



Ida-Maria Savila

Runkomelueristeen vaikutus raitiotien alusrakenteeseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

25.11.2021

Tiivistelmä

Tekijä: Ida-Maria Savila
Otsikko: Runkomelueristeen vaikutus raitiotien alusrakenteeseen
Sivumäärä: 59 sivua + 6 liitettä
Aika: 25.11.2021

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine: Infrarakentaminen
Ohjaajat: Geosuunnittelija, Emmi Hietala
Lehtori, Anu Ilander

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Kruunusillat-allianssille ja se käsittelee runkomelueristeen vaikutusta raitiotien alusrakenteeseen. Työn tavoitteena oli tutkia miten Kruunusillat-hankkeelle valittu runkomelueriste vaikuttaa raitiotien alusrakenteen kantavuuteen ja routivuuteen. Kruunusillat-allianssi suunnittelee ja rakentaa uuden raitiotieyhdyden Helsingin keskustasta Laajasaloon ja samalla parantaa olemassa olevaa kaupungin infraa.

Työ käsittelee raitiotien alusrakenteeseen rakennettavaa runkomelueristettä, jonka tarkoitus on vaimentaa raitiotievaunun liikkeestä syntyvää runkomelua ja värähtelyä. Runkomelu voi kantautua pitkiäkin matkoja tiivistä pohjamaata pitkin ympäristöön ja rakenteisiin. Kruunusillat-hankkeeseen valittu runkomelueriste on Vibisol Purasyksen polyuretaanipohjainen levy, jolla on sekoitesolurakenne.

Työn teoriaosuudessa käsitellään runkomelueristeen vaikutukseen tarvittavia Väyläviraston hyväksymiä mitoitusohjeita ja InfraRYL rakentamisen laatuun liittyviä asioita. Koska raitiotie rakennetaan osaksi kadun rakennetta, työssä on käsitelty sekä kadun, että radan rakenteiden määräytyksiä. Lisäksi hankkeen suunnitteluperusteissa määritellään rakennettavan raitiotien tavoitekantavuus vallitsevan katuluokan perusteella, jonka takia kadun mitoitusperiaatteita käsitellään työssä. Teoriaosuudessa kerrotaan routamitoituksen laskentamenetelmästä ja kantavuuslaskennan Odemarkin kaavan muodostumisesta. Teoriaosuudessa käsitellään myös laskentoihin tarvittavia tutkimuksia ja maaperän ominaisuuksia.

Hankkeen esittelyssä kerrotaan Kruunusillat-hankkeen suunnitteluperusteista, joiden perusteella routa- ja kantavuustutkimus tehtiin, sekä Kruunuvuorenrannan Koirasaa-
rentien maaperäolosuhteista ja lähtötiedoista, jonka rakennetulle katualueelle työn tutkimus sijoittuu. Työn kantavuusmitoitus tehtiin Odemarkin kaavalla ja routamitoitus Tierakenteen suunnitteluohjeen mukaan, koska raitiotien routamitoitus suunnitellaan kadun mitoitusperusteiden mukaan. Laskennat tehtiin ilman runkomelueristettä ja sen kanssa, jotta pystyttiin vertailemaan eristeen vaikutusta tuloksiin. Kantavuusmitoituksen tuloksena runkomelueriste heikentää raitiotien kantavuutta. Routamitoituksen tuloksena taas runkomelueriste parantaa raitiotien alusrakenteen eristävyyttä.

Avainsanat: raitiotie, alusrakenne, kantavuus, routivuus, runkomelueriste

Abstract

Author: Ida-Maria Savila
Title: Effect of vibration isolation on tramway substructure
Number of Pages: 59 pages + 6 appendices
Date: 25 November 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Environmental Construction
Instructors: Emmi Hietala, Geotechnical Designer
Anu Ilander, Principal Lecturer

This thesis was implemented for the Crown Bridges Alliance and deals with the effect of vibration insulation on the substructure of a tramway. The aim of the work was to investigate how the vibration insulation chosen for the Crown Bridges project affects the carrying capacity and frost susceptibility, of the tramway substructure. The Crown Bridges Alliance is planning and building a new tram connection from the center of Helsinki to Laajasalo and at the same time improving the city's existing infrastructure.

The work deals with the vibration insulation built into the tram substructure, the purpose of which is to dampen the frame noise and vibration generated by the movement of the tram. Frame noise can travel long distances along hard ground to the environment and structures. The frame noise insulation selected for the Crown Bridges project is Vibisol Purasys. It is a polyurethane-based sheet with a mixed cell structure.

Since the tramway will be built as part of the street structure, the work has dealt with the specifications and dimensioning of both the street and track structures. In addition, the design criteria of the project define the target carrying capacity of the tramway to be built on the basis of the prevailing road category, which is why the sizing principles of the street are discussed in the work. The theoretical part describes the frost dimensioning calculation method and the formation of the Odemark formula for the carrying capacity calculation. The theoretical part also deals with the studies needed for calculations and soil properties.

The carrying dimensioning of the work was done according to Odemark formula and the frost dimensioning according to the road structure design guidelines, because the tramway frost dimensioning is designed according to the street dimensions. Calculations were made without and with vibration insulation to be able to compare the effect of insulation on the results. As a result of the load-bearing dimensioning, the frame noise insulation reduces the carrying capacity of the tramway. As a result of frosting, the frame noise insulation improves the insulation of the tram substructure.

Keywords: tramway, tram, substructure, carrying capacity, frost susceptibility, frost boil, vibration isolation

Sisällys

1	Johdanto	6
2	Raitiotien alusrakenne	8
2.1	Alusrakenteen ja päällysrakenteen määritelmä	8
2.2	Raitiotien geoteknisen luokan määräytyminen	11
2.3	Kadun mitoitushojeet raitiotiesuunnittelussa	12
2.3.1	Kadun routamitoitus raitiotiesuunnittelussa	15
2.3.2	Kantavuusmitoitus raitiotielle ja kadulle	24
3	Kruunusillat-raitiotie	27
3.1	Raitiotieyhteys Helsingin keskustasta Laajasaloon	27
3.2	Kruunusillat-raitiotien suunnitteluperusteet	29
4	Koirasaarentien keskiosan pohjamaa	32
4.1	Maaperän kuvaus	32
4.1.1	Olemassa olevat pohjanvahvistukset	33
4.1.2	Olemassa olevat rakennekerrokset	35
4.1.3	Pohjamaan kantavuus	36
4.1.4	Pohjamaan routivuus	38
5	Kruunusillat-raitiotien runkomelueriste	39
5.1	Eristetyyppi	41
5.2	Tekniset ominaisuudet	42
6	Runkomelueristeen vaikutus alusrakenteessa	45
6.1	Kantavuusvertailu Odemarkin kaavalla	45
6.2	Routivuusvertailu	49
6.3	Routivuusvertailu routaeristeeseen	53
7	Yhteenveto	55
	Lähteet	59
	Liitteet	

Liite 1: Koirasaarentien pohjanvahvistuskartta, plv 145-430, Toteutetut pohjanvahvistukset

Liite 2: Koirasaarentien pohjanvahvistuskartta

Liite 3: Koirasaarentien levykuormituskoe, pöytäkirja 1

Liite 4: Koirasaarentien levykuormituskoe, pöytäkirja 2

Liite 5: Purasys, Product data sheet

Liite 6: Runkomelueristeiden ja meluntorjunnan alueiden määrittäminen, Kruunuvuorenranta

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee runkomelueristeen vaikutusta raitiotien alusrakenteeseen. Työ toteutettiin Kruunusillat-allianssille, joka toteuttaa raitiotieyhteyden Helsingin keskustasta Laajasaloon. Sweco Infra & Rail Oy on mukana suunnittelemassa Kruunusillat-hanketta. Sweco on rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntija, joka suunnittelee tulevaisuuden kaupunkeja ja kestävämpää yhteiskuntaa. Sweco Infra & Raililla on pitkäaikaista osaamista raidehankkeista ja on ollut mukana myös Suomen isoissa raitiotiehankeissa.

Kruunusillat-raiotien kokonaispituus on noin 10 kilometriä, jonka yhteydessä rakennetaan kolme uutta siltaa, pyöräliikenteelle baanayhteys, kävelyteitä, parannetaan kunnallistekniikkaa ja toteutetaan muita maarakennus- ja kadunrakennustöitä. Uudet rataosat toteutetaan nykyisen raitioverkon kanssa yhteensopivana pikaraitiotienä. Kruunusillat-hanke edistää kestävästä liikkumisesta kävelyn, pyöräilyn ja joukkoliikenteen parantamisella Helsingin liikenteessä. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan hankkeen Kruunuvuorenrannan ja Koirasaarentien osuutta ja suunnitelmia, jotka sijoittuvat Laajasaloon.

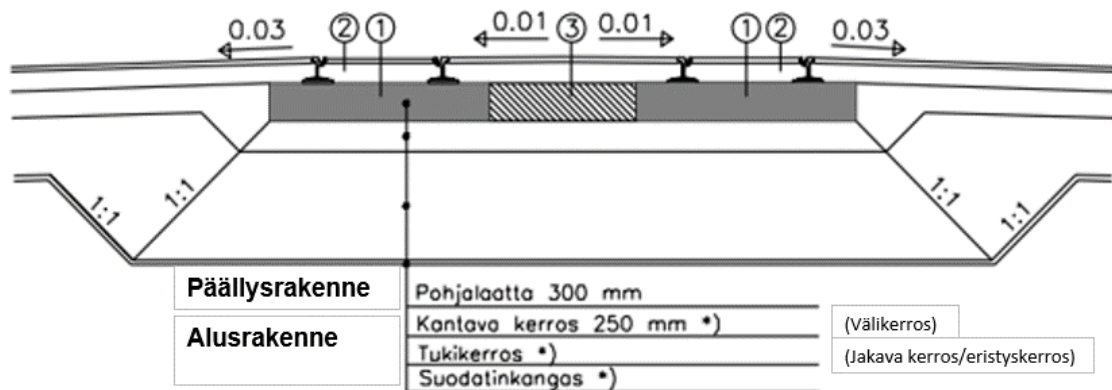
Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, minkälainen vaikutus runkomelueristeellä on raitiotien alusrakenteen kantavuuteen ja routivuuteen. Tarkasteltavina kohteina ovat Kruunuvuorenrannan pohjamaan olosuhteet, edellisen katusuunnitelmavaiheen suunnitelmat ja vaikutus raitiotien rakentamiseen. Työssä tutkitaan myös Koirasaarentien kadun toteumatietojen ja tarketietojen soveltuvuutta ja toteutetun täytön laatua. Työn pääaiheena tutkitaan runkomelueristeen eristävyttä ja tarkastellaan, voiko runkomelueriste korvata routaeristystä raitiotien rakenteessa. Tavoitteena on saada tietoa, onko käytöllä erityisiä hyötyjä runkomelueristämisen lisäksi alusrakenteessa. Työssä käsitellään runkomelueristeen teknisiä ominaisuuksia, raitiotien alusrakennetta ja routa- ja kantavuusmitoitusta. Työn tavoitteena on tuottaa raportti, jota voidaan käyttää hyödyksi myös muissa vastaavissa hankkeissa.

Runkomelueristeen eristävyys ja kantavuuden tutkimisessa noudatettiin Väyläviraston ohjeita mm. routamitoituksessa ja InfraRYLin laatuvaatimuksia. Lisäksi työn yhteydessä tutkittiin Kruunusillat-hankkeen rakentamisen periaatteita, kuten raitiotien alusrakennepohjaa, suunnitteluperusteita ja laatuvaatimuksia. Työn teoriaosuudessa on käsitelty raitiotien rakenteiden mitoitusperiaatteita, joissa sovelletaan kadun suunnittelua, koska Kruunusillat-raitiotie toteutetaan pääosin katualueelle.

2 Raitiotien alusrakenne

2.1 Alusrakenteen ja päällysrakenteen määrittelmä

Raitiotien suunnittelussa sovelletaan sekä radan, että kadun ohjeita ja määräyksiä, sillä raitiotien päällysrakenne muodostuu radan rakenteista ja alusrakenne taas muodostuu vallitsevan kadun rakenteista, jos raitiotie sijaitsee katualueella. Raitiotien rakenne sisältää siis päällysrakenteen ja alusrakenteen. Raitiotien päällysrakenteen tehtävänä on kantaa raitiotievaunu ja jakaa kuorma alusrakenteelle, josta kuormitukset jakautuvat pohjamaahan tai esimerkiksi pohjanvahvistusrakenteelle. Raitiotien päällysrakenne muodostuu kiskoista, pölkkyistä ja betonisesta raitiotielaatasta (kuva 1 ja taulukko 1). Laatan päälle voidaan asentaa vielä päällyste, joka voi olla nurmi-, asfaltti- tai kivipintainen. Mikäli raitiotien, päällysrakenteeseen toteutetaan laattarakenne, kutsutaan sitä kiintoraideosuudeksi. Runkomelueriste asennetaan tarvittaessa raitiotieradan pohjalaatan alapuolelle. Raitiotielaatta voidaan myös korvata sepelitukikerroksella, jolloin pölkkyt ja kiskot asennetaan sepelipedin päälle. Sepeliraideosuuksia ei yleensä rakenneta katurakenteisiin kaupunkialueilla (vrt. Raidejokeri - Kehä I).



1. Pohjalaatta 1.80 x 0.30
2. Pintalaatta betonia tai asfalttia
3. Pohjalaatta voidaan toteuttaa myös yhtenäisenä

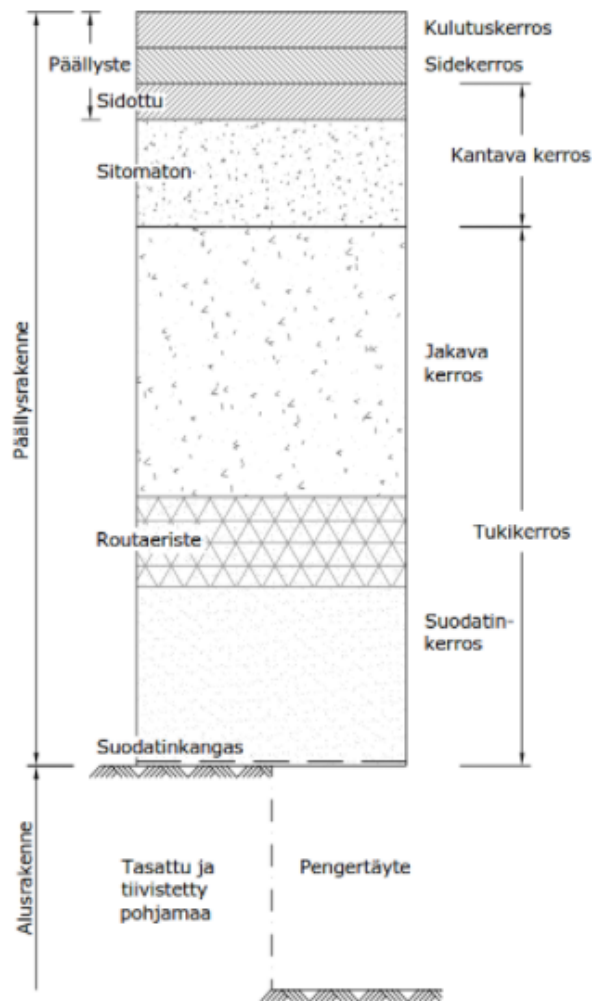
*) Rakennekerrokset mitoitetaan pohjamaan kantavuuden ja routivuuden perusteella.

Kuva 1. Raitiotien rakennekerrokset (Raitioteiden suunnitteluohje 2018).

Alusrakenteella tarkoitetaan kiintoraidelaatan alapuolista eristys- ja välikerrosta (EV-kerros). Välikerroksen eli kantavan kerroksen tarkoitus on muodostaa raitiotielaatalle tasainen ja kantava alusta niin, ettei raitiotien päällysrakenteen materiaali sekoitu alusrakenteen kerrokseen. Eristyskerros eli jakava kerros sijaitsee kantavan kerroksen alapuolella. Eristyskerros estää tai vähentää sen alapuolella olevien maakerrosten routimista ja rakenteiden rikkoutumista sääolosuhteiden vaikutuksesta. Se muodostaa myös kantavalle kerrokselle tasaisen ja kantavan alustan, joka siirtää ja jakaa kuormat alapuoliselle pohjamaalle. Eristyskerros lisäksi estää ja suodattaa kapilaarisen vedennousun kerroksen alaosaan. Katuosuuksilla raitiotien alusrakenne muodostuu kadun rakenteista eli raitiotie rakennetaan kadun kantavan kerroksen päälle (kuva 2.). Kantavan kerroksen tehtävänä on kantaa raitiotien päällysrakenteen kuorma. Kantavan kerroksen alapuolella sijaitsee tukikerros, joka voidaan jakaa vielä jakavaan kerrokseen ja suodatinkerrokseen. [1, s. 8.]

Taulukko 1. Raitiotien rakennekerrokset Kruunusillat-hankkeella.

Raitiotien rakennekerrokset			
	Rakennekerros	Materiaali	Paksuus [m]
PÄÄLLYSRAKENNE	Raitiotien päällyste ja 60R2-kisko	Nurmi, asfaltti, kivi	0,18
	Raitiotielaatta ja puolipölkky / Kantava kerros	Betoni / Kalliomurske	0,37
	Runkomelueriste (eriste ja tasauskerros)		0,10
	Yhteensä:		
ALUSRAKENNE	Kantava kerros (välikerros)	Kalliomurske	0,30
	Jakava kerros (eristyskerros eli tukikerros)	Kalliomurske	0,80
	Suodatinkerros	Suodatinkangas N3	
	Yhteensä:		



Kuva 2. Kadun päällysrakenne ja rakennekerrokset (Katu2020 2021).

Alusrakenteeseen voidaan tarvittaessa myös asentaa routalevy ja suodatinkerros. Routalevy asennetaan välikerroksen alapuolelle ja sen tehtävä on eristää rakenteita ja vähentää ja estää rakenteiden alla olevien maakerrosten routimista. Suodatinkerros asennetaan tarvittaessa alusrakenteen alimmaksi kerrokseksi estämään eristyskerroksen ja pohjamaan sekoittumisen. Raitiotieradan alusrakenteen kerrosten materiaali- ja laatuvaatimukset on esitetty InfraRYLissä ja niitä voidaan soveltaa hankekohtaisesti. [1, s. 8.]

Kun raitiotie sijaitsee pääosin katualueella, tulee suunnittelussa huomioida radan ja kadun rakenteiden yhteensovittaminen. Lisäksi sekaliikenteelle suunnitel-

tavat raitiotiet tulee mitoittaa sekä raitiotielle, että kaduille asetettujen vaatimusten mukaisesti. Raitiotieradan päällysrakenne eli raitiotielaatta, pölkyt ja kiskot kantavat raitiovaunun, mutta rata-alueen muut pintakerrokset ovat osa kadun rakennetta, joissa voi liikennöidä kumipyöräliikenne. Raitiotielaatan alapuoliset rakenteet ovat samat kuin kadulla. Kadun rakennekerrosten muodostuminen on muutoin erilainen kuin radan rakennekerrosten. Kadun alusrakenne muodostuu tasatusta ja tiivistetystä pohjamaasta tai pengertäytteestä ja sen kaikkia yläpuolisia rakennekerroksia nimitetään päällysrakenteeksi (kuva 3.). Kadun päällysrakenne käsittää päällysteen, kantavan kerroksen ja tukikerroksen. Kadun päällysrakenteen rakennekerrospakuudet mitoitetaan joko kuormituskestävyys- tai routamitoituksen mukaan. Mitoitus määräytyy määrävän mitoituksen mukaan, eli kummalla mitoituksella rakennepaksuus on paksumpi. [2.]

