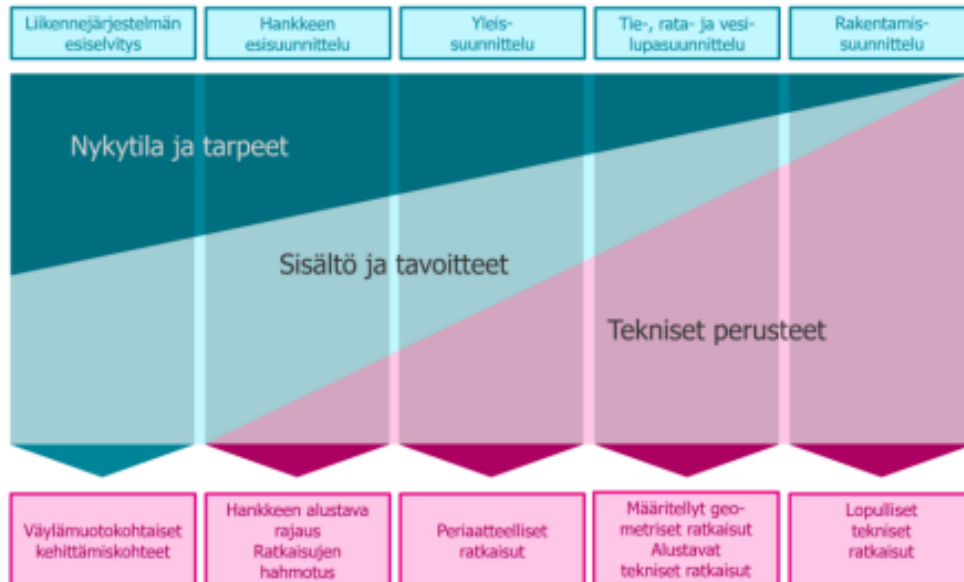
KUVA 25. Suunnitteluperusteiden vaiheet (19, s. 6)

**Esisuunnitteluvaiheessa** laaditaan hahmotelma suunnitteluperusteista, joka toimii hankkeen perustana. Suunnittelu on hyvin yleisluontoista ja esiselvitysvaiheessa mietitään hankkeen tarpeellisuutta sekä toteuttamismahdollisuutta. (19, s. 15.)

**Yleissuunnitteluvaiheessa** suunnitteluperusteet tarkentuvat esiselvityksen tulosten pohjalta. Yleissuunnitelmassa esitetään tarve radan rakentamiselle tai rataverkon kehittämiseksi, radan perusratkaisut, rakennettavan radan arvioidut vaikutukset sekä radan sijainti niin, että maanomistajat ja muut asianosaiset pystyvät arvioimaan heille hankkeesta mahdollisesti aiheutuvat vaikutukset. (19, s. 16.)

**Ratasuunnitelmavaiheessa** suunnitteluperusteita tarkennetaan ja täydennetään hyväksytyssä yleissuunnitelmassa esitettyjen ratkaisujen pohjalta ja aloitetaan yksityiskohtaisemman suunnitelun tekeminen. Ratasuunnitelmassa määritetään lopulliset aluetarpeet, selvitetään vaikutukset sekä haitallisten vaikutusten torjunta ja vähentämistoimenpiteet, arvioidaan rakennuskustannukset ja hankitaan tien- ja radanpitäjälle tarvittavat oikeudet. Ratasuunnitelma perustuu lakeihin. (19, s. 17.)

**Rakennussuunnitelmavaiheessa** suunnitteluperusteet laaditaan yksityiskohtaisesti tarkentaen ja täydentäen hyväksytyyn ratasuunnitelmavaiheen perusteita. Suunnitelmissa esitetään työn lopputulos ja toteutustapa niin, että rakentaminen voidaan toteuttaa turvallisesti. (19, s. 18.)



KUVA 26. Suunnitteluperusteiden laajuus eri suunnitteluvaiheissa (19, s. 10)

Suunnitteluperusteiden laatijana toimii hankkeesta vastaava projektipäällikkö. Suunnitteluperusteiden laatija vastaa siitä, että suunnitteluperusteiden laadinnassa on käytetty hankkeen vaatimaa eri

alojen asiantuntemusta hankkeen edellyttämällä tavalla. Suunnitteluperusteet hyväksytään esittelystä, esittelijänä toimii suunnitteluperusteiden laatijana toimiva projektipäällikkö. Ratahankkeiden osalta suunnitteluperusteiden teknisen hyväksynnän tekee väylätekniikkaosaston johtaja. Suunnitteluperusteet tarkennetaan, täydennetään ja muutetaan tarvittaessa suunnitteluprosessin aikana. Niitä täydennetään jokaisen suunnitteluvaiheen päättyessä, jolloin ne toimivat eräänlaisena "suunnittelun testamenttina" suunnitteluvaiheesta toiseen siirryttäessä. (19, s. 21.)

#### **4.5 Routasuojaustarpeen määrittäminen**

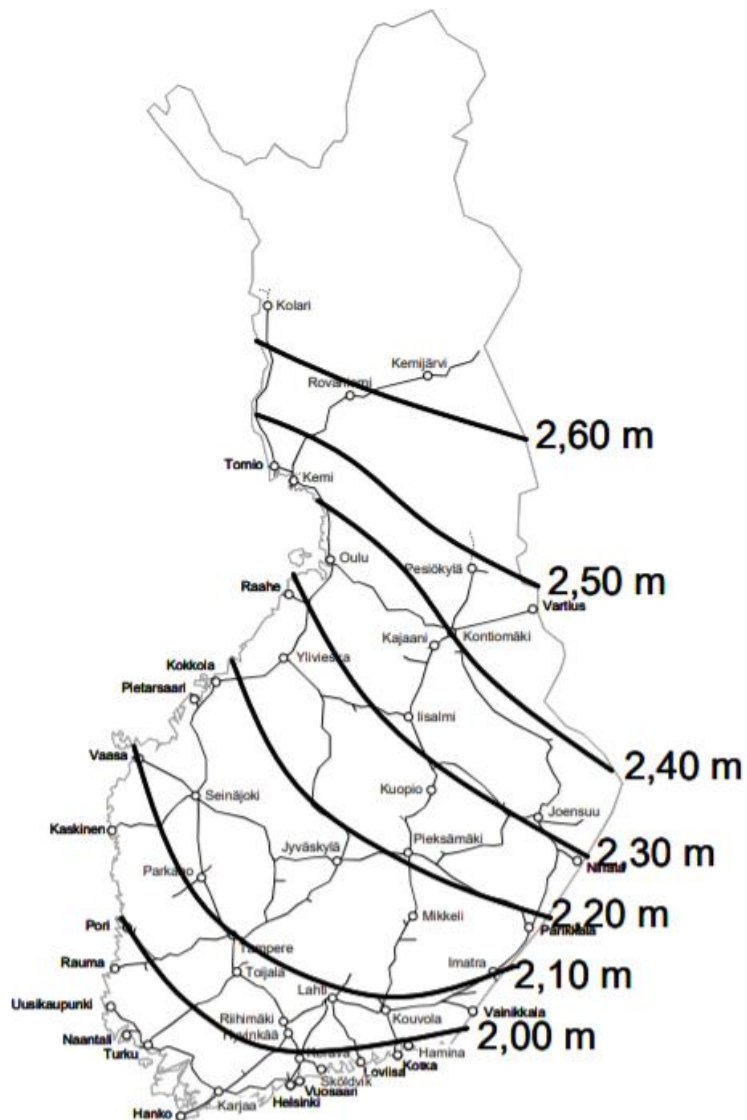
Raiteelle on asetettu tarkat tasaisuusvaatimukset, minkä vuoksi routamitoitus perustuu siihen, että mitoitavana talvena routa ei saa tunkeutua routivaan maahan. Routamitoitus perustuukin suurimmaksi osaksi roudan syvyyden laskentaan. Pohjamaa luokitellaan NATO 3:n mukaan joko routivaksi tai routimattomaksi. Routimattomalla pohjamaalla olevia ratoja ei routasuojata tai ratoja, joiden rakennepaksuus on riittävä. Routasuojauksen käytöstä sovitaan yhdessä tilaajan kanssa. Ole-massa olevilla radoilla voidaan joustaa NATO 3:n kriteereistä, jos esimerkiksi tiedetään, että routiva materiaali on rakennekerrosmateriaalia eikä pohjamaata. (1, s. 62–63.)

Routasuojauksen parantaminen toteutetaan ensisijaisesti siten, että routivat materiaalit vaihdetaan routimattomiin tai toissijaisesti rakenne routasuojataan routalevyjä käyttäen (16, s. 22). Hyvin usein perusparannuskohteissa massanvaihtoa on mahdotonta ulottaa routimattomaan syvyyteen aiheuttamatta merkittävää haittaa viereisille rakenteille, jolloin routasuojaus routalevyin on parempi vaihtoehto. Myös routimattomaan syvyyteen tehtävä massanvaihto routimattomilla materiaaleilla saattaa olla kustannuksiltaan huomattava etenkin ankarimmissa olosuhteissa, jossa routimattomien rakennekerrosten kokonaispaksuus on suuri.

