



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Niko Heikkinen

# Sähköradan runkomelueristysraken- teen vaikutus sähköradan rakenneker- rosten kustannuksiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

7.5.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Niko Heikkinen Sähköradan runkomelueristysrakenteen vaikutus sähköradan rakennekerrosten kustannuksiin 32 sivua + 2 liitettä 7.5.2021
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	Infrarakentaminen
Ohjaajat	Lohkovastaava Esa Virtanen Työmaainsinööri Otto Lappalainen Lehtori Jouni Ruotsalainen
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää samaan paikkaan toteutettavan kahden erilaisen runkomelueristetyn rakennetyypin kustannuseroja. Rakenteet perustettiin samanlaisissa olosuhteissa, mutta poikkeavin menetelmin ja työtavoin. Molempien rakennetyyppien kustannusten laskennassa on käytetty keksittyjä hintoja, sillä todelliset sopimuksiin sidotut hinnat ovat liikesalaisuus. Vaikka hinnat ovat keksittyjä, on työn tehokkuus laskettu oikeiden työmenekkien mukaan, jotka on saatu Rakennustöiden menekit 2020 -kirjasta.</p> <p>Opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa selostetaan vertailtavien rakennetyyppien toteutustavat rakenteittain puuttumatta menekkeihin tai kustannuksiin. Rakennetyypin vaikutus kustannuksiin esitetään erillisessä liitteessä kirjallisen osuuden jälkeen.</p>	
Avainsanat	Runkomelueriste, kustannusero, rakennetyyppi

Author Title Number of Pages Date	Niko Heikkinen Effect of the Noise Insulation Structure Type on the Costs of the Structural Courses of an Electric Railroad 32 pages + 2 appendices 7 May 2021
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Management
Professional Major	Infrastructure Construction
Instructors	Esa Virtanen, Site Manager Otto Lappalainen, Site Engineer Jouni Ruotsalainen, Senior Lecturer
<p>The aim of this project was to determine the cost variance of two different structure-borne noise insulation structure types founded in the same location. Both structure types were founded under the same prevailing conditions but with different methods and techniques. The performance-based cost accounting for both structure types was calculated with fabricated costs because the real costs rely on different price agreements and are therefore a trade secret. Although the costs were fabricated the actual working efficiency has been calculated using accurate labor input rates which were obtained from Construction Sales 2020 publication.</p> <p>This thesis covers the contrast of different establishment methods for two different structure types ignoring the labor inputs or costs. The cost variance of the two different structure types is presented in a separate attachment at the end of the thesis.</p>	
Keywords	Structure-born noise insulation, cost variance, structure type

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	4
2	Raide-Jokeri	4
2.1	Allianssihanke	4
2.2	Hankkeen laajuus	5
3	Kohteen maaperätiedot	6
4	Raitiotien alusrakennekerrokset	6
4.1.1	Murskerakenteet	7
4.1.2	Vaahtolasimurske	9
4.1.3	Suodatinkangas	9
5	Alusrakenteiden toteutus	10
5.1	Kevennetty eristys- ja välikerros	10
5.1.1	Suunnitelma-asiakirjat	13
5.1.2	Maaherrantien runkomelueristetyin kevennetyn eristys- ja välikerroksen toteutus	15
5.2	Maaherrantien runkomelueristeinen teräsbetonilaatta	16
5.2.1	Suunnitelma-asiakirjat	17
5.2.2	Maaherrantien runkomelueristetyin teräsbetonilaatan toteutus	19
5.3	Rakenteiden toteutusten vertailu	26
6	Aikatauluvertailu	27
6.1	Alusrakenteiden toteutusaikataulu	27
7	Tulokset	28
7.1	Kevennetyn eristys- ja välikerroksen mukaiset kustannukset	28
7.2	Runkomelueristetyin eristys- ja välikerroksen mukaiset kustannukset	29
7.3	Kevennetyn eristys- ja välikerroksen sekä runkomelueristetyin eristys- ja välikerroksen välillä.	31
8	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

## Liitteet

Liite 1. Mittauspöytäkirja, levykuormituskoe, InfraRYL

Liite 2. Runkomelulaatan puristuslujuusraportti

## Lyhenteet ja käsitteet

Alusrakenne on kiintoraidelaatan, sepeli- tai mursketukikerroksen alapuolinen eristys- ja välikerros (EV-kerros).

Eristyskerros vähentää tai estää sen alla olevien maakerrosten routimista ja muodostaa välikerrokselle kantavan ja tasaisen alustan siirtäen ja jakaen kuormat pohjamaalle. Eristyskerros myös pysäyttää kapillaarisen veden nousun ja toimii suodatinkerroksena.

EV-kerros Eristys- ja välikerros.

InfraRYL Määrittää infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset.

Kiintoraide on yhtenäiselle betonilaatalle perustettu urakisko -raitiotieosuus, joka rakennetaan nurmi-, asvaltti-, kivi-, tai betonipintaisena. Kiintoraide voi myös kulkea ajoneuvoliikenteen seassa.

Plv. Paaluväli

Sepeliraide on raide, jossa tukikerroksen materiaalina on raidesepeli.