2.2 Raitiotien geoteknisen luokan määräytyminen

Rataan liittyvät alus- ja pohjarakenteet määritellään geoteknisen luokan mukaan. Geotekninen luokka määrittelee millaisia suunnitteluvaatimuksia rakenteen vaatimus määrää sen alus- ja pohjarakenteille. Geotekniseen luokkaa vaikuttaa suunniteltavan rakenteen yksinkertaisuus / monimutkaisuus, maapohjan laatu ja pehmeiden ja löyhien maakerrosten varaan toteutettujen rakenteiden vakavuuden, siirtymien ja painumien riskit. Lisäksi myös haasteelliset pohjavesiolosuhteet ja syvät kaivannot rakenteiden toteutusta varten vaikuttavat luokan määräytymiseen.

Geotekninen luokka vaikuttaa tarvittavien pohjatutkimusten määrään ja kattavuuteen sekä taitorakenteiden eli esimerkiksi siltojen suunnitelmien tarkastukseen. SFS EN 1997-1 -standardin mukaan geoteknisiä luokkia on GL1, GL2 ja GL3. GL1 on vaatimattomin luokkavaatimus, jossa rakenne on yksinkertainen, maapohja on kitkamaata (hiekkaa, soraa tai moreenia) tai kalliota ja vakavuuden, siirtymien ja painumien suhteen ei ole rakenteelle riskiä. GL3 on vaativin luokka, johon kuuluu suuret ja epätavalliset rakenteet, joihin liittyy riskejä esimerkiksi epätavallisen vaikeat pohjaolosuhteet. [3, s. 20.]

Kaikki rataan liittyvät alus- ja pohjarakenteet kuuluvat joko hyvin vaativaan geotekniseen luokkaan GL3 tai vaativaan luokkaan GL2. Tämä edellyttää, että suunnittelussa vaaditaan erityistä geoteknisestä osaamista ja pätevyyttä. Radan geotekninen mitoitus tulee olla liikennöinnin kannalta riittävää ja turvallista niin, että mahdollinen pohjamaan vahvistus ja pohjarakenteiden geotekninen ja rakenteellinen mitoitus ja varmuus on riittävä maapohjan tai rakenteiden sortumista, liiallista painumista, eroosiota ja rikkoutumista vastaan. Radat tulee suunnitella niin, että maapohja ja rakenteet kestävät tulevan radan liikennekuorman. InfraRYLissä ohjeistetaan rakenteiden suunnittelu ja rakentaminen ja käytettävien rakennemateriaalien laatuvaatimukset. Rakenteiden mitoitusta varten Väylävirasto on määritellyt erilliset mitoitusohjeet. [1, s. 11.]

2.3 Kadun mitoitusohjeet raitiotiesuunnittelussa

Väylän eli radan, kadun tai tien rakenteisiin kohdistuu monenlaisia kuormituksia eli rasituksia. Rakenteiden rikkoutumista ja kulumista voi aiheutua liikenteestä tai ilmastosta. Ilmastokuormituksen suurin haittatekijä Suomen olosuhteissa on pakkasesta johtuva maaperän routa. Roudalla tarkoitetaan lähinnä maaperän huokosissa olevan veden jäätymistä.

Väylärakenteiden routaantuessa eli jäätyessä talvisaikaan kantavuus kasvaa rakenteissa, mutta maapohjan epätasainen routiminen (routanousu) voi aiheuttaa väyliin vaurioita, kuten halkeamia ja epätasaisuutta. Nämä johtuvat siitä, että väylän routivaan alusrakenteeseen pääsee vettä tai se ei suodatu pois rakenteista ja pakkasen noustessa se jäätyy laajentaen myös ympäröiviä rakenteita. Tämän takia routanousu on huomioitava väylän mitoituksessa.

Myös liikenne on merkittävä tekijä väylän rakenteiden mitoituksen huomioimisessa. Liikenne kuormittaa rakenteita ja aiheuttaa väylän päällysteisiin kulumista ja deformaatiota eli muodonmuutosta. Väyläviraston tehtävänä on inventoida ja seurata mittauksilla väylien kuntoa ja ennustaa urautumista tasaisin vä-

liajoin. Kulumista pyritään myös ennaltaehkäisemään. Väyläviraston mitoitusohjeet ja InfraRYLin rakentamisen yleiset laatuvaatimukset on luotu takaamaan väylän kantavuuden mitoittamisen varmuuden.

Väylän rakenteen mitoituksen tavoitteena on mitoittaa rakenne niin, että se kestää suunnitellun liikennekuormituksen ja ilmastorasitukset niin, ettei rakenne vaurioidu merkittävästi ja kestää suunnitellun käyttöiän. Väyläviraston *Tierakenteen suunnittelu (38/2018)* -ohjeessa määritellään teiden ja katujen rakenteiden suunnittelun perusteet ja mitoitukset kantavuuden ja routivuuden suhteen. InfraRYLissä on asetettu vaatimukset kadun alusrakenteen kantavuudelle pohjamaaluokituksen mukaan, joita käytetään kuormituskestävyysmitoituksessa. Ratarakenteen mitoitus määritellään Väyläviraston *RATO 3 Radan rakenne* -ohjeessa, jossa on määritelty radan suunnittelulle omat alusrakenneluokat. Raitiotiehankeissa pohjamaaluokitus määritellään hankkeen kadun suunnitteluperusteiden mukaan.

Pohjamaan kantavuusluokitus eli pohjamaaluokka määräytyy kadun pohjamaan maalajin mukaan tai jos pengertäyte on yli 1 metrin, käytetään pengertäyteen kantavuusluokkaa. Pohjamaaluokka selviää pohjatutkimusten perusteella. Pohjatutkimuksilla selvitetään maaperän maalajit ja niiden ominaisuudet, kuten rakeisuus, vesipitoisuus ja humuspitoisuus. Lisäksi pohjatutkimuksilla selvitetään mahdolliset parametrit geoteknisiin laskelmiin. Pohjatutkimustulosten perusteella luodaan maaperäkuvaus, jossa kerrotaan suunnittelualueen pohjamaan ominaisuuksista ja maalajeista tarkemmin.

Pohjamaan eli alusrakenteen luokitus tehdään taulukon 2 mukaan, jossa alusrakenteiden luokat ovat A - G. Pohjamaan kantavuuteen vaikuttavat myös olemassa olevat pohjanvahvistukset, jotka tulee ottaa väylän rakenteen kantavuusmitoituksessa huomioon. Pohjanvahvistuksilla voidaan parantaa pehmeän pohjamaan, kuten saven kantavuutta. Tällaisia toimenpiteitä on muun muassa paa-lutus, massa- ja pilaristabilointi ja maapohjan kevennysrakenteet, kuten vaahtolasimurskekerros. Kadun alusrakenneluokka määräytyvät maamateriaalin kelpoisuuden ja olosuhteiden mukaan. [4.]

Taulukko 2. Kadun pohjamaan kantavuusluokitus (InfraRYL, Liite 1 2020).

Maalaji	Tarkennus	Lyhennys	Luokka
Kallio	kallio ¹⁾ louhe ¹⁾ murske ¹⁾	Ka Lo M	A
Kivet ¹⁾		Ki	A
Sora		Sr	B
Soramoreeni	routimaton ²⁾ routiva ²⁾	rton SrMr SrMr	C E (F) ⁴⁾
Hiekka	routimaton karkea routimaton keskik. routimaton hieno routiva keskik. routiva hieno	rton kaHk rton keHk rton hHk keHk hHk	C D D (E) ⁴⁾ E E (F) ⁴⁾
Hiekkamoreeni	routimaton ²⁾ routiva ²⁾	rton HkMr HkMr	D (E) ⁴⁾ E (F) ⁴⁾
Siltti Silttimoreeni		Si SiMr	F (G, E) ^{4) 5)}
Savi	kuivakuori ($h \geq 1$ m) sitkeä ($Su \geq 25$ kN/m ²) ³⁾ pehmeä ($Su < 25$ kN/m ²) ³⁾	kuivak. Sa Sa Sa	E F (E) ⁵⁾ G
Lieju Turve		Lj Tv	G

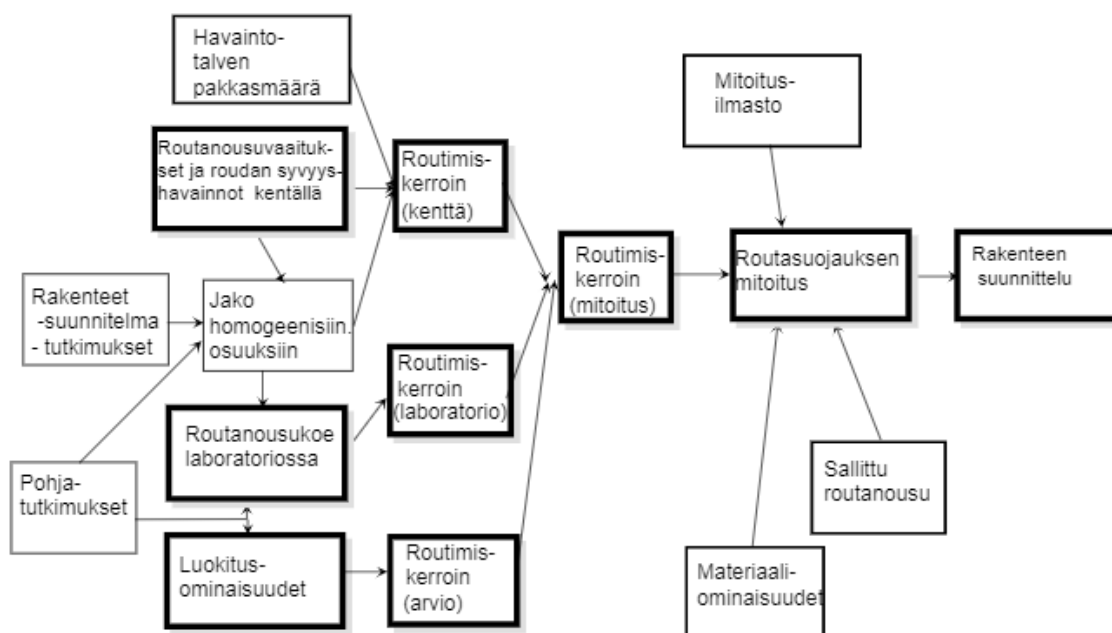
Taulukko 3. Alusrakenteiden kantavuudet (InfraRYL, Liite 1 2020).

Kantavuus	$A = 300 \text{ MN/m}^2$ $B = 200 \text{ MN/m}^2$ (150...280) $C = 100 \text{ MN/m}^2$ (70...150) $D = 50 \text{ MN/m}^2$ (35...70) $E = 20 \text{ MN/m}^2$ (15...35) $F = 10 \text{ MN/m}^2$ (5...15) $G = 5 \text{ MN/m}^2$
<p>Alusrakenteen kantavuus arvioidaan normaalisti pohjamaan maalajin perusteella. Jos pengertätteen paksuus on vähintään 1 m, käytetään pengertätteen kantavuusluokkaa. Jos pengertätteen paksuus on alle 1 m, alusrakenteen kantavuus voidaan laskea, kun E-moduuliksi valitaan pengertätteen kantavuusluokkaa vastaava kantavuus. Myös muut alusrakenteen pinnassa olevat varsinaista pohjamaata paremmin kantavat maakerrokset rinnastetaan tässä suhteessa pengertätteeseen.</p> <p>Huomautukset</p> <p>1) Routiva murske sekä routivaa maata sisältävä louhe ja kivet rinnastetaan vastaavaan routivaan maalajiin.</p> <p>2) Kantavuudeksi voidaan valita 35 MN/m^2, jos kyseessä on kuiva penger tai jos hienoainepitoisuus on enintään 20 % ja paikka ei ole märkä (ks. huomautus 4).</p> <p>3) Siipikairauksella todettu suljettu leikkauslujuus.</p> <p>4) Sulussa olevaa kantavuusluokkaa käytetään, kun maa-aines on märkää lopullisessa alusrakenteessa eli pohjaveden etäisyys alusrakenteen pinnasta on alle 1 m tai paikkaan kerääntyy pintavesiä.</p> <p>5) Penkereessä kuivana.</p>	

2.3.1 Kadun routamitoitus raitiotiesuunnittelussa

Väylän rakenne routii, jos routiva maapohja eli alusrakenne pääsee jäätymään, alusrakenteen materiaali on tarpeeksi hienorakeista ja vesi ei pääse suodattumaan pois rakenteesta. Routamitoitus tulee tehdä alusrakenteeltaan routiville katuosuuksille eli alusrakenneluokille E-G. Routamitoituksen tavoitteena on estää haitallinen routiminen, joka voi aiheuttaa rakenteiden rikkoutumista. Routanousua voidaan estää riittävän paksuilla routimattomista materiaaleista kuten kalliomurskeesta tehdyillä rakenteilla, lämpöä eristävillä materiaaleilla, teräsverkoilla vahvistetuilla päällysrakenteilla, siirtymäkiiloilla, pohjamaan tasalaatuistamisella ja pohjaveden virtauksen säätelyllä.

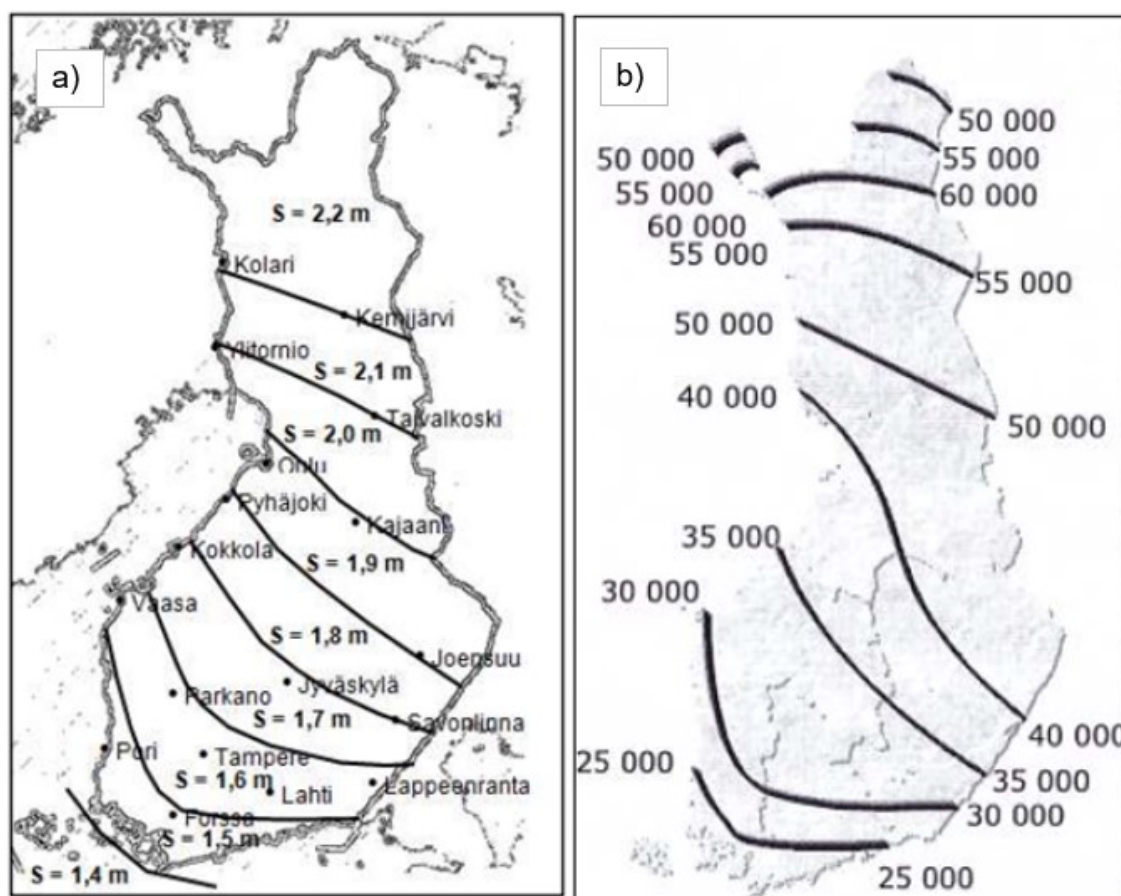
Kaduille voidaan sallia tietty routanousu (mm) ja tämä riippuu kadun vaatimusluokasta, pohjamaan tasalaatuisuudesta ja rakennetyypistä. Routamitoituksessa arvioidaan pohjamaan routaturpoama t (%), jonka jälkeen lasketaan routaantuvan alusrakennekerroksen paksuus ja katurakenteen laskennallisen routanousun suuruus kuvan 4 mukaan. Kaaviossa on esitetty routamitoitusprosessi tierakenteiden osalta. Raitioteiden suunnittelussa roudan osalta noudatetaan usein tien mitoituskriteerejä etenkin routanousun arvioimisessa. Lopuksi verrataan laskettua routanousua kyseiselle kadulle sallittuun routanousuun. [5, s. 25.]



Kuva 3. Routamitoituksen eri vaiheet ja suhteet (Tierakenteen routamitoitus 2001).

Suomen ilmasto ja kadun sijainti maantieteellisesti määräävät mitoittavan roudansyvyyden (S) (kuva 4a) eli kuinka syvällä routa tunkeutuu talven pakkasolosuhteissa väylän rakenteessa. Vastaavasti kuvassa 4b on esitetty mitoituspakkasmäärä (F_{10}), joka kertoo kerran 10 vuodessa toistuvan maksimipakkasmäärän, jota käytetään infrarakenteiden routamitoituksessa. Mitoitettavaa roudansyvyyttä (S) tarvitaan routaantuvan alusrakennekerroksen paksuuden (P) laskennassa ja mitoituspakkasmäärää (F_{10}), kun lasketaan suunnittelutilanteeseen valitulla sallitulla routanousulla routimattoman rakenteen paksuus.