Perusparannuskohteissa, etenkin vaihdeprojekteissa, saattaa olla tilanne, että pohjatutkimusten mukaan pohjamaassa tai alusrakenteessa on routivia materiaaleja, mutta kunnossapitäjä ei ole huomannut radan routimista ja vaihde sijaitsee ahtaassa paikassa vaihdekujassa. Tällaisissa tapauksissa voidaan suunnitteluperusteisiin lisätä tilaajan suostumuksella kommentti, jossa todetaan, että yksittäisen vaihdekujassa olevan vaihteen routasuojaus voidaan kunnossapidon ilmoittaman routimishistorian perusteella jättää toteuttamatta, jos sen routasuojaus aiheuttaisi epäjatkuvuuskohdan vaihdekujaan ja toimenpiteitä viereisille vaihteille.

#### 4.5.1 Routaeristämätön rata

Routaeristämättömillä radoilla routimattomien rakennekerrosten kokonaispaksuus katsotaan kartasta (kuva 27) suunnittelukohteen sijainnin perusteella, 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 kuvan 27 mukaisia arvoja pienempi. (16, s. 21.)



KUVA 27. Routimattomien rakennekerrosten kokonaispaksuus alueittain (16, liite1, kuva 1)

#### 4.5.2 Routaeristetty rata

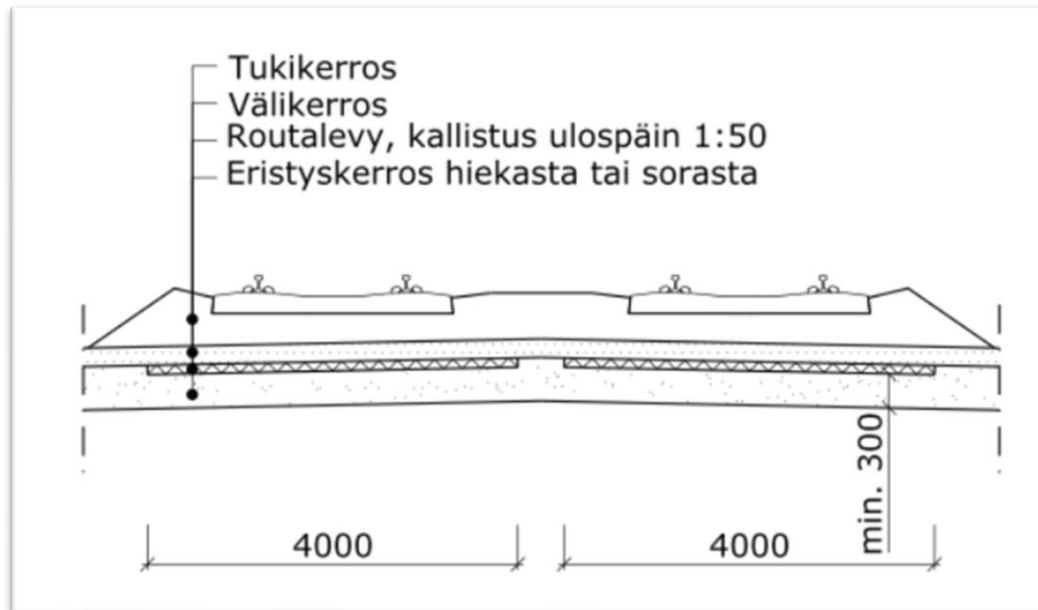
Routaeristettävien ratojen routamitoitus tehdään liitteistä 2/1–3 löytyvien mitoituskäyrästäojen avulla mitoituspakkasmäärän sekä liitteen 1 vuotuisen ilman keskilämpötilan perusteella. Käyrästäojissä tarvittava mitoituspakkasmäärän toistumisjakso valitaan taulukosta 3 radan alusrakenneluokan perusteella. (16, s. 21.)

TAULUKKO 3. Mitoituspakkasmäärän toistumisjakso radan alusrakenneluokan mukaan (16, s. 22)

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

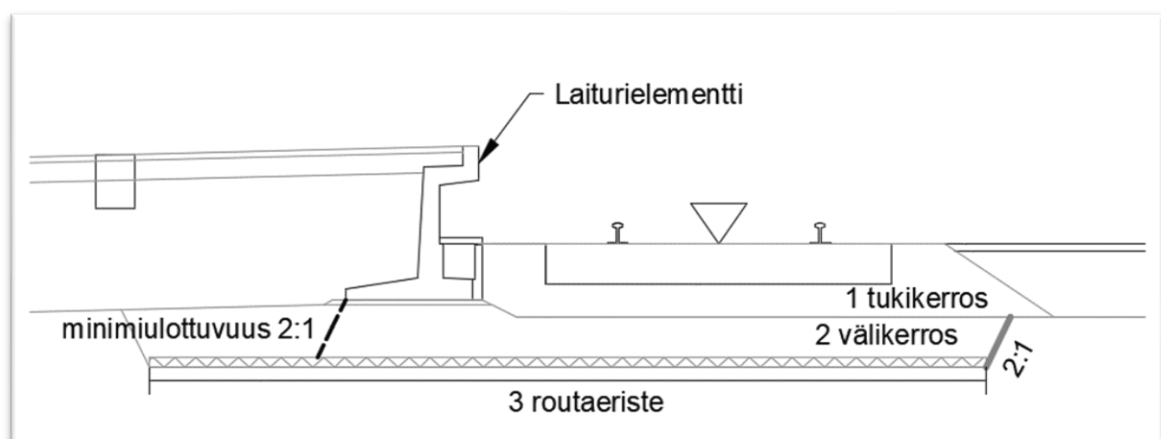
Routamitoituksen ja routatutkimustulosten perusteella päätetään käytettävän routaeristeen pakkaus. Routaeristetyt radat routaeristeenä käytetään suulakepuristettuja solupolystyreenilevyjä eli XPS-routalevyjä, joiden koko on normin SFS-EN 822 mukaisesti 4 000 mm x 600 mm. Käytettävien routalevyjen paksuudet ovat 60 mm, 80 mm, 100 mm ja 120 mm. Routalevyä 40 mm käytetään vain siirtymärakenteissa, koska sillä ei ole todettu olevan riittävää lämpöeristävää vaikutusta. Routaeristetyssä rakenteessa routalevyn alapuolella olevan routimattoman alusrakennekerroksen vähimmäispaksuus on 300 mm käytettäessä luonnonmateriaaleja ja 450 mm käytettäessä murskattua kiviainesta (kuva 28). Lisäksi etäisyys routalevyn alapinnasta yläpintaan pohjavedenpintaan tulee olla suurempi kuin routalevyn alla olevan materiaalin kapillaarinen nousukorkeus. (16, s. 22, 19; 20.)





KUVA 28. Routaeristys ratarakenteessa (21)

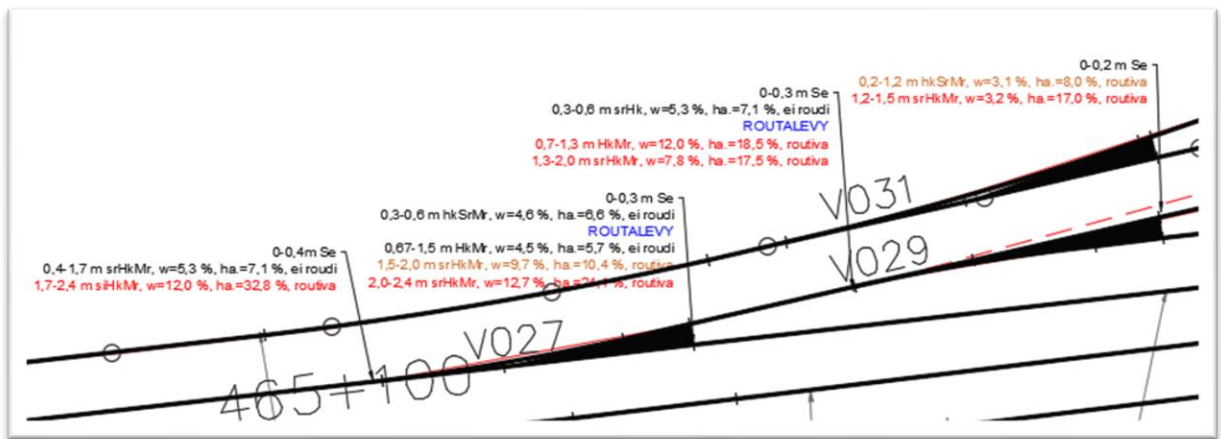
Laiturirakenteessa routaeristys täytyy mitoittaa kerran 50 vuodessa esiintyvälle pakkasmäärälle, mikäli ei ole mahdollista perustaa laituria routimattomien rakennekerrosten varaan (22, s. 44). Routalevyn tulee ulottua kokonaan laiturin viereiselle raiteelle sekä laiturielementin alle niin, että se ulottuu vähintään 2:1 laiturielementin reunasta laiturin päin, kuten kuvassa 29 on esitetty.