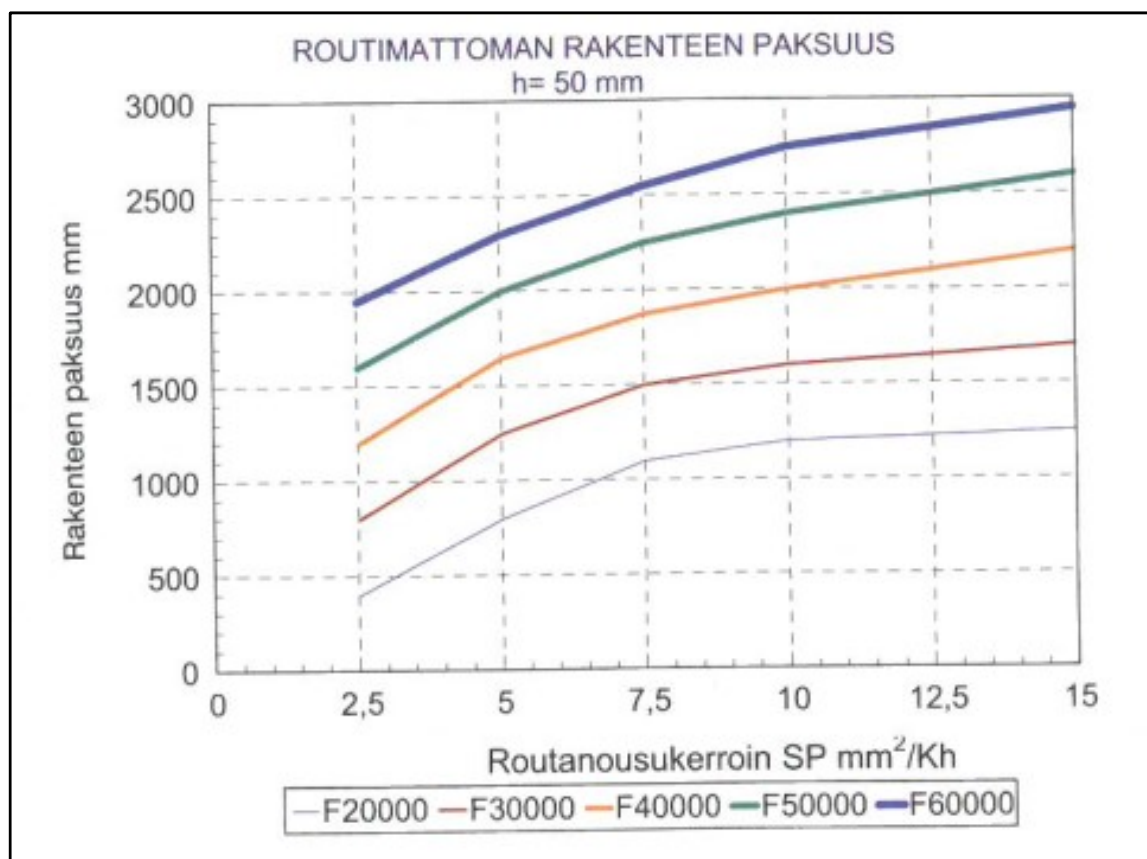
Katurakenteelle asetetun sallitun routanousun suuruus (50 – 150 mm) määräytyy kadun luokituksen mukaan ja se vaikuttaa kadun rakenteen paksuuteen. Rakenteen paksuuden määrittämiseen roudan kannalta tarvitaan maksimipakkasmäärä (F_{10}) ja maalajien routanousukerroin (SP) maalajin savipitoisuuden mukaan (taulukko 4). Kuvassa 5 on esitetty tyypillinen nomogrammi sallitulla 50 mm routanousulla kadun routimattoman rakenteen paksuuden määrittämiseksi pakkasmäärän F_{10} ja routanousukertoimen SP funktiona.



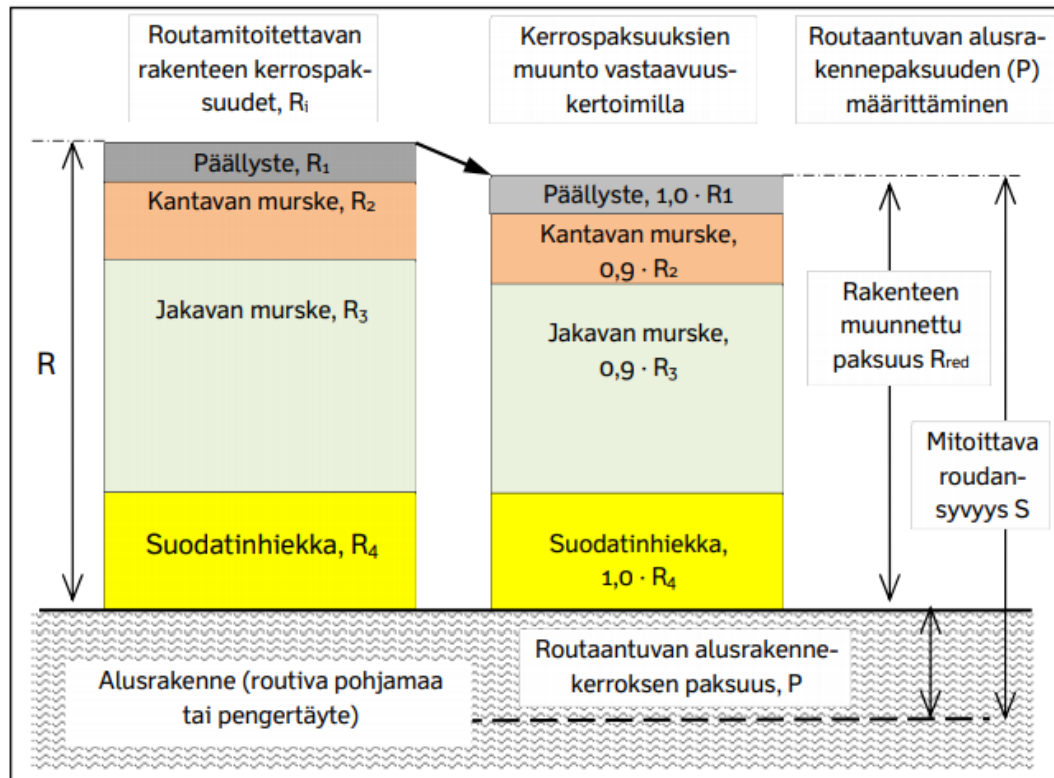
Kuva 4. a) Tie- ja katurakenteen mitoittava roudansyvyys (S) (Tierakenteen suunnittelu 2018) b) Kerran 10 vuodessa toistuva maksimipakkasmäärä (F_{10}) (RIL 261-2013 Routasuojaus).

Taulukko 4. Maalajien routanousukertoimen (SP) arviointi savipitoisuuden mukaan (RIL 261-2013 Routasuojus).

Maalaji	Savipitoisuus %	Routanousukerroin mm^2/Kh	Routanoususuhte h/z
Moreeni	< 10	5	0,12
Silttinen hiekka	< 10	5	0,12
Savinen siltti ja savi	10–50	10	0,23
Lihava savi	> 50	5	0,15



Kuva 5. Routimattoman rakenteen paksuuden määrittäminen routanousukertoimen (SP) ja maksimipakkasmäärän mukaan (F10) (RIL 261-2013 Routasuojus).



Kuva 6. Alusrakennekerroksen paksuuksien määräytyminen (Tierakenteen suunnittelu 2018).

Kun lasketaan tierakenteen mitoitusohjeilla (kuva 6) routaantuvan alusrakenteen paksuuteen (P) vaikuttaa mitoittava roudansyvyys (S) ja kadun rakennekerrosten materiaalien ominaisuudet ja paksuudet. Routamitoituksessa käytetään vähintään kuormituskestävyyssmitoituksen mukaisia kerrosrakennepaksuuksia. Routaantuvan alusrakennekerroksen paksuus (P) lasketaan seuraavalla kaavalla (kaava 1):

$$P = S - R_{red} \quad (\text{Kaava 1.})$$

Kaavan mitoittava roudansyvyys S (kuva 4a) on määritelty hiekan mukaan, tulee mitoittavan rakenteen todelliset kerrosrakennepaksuudet (R_i) muuntaa ensin hiekkaa vastaaviksi laskennallisiksi paksuuksiksi. Seuraavalla kaavalla saadaan muunnetun päällysrakenteen laskennallinen paksuus (R_{red}) (kaava 2):

(Kaava 2.)

$$R_{red} = (a_1 * R_1) + (a_2 * R_2) + (a_3 * R_3) + \dots + (a_i * R_i)$$

Kaavojen 1 ja 2 merkinnät:

P	routaantuvan alusrakennekerroksen paksuus, mm
S	mitoitettava roudan syvyys
R	rakenteen kokonaispaksuus
R _{red}	rakenteen laskennallinen, muunnettu kokonaispaksuus, mm
R _{1...R_i}	rakennekerroksen i paksuus, mm
a ... a _i	kerroksen i materiaalin vastaavuus eristävyden kannalta (Taulukko 7)

Rakennemateriaalien vastaavuus eristävyden kannalta (a_i) vaihtelee mm. materiaalin lämmönjohtavuuden, jäätymis- ja jäähtymisominaisuuksista riippuen.

Taulukko 5. Materiaalin vastaavuus eristävyden kannalta (a_i) (Tierakenteen suunnittelu 2018).

Kerrosmateriaali	Materiaalin vastaavuus eristävyden kannalta, a _i
Suodatinkerroksen hiekka	1,0
Bitumilla sidotut päällysteet	1,0
Päällysrakenteen stabiloidut kerrokset	1,0
Sora, jakavaan kerrokseen soveltuva sorainen hiekka (srHk), murske, suurirakeinen murske, betonimurske	0,9
Louhe (Ø = 300 mm tai suurempi)	0,8
Kuonamurske, kappalekuona	1,6
Kuonahiekka, masuunihiekka	1,7
Kevytora (KS) 0,7 m syvyydessä, kuivairtitiheys rakenteessa enintään 400 kg/m ³ ja KS:n alla on 0,15 m kuivatuskerros	4
Vahtolasimurske (VaM) 0,7 m syvyydessä, kuivairtitiheys rakenteessa enintään 400 kg/m ³ ja VaM:n alla on 0,15 m kuivatuskerros	4
Suulakepuristettu polystyreeni (XPS) 0,7 m syvyydessä, kun XPS:n alla on 0,15 m kuivatuskerros	20
Paisutettu polystyreeni (EPS) 0,7 m syvyydessä, kun EPS:n alla on 0,15 m kuivatuskerros	15

Jotta tiedetään riittävä rakennekerrospaksuus eristävyiden kannalta, tulee laskea vielä laskennallisen routanousun suuruus (RN_{lask}). Tämä kertoo, kuinka suuri väylän routanousu on tarkasteltavalla rakenteella. Laskennallinen routanousu määritellään seuraavalla kaavalla (kaava 3):

$$RN_{lask} = P * t/100 \quad \text{(Kaava 3.)}$$

Kaavan 3 merkinnät:

P	routaantuvan alusrakennekerroksen paksuus, mm
t	alusrakenteen routaturpoama (%)

Alusrakenteen routaturpoama (t %) kertoo, mikä pohjamaan tai alusrakenteen routanousuherkkyys on. Se määrittelee, kuinka monta prosenttia maakerroksen %-tilavuus kasvaa, kun routiva maakerros jäätyy. Pohjamaan rakeisuus ja kuivatusolosuhteet vaikuttavat routaturpoaman (t) suuruuteen. Mitä kosteampi alusrakenne on, sitä suurempi routaturpoama (t) ja routanousu on. Taulukko 6:sta näkee, että siltti on routivin maalaji, koska sen routaturpoama on 16 %.

Taulukko 6. Maan kelpoisuus- ja alusrakenneluokkien sekä alusrakenteen moduulin E ja routaturpoaman t arvojen määrittäminen (Tierakenteen suunnittelu 2018).

Läpäisy- % pesuseulonnessa			Kelpoisuus- luokka	Moduuli E (MPa) Alusrakenneluokka Routaturpoama t (%)		Informatiivisia tietoja	
	0,063 mm	2 mm		Kuiva	Märkä	Soveltuvuus 1)	Kuvaus
				E = 280 A t = 0		Louhe- rakenne	Irtilouhittu kallio tai louhe
				E = 200 B t = 0		Kantava Jakava	Murske- tai soratäyttöalue
	< 7	< 70	S1	E = 100 C t = 0		Jakava	Sr, srHk (SrMr, srHkMr)
2)	7-15	< 70	S2	E = 70 D t = 0	E = 50 E t = 3	Penger kuivana	SrMr, srHkMr
	16-30	< 70	S3	E = 50 E t = 3	E = 35 F t = 6	Penger kuivana	SrMr, srHkMr
	31-50	< 70	S4	E = 35 F t = 6	E = 20 H t = 12	Penger kuivana	siSrMr, sirsHkMr
	< 7	> 70	H1	E = 70 D t = 0		Suodatin	Hk, (HkMr)
	7-15	> 70	H2	E = 50 E t = 3		Suodatin Penger kuiv.	Hk, HkMr
	16-30	> 70	H3	E = 35 F t = 6	E = 20 H t = 12	Penger kuivana	Hk, HkMr
	31-50	> 70	H4	E = 35 F t = 6	E = 20 H t = 12	Penger kuivana	siHk, siHkMr
0,002 mm	0,063 mm	Leikkaus- lujuus					
< 30	≥ 50		U1	E = 20 H t = 12	E = 20 J t = 16		Si, SiMr, 3) kerrallinen Sa/Si
≥ 30	≥ 50	≥ 40 kPa	U2		E = 35 F t = 6		Jäykkä Sa
≥ 30	≥ 50	< 40 kPa	U3		E = 10 G t = 6		Pehmeä Sa
			U4		E = 10 G t = 6		Lj

Väylän eli tässä tapauksessa raitiotien routasuojausta parantamaan voidaan mitoittaa myös routaeriste. Routaeristettä käytettäessä routaeristeen päällä on oltava vähintään 500 mm routimaton päällysrakenne ja alla vähintään 300 mm kuivatuskerros. Routaeristykseen paksuuden mitoittamiseen tarvitaan eristyksen lämmönvastus, joka saadaan routanousukertoimen, SP, ja mitoittavan pakkasmäärän, F, mukaan. Lisäksi laskentaan tarvitaan mitoituslämmönvastus, λ . Routa- ja lämmöneristyksen tarvittava paksuus määritetään kaavalla: [6, s. 71.]

$$d_e = m_r * \lambda_U \quad (\text{Kaava 4.})$$

Kaava 4 merkinnät:

d_e	eristyspaksuus, m
m_r	kohteeseen vaadittava routa/lämmöneristeen lämmönvastus taulukosta, m^2K/W
λ_U	lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo, W/mK

Taulukko 7. Lämmöneristeille ilmoitettuja arvoja (RIL 261-2013 Routasuojaus).

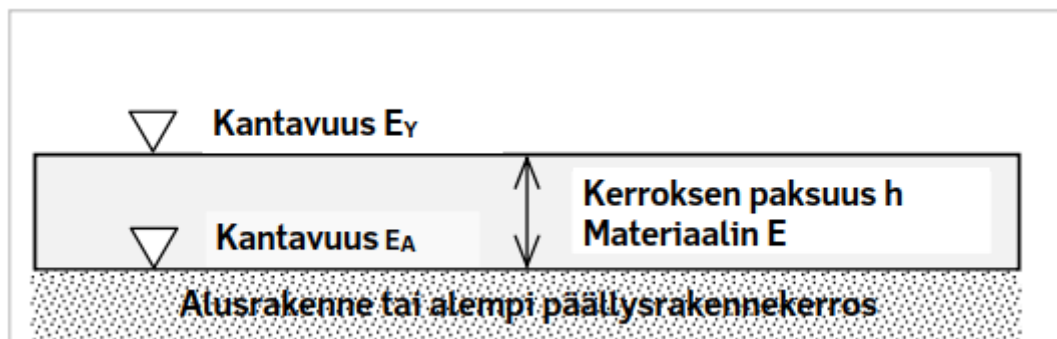
Eristetuote	Lämmönjohtavuuden ilmoitettu arvo $\lambda_{\text{Declared}}$ W/mK	Kuormituskestävyys kPa		Lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo λ_U , W/mK					Mitoituslämmönjohtavuus λ_{mit} W/mK	
		Pitkäaikainen kuormituskestävyys 2 % kokoonpuritumalla, kPa (EN 1606)	Lyhytaikainen kuormituskestävyys 10 % kokoonpuritumalla, kPa (EN 824)	Sokkelin sisäpuolinen tai sokkelihalkaisun pystyeristys	Sokkelin ja kellarin seinän ulkopuolinen pystyeristys maata vasten	Vaakasuora tai kallistettu eristys maakerrosten välissä rakennuksen ulkopuolella	Lämpimän tilan alapohja- ja lattiarakenteet	Kylmän tilan alapohja- ja lattiarakenteet	Työnaikaiset routasuojaukset	Infrarakenteen routasuojaus, kostea
EPS 120	0,036	35	120	0,036	0,041	0,043	0,036	0,036	0,036	0,065
EPS 200	0,033	60	200	0,032	0,035	0,036	0,033	0,032	0,032	0,06
EPS 300	0,033	90	300	0,032	0,035	0,036	0,033	0,032	0,032	0,06
XPS 200 $d < 70$ mm	0,033-0,035	100	200	0,033-0,036	0,033-0,036	0,033-0,036	0,033-0,037	0,033-0,036	0,033-0,036	0,05
$d \geq 70$ mm	0,037-0,039	100	200	0,036	0,036	0,036	0,037	0,036	0,036	0,05

2.3.2 Kantavuusmitoitus raitiotielle ja kadulle

Raitiotien kantavuusmitoituksessa sovelletaan *Tierakenteen suunnittelu (28.11.2018)* -ohjetta ja määräävän katuluokan mitoitusta. Raitiotien kantavuudella tarkoitetaan kuinka paljon rakenne kantaa sen päällistä kuormaa eli kuinka suuri sen kuormituskestävyys on. Kantavuusmitoituksella etsitään rakenteelle riittävät päällysrakenteen kerrospaksuudet niin, että laskennallinen kantavuus rakenteen päältä on määritellyn tavoitekantavuuden suuruinen. Tavoitekantavuuden suuruus (MPa) riippuvat kadun luokituksesta (luokat 1 - 6).

Kantavuusmitoituksessa hyödynnetään seuraavia lähtötietoja:

- alusrakenteen eli pohjamaan tai pengertäytteen kantavuus
- kantavuusmoduulit E (MPa) eri rakennekerrosten materiaaleille (ra-keisuuden perusteella)
- rakennekerrosten paksuus h
- raitiotien / kadun luokan mukainen tavoitekantavuus.



Kuva 7. Odemarkin kantavuuskaavan käsitteet (Tierakenteen suunnittelu 2018).

Kantavuusmitoitusta varten on kehitelty monikerrosmenetelmänä kutsuttu *Ode-markin* kaava (kaava 5), joka alun perin perustuu 2 kerroksisen rakenteen laskentaan. Sen kehittämissä on hyödynnetty teoreettisia tarkasteluja ja kentältä mitattuja levykuormituskoe tuloksia. Menetelmä etenee rakennekerroksittain alhaalta ylös. Ensin tulee määrittää alusrakenteen kantavuus alusrakenneluokien perusteella ja laskennassa hyödynnetään rakennekerrosten E -moduuleja

(MPa) sekä asetettuja kerrospaksuuksia h (m) (kuva 7). Alusrakenteen päälle suunnitellaan tarpeen vaatiessa suodatinkerros, jonka päälle mitoitetaan jakava kerros. Jakavan kerroksen päälle suunnitellaan kantava kerros, jonka päälle suunnitellaan raitiotien pohjalaatat ja muut päällysrakenteet. Jokaisen eri rakennekerroksen yläpinnan tulee saavuttaa vaadittu kantavuus, jotta koko rakenteen kantavuus täyttyy. Kantavuutta voidaan parantaa mitoituksessa kerrospaksuutta lisäämällä, materiaalin valinnalla rakeisuuden perusteella, joka vaikuttaa E-moduulin suuruuteen. Odemarkin kaavassa käytettävä kerrospaksuus saa olla enintään 300 mm ja tätä paksummat kerrokset jaetaan 150 ... 300 mm paksuihin osakerroksiin. Mitoituksen rakennekerrosta ei saa jakaa alle 150 mm ohuempiin osakerroksiin. [5, s. 44.]

Odemarkin kantavuuskaava:

$$E_Y = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{0,15}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{0,15}\right)^2} \left(\frac{E}{E_A}\right)^{2/3}}}$$

(Kaava 5.)

Kaava 5 merkinnät:

E_A	mitoitettavan kerroksen alapinnan kantavuus (MPa)
E_Y	mitoitettavan kerroksen yläpinnan kantavuus (MPa)
E	mitoitettavan kerroksen materiaalin E-moduuli (MPa)
h	mitoitettava kerroksen paksuus (m)
0,15	kuormittavan pyörän kosketuspinnan laskennallinen säde (m)

Odemarkin kaavasta voidaan tehdä yksinkertainen kaavataulukko esimerkiksi Excel taulukkolaskennalla (taulukko 9), jonne voidaan syöttää rakennekerrosten paksuudet h (m) ja materiaaleille käytetyt E-moduulit (MPa), ja sovitetaan ratkaisut niin, että tavoitekantavuus rakenteen päältä saavutetaan. Odemarkin

kantavuuskaavan käytössä pätee sääntö, että sitomattoman kerroksen käyttökelpoinen E-moduuli on enintään $6 \cdot E_A$.

Taulukko 8. Odemarkin kantavuuskaavataulukko ja taulukon ehdot

ODEMARKIN MITOITUS						
<i>Kantavuusmitoituksen kaava (Odemark):</i>						
$E_Y = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{(1+0,81(h/0,15)^2)^{1/2}}\right)E_A/E + \frac{1}{(1+0,81(h/0,15)^2(E/E_A)^{2/3})^{1/2}}}$						
<p>E_Y = mitoitettavan kerroksen päältä saavutettava kantavuus E_A = mitoitettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus E = mitoitettavassa kerroksessa käytettävän materiaalin E- moduuli h = mitoitettavan kerroksen paksuus</p>						
Lisäehto 1: Sitomattoman kerroksen käyttökelpoinen E on enintään $6 \cdot E_A$						
Lisäehto 2: Yhteenliimaantuneet ehjät bitumilla sidotut ($E \geq 1500$ MPa) kerrokset lasketaan yhtenä kerroksena.						
	suodatin	suodatin	jakava	jakava	kantava	päällyste
E_Y [MPa]	20	39	66	95	187	442
E_A [MPa]	20	20	39	66	95	187
E [MPa]	100	100	200	200	280	2500
h [m]	0,00	0,20	0,15	0,15	0,35	0,16
						Kokonaispaksuus:
						1,01

Kantavuusmitoitus on aina vain suuntaa antava ja lopullinen kantavuuden varmistus tulee tehdä rakenteen rakentamisen ja tiivistämisen jälkeen pudotuspaalilaitteella tai vastaavalla taipumamittalaitteella ja levykuormituskokeilla.

3 Kruunusillat-raitiotie

3.1 Raitiotieyhteys Helsingin keskustasta Laajasaloon

Kruunusillat-raitiotiehanke yhdistää Helsingin keskustan Laajasaloon raitioyhteydellä, johon liittyy myös pyöräliikenteen baanayhteyden ja kävelyteiden rakentaminen. Noin 10 kilometriä pitkä raitiotien yhteyteen rakennetaan kolme uutta siltaa: Kruunuvuorensilta, Finkensilta ja Merihaansilta, joista Kruunuvuorensilta tulee olemaan Suomen pisin silta, noin 1200 metriä pitkä. Hankkeen yhteydessä toteutetaan myös muita maarakennus-, kadunrakennus- ja kunnallisteknisiä töitä. Kuvassa 8 on esitetty tulevan raitiotien laajuus.

Kruunusillat-hankkeen taustalla on Kruunuvuorenrannan suunniteltu uusi kaupunginosa, jonne rakennetaan koti noin 11 000 uudelle asukkaalle. Koska Laajasalon asukasmäärän on ennustettu kasvavan, myös liikennöinnin tarve kasvaa ja ajoneuvoliikenteen ja metron kapasiteetti ei ole enää riittävä tulevaisuudessa. Nykyinen liikenneverkko ei ole tässä tapauksessa riittävä myöskään muun Helsingin itäsuuntaisen liikennöinnin suhteen. Raitiotieyhteys tuo ympäristöystävällisenä liikkumisen muotona lisää kapasiteettia tulevalle alueen liikenteelle.

Raitiotieyhteyden rakentaminen Helsingin keskustan ja Laajasalon välille luo perustan Kruunuvuorenrannan asemakaavalle ja muun Laajasalon täydennysrakentamiselle. Alueiden suunnittelu ja maankäytön kehittyminen siis perustuvat sille, että liikenneverkkoa parannetaan ja Kruunusillat-hanke toteutetaan. Hankkeen tavoitteena on taata kasvavalle kaupunginosalle sujuva, nopea ja luotettava raitiotieyhteys keskustaan ja parantaa myös muuta Helsingin raitiotieverkostoa. Helsingin kaupungille on myös tärkeää ympäristöystävällisten liikkumismuotojen lisääminen ja vaihtoehdon tarjoaminen yksityisautoilulle. Hankkeella mahdollistetaan ajoneuvoliikenteen vähentäminen Laajasalossa. [7, s. 5.]

Kruunusillat-hanke parantaa myös joukkoliikenteen kapasiteettia ja lisää yhteyksiä olemassa olevaan verkostoon. Raitiotieyhteys tuo lisää vaihtoehtoja joukkoliikenteelle ja suoraa vaihtoyhteyksiä metron, lähijuniin, muihin raitiotielinjoihin

ja bussilinjoihin. Yhteys myös nopeuttaa liikkumista, koska raitiotie toteutetaan pikaraitiotienä. Kruunusillat-raitiotie rakennetaan suunnitteluperiaatteiltaan poikkeavana ja laadultaan korkeampana kuin Helsingin kantakaupungin raitiotieliikenne. Tämä tarkoittaa sitä, että raitotievaunut ovat pidempiä, nykyistä vaunuja nopeampia, sujuvampia ja luotettavampia. Matka-ajan on suunniteltu puolittuvan 30 minuutista Helsingin keskustasta Kruunuvuorenrantaan. [7, s. 5.]

Helsingin kaupunki haluaa edistää kestävästä kehitystä ja kasvattaa vihreiden kulkumuotojen tarjontaa, joka luo myös perustaa Kruunusillat-hankkeelle. Kruunusillat edistävät kestävästä liikkumista rakentamalla uusia ja parantamalla olemassa olevia kävely- ja pyöräilyreittejä raitiotien lisäksi. Pyöräilyn matka-aikakin Kruunuvuorenrannasta puolittuu Helsingin keskustaan ja lisäksi pyöräilyn ja jalankulun on ennustettu lisääntyvän muuttoliikkeen myötä, jonka takia reittejä tulee parantaa. [7, s. 5.]



Kuva 8. Kruunusillat-raitiotien yleiskartta. Koirasaarentien osuus sijaitsee Laajasalon alueella (punainen ympyrä) (Kruunusillat-allianssi 2021).

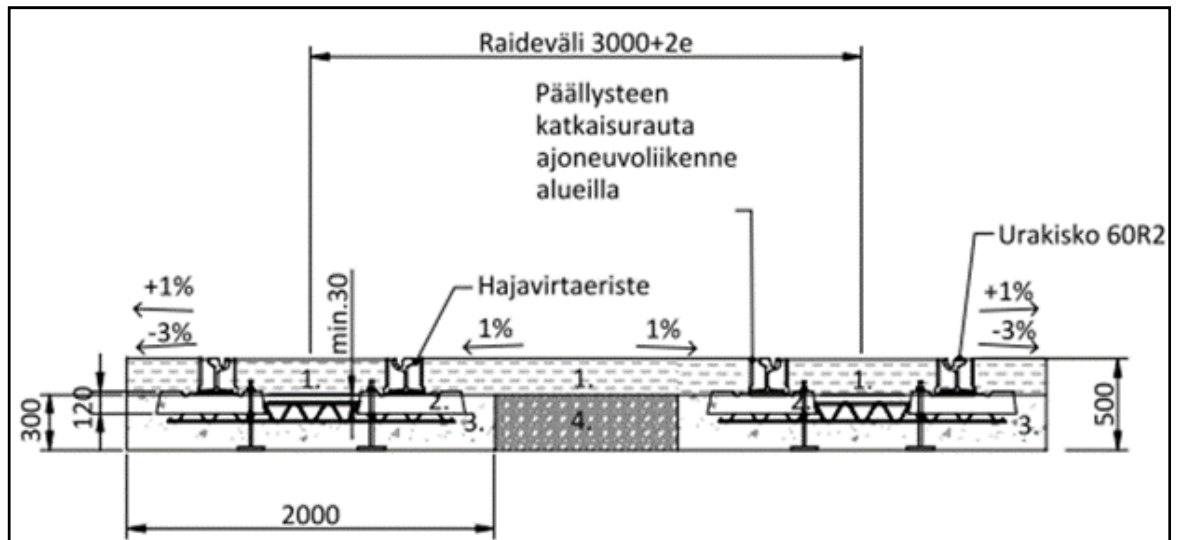
3.2 Kruunusillat-raitiotien suunnitteluperusteet

Kruunusillat-raitiotien alusrakenteen suunnittelu ja rakentaminen noudattavat seuraavia ohjeita, jotka ovat Helsingin kaupungin hyväksymiä:

- hankkeen suunnitteluperusteet
- Väyläviraston Eurokoodin soveltamisohje: *Geotekninen suunnittelu NCCI7*
- Eurokoodit kansallisine liitteineen
- *Katu 2002 -Kadunrakennuksen tekniset ohjeet*
- Raitiotieradan alusrakenneohje.

Suunnitteluperusteissa on määritelty Kruunusillat-raitiotien rakennusosien määrittelyt ja mitoitusperiaatteet. Kruunusillat-raitiotien hankkeessa raiteen päällysrakenteella tarkoitetaan kiintoraideosuudella betonista kiintoraidelaattaa ja sen päälle tulevia kerroksia eli kiveystä, asfalttia tai nurmea sekä kiskoja. Alusrakenteella taas tarkoitetaan kiintoraidelaatan, sepeli- tai mursketukikerroksen alapuolista eristys- ja välikerrosta. Kruunusillat-raitiotien rakennekerrosten termiinä käytetään kadun termistöä muutoin paitsi tukikerroksen kohdalla, josta käytetään jakava kerros -nimeä.

Kruunusillat-hankkeessa ei ole sepeliraideosuuksia eikä suodatinkerrosta, vaan se korvataan suodatinkankaalla ja paksuntamalla jakavaa kerrosta. Radan alusrakenne tulee sekaliikenneosuuksilla mitoittaa sekä raitiotien, että kadun vaatimusten mukaisesti. Kruunusillat-raitiotien pohjamaaluokitus noudattaa kadun pohjamaaluokitusta. Raitiotien rakennekerrokset suunnitellaan ja rakennetaan hankkeella tehdyn Raitiotieradan alusrakenneohjeen mukaisesti.



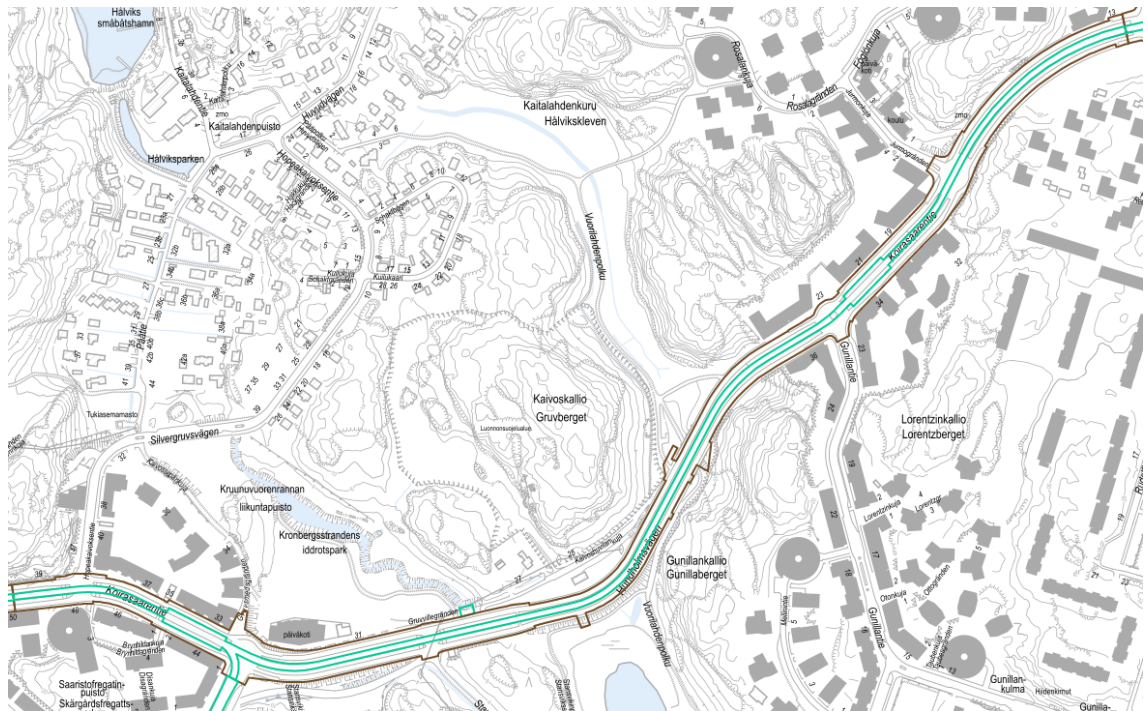
1. Pintakerrokset
 - AB 11-16, 90-120kg/m²
 - ABK 32/240 + 32/120
2. Matala puolipölkky
3. Raitiotielaatta
 - Betoni C35/45 XF3 (kuitubetoni, kuituja >30kg/m³)
4. Murske/sepeli/muu täyttö

Kuva 9. Kruunusillat-raitiotien rakennekerrokset (Kruunusilla-raitiotie 2021).

Kruunusillat-raitiotien hankkeessa sallittu routanousu on 50 mm koko katualueella (ajorata/jk+pp/raitiotie), jonka mukaan raitiotien routamitoitus tulee tehdä. Raitiotien mitoittava pakkasmäärä on kerran 10 vuodessa toistuvan pakkasmäärän F_{10} mukainen, jonka mukaan pakkasmäärä on 25 000 °Ch (kuva 9). Mitoittava roudansyvyys (S) on 1,9 metriä. Mitoittava pakkasmäärä perustuu Helsingin katurakenteiden suunnitteluperusteisiin ja *RIL 261 Routasuojaus* -ohjeeseen. Tämän lisäksi on kerätty Ilmatieteenlaitoksen säähavaintoja Malmin ja Helsinki-Vantaan lentoasemilla v. 1961 – 2017. Raitiotielle ei lähtökohtaisesti asenneta routalevyjä routasuojaukseen. Routaturpoama (t) on pohjamaaluokan mukaan alusrakenteiden D osalta 3% tai E osalta 12%.

Kruunusillat-raitiotieradan kantavuuden vaatimuksena on katurakenteen kantavuus katuluokkien mukaan. Katuluokkien pohjalta suunnitellaan katujen

päällysrakenteiden paksuus. Paksuuteen vaikuttava pohjamaan kantavuusluokka määritetään suunnittelun yhteydessä. Kiintoraiteen pohjalaatan tukikerroksen alla alusrakenteen kantavuuslaskennan mitoitussarvona käytetään pääsääntöisesti arvoa $E_2 = 120 \text{ MN/m}^2$, joka määritelty Kruunusillat-hankkeen suunnitteluperusteissa. Radan kantavuus määritellään kadun katuluokan perusteella, jonka mukaan määritellään päällysrakenteiden paksuus, johon vaikuttaa pohjamaan kantavuusluokka. Kruunusillat-raitiotien päällysrakenne eli raitiotielaatta, pölkkyt ja kiskot kantavat raiovaunun massan, joka on 12 500 kg eli 12,5 tonnia. Radan päällysrakenteen yhteispaksuudeksi on määritely 500 mm asfaltti-/betonipäällysteelle ja 550 mm nurmikivipäällysteelle, jotka voidaan rakentaa raitiotien päälle [8.]



Kuva 10. Koirasaarentie keskiosa Kruunusillat-hankkeessa.

4 Koirasaarentien keskiosan pohjamaa

Tutkimusalue sijaitsee Kruunusillat-hankkeen Koirasaarentie keskiosan katualueella (kuva 10), joka sijaitsee Laajasalon kaupunginosassa Helsingissä. Koirasaarentien keskiosalla on vuosina 2013 ja 2016 rakennettu katu, jonka keskelle on jätetty raitiotielle mitoitusvaraus. Koirasaarentien keskiosan hankeosan suunnitteluun kuuluu raitiotien suunnittelu katuosuudella. Katuhankkeeseen kuuluu myös risteävien ja liittyvien katujen liittäminen uusiin katurakenteisiin ja tarvittavat johto- ja rakennesiirrot. Koirasaarentien keskiosa on vanhaa öljysatama-aluetta. [9.]

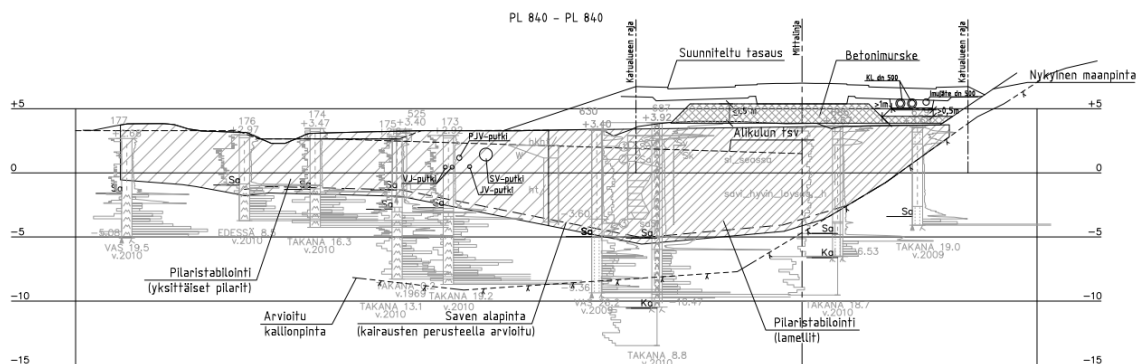
4.1 Maaperän kuvaus

Koirasaarentien keskiosalla on tehty pohjatutkimuksia useassa eri vaiheessa. Vanhimmat pohjatutkimukset on tehty vuonna 1961, katusuunnitelman pohjatutkimukset on tehty vuosina 2009 ja 2010 ja Kruunusillat-hanketta varten ohjelmoitiin pohjatutkimuksia raitiotietä varten, jotka tehtiin marras- ja joulukuussa 2020. Koirasaarentien varrelle ohjelmoitiin porakonekairauksia, puristinheijarikairauksia, siipikairauksia, koekuoppia, häiriintyneitä näytepisteitä, rakennekerrosnäytteitä ja pohjavesiputkia. Pohjatutkimuksilla kartoitettiin suunnittelualueen kallionpinta ja olemassa olevien kadun rakennekerrosten paksuus.