KUVA 29. Esimerkki routaeristyksestä laiturirakenteessa

#### 4.5.3 Routaeristettävien vaihteiden esimerkkimitoitus

Tässä opinnäytetyössä esitetään esimerkkimitoitus kohteeseen, jossa vaihdekujassa sijaitseville peräkkäisille vaihteille suunniteltiin routasuojaus. Kuvasta 30 on nähtävissä, että vaihteen V027 etujatkoksella on routanäytteiden mukaan 1,7–2,4 metrissä routivaa silttistä hiekkamoreenia ja takajatkoksella 1,5–2,4 metrissä routivaa soraista hiekkamoreenia. Vaihteella V029 on näytteiden mukaan etujatkoksella 0,7–2,0 metrissä routivaa hiekkamoreenia ja takajatkoksella routivaa hiekkaisista soraamoreenia jo 0,2 metrissä jatkuen ainakin 1,5 metriin.



KUVA 30. Esimerkkimitoituskohteen pohjaolosuhteet

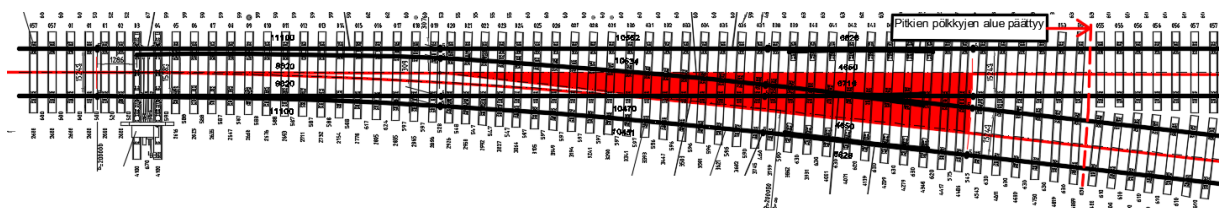
Kohde sijaitsee alueella, jossa routimattomien rakennekerrosten kokonaispaksuus on 2,3 metriä. Kohteen sijainnin mukaan vuotuinen keskilämpötila on 3 °C (liite 1). Vaihteet ovat alusrakenneluokkaa 4, joten mitoituspakkasmäärän toistumisjakso on 50 vuotta. Kohteen sijainnin mukaan mitoitettava pakkasmäärä on 47 500 h °C (liite 2/3). Edellisten tietojen perusteella saatiin selvitettyä taulukossa 4 olevat routimattomat alusrakennekerrospaksuudet eri levyksille liitteiden 3/1–3 mukaisesti.

TAULUKKO 4. Routimattomien alusrakennekerrosten paksuudet eri levypaksuuksilla

Ilman routalevyä	2,3 m
Routalevypaksuus 60 mm	1,55 m
Routalevypaksuus 80 mm	1,32 m
Routalevypaksuus 100 mm	1,15 m

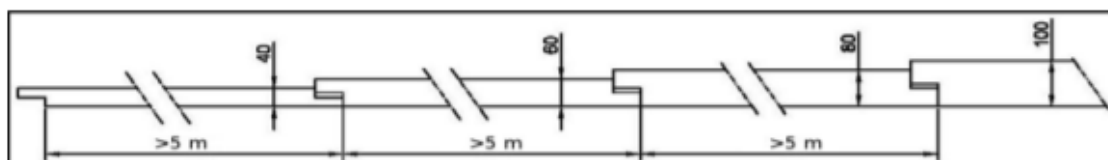
Koska vaihteella V027 routivat alusrakennemateriaalit alkavat syvyydellä 1,5 metriä, valittiin routalevyn paksuudeksi 80 mm. Vaihteella V029 routivat alusrakennemateriaalit alkavat jo 0,2 metrin syvyydellä, joten routalevyn paksuudeksi valittiin 100 mm. Routaeristeen alle suositeltiin tehtäväksi massanvaihto, jotta saadaan routalevyn alle InfraRYLin kohdassa 14211.3.3 määritetty 300 mm:n routimaton alusrakennekerrospaksuus.

Routalevyt tulee asentaa välikerroksen alle (kuva 28) limittämällä, jolloin levyn etenemä on 540 mm. Vaihteiden routasuojauksen tulee ulottua radan poikkisuunnassa vähintään 2,1 metrin etäisyydelle ja raiteella 2,0 metrin etäisyydelle raiteiden keskilinjoista. Pituussuunnassa routasuojauksen tulee ulottua niin pitkälle, että levyt ulottuvat vaihteen pitkien pölkkyjen alueelle, mutta kuitenkin vähintään 2,0 metriä etujatkoksen ja 4,0 metriä takajatkoksen ulkopuolelle. Pitkien pölkkyjen alue on jokaisessa vaihdetyypissä yksilöllinen, joten se täytyy tarkastaa vaihteen pölkkytyskuvasta (kuva 31).



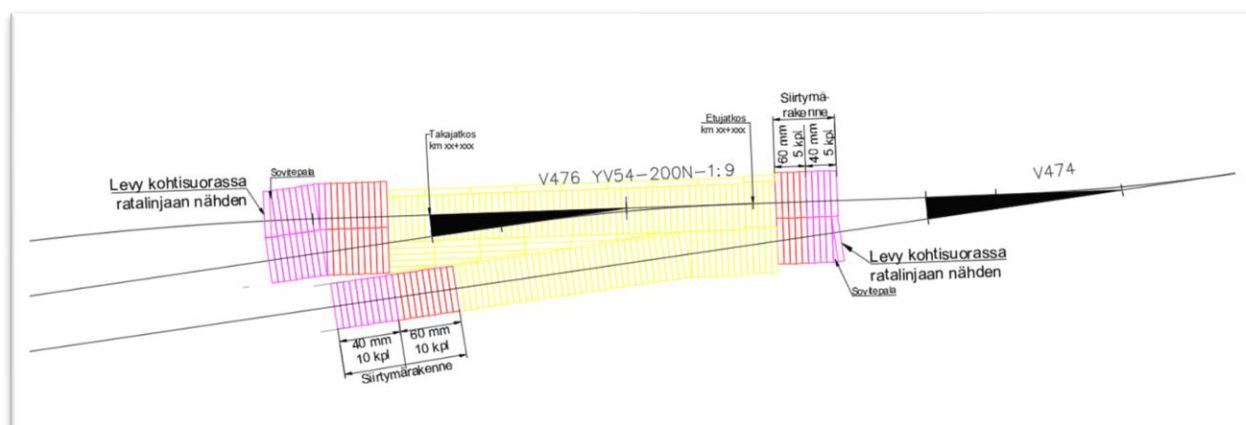
KUVA 31. Vaihteen pölkkytyskuva

Roudaneristysrakenne päätetään tavallisesti routimattomaan ratarakenteeseen ja routalevytetty osuus täytyy päättää aina siirtymärakenteeseen kuvan 32 mukaisesti (16, s. 23).



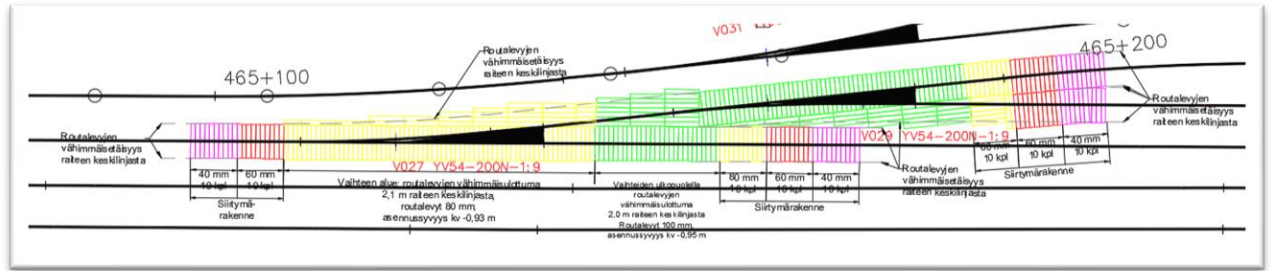
KUVA 32. Siirtymärakenne (16, s. 24)

Siirtymärakenteen routalevyjen kappalemäärä levypaksuutta kohden riippuu suunniteltavasta kohteesta. Esimerkiksi kuvassa 34 näkyvä routalevytettävässä vaihteessa, joka sijaitsee vaihdekujassa ja jossa seuraavaa vaihdetta V474 ei routasuojata, voidaan käyttää esimerkiksi 5 kappaletta levypaksuutta kohden tilanpuutteen vuoksi. Pääasiallisesti kuitenkin suositellaan käytettävän 10 kappaletta levypaksuutta kohden, jotta epäjatkuvuuskohta aiheuttaisi mahdollisimman vähän muodonmuutoksia ratarakenteessa. Siirtymärakenteessa levyt täytyy asettaa ratalinjaan nähden kohtisuoraan, kuten kuvassa 33 on esitetty.