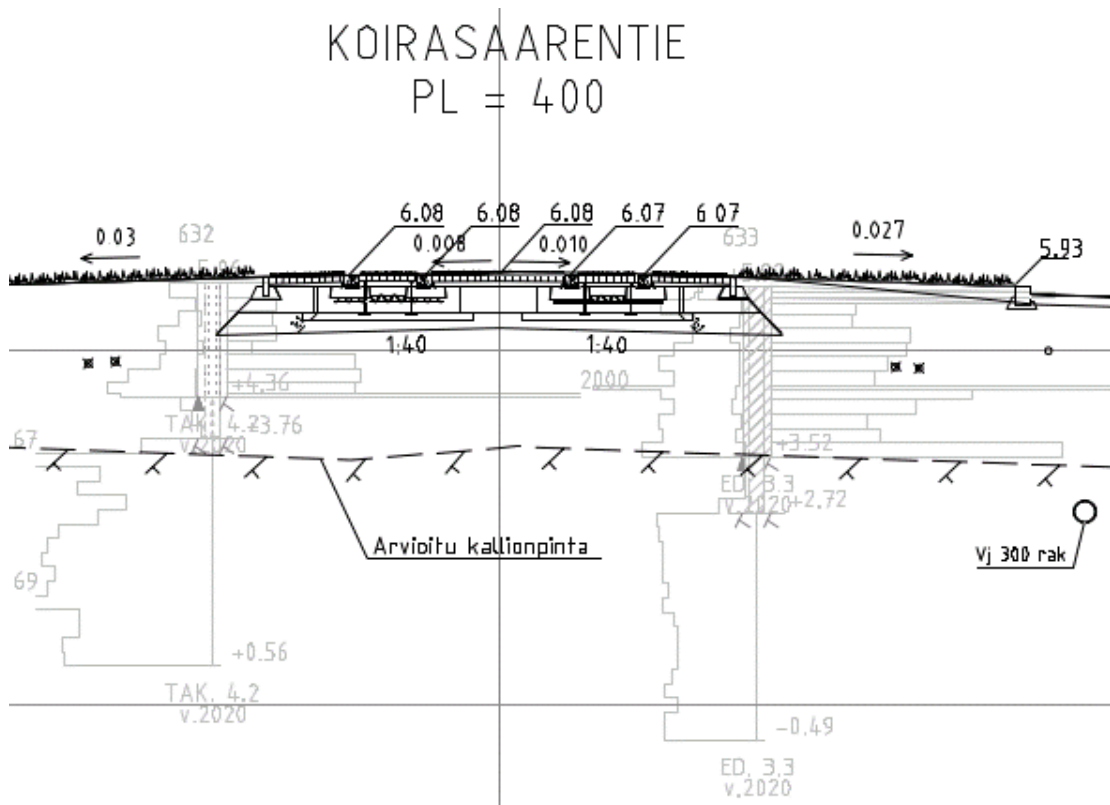
Koirasaarentien suunnittelualueen geologialle ovat tyypillisiä kitkamaista koostuvat mäet ja niiden väliset savipehmeiköt. Maanpinta vaihtelee alueella välillä vedenpinnasta +0,8 ... +19,5. Maan- ja kallionpinnan taso voi vaihdella paikallisesti paljon. Koirasaarentie keskiosan maan ylin maakerros on täyttömaata, joka käsittää olemassa olevan kadun penkereen. Savimaata noin 0,5 ... 5,8 metrin paksuudelta. Saven alapuolella on noin 0,5 ... 1,5 metrin paksu hiekkerros. Hiekan alapuolella ja ennen kallionpintaa on moreenia 0,5 ... 3,0 metriä. Kallionpinnan taso vaihtelee maanpinnasta noin 0,5 ... 16,9 metrin syvyydessä. Pohjavedenpinta on mitattu edellisen kerran 16.11.2020, jolloin se on ollut 1,95 metriä maanpinnan tasosta.

4.1.1 Olemassa olevat pohjanvahvistukset

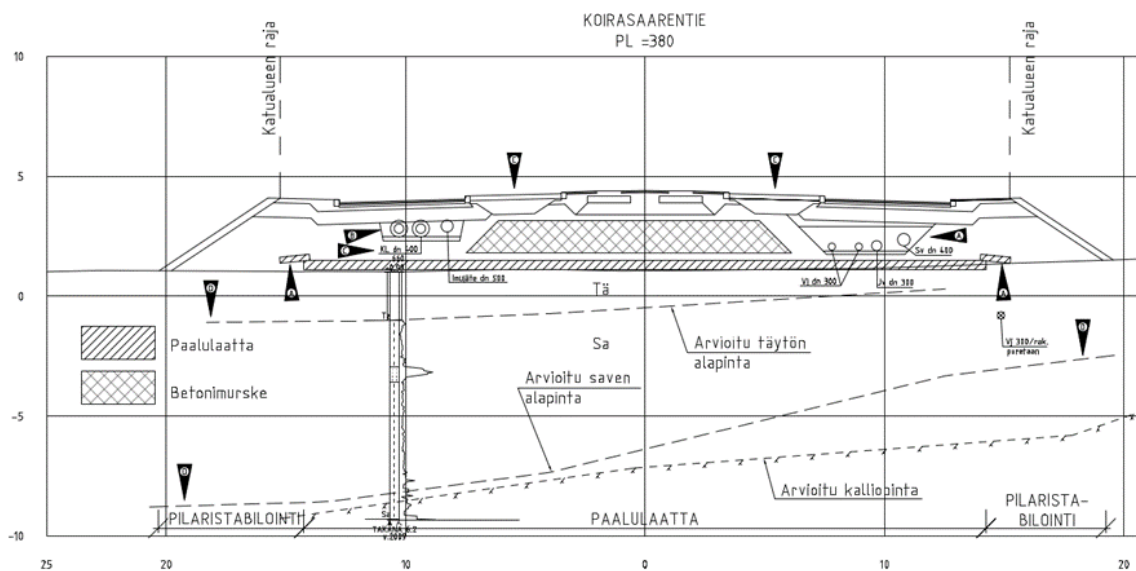
Koirasaarentie keskiosalle on tehty aiemmin kadun rakentamisen yhteydessä pohjanvahvistuksia, jotka vaikuttavat Kruunusillat-raitiotien suunnitteluun niin, että raitiotiesuunnittelussa ei tarvitse enää suunnitella pohjanvahvistuksia, vaan pohjamaa on jo vahvistettu kestämään tulevan raitiotien. Pohjanvahvistuksilla on parannettu kadun kantavuutta ja estetty painumat ja mahdolliset sortumat pehmeiden savimaiden osuudelta. Kadun alueella on tehty paalulaattarakenne (kuva 13), pilari- ja massastabilointia ja massanvaihtoa. Paalulaatalla on vahvistettu katurakennetta ja tulevaa raitiotieosuutta syvällä saviosuudella, jossa on savea ollut noin 7 metrin paksuudelta. Katualueella on osittain tehty massanvaihtoa (kuva 12) murskeella korvaamalla savimaata noin 0,5 ... 3,8 metrin paksuudelta ja osassa katualueetta on tehty pilaristabilointia (kuva 11) vahvistamaan pohjamaata raitiotien rakentamista varten. Massanvaihdon alapuolella on vielä paikoittain täyttömaahan sekoittunutta savimaata enimmillään 2,0 metrin syvyydeltä. Koirasaarentien pohjanvahvistuskartat on esitetty liitteissä 1 ja 2.



Kuva 11. Koirasaarentien poikkileikkaus pilaristabiloinnin ja betonimurskeen kohdalta.



Kuva 12. Ote Koirasaarentie keskiosan poikkileikkauksesta tulevan raitiotien kohdalta, josta ilmenee tehty massanvaihto.



Kuva 13. Koirasaarentien poikkileikkaus paalulaatan kohdalta. Paalulaatta on rakennettu vahvistamaan kadun ja raitiotien pohjamaata syvällä saviosuudella.

4.1.2 Olemassa olevat rakennekerrokset

Koirasaarentien olemassa oleva katu on toteutettu tulevan raitiotieosuuden kohdalla 4E kantavuusluokan mukaisilla rakenteilla ja raitiotien rakentaminen on otettu huomioon jo katu rakentaessa. Kruunusillat-hankkeessa kadun päällysrakennetta ei uusita, vaan raitiotie ja sen päällysrakenteet suunnitellaan ja rakennetaan raitiotien varausalueelle kadun keskelle. Raitiotie rakennetaan olemassa olevan kadun rakennekerrosten päälle niin, että päällyste puretaan ja kantava kerros uusitaan ennen raitiotien rakentamista. Tämän takia kantavuus- ja routamitoituksessa otetaan huomioon olemassa olevat rakennekerrokset ja radan suunnitellut päällysrakennekerrokset. Kadun päällysrakenteen ja penkereen yhteispaksuus tulevan raitiotien kohdalla on noin toteumatietojen mukaan 1,6 m. Koirasaarentien kantava kerros on tehty kalliomurskeesta, jonka raekoko on 0/32 mm.

Kruunusillat-hankkeessa ohjelmoitiin Koirasaarentielle koekuoppia, joilla varmistettiin olemassa olevien rakennekerrosten paksuutta ja raekokoja. Koekuoppien mukaan rakennekerroksia on noin 2,0 – 3,5 metrin paksuudelta, jotka ovat suunnitellun paalulaatan osalta päättyneet betonilaataan. Koekuoppien tulosten ensimmäisen maalajin kerroksessa on havaittu sora- tai kalliomursketta, joiden raekoko on 0/16 – 0/32. Toisessa kerroksessa on havaittu kalliomursketta, jonka raekoko on 0/32. Kalliomurskeen alapuolella on ollut paikoitellen vielä kerros soramursketta ja betonin palasia. Koekuoppien tulokset vahvistavat kadun rakentamisen suunnitelmien toteutumisen. Kruunusillat-raitiotie tullaan rakentamaan olemassa olevien rakennekerrosten päälle niin, että päästään raitiotien geometrian haluttuun tasaukseen.

Kaivutapa:

Rakennekerros näytteenotin / G607

Rakennekerrokset:

Syvyys, m	Maalaji
0,0-0,05	Asfaltti
0,05-0,2	SrM 0/32
0,2-0,5	SrM 0/32
0,5-1,0	SrM 0/20
1,0-1,5	KaM 0/40
1,5-2,0	SrM 0/16

Vedenpinta:

Ei havaintoa

Huomiot:

Syvyyden 2,0 m näytteessä betonin paloja

Koekuopan halkaisija:

-

Koekuopan syvyys:

2,0 m

Kalliopinnan sijainti:

+2.96 päättynyt paalulaataan

Kuoppa täytetty:

Kyllä

Kuva tai piirustus:



Kuva 14. Kruunusillat-hankkeen koekuopan tulokset Koirasaarentien rakennekerroksista paalulaatan osuudelta.

4.1.3 Pohjamaan kantavuus

Koirasaarentien keskiosuus on rakennettu katuluokka 4 mukaan. InfraRYLin mukaan katuluokka 4:sen kadun rakennekerrospaksuus on E-pohjamaaluokalla 790 mm ja D-pohjamaaluokassa 540 mm. Kantavan kerroksen rakentamisen jälkeen Koirasaarentien keskeltä on levykuormituskokeella saatu E2-kantavuudeksi 197 MPa. Pohjamaan kantavuuteen vaikuttaa pohjamaaluokka. E-luokan alusrakenteen kantavuusarvoksi on määritelty 20 MPa ja D-luokan E-moduuliksi 50 MPa. Pohjamaan kantavuuteen vaikuttivat myös olemassa olevat pohjavahvistukset. Oheisessa taulukossa (taulukko 1.) on kuvattu Koirasaarentie kadun ja radan rakennekerrospaksuudet katuluokan mukaan. Katurakenteelta

vaadittava kantavuus 4-katuluokalta on 250 MN/m^2 . Raitiotielle vaadittava kantavuus on kiintoraiteen pohjalaatan tukikerroksen alla alusrakenteen E2-arvo 120 MN/m^2 , mikä on arvioitu olemassa olevan rakenteen kantavuuden perusteella. Raitiotie tullaan rakentamaan nykyisten kadun rakennekerrosten päälle. Koirasaarentien levykuormituskokeiden mittauspöytäkirjat on esitetty liitteissä 3 ja 4.

MITTAUSPÖYTÄKIRJA								
Levykuormituskoe, TIEL 2220003				Mittalaite: Power Team				
Projekti		Työ 100042		Pvm		25.5.2016		
Tilaaja		[REDACTED]		Kohde:		Kantava kerros		
						Pöytäkirja numero		
						1		
Nro	Paaluluku			E2	E2/E1	Vaatus		Sijainti
						E2	E2/E1	
						? Mpa	≤	
	Koirasaarentie							
1	PL 400	Vasen ajorata		149 MPa	1,9		≤	2,0
2	PL 390	Keskimmäinen ajorata		197 MPa	1,6		≤	2,4
3	PL 390	Oikea ajorata		175 MPa	2,3		≤	2,3
4	PL 410	Vasen ajorata		135 MPa	1,7		≤	2,0

Kuva 15. Koirasaarentien kantavan kerroksen levykuormituskokeen tulokset katusuunnitelmavaiheesta.

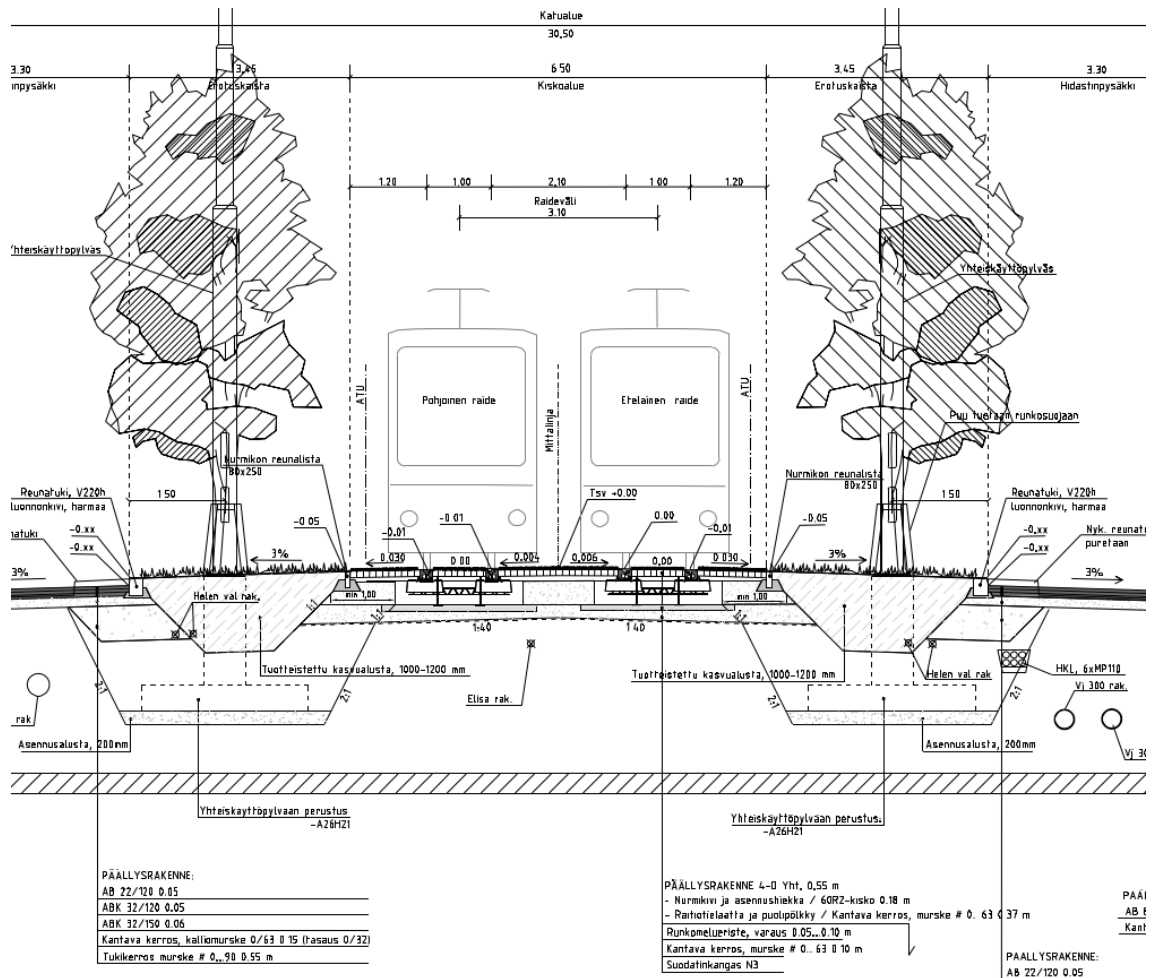
Taulukko 9. Koirasaarentien rakennekerrospaksuudet.

Radan rakennekerrokset							
Pohjanvahvistukset	Pohjamaaluokka	Moduuli E [Mpa]	Routaturpoama [t]	Radan alusrakenteen routamitoitus	Radan päällysrakenteen paksuus	Runkomelu-eristeen paksuus	Radan rakennekerrospaksuus yhteensä
Ei ole	D	50	3	360	500	100	960
Ei ole	E	20	12	1390	550	ei lisätä	1940
Ei ole	D	50	3	360	550	100	1010
Ei ole	E	20	12	1390	550	ei lisätä	1940
Paalulaatta	D	50	3	360	550	100	1010
Massanvaihto	D	50	3	360	550	100	1010
Pilaristabilointi	E	20	12	850	550	100	1500

Taulukko 9:stä selviää Koirasaarentie keskiosan olemassa olevat eri pohjanvahvistukset, jotka on tehty edellisessä kadun rakentamisvaiheessa. Pohjamaaluokitus määräytyy olemassa olevien pohjanvahvistusten ja pohjamaan mukaan. Pohjamaaluokan perusteella selviää pohjamaan E-moduuli, routaturpoama ja radan alusrakenteen routamitoitus. Radan päällysrakenteen yhteispaksuudeksi on määritely 500 mm asfaltti-/betonipäällysteelle ja 550 mm nurmikivipäällysteelle, jotka rakennetaan raitiotien päälle. Taulukossa näkyy myös runkomelueristeen mitoitusvaraus suunnittelun alkaessa ennen kuin runkomelueristettä oltiin hankkeelle valittu.

4.1.4 Pohjamaan routivuus

Koirasaarentien pohjamaa on luokiteltu E- ja D-luokiksi maaperän koostumuksen mukaan. E-luokka määräytyy sitkeän saven mukaan, joka on routivaa maalajia. E-luokan routaturpoamaksi on määritely 12 % ja routanousukerroin S_p on $5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$. D-luokan pohjamaa on hiekkaista moreenia, joka on routimaton pohjamaa. Sen routaturpoamaksi on määritely 3 % ja routanousukerroin on $5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$. Taulukko 1:ssä on määritely radan alusrakenteen routamitoitus routimista vastaan. Radan alusrakenne on rakennettu jo kadun ensimmäisen rakennusvaiheen aikana, jonka suunnittelun aikana raitiotie on kuitenkin huomioitu, ja radan päällysrakenne määritely raitiotien suunnittelun aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että jos routamitoitus radalla ei ole riittävä olemassa olevilla alusrakente-kerroksilla, tulee suunnittelussa mitoittaa raitiotielle routaeriste.



Kuva 16. Koirasaarentien rakennepoikkileikkaus paalulaatan kohdalta.

5 Kruunusillat-raitiotien runkomelueriste

Raitiovaunun liike synnyttää runkomelua ja värähtelyä, joka kantautuu kiskoista raitiotien alusrakenteita ja pohjalaattaa pitkin pohjamaahan. Pohjamaassa värähtely ja melu voivat kantautua pitkiäkin matkoja aiheuttaen ympäristöön haitallista melua ja pohjamaan värähtelyä. Pohjamaan maalaji vaikuttaa paljon värähtelyn leviämiseen ja tärinän siirtymiseen. Runkomelun värähtely etenee parhaiten tiiviissä kitkamaalajeissa ja erityisesti kalliassa riippuen maapohjan topografiasta. Suomessa ei toistaiseksi ole virallista ohjetta runkomelun sallittuihin rajoihin tai sen vähentämiseen, mutta sen voimakkuutta ja etenemistä pyritään kuitenkin ympäristön viihtyvyyden ja rakenteiden takia vähentämään.

Taulukko 10. Runkomelutason rajat maapohjan mukaan (Runkomeluselvitys 2016).

Liikennetyyppi	Maapohja, väylän sijainti ja runkomelutason raja			
	pehmeä maa, pintaväylä, 35 dB	kova maa, pintaväylä, 35 dB	kallio, tunneli, 30 dB	kallio, pintaväylä, 35 dB
Tieliikenne, 50 km/h	< 5 m	< 5 m	< 5 m	< 5 m
Tieliikenne, 100 km/h	< 5 m	< 5 m	< 5 m	5 m
Raitiovaunu, 40 km/h	< 5 m	15 m	50 m	120 m
Metro tai lähijuna, 80 km/h	< 5 m	30 m	90 m	160 m
Lähijuna, 160 km/h	10 m	60 m	130 m	200 m
Sähkömoottorijuna, 220 km/h	15 m	70 m	150 m	>200 m
IC-juna, 160 km/h	40 m	130 m	200 m	>200 m
Tavarajuna, 100 km/h	60 m	160 m	>200 m	>200 m

Kruunusillat-hankkeessa on laadittu Runkomeluselvitys, jossa on tutkittu Kruunusillat-raitiotien synnyttämää runkomelua ja miten se vaikuttaa ympäristön viihtyvyyteen. Yleisin ja tehokkain tapa vähentää runkomelua on runkomelueristeen asentaminen, joka sitoo runkomelua ja vähentää melun siirtymistä maapohjaan. Runkomelueristeet ovat yleisesti tukikerroksen alle sijoitettavat eristeet, kelluvat laattarakenteet tai ratapölkkyjen ja kiskojen alle sijoitettavat pehmeät eristeet. Kruunusillat-raitiotiessä runkomelueriste sijoitetaan kiintoraiderakenteilla pohjalaatan alapintaan koko raitiotien osuudelle (kuva 19.). Liitteessä 6 on esitetty Kruunuvuorenrannan runkomelueristeiden ja meluntorjunnan alueiden määrittäminen. [10.]



Kuva 17. Raitiotien runkomelueriste (sinimusta matto) pohjalaatan alapuolella.

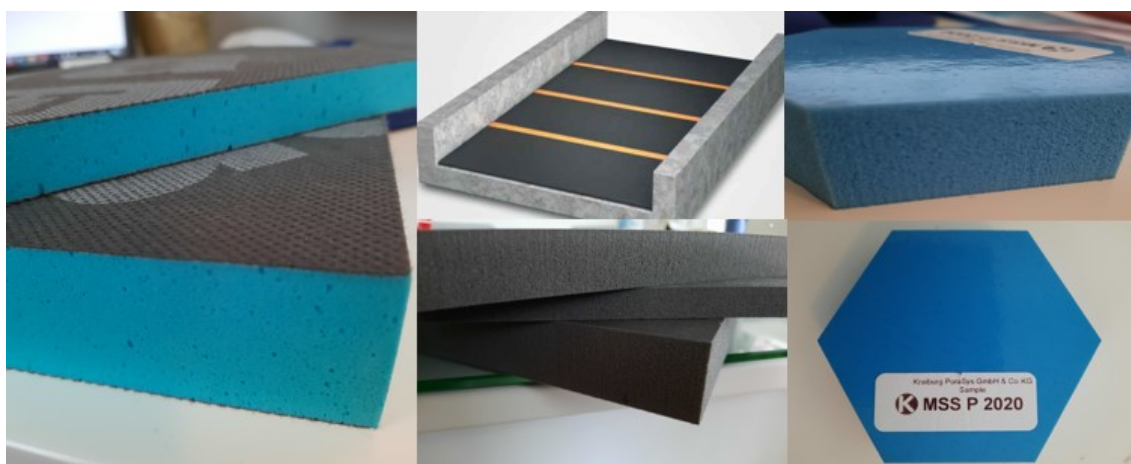
5.1 Eristetyyppi

Kruunusillat-hankkeessa käsiteltiin erilaisia runkomeluvaihtoehtoja raitiotien runkomelueristeeksi. Runkomelueristeen valintaan vaikuttavat sen tekniset ominaisuudet, kuten:

- pakkasen kestävyys
- kosteuden sietokyky
- vaimennus
- materiaalin asennettavuus
- säilytettävyyys työmaalla
- UV-kesto
- vedenimeytyminen.

Eristettyyppien materiaalitoimittajia ovat mm. Christian Berner, Edilonsedra ja Vibisol. Näiden toimittajien runkomelueristeet ovat hyvin samantyyppisiä polyuretaanipohjaisia materiaaleja. Raitiotierakenteeseen varattiin runkomelueristeelle tilavaraukseksi 100 mm tila korkeussuunnassa, koska rakennekerrosten leikkauuspohjaa on helpompi pienentää kuin kasvattaa suunnittelun edetessä. 100

mm tilavaraus käsittää sekä runkomelueristeen paksuuden, että runkomelueristeen ohuen tasauskerroksen esimerkiksi hiekasta tai raekooltaan 0-16 mm sepeleistä. Paksuimmillaan valittavaksi esitetyn toimittajan eriste on 37,5 mm. Asennettavan runkomelueristeen paksuus riippuu pohjamaasta eli mitä tiiviimpää pohjamaa on ja mitä enemmän vaimennusta vaaditaan, sitä paksumpi runkomelueriste on. Runkomelueristeen lisäksi rakenteeseen asennetaan muovikalvo ja geotekstiili, jotka suojaavat runkomelumateriaalia kosteudelta ja erottavat materiaalin muista rakenteista.

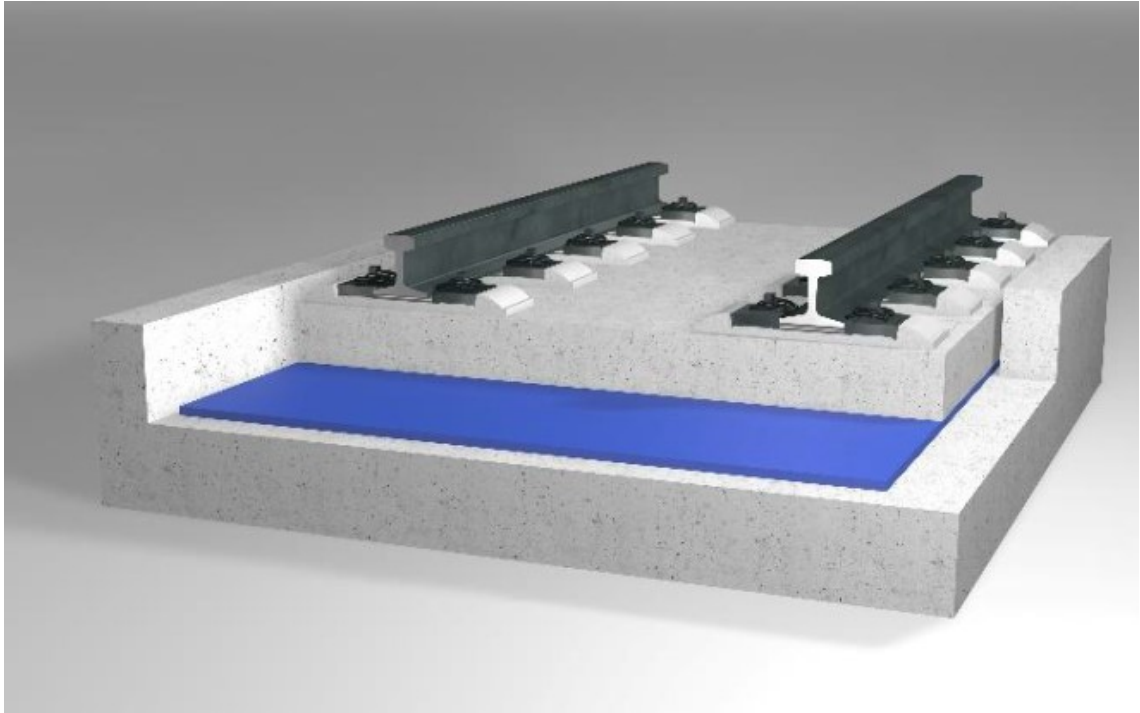


Kuva 18. Kruunusillat-hankkeen runkomelueristevaihtoja vasemmalta oikealle: Edilonsedra, Getzner (Christian Berner) ja Vibisol Purasys.

5.2 Tekniset ominaisuudet

Kruunusillat-hankkeen runkomelueristeeksi valikoitui Vibisol Purasys -runkomelueriste. Se vaimentaa runkomelua 5 dB – 20 dB riippuen sen paksuudesta. 15 mm eristepaksuus vaimentaa 5 dB, 20 mm paksuus 10 dB, 25 mm paksuus 15 dB ja 37 mm paksuus 20 dB. Koirasaarentien keskiosan osuuden runkomelueristeen mitoitus tehdään 20 mm ja 15 mm eristepaksuuksilla, mikä vaimentaa runkomelua 10 ja 5 dB. Materiaalitoimittajan mukaan Purasys kestää kosteutta hyvin, mutta imeytymistä voi tapahtua, joka aiheuttaa paikallista heikentymistä eristeen toimivuudessa, joka kuivuessaan palautuu. Tämä tarkoittaa, että kuiva-

tukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Vibisol Purasyksen lämmönjohtavuus DIN 52612-1 testauksen mukaan on 0,06 W/mK ja sen lämpötilakestävyys on -30 ... 70 °C. Runkomelueristeen tekniset tiedot on liitteestä 5. [11.]



Kuva 19. Vibisol Purasyks -runkomelueriste (sininen matto) (Vibisol Purasyks 2021).

Purasyksen E-kantavuusmoduuli vaihtelee eristeen paksuuden ja sen painuman mukaan. Materiaalin E-moduuli on arvioitu materiaalille tehtyjen kuormitusten aiheuttamien taipumien mukaan (taulukko 11) kaavalla:

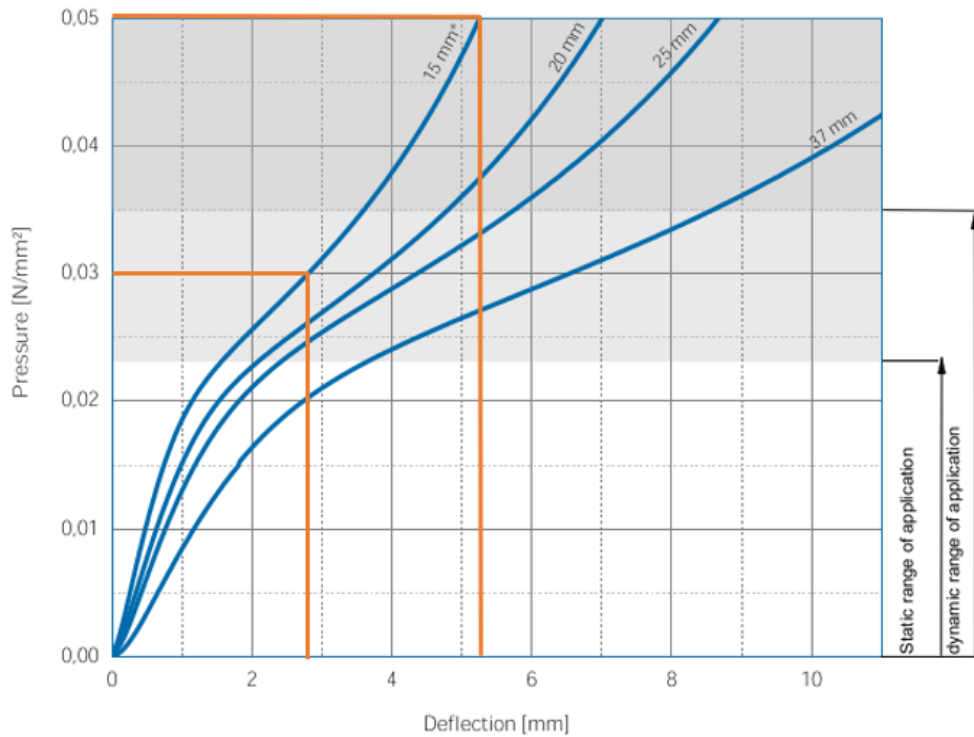
$$E = 1,5 * p * r / S \quad (\text{Kaava 6.})$$

Kaava 6 merkinnät:

p	levyn pintapaine
r	levyn säde, (0,15m)
s	painuma

15 mm eristepaksuudelle saatiin näin E-moduuliksi 1,8 MPa ($p = 0,02 \text{ N/mm}^2$, $s = 2,5 \text{ mm}$) ja 20 mm eristepaksuudelle 1,4 MPa.

Taulukko 11. Vibisol Purasyksen kuorman taipumakäyrä eristepaksuuksilla.



6 Runkomelueristeen vaikutus alusrakenteessa

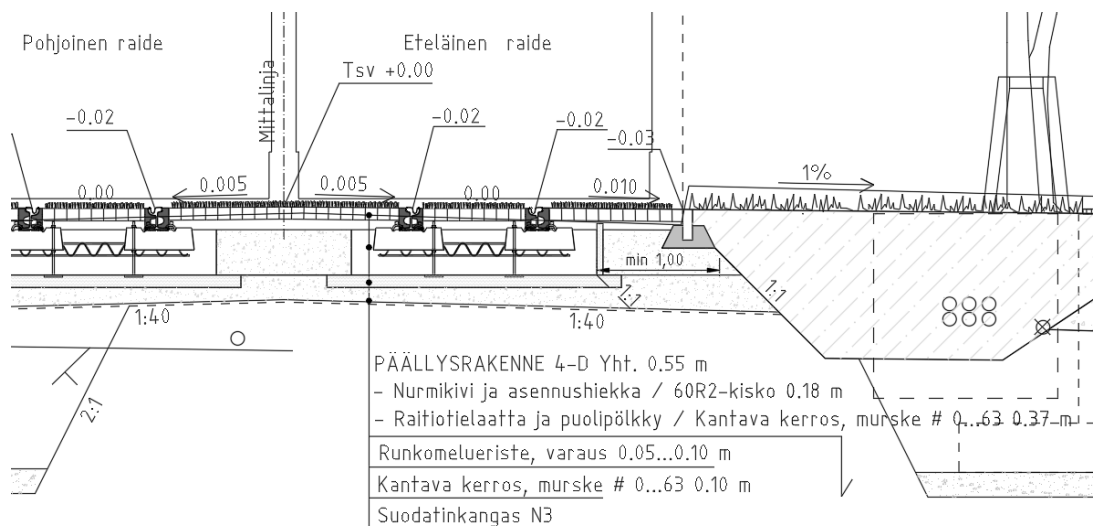
6.1 Kantavuusvertailu Odemarkin kaavalla

Kantavuuslaskennassa pohjamaan kantavuuden mitoitusarvona käytettiin 120 MPa kantavuutta, Kruunusillat-raitiotien suunnitteluperusteiden mukaan, vaikka kadun kantavuusmittauksista saatiin suurempia kantavuuksia. Runkomelueristeen kantavuusvertailu tehtiin vertailemalla radan rakenteen kantavuuslaskenta runkomelueristeellä ja ilman eristettä. Laskennoissa ei kiinnitetty huomiota radan päällysteeseen eli tulisiko pinnoitteeksi nurmikivetys vai betoni, koska laskennoissa haluttiin korostaa nimenomaan runkomelueristeen vaikutusta rakenteen kantavuuteen. Tämän takia päällysteen E-moduulin arvioitiin olevan 285 MPa.

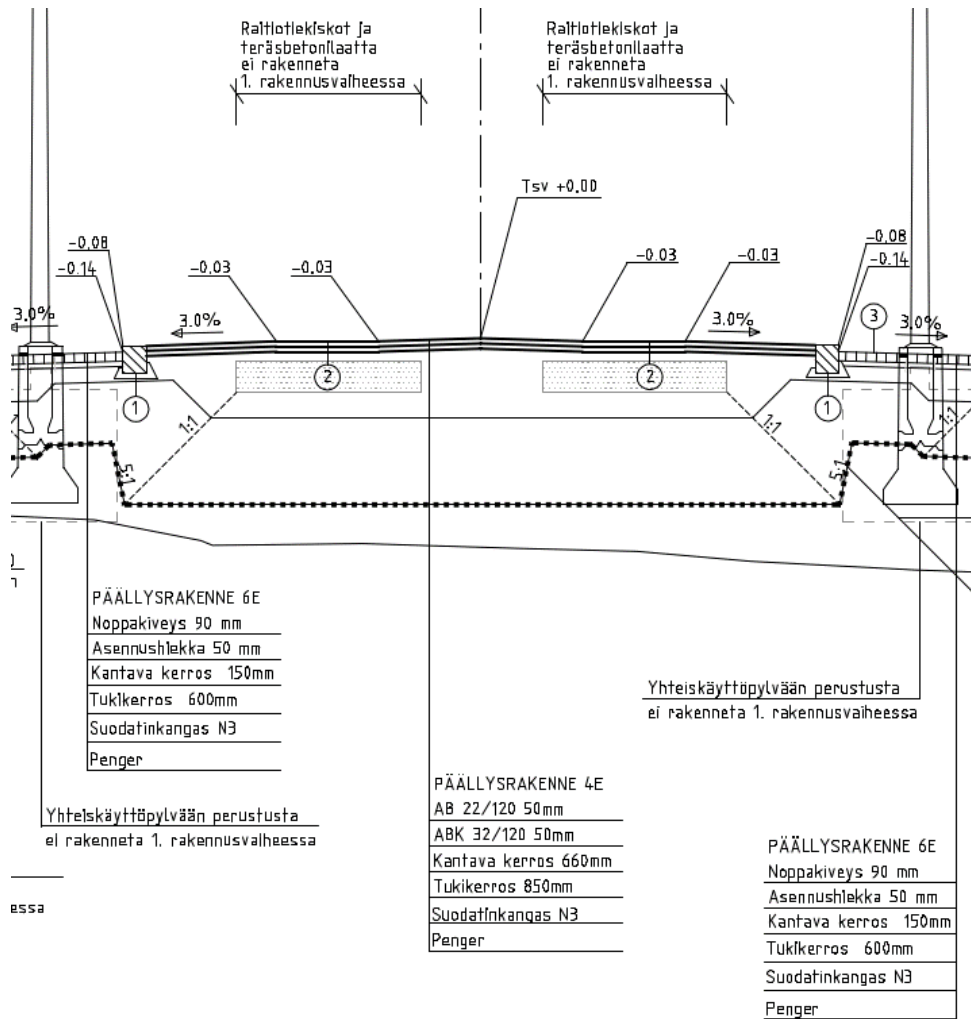
Kantavuuslaskenta tehtiin radan suunnitelluilla rakennepakkuuksilla ja runkomelueristeen paksuudella. Päällysrakenteen paksuus on yhteensä 0,55 m, joka muodostui joko nurmikivetyksestä ja asennushiekasta tai harjatusta betonista tai AB- ja ABK-päällysteistä. Päällystekerroksen paksuus on riippumatta materiaalista 0,18 metriä. Päällysteen lisäksi päällysrakenteeseen kuuluu yhtenäinen raitiotielaatta ja puolipölkky / kantava kerros 0/63 mm murskeella, joka on 0,37 metriä paksu. Raitiotien alusrakenne muodostuu runkomelueristeestä, joka on 0,02 metriä, kantavasta kerroksen 0/63 mm murskekerroksesta, joka on 0,10 metriä paksu ja N3 suodatinkankaasta. Kadun rakentamisvaiheen tyyppipoikkileikkauksesta (kuva 34.) käy ilmi raitiotien rakennepoikkileikkauksessa esitettyjen rakenteiden alapuoliset rakenteet.

Taulukko 12. Raitiotien rakennekerrokset.