KUVA 33. Esimerkki routalevytetyin vaihteen siirtymärakenteista

Kuvassa 34 on esitetty esimerkkimitoitus kohteen routasuojauskartta, jossa vaihteella V027 käytetään 80 mm:n (keltainen) routalevyä ja vaihteella V029 100 mm:n (vihreä) routalevyä. Siirtymärakenteina käytetään 80 mm:n, 60 mm:n (punainen) ja 40 mm:n (violetti) routalevyjä, joita on 10 kappaletta levypaksuutta kohden.



KUVA 34. Ote routasuojauskartasta

## 4.6 Suunnitelmadokumentit

Alusrakennesuunnittelijan tehtävänä on laatia suunnitelmadokumentit alusrakennetta koskevaa rakentamista varten. Tarvittavat suunnitelmadokumentit ovat pohjatutkimuskartta, työselostus ja pituusleikkaukset pohjatutkimuksien osalta. Mikäli kohteessa päädytään routasuojaukseen, tulee laatia myös routasuojauskartta ja routalevyluettelo. Asiakirjaluetteloon tulee lisätä kyseiset asiakirjat, asiakirjanumerot ja laatimispäivämäärät. Asiakirjanumerot haetaan Väyläviraston ratapiirustusarkistosta. Suunnitelmadokumenttien laatimiseen löytyvät ohjeet Väyläviraston julkaisusta 14/2012 Ratatekniset piirustusohjeet.

### 4.6.1 Pohjatutkimuskartta

Pohjatutkimuskartta laaditaan yleensä mittakaavassa 1:1000. Pohjatutkimuskartalla tulee esittää ratalinjat, vaihteet, koordinaattiristejä noin neljä karttalehteä kohden, pohjoisnuoli, suuntanuolet, rautatieliikennepaikan nimi ja ratakilometri sekä taustakartta. Projektista riippuen pohjatutkimuskartalla esitetään joko vain suunnitteluvaiheessa tehdyt pohjatutkimukset tai sekä ennen suunnitteluvaihetta tehdyt ja suunnitteluvaiheessa tehdyt pohjatutkimukset. Mikäli esitetään myös ennen suunnitteluvaihetta tehdyt pohjatutkimukset, niin nämä tulee vaalean harmaalla ja suunnitteluvaiheessa tehdyt mustalla, jotta ne erottuvat toisistaan.

## 4.6.2 Routasuojauskartta ja routalevyluettelo

Routasuojauskartta laaditaan yleensä mittakaavassa 1:200. Routasuojauskartalla tulee esittää ratalinjat, vaihteet, koordinaattiristit, pohjoisnuoli, suuntanuolet, rautaliikennepaikan nimi ja ratakilometri sekä taustakartta. Routalevytetyt osuudet eritellään linja- ja vaihdeosuuksiin ja ne osoitetaan kartalla janoilla, joissa on kerrottu levyjen vähimmäisulottumat raiteen keskilinjasta, routalevyn paksuus sekä asennussyvyys. Routasuojauskartasta tulee ilmetä vaihteiden tunnuksiset sekä etu- ja takajatkoksen paikka ratakilometreineen. Siirtymärakenteet täytyy olla selkeästi esitettynä janoilla, joissa kerrotaan levypaksuudet sekä levyjen määrät. Routalevyjen vähimmäisetäisyydet esitetään vaaleanharmaalla katkoviivalla.

Koordinaattipisteitä laitetaan rakentamista varten tarpeellisiin kulmapisteisiin ja koordinaattipisteistä laaditaan koordinaattilistat routasuojauskartalle. Kartalla olisi hyvä esittää myös sähköratapylväät, jotta ratajohtopylväät osataan huomioida työn suunnittelussa. Routalevyjen määrä paksuutta kohden lasketaan ja niistä tehdään routalevykartalle määräluettelo. Tämän lisäksi laaditaan routalevyluettelo, josta tulee ilmi jokaiselle vaihteelle ja linjaosuudelle tulevat routalevyjen määrät ja neliömetrit paksuutta kohden.

## 4.6.3 Työselostuksen laatiminen

Työselostuksen kohdassa A.2.2 Tehdyt mittaukset- ja pohjatutkimukset, alusrakennesuunnittelijan tulee kertoa hankkeen aikana tehdyistä ja käytetyistä mittauksista sekä pohjatutkimuksista. Kohdassa A.3.1 Noudatettavat yleiset ohjeet lisätään ohje ”XPS-routalevyjen tekniset toimitusehdot. RHK 279/73/02”, mikäli kohteeseen tulee routalevysuunnittelua. Kohdassa A.4.1 Ympäristöriskien hallinta kerrotaan alueen pohjavesitilanteesta sekä luonnonsuojelualueista ja kerrotaan lyhyesti, mikäli alueelle on tehty ympäristötekniinen tutkimus.

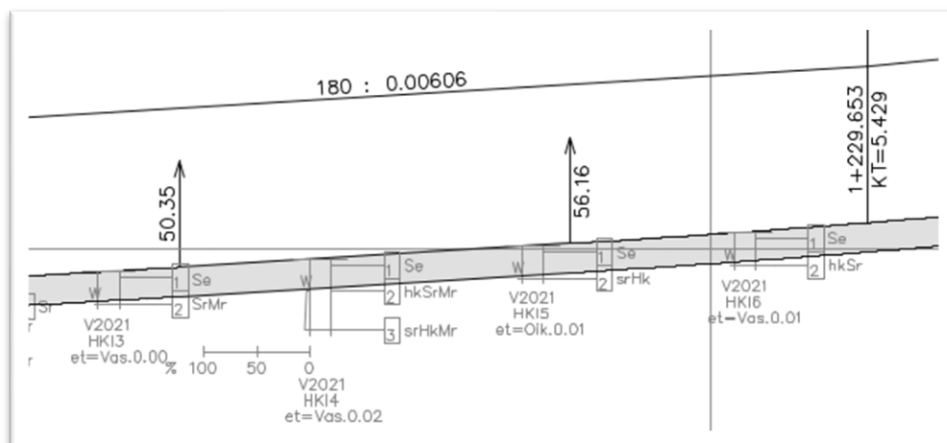
Työselostuksen B-osiossa tuodaan esille yleisiä teknisiä vaatimuksia. Kohdassa 11210 Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat rakennukset ja rakenteet käydään läpi toimintaohjeet, jos alueella on havaittu nykyisellään routalevyjä. Kohdassa 11400 Poistettavat ja siirrettävät maa- ja pengerrakenteet kerrotaan poistettavista tuki-, väli-, ja eristyskerroksista sekä toimintaohjeet, mikäli ilmenee

pilaantuneita kaivettavia maa-aineksia. Kohtaan 12100 Haitta-aineita sisältävät kaivetut maa-ainekset avataan hieman laajemmin maaperän pilaantuneisuuden ympäristötekniistä tutkimusraporttia ja toimintaohjeita, jos pilaantuneita maa-aineksia ilmaantuu rakentaessa. Kohdassa 14210 ohjeistetaan roudaneristysten käytöstä. Kohdissa 21220 Eristyskerrokset ratarakenteissa ja 21230 Välikerrokset ratarakenteissa kerrotaan rakennekerrosten materiaali vaatimuksista ja paksuuksista. Kohdassa 21510 Siirtymäkiilat ohjeistetaan rakennekerrosten sekä routaeristykseen siirtymäkiilojen tekemiseen, kun liitytään uudesta rakenteesta olemassa olevaan rakenteeseen.

Työselostuksen C-osa on rakennustapaselostus. Kohtaan C.1 Maaperäkuvaus tulee avata kohteen pohjamaan ominaisuuksia, kertoa nykyisistä raiteista sekä päällys- ja alusrakenteesta ja maaperän pilaantuneisuustutkimuksen tuloksista. Kohdassa C.3 Vaihteen vaihto, alus- ja pohjarakennetyöt ohjeistetaan yksityiskohtaisemmin routaeristykseen ja rakennekerrosten rakentamiseen.

#### 4.6.4 Pituusleikkaus

Alusrakennesuunnittelijan tehtävänä on lisätä pituusleikkauksiin pohjatutkimukset niin, että oleellimmat kairaukset ja näytetulokset näkyvät pituusleikkauksessa. Pohjatutkimukset eivät saa olla päällekkäin ja epävirallisten maalajien, eli useimmiten sepelin, tulee olla näkyvissä. Vesipitoisuuden mitta-asteikko täytyy olla esitettynä kertaalleen pituusleikkauksessa. Pohjatutkimukset täytyy esittää harmaalla. Kuvassa 36 on esitetty pohjatutkimusten oikeaoppinen esitystapa pituusleikkauksessa niin, että yleisilme on siisti ja selkeä.



KUVA 35. Esimerkki pohjatutkimusten esitystavasta pituusleikkauksessa

## 5 YHTEENVETO

Routimisesta aiheutuvat ongelmat rataverkolla ovat vuosittaisia. Routakohteiden korjaamiseen ja poistamiseen tarvitaan useiden teknisten alojen osaamista sekä kattavaa aineistoa rataverkon routimishistoriasta, jotta routimisen juurisyyt saadaan selvitettyä luotettavasti ja korjaustoimenpiteet kohdistettua oikein. Yksittäisten routapaikkojen korjaus on sekä liikenteellisesti että kustannusten kannalta haastavaa, joten toistuvia routapaikkoja pyritään korjaamaan mahdollisimman laajasti perusparannushankkeiden yhteydessä. Väyläviraston ylläpitämä routarekisteri ja roudanhallintaraportti ovat hyödyllisiä työkaluja niin suunnittelijalle, tilaajalle kuin kunnossapitäjille, kun suunnitellaan ja mitoitetaan korjaustoimenpiteitä.

Opinnäytetyön kirjallisuusselvityksen tavoitteena oli perehtyä radan rakenteeseen, routaan ilmiönä, routimisen aiheuttamiin ongelmiin ja niiden syihin rataverkolla sekä ratarakenteen rakennusmateriaalien ja routamitoituksen virallisiin ohjeisiin ja määräyksiin. Tarkoituksena oli myös lisätä Proxion Plan Oy:lle osaamista ja tietämystä alusrakennesuunnittelusta sekä laatia rautatieliikennepaikkojen alusrakenteen suunnitteluohje yrityksen sisäiseen suunnittelu- ja asiantuntijapalveluiden Holvi-tiepankkiin.

Alusrakennesuunnittelussa, kuten muissakin geoteknistä suunnittelua vaativissa projekteissa, pohjatutkimustulosten luotettavuus on ratkaisevassa roolissa. Pohjatutkimustulokset ovat yksi mitoituksen lähtötiedoista. Tämänhetkinen pohjatutkimuskonsulttien kiire saattaa kuitenkin aiheuttaa epätarkkuutta tutkimusten tekemisessä, mikä taas heijastuu suunnittelutarkkuuteen.

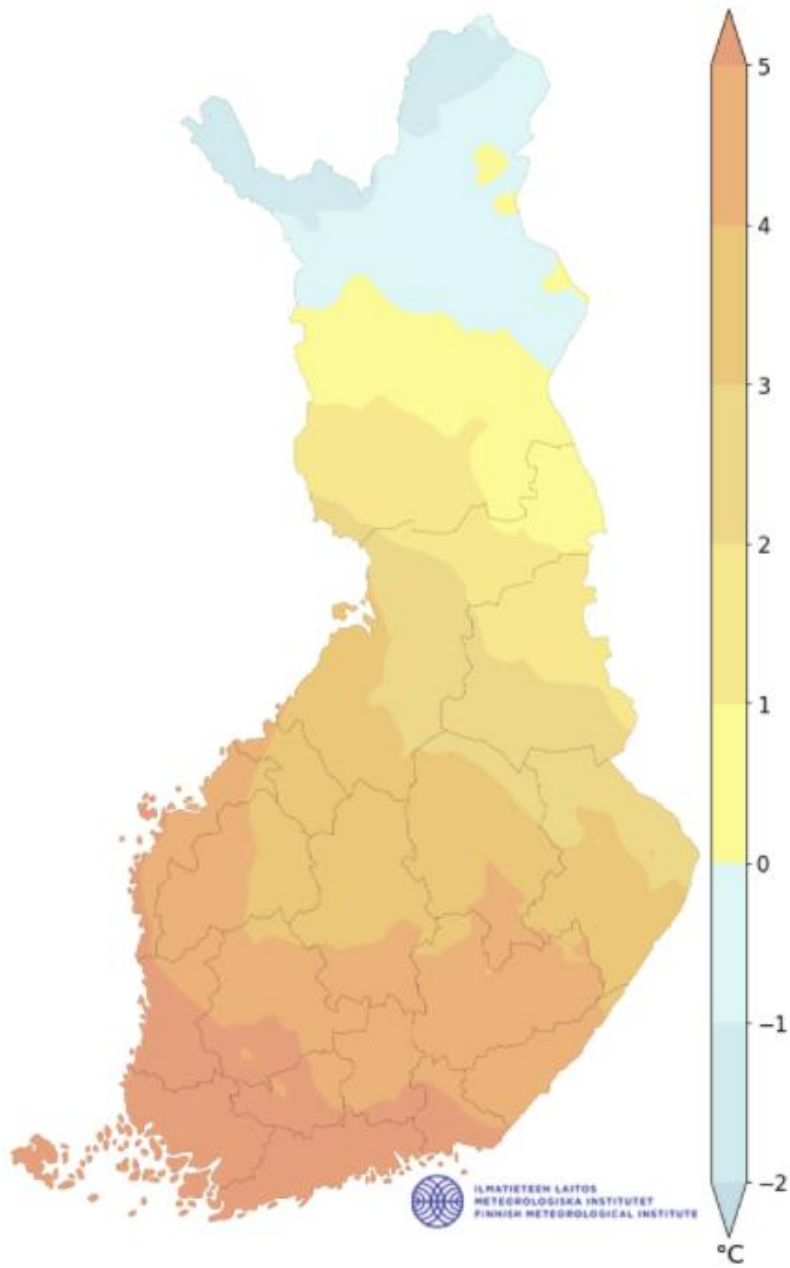
Työssä saatiin laadittua Proxion Plan Oy:lle rautatieliikennepaikkojen alusrakennesuunnittelua koskeva ohje, jota voidaan hyödyntää jatkossa alusrakennesuunnittelua vaativissa projekteissa. Ohje pyrittiin tekemään sopivan lyhyeksi, jotta se olisi käytännöllinen ja sitä olisi helppo seurata.