Raitiotien rakennekerros	Paksuus [m]	Kantavuus E [Mpa]
Päällyste / 60R2-kisko	0,18	65
Raitiotielaatta / Kantava kerros, murske 0/63	0,37	280
Runkomelueriste	0,02	1,4
Kantava, murske 0/63	0,1	280
Suodatinkangas N3		
Nykyiset kadun rakennekerrokset	-	120



Kuva 20. Raitiotien rakennepoikkileikkaus (Kruunusillat-raitiotie 2021).



Kuva 21. Ote kadun rakentamisvaiheen tyyppiopikkileikkauksesta, josta ilmenee raitiotien alapuoliset rakennekerrokset.

Koirasaarentien katuluokan kantavuusvaatimus on 250 MN/m^2 . Odemarkin kantavuusmitoituskannan mukaan kantavuusvaatimukseen päästään ilman runkomelueristettä riippuen, mikä päällysteen kantavuus on. Runkomelueristeen kanssa kantavuusvaatimus jää Odemarkin mitoituksessa huomattavasti 250 MN/m^2 vaatimuksesta, kun laskennan tulokseksi saatiin 213 MN/m^2 . Alla Odemarkin laskentojen tulokset raitiotien kantavuudelle ilman runkomelueristettä ja sen kanssa:

Taulukko 13. Odemark-mitoitus raitiotien rakenteelle ilman runkomelueristettä.

ODEMARKIN MITOITUS ILMAN RUNKOMELUERISTETTÄ

Kantavuusmitoituksen kaava (Odemark):

$$E_Y = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{0,81(h/0,15)}\right)E_A/E + \frac{1}{(1+0,81(h/0,15)^2(E/E_A)^{2/3})^{1/2}}}$$

E_Y = mitoitettavan kerroksen päältä saavutettava kantavuus
 E_A = mitoitettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus
 E = mitoitettavassa kerroksessa käytettävän materiaalin E- moduuli
 h = mitoitettavan kerroksen paksuus

Lisäehto 1: Sitomattoman kerroksen käyttökelpoinen E on enintään $6 \cdot E_A$
 Lisäehto 2: Yhteenliimaantuneet ehjät bitumilla sidotut ($E \geq 1500$ MPa) kerrokset lasketaan yhtenä kerroksena.

	Nykyiset kadun rakennekerrokset	Kantava	Kantava/	Raitiotie laatta	Päällyste	
E_Y [MPa]	120	142	191	226	250	Vaatus 250 MN/m ²
E_A [MPa]	120	120	142	191	226	
E [MPa]	100	280	280	280	285	Kokonaispaksuus:
h [m]	0,00	0,10	0,19	0,19	0,18	0,66

Taulukko 14. Odemark-mitoitus raitiotien rakenteelle runkomelueristeellä.

ODEMARKIN MITOITUS RUNKOMELUERISTEELLÄ

	Nykyiset kadun rakennekerrokset	Kantava	Runkomelueriste	Kantava/	Raitiotie laatta	Päällyste	
E_Y [MPa]	120	142	71	122	172	213	Vaatus 250 MN/m ²
E_A [MPa]	120	120	142	71	122	172	
E [MPa]	50	280	1	280	280	285	Kokonaispaksuus:
h [m]	0,00	0,10	0,02	0,19	0,19	0,18	0,67

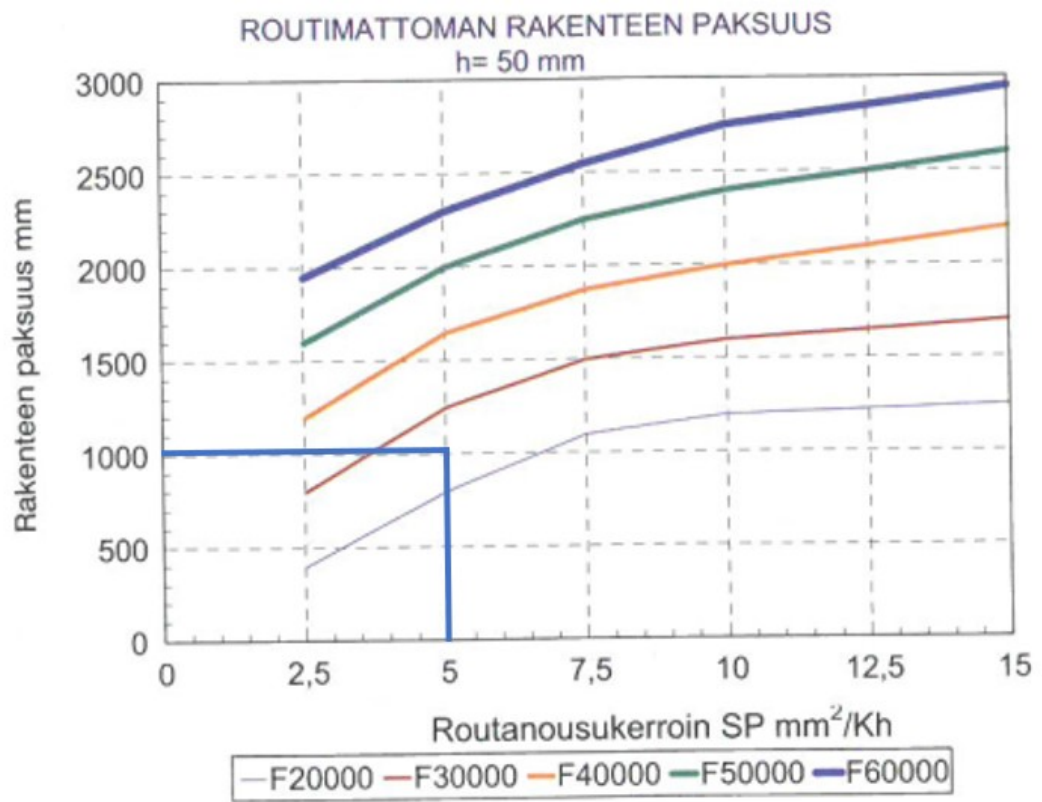
6.2 Routivuusvertailu

Koirasaarentien raitiotien kadun routamitoitus tehtiin Väyläviraston ohjeiden ja hankkeen suunnitteluperusteiden mukaan. Katurakenteen alla vallitseva alusrakenneluokat ovat D ja E, joiden mukaan määritettiin routaturpoaman arvot, $t=3\%$ ja $t=12\%$. Rakennettava raitiotien alapuolinen maalaji on rakennettua katu-pengertä eli SrM. Routanousukerroin, SP, on tällöin $5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$ (savipitoisuus $< 10\%$). Tilastollisesti keskimäärin kerran 10 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä, F_{10} , on $25\,000 \text{ Kh}$. Hankkeen sallittu routanousu on 50 mm ja mitoittava roudan syvyys S on $1,9 \text{ metriä}$. Raitiotien routamitoitus tehtiin ilman runkomelueristettä ja sen kanssa, jotta nähtiin miten runkomelueriste vaikuttaa rakenteen eristävyteen. Kuva 34. osoittaa, että raitiotien tarvittava rakennekerrospaksuus on 1010 mm . Routamitoitus tehtiin suunnitelluilla raitiotien rakennekerroksilla (kuva 33.) ja D- ja E-maalajiluokkien routaturpoama-arvoilla.

Taulukko 15. Raitiotien routamitoituksen arvot.

Mitoittava roudan syvyys, S	1,9 m	
Kerran 10 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä, F_{10}	25000 Kh	
Routanousukerroin, SP	5 mm^2/Kh	
Alusrakenne	Routaturpoama, $t\%$	
D	3	
E	12	
Kerrokset	paksuus R_i [m]	a_i
Päällyste (Nurmikivi ja Hk / betoni)	0,18	1
Raitiotielaatta / SrM, KaM	0,37	0,9
Runkomelueriste	0,02	15
Kantava kerros, SrM, KaM	0,1	0,9
Suodatinkangas N3		

Taulukko 16. Raitiotien tarvittava rakennekerrospaksuus routanousukertoimen ja kerran 10 vuodessa toistuvan suurimman pakkasmäärän mukaan.



Taulukko 17. Routamitoitus ilman runkomelueristettä.

Routamitoitus ilman runkomelueristettä			
Rakenteen laskennallinen, muunnettu kokonaispaksuus, R_{red}			
$R_{red} = (a_1 * R_1) + (a_2 * R_2) + (a_3 * R_3) + \dots + (a_i * R_i)$			
Kerrokset	paksuus R_i [m]	a_i	$R_i * a_i =$
Nurmikivi ja Hk / betoni	0,18	1	0,18
Raitiotielaatta / SrM, KaM	0,37	0,9	0,333
Kantava kerros SrM, KaM	0,1	0,9	0,09
Suodatinkangas N3			
R_{red} [m]			0,603
Routaantuvan alusrakennekerroksen paksuus, P			
$P = S - R_{red}$			
S	R_{red}	P	
1,9	0,603	1,297	
Laskennallinen routanousu, RN_{lask}			
$RN_{lask} = P * t / 100$			
P	t	RN_{lask}	
1,297	3	0,03891	38,9 mm
1,297	12	0,15564	155,6 mm

Yllä osoitetaan routamitoitus ilman runkomelueristettä. D-maalajiluokan laskennallinen routanousu 38,9 mm riittää hankkeen sallittuun routanousuun eli $R_{sall} = 100$ mm, mutta E-maalajiluokan routaturpoamalla laskennallinen routanousu 155,6 mm jää paljon sallitusta routanoususta.

Taulukko 18. Routamitoitus runkomelueristeellä.

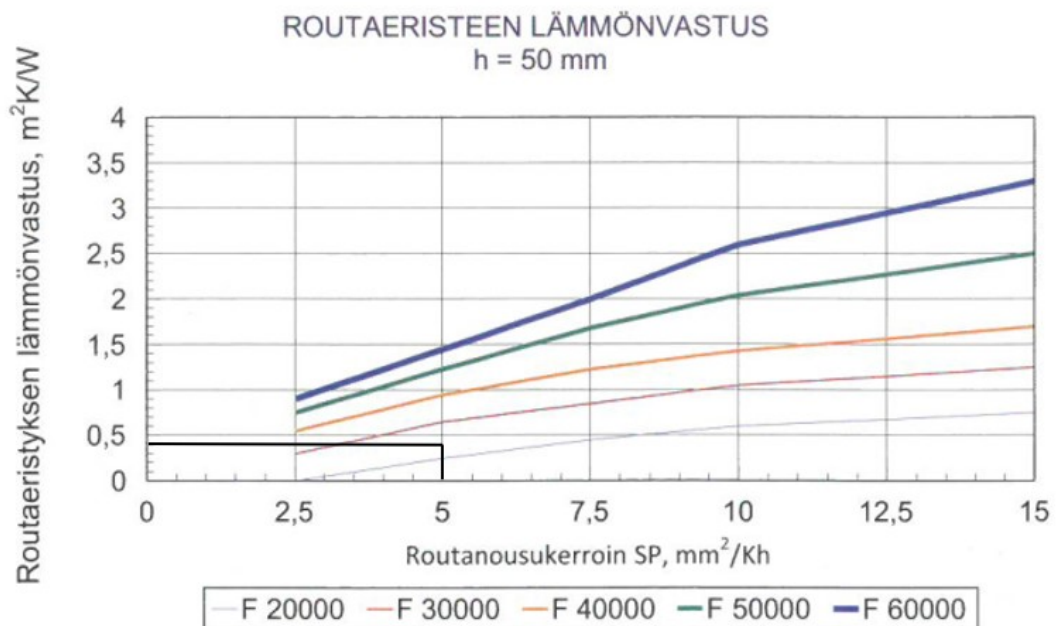
Routamitoitus runkomelueristeellä			
Rakenteen laskennallinen, muunnettu kokonaispaksuus, R_{red}			
$R_{red} = (a_1 * R_1) + (a_2 * R_2) + (a_3 * R_3) + \dots + (a_i * R_i)$			
Kerrokset	paksuus R_i [m]	a_i	$R_i * a_i =$
Nurmikivi ja Hk / betoni	0,18	1	0,18
Raitiotielaatta / SrM, KaM	0,37	0,9	0,333
Runkomelueriste	0,02	15	0,3
Kantava kerros SrM, KaM	0,1	0,9	0,09
Suodatinkangas N3			
R_{red} [m]			0,903
Routaantuvan alusrakennekerroksen paksuus, P			
$P = S - R_{red}$			
S	R_{red}	P	
1,9	0,903	0,997	
Laskennallinen routanousu, RN_{lask}			
$RN_{lask} = P * t / 100$			
P	t	RN_{lask}	
0,997	3	0,02991	29,9 mm
0,997	12	0,11964	119,6 mm

Yllä osoitetaan routamitoitus runkomelueristeellä. D-maalajiluokan laskennallinen routanousu 29,9 mm riittää hankkeen sallittuun routanousuun eli $R_{sall} = 100$ mm, mutta E-maalajiluokan routaturpoamalla laskennallinen routanousu 119,6 mm jää paljon sallitusta routanoususta.

6.3 Routivuusvertailu routaeristeeseen

Vibisolin ilmoittama lämmönjohtavuusarvo Purasys-runkomelueristeelle on 0,06 W/mK. Runkomelueristeiden lämmönjohtavuusarvoa verrattiin varsinaisiin vällyrakenteissa käytettäviin routaeristeisiin. Polystyreenisolumuovilevy EPS 120:n mitoituslämmönjohtavuus on 0,065 W/mK, EPS 200:n 0,06 W/mK ja XPS 200:n 0,05 W/mK. Vibisolin runkomelueristeiden lämmönjohtavuusarvo on lähellä routaeristeiden lämmönjohtavuusarvoihin, muttei kuitenkaan ole varsinainen runkomelueriste. Jos runkomelueristettä käytettäisiin raitiotien routaeristeinä, tarkasteltiin runkomelueristeiden tarvittava paksuus. Alla olevan taulukon avulla saatiin routanousukertoimen avulla routaeristeyksen lämmönvastus lämmönkerrosten paksuuden laskentakaavaan.

Taulukko 19. Routaeristeyksen lämmönvastus, m_r , routanousukertoimen, SP, mukaan.



Taulukko 20. Mitoitus runkomelueristeen tarvittavasta paksuudesta lämmöneristeenä.

Lämmöneristeen paksuus, d_e		
$d_e = m_r \cdot \lambda_U$		
m_r	Lämmönjohtavuus, λ	d_e [m]
[m ² K/W]	[W/mK]	
0,4	0,06	0,024

Runkomelueristeen tarvittava paksuus on laskennan mukaan 24 mm, jos eristettä halutaan käyttää hankkeella myös routa- ja lämmöneristeenä.

7 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia runkomelueristeen vaikutus raitiotien alusrakenteen kantavuuteen ja routivuuteen. Työn kohde oli Kruunusillat-hankkeen Koirasaarentie keskiosan raitiotieosuus Kruunuvuorenrannassa. Työn teoriaosuudessa käsiteltiin raitiotien suunnitteluun tarvittavia lähtötietoja, kantavuuslaskennan ja routamitoituksen periaatteita, joita tarvittiin Kruunusillat-raiotien suunnitellun rakenteen routivuus- ja kantavuustarkasteluihin. Osuudessa tarkasteltiin, mitä arvoja ja parametreja routamitoitus ja kantavuuslaskentoihin tarvittiin, jotta pystyttiin tekemään laskennat raitiotien rakenteesta runkomelueristeellä. Laskennoissa ja mitoituksessa käytettiin hankkeen suunnitteluperusteissa määriteltyjä arvoja, mutta Koirasaarentien pohjamaa tuli kuitenkin selvittää tutkimusta varten, jotta päästiin varmuuteen lähtötietojen oikeellisuudesta ja, että pohjamaa täyttää raitiotien rakentamisen vaatimukset.

Routamitoitusta ja kantavuuslaskentaa varten piti selvittää Kruunusillat-hankkeelle valitun runkomelueristeen ominaisuuksia. Valitun Vibisol Purasys -runkomelueriste oli todettu parhaaksi vaihtoehdoksi raitiotien eristeesi runkomelua vähentämään sen vaimentavuuden, kosteudensietokyvyn, materiaalipaksuuden ja muiden teknisten ominaisuuksien ansiosta. Routivuustarkastelua varten tärkein ominaisuus, joka tuli selvittää oli runkomelueristeen lämmönjohtavuusarvo. Vibisol Purasyksen lämmönjohtavuusarvo on 0,06 W/mK. Tätä verrattiin varsinaisiin infrakohteissa käytettäviin routa- ja lämmöneristysten lämmönjohtavuuksien suunnitteluarvoihin. Purasys -runkomelueristeen lämmönjohtavuusarvo on todella lähellä polystyreenisolumuovipohjaisien EPS ja XPS-routalevyjen lämmönjohtavuusarvoja, joiden arvot ovat 0,065 ... 0,05 W/mK. Tämän vertailun vuoksi raitiotien rakenteen routamitoituksessa runkomelueristeellä runkomelueristeen vastaavuus eristävyiden kannalta, a_i -arvolle annettiin EPS-eristettä muistuttava vastaavuusarvo 15.

Routamitoituksen tuloksista ja Purasys -runkomelueristeen lämmönjohtavuusarvosta voi päätellä, että runkomelueriste tuo raitiotien alusrakenteeseen myös

routa- ja lämmöneristävyttä runkomelun eristävyyslisäksi. Routamitoitus ilman runkomelueristettä antoi laskennalliseksi routanousuksi D-maalajiluokan laskennassa 38,9 mm ja runkomelueristeellä 29,9 mm. Runkomelueriste paransi laskennallista routanousua 9 mm. E-maalajiluokan 12 % routaturpoamalla, laskennallinen routanousuero runkomelueristeellä ja ilman oli vielä selkeämpi, 36 mm, kun laskennallinen routamitoitus ilman runkomelueristettä on 155,6 mm ja runkomelueristeellä 119,6 mm. E-maalajiluokan routamitoitus toteutettiin selkeyttämään laskennallista routanousueroa, sillä raitiotien rakenteet tullaan toteuttamaan D-maalajiluokan rakennepaksuuksilla, koska Koirasaarentielle tehdyt kadun pengerrakenteet parantavat tulevan raitiotien routasuojausta jo valmiiksi.

Purasys -runkomelueristeen hyvän lämmönjohtavuusarvon ansiosta, toteutettiin työssä myös routivuusvertailu infran kohteissa käytettäviin routaeristeeseen. Runkomelueristeen tarvittava paksuus 0,06 W/mK lämmönjohtavuusarvolla tulisi olla 24 mm, jos runkomelueristettä haluttaisiin käyttää rakenteessa myös routa- ja lämmöneristeenä. Hankkeessa suunnitellut runkomelueristepaksuudet Koirasaarentiellä on 15 mm (5 dB:n vaimennus) ja 20 mm (10 dB:n vaimennus), jotka riittävät vaimentamaan runkomelua riittävästi. Laskennan mukaan rakenteeseen tulisi valita 25 mm runkomelueriste, joka vaimentaa vielä enemmän runkomelua (15 dB). Runkomelueriste on kuitenkin suunniteltu käytettäväksi runkomelueristeenä eikä routa- ja lämmöneristeenä, joten laskentojen tulokset ovat vain suuntaa antavia havaintoja.