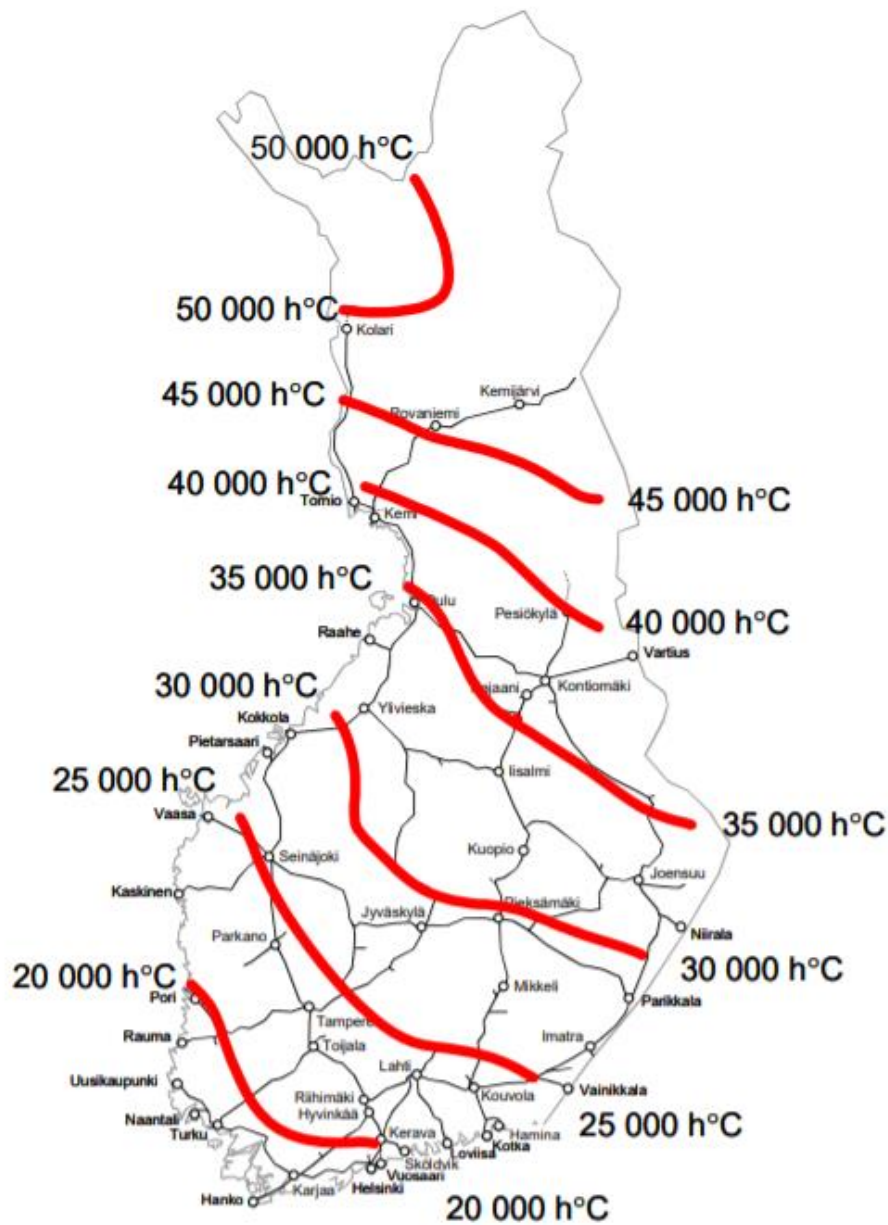


## LÄHTEET

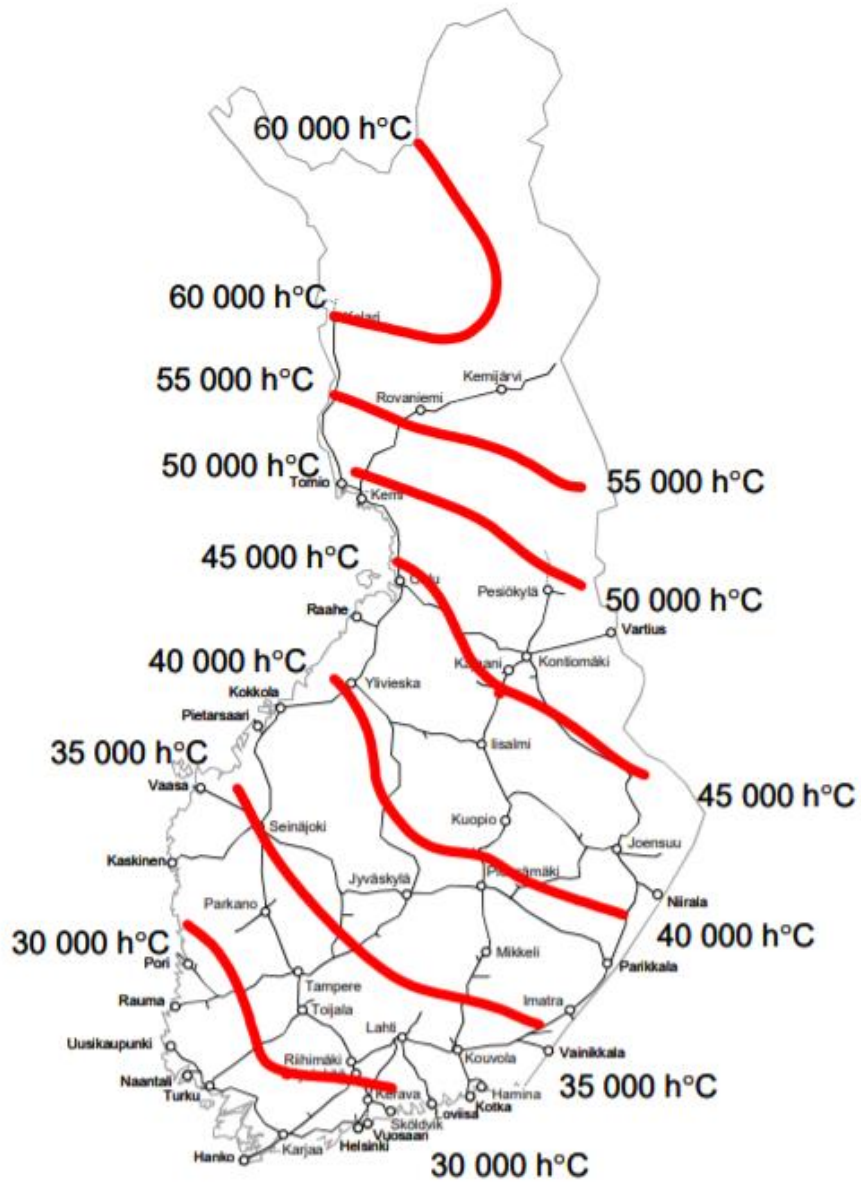
1. Liikennevirasto 2015. Routa ja routiminen ratarakenteessa. Hakupäivä 2.12.2021. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2015-22\\_routa\\_routiminen\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2015-22_routa_routiminen_web.pdf).
2. Väylävirasto 2021. Roudan hallintaraportti 2021. Hakupäivä 4.1.2022. [https://rhk-fi.directo.fi/@Bin/b212140dd970c2eb4cd568a8f4c3ce59/1645507809/application/pdf/7383169/Roudan\\_hallintaraportti%202021.pdf](https://rhk-fi.directo.fi/@Bin/b212140dd970c2eb4cd568a8f4c3ce59/1645507809/application/pdf/7383169/Roudan_hallintaraportti%202021.pdf). (Vaatii käyttäjälisenssin).
3. Liikennevirasto 2013. Ratojen routaongelmat Suomessa. Hakupäivä 3.1.2022. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts\\_2013-56\\_ratojen\\_routaongelmat\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2013-56_ratojen_routaongelmat_web.pdf).
4. Liikennevirasto 2014. Sorateiden kunnossapito. Hakupäivä 4.1.2022. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2014-01\\_sorateiden\\_kunnossapito\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-01_sorateiden_kunnossapito_web.pdf).
5. Ratahallintokeskus 2002. Ratarakenteen routasuojaus. Hakupäivä 2.12.2021. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk\\_2002\\_a1.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk_2002_a1.pdf).
6. Väylävirasto 2021. Ratojen routasuojaustarpeen selvittäminen. Hakupäivä 22.11.2021. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo\\_2021-37\\_ratojen\\_routasuojaustarpeen\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2021-37_ratojen_routasuojaustarpeen_web.pdf).
7. Ratahallintokeskus 2000. Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO) osa 15 Radan kunnossapito. Hakupäivä 5.1.2022. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rato\\_15\\_radankunnossapito.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rato_15_radankunnossapito.pdf).
8. Ratahallintokeskus 2004. Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO) osa 13 Radan tarkastus. Hakupäivä 21.2.2022. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rato\\_13\\_radantarkastus.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rato_13_radantarkastus.pdf).
9. Väylävirasto 2020. Roudan hallintaraportti 2020. Hakupäivä 21.2.2022. [https://rhk-fi.directo.fi/@Bin/cf2da40003ef20185f57d6c8973b1970/1645507789/application/pdf/6933818/Roudan%20hallintaraportin\\_2020.pdf](https://rhk-fi.directo.fi/@Bin/cf2da40003ef20185f57d6c8973b1970/1645507789/application/pdf/6933818/Roudan%20hallintaraportin_2020.pdf). (Vaatii käyttäjälisenssin).
10. Ratahallintokeskus 2005. Raiteentarkastustulokset ja niiden tulkinta. Hakupäivä 22.2.2022. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk\\_radantarkastusohjeita\\_raiteentarkastustulokset.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk_radantarkastusohjeita_raiteentarkastustulokset.pdf).
11. Liikennevirasto 2018. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 1 Yleiset perusteet. Hakupäivä 22.11.2021. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2018-31\\_rato1\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-31_rato1_web.pdf).
12. Väylävirasto 2021. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 7 Rautatieliikennepaikat. Hakupäivä 22.2.2022. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo\\_2021-23\\_rato7\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2021-23_rato7_web.pdf).
13. Väylävirasto 2022. Ratatiedon extranet. Hakupäivä 22.2.2022. [https://rhk-fi.directo.fi/tietopalvelu/rhk\\_n\\_extranet/](https://rhk-fi.directo.fi/tietopalvelu/rhk_n_extranet/). (Vaatii käyttäjälisenssin).
14. Väylävirasto 2021. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 11 Radan päällysrakenne. Hakupäivä 22.11.2021. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo\\_2021-29\\_rato11\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2021-29_rato11_web.pdf).

15. Rakennustieto 2021. InfraRYL. 24100 Tukikerrokset ratarakenteissa. Hakupäivä 24.11.2021. [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2021\\_1/24000.html#TL24100id2863467](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2021_1/24000.html#TL24100id2863467). (Vaatii käyttäjälisenssin).
16. Liikennevirasto 2018. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3 Radan rakenne. Hakupäivä 16.11.2021. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2018-13\\_rato3\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-13_rato3_web.pdf).
17. Rakennustieto 2021. InfraRYL. 21230 Välikerrokset ratarakenteissa. Hakupäivä 22.2.2022. [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2021\\_1/21230.html#TL21220id1533772](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2021_1/21230.html#TL21220id1533772). (Vaatii käyttäjälisenssin).
18. Rakennustieto 2021. InfraRYL. 21220 Eristyskerrokset ratarakenteissa. Hakupäivä 23.2.2022. [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2021\\_1/21220.html#TL21112id810907](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2021_1/21220.html#TL21112id810907). (Vaatii käyttäjälisenssin).
19. Väylävirasto 2021. Väylähankkeiden suunnitteluperusteiden menettelykuvaus. Hakupäivä 23.2.2021. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo\\_2021-38\\_vaylahankkeiden\\_suunnitteluperusteiden\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2021-38_vaylahankkeiden_suunnitteluperusteiden_web.pdf).
20. Ratahallintokeskus 2002. XPS-routalevyjen tekniset toimitusehdot. Hakupäivä 24.2.2022. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk\\_xps-routalevyjen\\_teknoimehdot.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk_xps-routalevyjen_teknoimehdot.pdf)
21. Rakennustieto 2021. InfraRYL. 14211.3.3. Solumuovisten roudaneristysten tekeminen ratarakenteissa. Hakupäivä 22.11.2021. [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2021\\_1/14210.html#TL14211id1596447](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2021_1/14210.html#TL14211id1596447). (Vaatii käyttäjälisenssin).
22. Liikennevirasto 2017. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 16 Väylät ja laiturit. Hakupäivä 23.2.2022. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2017-43\\_rato16\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-43_rato16_web.pdf).