Jos laskentojen mukaan tarvittava runkomelueristeen paksuus lämmöneristeenä on 24 mm ja hankkeella käytetään runkomelun estämisen takia 25 mm eristepaksuutta, voidaan ajatella, että lämmöneristävyys paranee raitiotien rakenteessa. Väylien lämmöneristelevyjen kohdalla väylän pinta voi jäätyä, jos sää kylmenee, mutta eristelevy kuitenkin lämmittää väylän pinnan alapuolelta. Sama ilmiö voi tapahtua myös raitiotien pinnalle, jos runkomelueriste lämmittää pinnan alapuolelta pintaa. Lämpötilojen vaihtelut ja raitiotiepinnan jäätyminen voi kuormittaa näin myös pinnan päällisiä rakenteita.

Raitiotien rakenteen kantavuustarkastelu toteutettiin myös vertailevana tutkimuksena runkomelueristeellä ja ilman sitä. Odemarkin kantavuusmitoituksen tarkastelu antoi runkomelueristeeseen kannalta heikompia tuloksia kuin runkomelueristeeseen routivuustarkastelu. Odemarkin mitoitus toteutettiin suunnitelluilla raitiotien rakennekerrospaksuuksilla. Odemarkin mitoituksen mukaan rakenteen kantavuus on riittävä ilman runkomelueristettä, riippuen kuitenkin päällysteen E-moduulista, jota ei tutkimuksessa tarkasteltu erikseen. Hankkeen vaadittava kantavuus on 250 MN/m^2 . Vaadittavaan kantavuuteen ei päästy rakenteella runkomelueristeeseen kanssa, jolloin kantavuudeksi päällysteen päältä saatiin vain 213 MN/m^2 . Laskentavertailu osoittaa, että runkomelueristeellä olisi rakenteen kantavuuteen heikentävä vaikutus.

Odemarkin kantavuusmitoitus runkomelueristeellä osoittaa, että raitiotien alusrakenteeseen tulisi lisätä kerrospaksuutta tai suunnitella pohjanvahvistusrakenteita lisäämään raitiotien kantavuutta, koska runkomelueriste heikentää raitiotien kantavuutta. Kantavuus on kuitenkin riittävä, sillä edellisissä kadun rakennushankkeissa on varauduttu raitiotien rakentamiseen rakentamalla pohjanvahvistukset ajoratojen lisäksi raitiotievarauksen kohdalle. Kantavuus on riittävä raitiotiellä myös siksi, että raitiotiellä ei liikennöi kuin raitiotievaunu ja huoltoajoneuvot, eikä se ole sekaliikennettä varten. Vaikka kantavuusvertailu osoittaa, että kantavuus ei olisi riittävä runkomelueristeellä, tulee muistaa, että tutkimus on vain suuntaa antava ja tehty suunnittelun aikana, jolloin ei ole ollut käytännön kokemusta pikaraitioteiden runkomelueristeeseen toimivuudesta.

Pikaraitioteiden rakentaminen Suomessa on uusi asia eikä yksikään pikaraitiotie ole ollut vielä tätä työtä tehtäessä käytössä. Parhailaan on rakenteilla Kruunusillat-raiotien lisäksi Helsinkiin Raide-Jokeri, jonka on tarkoitus aloittaa liikennöinti vuonna 2024. Kruunusillat-raiotien tavoite liikennöinnin aloittamiseksi on vuonna 2026. Koska pikaraitioteita ei ole rakennettu ja otettu käyttöön ennen, runkomelueristeeseen vaikutusta raitiotien alusrakenteeseen ei ole päästy vielä käytännössä tutkimaan. Myöskään suunnittelun aikana runkomelueristeeseen vaikutusta raitiotien alusrakenteeseen ei ole erityisemmin tutkittu, joten vertailukohteita ei tutkimukselle vielä ole. Tarkempaa tulosta varten tulisi tutkia myös

enemmän runkomelueristeen routivuus- ja kantavuusominaisuuksia, jotta ominaisuuksista pystyttäisiin varmistumaan. Purasys -runkomelueristeelle on tehty DIN-testaukset. DIN 52612-1 -testi on tehty lämmönjohtavuusarvolle ja DIN 45673-7 materiaalin kantavuudelle.

Runkomelueristeen vaikutuksista raitiotiehen olisi hyvä tehdä myös jatkotutkimuksia sen tyyppivalintaan liittyen. Kruunusillat-hanke valitsi runkomelueristeeksi polyuretaanipohjainen levyn, jolla on sekoitesolurakenne, koska materiaalien ominaisuusvertailuissa se oli yksi parhaimmista vaihtoehdoista hankkeelle. Raide-Jokerin raitiotiehankeelle taas valittiin kivivillapohjainen Rock Delta -runkomelueriste, joka vaimentaa runkomelua myös hyvin ja sopii Suomen olosuhteisiin, mutta on erilainen materiaali kuin Purasyksen eriste. Runkomelueristettä käytettiin Espoossa Sellon kannen päällä myös lämmöneristeenä, koska kyseisen kohdan rakenteissa ei ollut tilaa erilliselle lämmöneristeelle, joten myös kivivillan odotetaan eristävän hyvin lämpöä. Kivivillalle on ominaisempaa eristeen painuminen kuin polyuretaanipohjaiselle levylle, mutta paljon muuta tutkimusta ei sillekään ole vielä tehty ja käytännönkokemusta saatu. Raide-Jokerin ja Kruunusillat-raitiotien runkomelueristeistä voisi tuottaa jatkotutkimuksen, johon voisi liittää myös empiiristä tutkimusta. Raitioteiden käyttöönoton jälkeen voitaisiin havainnoida ja monitoroida, miten erityyppiset runkomelueristeet toimivat raitioteiden rakenteissa ja verrata tuloksia toisiinsa.

Tämän tutkimuksen perusteella ei voida vielä varmaksi sanoa, kuinka Kruunusillat-hankkeelle valittu Purasys -runkomelueriste vaikuttaa raitiotierakenteen kantavuuteen ja routivuuteen. Tätä työtä ei ole tarkoitettu suunnittelun ohjeeksi, mutta työssä esiteltävistä asioista voi saada ideoita rakenteen ja tutkimusten toteutukseen sekä painumien tulkitsemiseen.

Lähteet

- 1 Väylävirasto. 2018. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3 Radan rakenne. Väyläviraston ohjeita. Helsinki: Väylävirasto.
- 2 Sikiö, Janne. 2020. Katu2020. < <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/kadun-rakennekerrokset-ja-materiaalit/> > Luettu 20.5.2021. Suomen kuntatekniikanyhdistys SKTY.
- 3 Väylävirasto. 2017. Eurokoodin soveltamisohe – Geotekninen suunnittelu – NCCI7. Väyläviraston ohjeita. Helsinki: Väylävirasto.
- 4 Rakennustieto. 2021. InfraRYL. < <https://ryl.rakennustieto.fi/> > Luettu 6.6.2021. Vaatii käyttöoikeuden. Rakennustietosäätiö RTS ja Rakennustieto Oy.
- 5 Väylävirasto. 2018. Tierakenteen suunnittelu. Väyläviraston ohjeita. Helsinki: Väylävirasto.
- 6 Kruunusillat, Helsingin kaupunki, WSP. 2016. Raitiotieyhteys Laajasaloon Yleissuunnitelma. Helsinki: Kruunusillat.
- 7 RIL. 2013. Routasuojaus -rakennukset ja infrarakenteet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 8 Peltonen, Pietari. 2021. Suunnitteluperusteet. Vaatii käyttöoikeuden. Kruunusillat-allianssi.
- 9 Helsingin kaupunki Rakennusvirasto. 2015. Koirasaarentie PLV 0-410, 3. urakka, Työselostus. Ramboll Finland Oy.
- 10 Scheuer, Johan; Lyly, Tuukka; Hiekka, Kirsi-Maarit ja Jussila, Kai. 2016. Runkomeluselvitys. Kruunusillat.
- 11 Kraiburg Purasys. 2021. Purasys Product data sheet. Kraiburg Purasys GmbH Co.

Koirasaarentien levykuormituskoee, pöytäkirja 1

Raimo Peräkylä Oy		MITTAUSPÖYTÄKIRJA				
MAARAKENNUKSEN LAADUNVALVONTA & TESTAUS						
Levykuormituskoee, TIEL 2220003		Mittalaitte: Power Team				
Projekti	Työ 100042	Pvm	25.5.2016			
Tilaaaja	Granittirakennus Kaillo Oy Unto Lahtinen	Kohde:	Kantava kerros			
		Pöytäkirja numero				
		1				
Nro	Paaluluku	E2	E2/E1	Vaatus E2	E2/E1	Sijainti
				? Mpa	≤	
Koirasaarentie						
1	PL 400	Vasen ajorata	149 MPa	1,9	≤	2,0
2	PL 390	Keskimmäinen ajorata	197 MPa	1,6	≤	2,4
3	PL 390	Oikea ajorata	175 MPa	2,3	≤	2,3
4	PL 410	Vasen ajorata	135 MPa	1,7	≤	2,0
MPa						
Suorittaja			Tarkastaja			
Jussi Peräkylä 041/ 507 0424						

Koirasaarentien levykuormituskoee, pöytäkirja 2

Raimo Peräkylä Oy		MITTAUSPÖYTÄKIRJA				
MAARAKEMMUKSEN LAADUNVALVONTA & TESTAUS						
Levykuormituskoee, TIEL 2220003			Mittalaitte: Power Team			
Projekt	Työ 100042		Pvm	28.6.2016		
Tilaaaja	Granittirakennus Kaillo Oy Unto Lahtinen		Kohde:	Kentävä kerros		
					Pöytäkirja numero	
					2	
Nro	Paaluluku		E2	E2/E1	Vaatus E2	E2/E1
					? Mpa	≤
Koirasaarentie						
1	PL 20	Vasen kaista	183 MPa	2,4		≤ 2,3
2	PL 70	Oikea kaista	179 MPa	2,2		≤ 2,3
3	PL 120	Vasen kaista	238 MPa	2,0		≤ 2,7
4	PL 170	Vasen kaista	192 MPa	1,9		≤ 2,4
5	PL 270	Oikea kaista	168 MPa	2,4		≤ 2,2
Alueen tiivistystyö oli vielä kesken.						
			192 MPa	2,2		
Suorittaja			Tarkastaja			
Jani Peräkylä 050 / 568 9529						

Purasys, Product data sheet

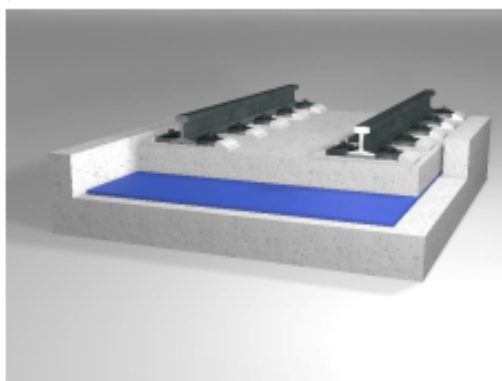
PURASYS
Product data sheet

MSS P
2015/20/25/37



KRAIBURG Purasys GmbH & Co. KG
Ponschestraße 1
49356 Diepholz / GERMANY
www.purasys.com

PURASYS MSS P 2015/20/25/37 Isolation and protection mat



PURASYS MSS P 2015/20/25/37 is an isolation and protection mat for railway track constructions, proofed in accordance to DIN 45673-7. The mat reduces structure borne sound and secondary airborne sound as well as emissions by vibrations. The field of application is in slab track systems (mass-spring-systems).

The MSS P 2025 has been fully tested according to DIN 45673-7 at the TU Munich.

Characteristic values of the product:

Static load up to:

0.023 N/mm²

Dynamic load up to:

0.035 N/mm²

Load peaks up to:

1.0 N/mm²

Values depending on form factor and apply to form factor $q = 3$

Material: Mixed cell polyether-urethane
Colour: blue

Delivery specifications
Thickness: according to requirements
Length: maximum 3600mm
Width: 1000mm
Mass [25mm Thickness]: approx. 5,1kg/m²

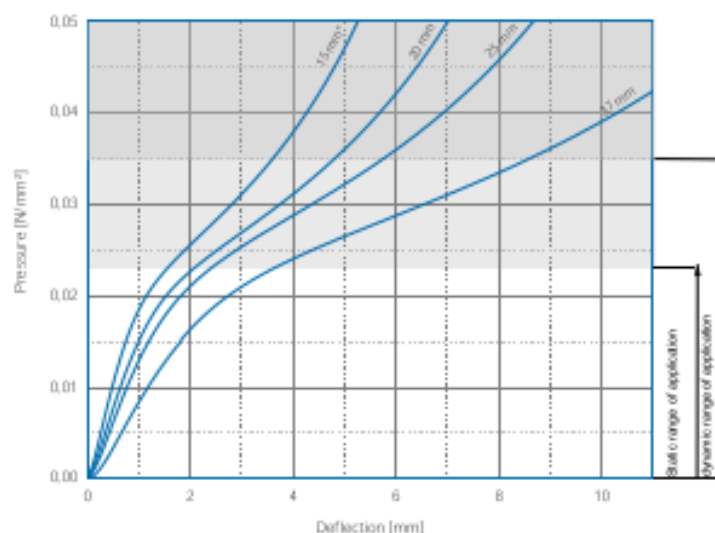
Tolerances in accordance with DIN ISO 3302-1 MM.

Properties	Values	Test method	Comment
Mechanical loss factor (C_{dyn})	0.24	DIN 45673-7	Reference Value depends on frequency, preload and amplitude
Static shear modulus	0.08 N/mm ²	DIN 53513	preload 0.023 N/mm ²
Dynamic shear modulus	0.14N/mm ²	DIN 53513	preload 0.023 N/mm ² , 10 Hz
Tensile strength	0.45 N/mm ²	53455-6-4	minimum
Elongation at break	>300 %	DIN 45673-7	minimum
Residual compression set	<5 %	DIN EN ISO 1856	50%, 23°C, 70h, 30min after unloading
Rebound elasticity	50 %	DIN EN ISO 8307	± 10%
Mechanical fatigue resistance ⁽¹⁾	0 %	DIN 45673-7	Change of the static bedding modulus ($C_{stat,2}$) after 3 million load changes
Resistance to ageing ⁽¹⁾	0 %	DIN 45673-7	Change of the static bedding modulus($C_{stat,2}$)
Freeze-Thaw resistance (5-30Hz) ⁽¹⁾	5 %	DIN 45673-7	Change of the dynamic bedding modulus (C_{dyn})
Specific volume resistance	>10 ¹¹ Ω-cm	DIN IEC 93	dry

All information and data is based on our current knowledge. The data are subject to typical manufacturing tolerances and are not guaranteed. We reserve the right to amend the data.

Properties	Values	Test method	Comment
Thermal conductivity	0.06 W/[m K]	DIN 52612-1	
Operating temperature	-30 to +70 °C		
Temperature peak	+120 °C		
Flammability	Class B2	DIN 4102-1	normal flammable
ozone resistance	Free from cracks	DIN ISO 23529-23/50	

Load deflection curve



Static bedding modulus:

The static bedding modulus must be determined project-specifically as secant stiffness according to DIN 45673-7. It has to be declared subdivided in different analysis areas. If the project-specific loads (dead load and load of vehicle) are known the bedding modulus can be determined with the load deflection curve. At other thicknesses load deflection curves can be interpolated linearly.

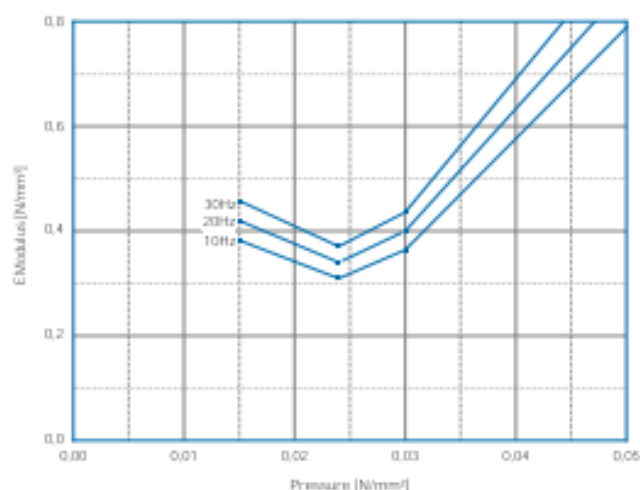
Thickness	σ_1	σ_2	C _{stat}
15mm*	0.015N/mm ²	0.040N/mm ²	0.00720 N/mm ²
20mm	0.015N/mm ²	0.040N/mm ²	0.00535 N/mm ²
25mm	0.015N/mm ²	0.040N/mm ²	0.00437 N/mm ²
37mm	0.015N/mm ²	0.040N/mm ²	0.0029 N/mm ²

*Split material with open cell structure

All information and data is based on our current knowledge. The data are subject to typical manufacturing tolerances and are not guaranteed. We reserve the right to amend the data.

Modulus of elasticity*

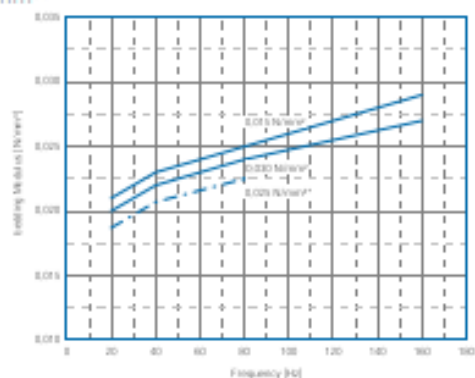
Dynamic test: harmonic excitation as a function of pressure. Test according to DIN 45673-7 with an amplitude of 7mm/s.



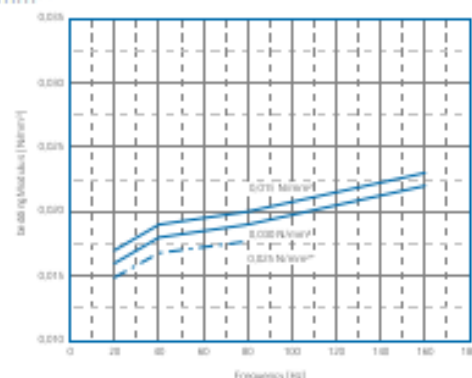
Dynamic bedding modulus C_{dyn2}

for determining the structure-borne sound insulating effect as a function of frequency ⁽¹⁾

20mm⁽²⁾



25mm⁽²⁾



Preload	20Hz	40Hz	80Hz	160Hz
0.015 [N/mm²]	0.021 N/mm²	0.023 N/mm²	0.025 N/mm²	0.029 N/mm²
0.030 [N/mm²]	0.020 N/mm²	0.022 N/mm²	0.024 N/mm²	0.027 N/mm²
0.060 [N/mm²]	0.055 N/mm²	0.060 N/mm²	0.064 N/mm²	0.069 N/mm²

Preload	20Hz	40Hz	80Hz	160Hz
0.015 [N/mm²]	0.017 N/mm²	0.019 N/mm²	0.020 N/mm²	0.023 N/mm²
0.030 [N/mm²]	0.016 N/mm²	0.018 N/mm²	0.019 N/mm²	0.022 N/mm²
0.060 [N/mm²]	0.044 N/mm²	0.048 N/mm²	0.051 N/mm²	0.055 N/mm²

⁽¹⁾ Measured values Kraiburg PuraSys

⁽²⁾ Measured values of the TU Munich (see report no. 3400 from 17.05.2016)

⁽³⁾ Measured values determined by Müller BBM with a 300x300x25mm Sample (see report no. M120502/08 from 25.05.2016)

⁽⁴⁾ Measured values determined by Müller BBM with a 300x300x25mm Sample (see report no. M120502_07 from 25.05.2016)

All information and data is based on our current knowledge. The data are subject to typical manufacturing tolerances and are not guaranteed. We reserve the right to amend the data.