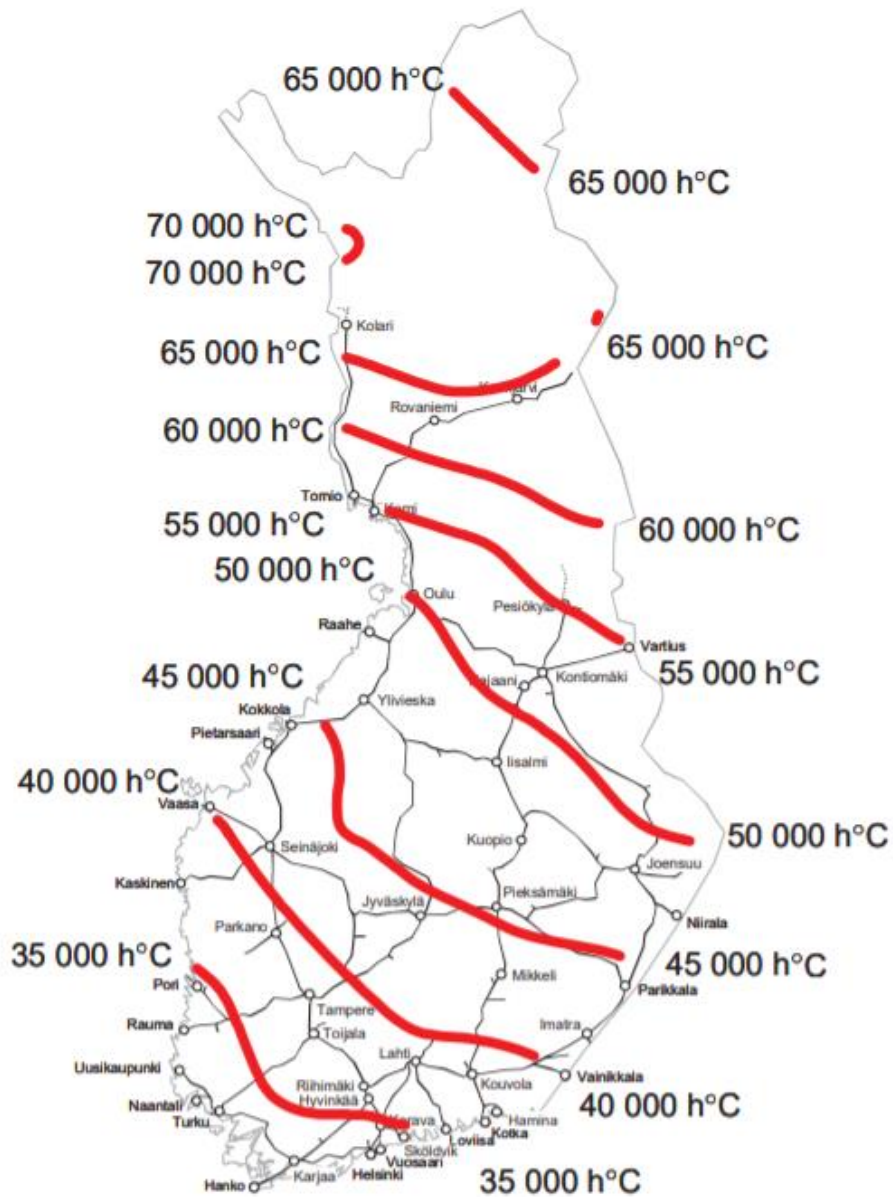




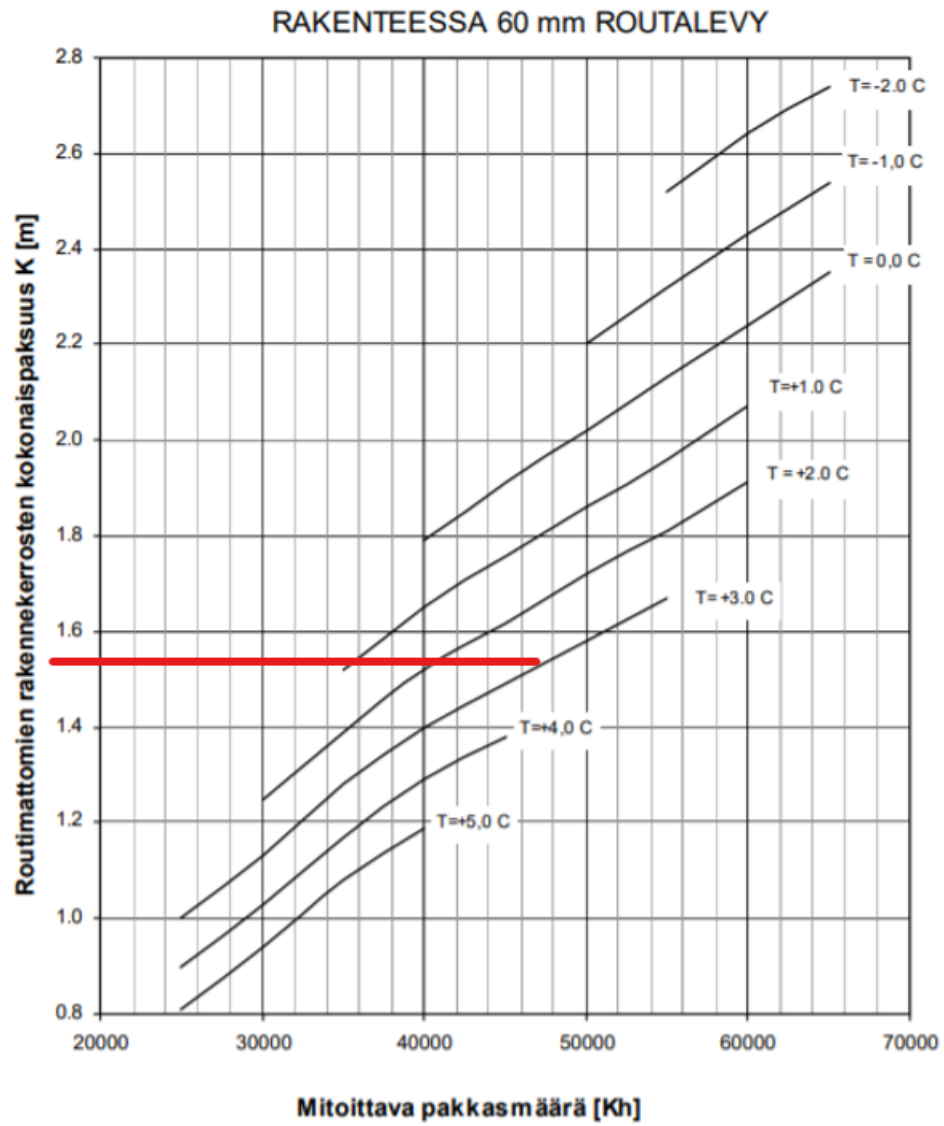
Kuva 7. Kerran 5 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä  $F_5$  (h°C) kauden 1978-2007 ilman lämpötilahavaintojen perusteella.

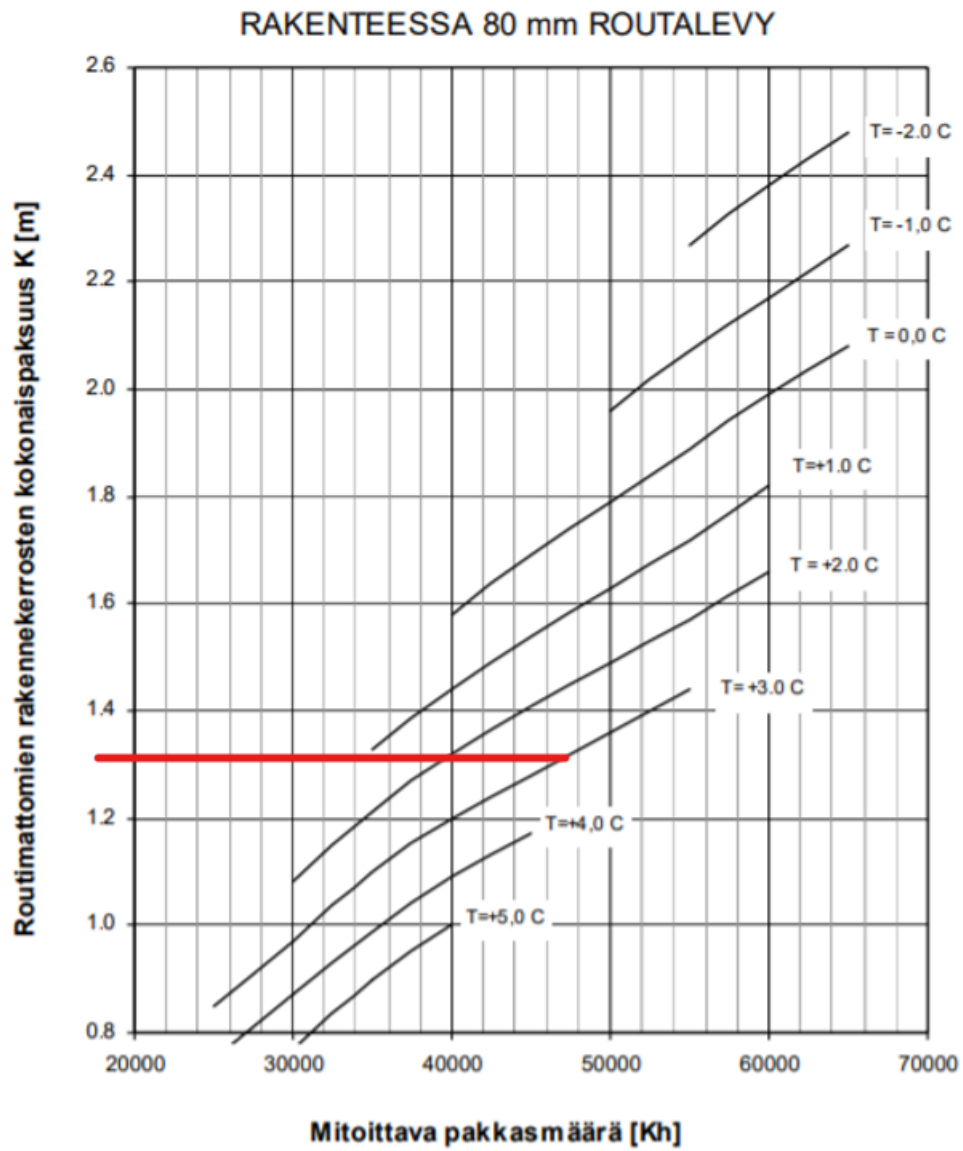


Kuva 8. Kerran 20 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä  $F_{20}$  ( $h^{\circ}C$ ) kauden 1978–2007 ilman lämpötilahavaintojen perusteella.

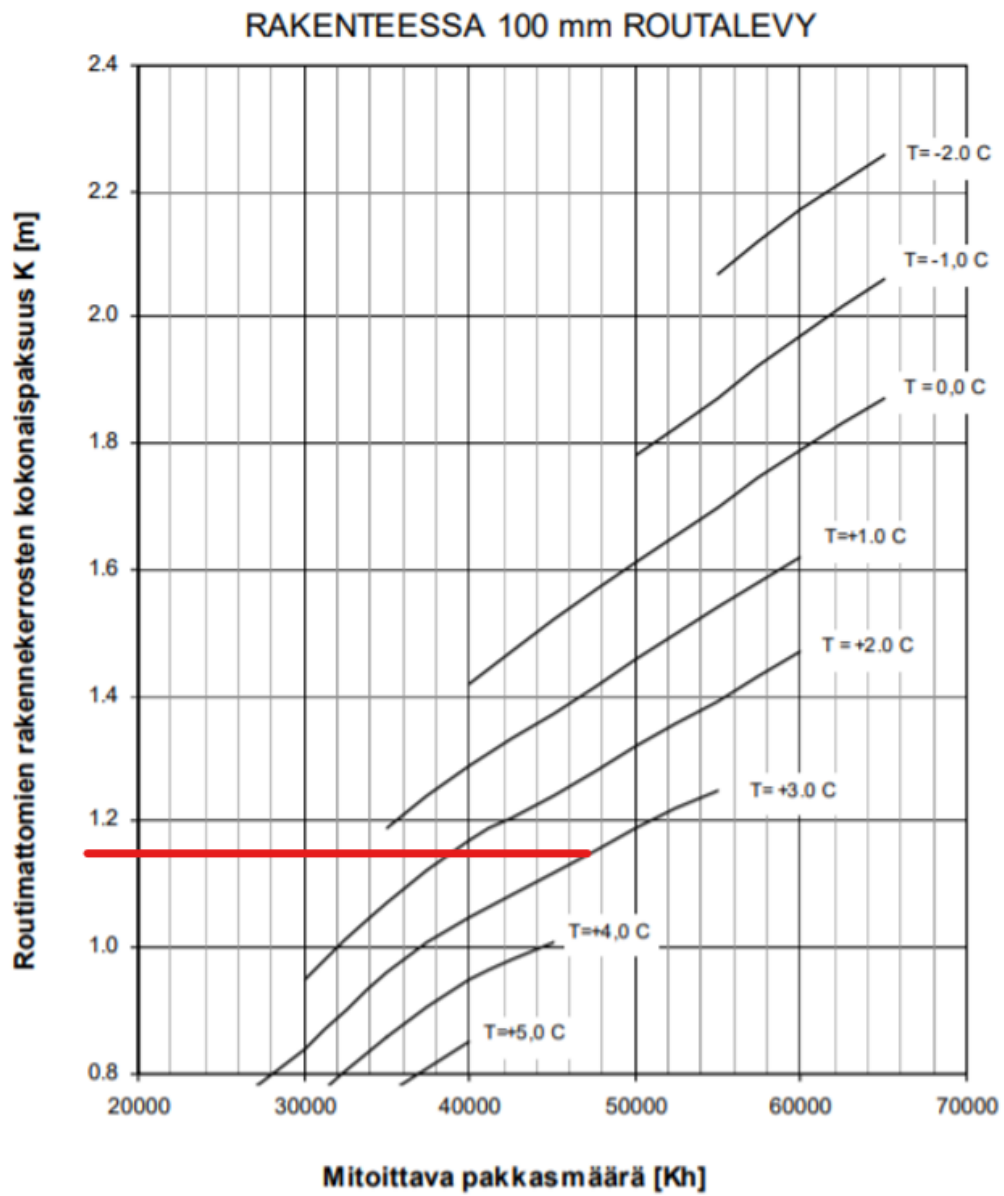


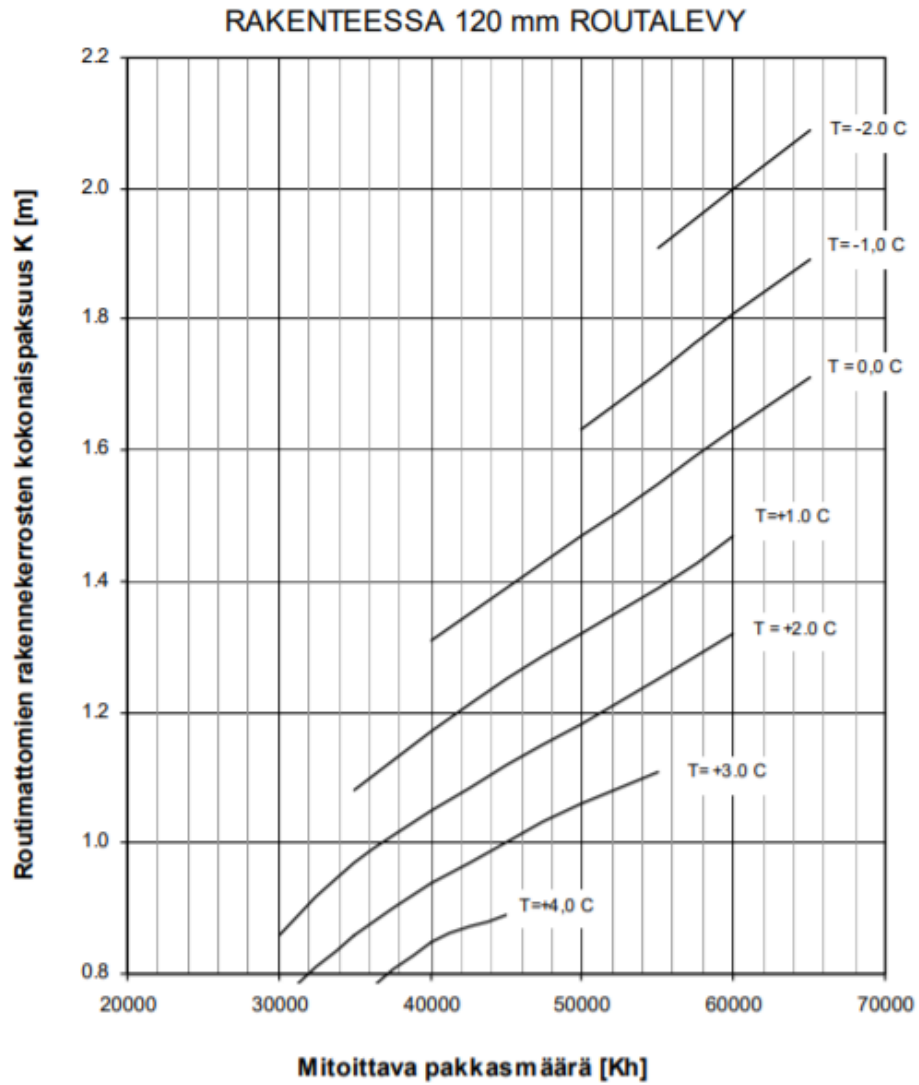
Kuva 9. Kerran 50 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä  $F_{50}$  ( $h^{\circ}C$ ) kauden 1978–2007 ilman lämpötilahavaintojen perusteella.











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