Välikerros muodostaa tukikerrokselle kantavan ja tasaisen alustan ja estää tukikerrosta sekoittumasta alla oleviin rakennekerroksiin.

## 1 Johdanto

Tutkittaessa Maaherrantien sähkörataosuuden pituus- ja poikkileikkauksia keväällä 2020 kävi ilmi, että sähköradan eristys- ja välikerros rakennetaan osaksi kevennysrakenteisena sepeliratana ja osaksi kiintoraidelaattana. Maaherrantien sähkörataosuudella plv. n. 19500 – 19580 oli alun perin suunniteltu tehtäväksi kevennettynä alusrakenteena eristys- ja välikerroksen osalta. Suunnittelua revisioitiin ja lopulta rakenne päätettiin toteuttamaan runkomelueristeisenä kiintoraidelaattana. Työmaalle oli ehditty jo tilata kevennettyä eristys- ja välikerrosta varten 10-60 mm vaahtolasimurskeet. Edellä kuvatut tapahtumat johtivat tämän opinnäytetyön aiheeseen.

Tässä työssä keskitytään edellä mainittujen rakenteiden toteuttamiseen tarvittavia työtapoihin, laatuvaatimuksiin ja laatumittauksiin. Edellä mainittujen perusteella saadaan laskettua kustannuslaskelmat eri rakennetyypeille. Valmis kustannusvertailu perustuu sopimushintoihin ja on siksi salassa pidettävää aineistoa. Kustannusvertailun julkinen liite on laskettu esimerkkihinnoin, RATU-menekkien mukaan.

Tutkimustulosta voidaan hyödyntää tulevien hankkeiden kustannusten ennustamiseen sähkörataosuuksilla, joiden rakennetyyppi on vastaava kuin vertailut rakennetyypit. Raide-Jokeri allianssissa raitiotierakenteita koskevia InfraRYL-ohjeistuksia on täydennetty ja täsmennetty Raide-Jokerin hankekohtaisella alusrakenneohjeella. Kyseinen alusrakenneohje yhdistelee InfraRYL kadun-, tien- ja radan rakennuksen ohjeistusta ja vaatimuksia pikaraitiotien rakentamiseen sovellettavaksi.

## 2 Raide-Jokeri

### 2.1 Allianssihanke

Allianssimalli on yhteistoiminnallinen urakkamuoto, jossa tilaaja ja palveluntuottajat yhdessä vastaavat suunnittelusta, rakentamisesta, aikatauluista, kustannuksista ja laadusta. Allianssimallissa riskit ja mahdollisuudet jakautuvat tasapuolisesti kaikkien sopimusosapuolten kesken. Sopimusosapuolet tekevät yhdessä päätökset, asettavat hankkeelle tavoitteet sekä tavoitekustannuksen. Allianssimallia on paras soveltaa suurissa ja vaativissa hankkeissa, joissa riskit epävarmuustekijät ovat suuria.

Raide-Jokeri-hanke toteutetaan allianssimallilla. Ramboll Finland Oy, Sitowise Oy ja Sweco Oy muodostavat suunnittelijakonsultti-ryhmittymän hankkeelle. NRC Group Finland Oy ja YIT Suomi Oy toimivat urakoitsijan roolissa. Kaupunkien muodostama tilaajaorganisaatio, suunnittelija ja urakoitsija muodostavat yhteisen allianssiorganisaation. [1.]

## 2.2 Hankkeen laajuus

Raide-Jokeri on pikaraitiolinja, joka rakennetaan Helsingin Itäkeskuksen ja Espoon Keilaniemen välille (kuva 1). Pituutta radalle kertyy noin 25 km, siitä noin 16 km Helsinkiin ja noin 9 km Espooseen. Pikaraitiolinja korvaa runkobussi 550:n, jonka kuljetuskapasiteetti ei vastaa kasvavaan matkustajamäärään. Raide-Jokerin arkivuorokautisten matkustusmäärien on arvioitu olevan vuonna 2030 noin 91 000 matkaa ja vuonna 2050 määrän ennustetaan olevan 125 000 matkaa. Nykyinen bussilinja 550 kuljettaa 40 000 matkustajaa vuorokaudessa. Pysäkkipareja Raide-Jokeri-radalle on suunniteltu 34. Pysäkit on koetettu sijoittaa paikoille, jotka ovat nyt tai tulevaisuudessa asumisen, työpaikkojen tai palveluiden keskittymiä. [1.]



Kuva 1. Raide-Jokerin pysäkkikartta



Pysäkkien sijoittelulla pyritään mahdollistamaan myös hyvät jalankulku- ja pyöräily-yhteydet ja lisäksi suunnittelussa pyritään kiinnittämään huomiota esteettömyydelle. Lähitulevaisuuden asemakaavat ovat tuomassa Raide-Jokerin varrelle asuntoja noin 18 000 uudelle asukkaalle Helsingissä ja yli 4000 asukkaalle Espoossa. Rakentaminen on aloitettu kesällä 2019 ja liikennöinti on tarkoitus aloittaa kesällä 2024. [1.]

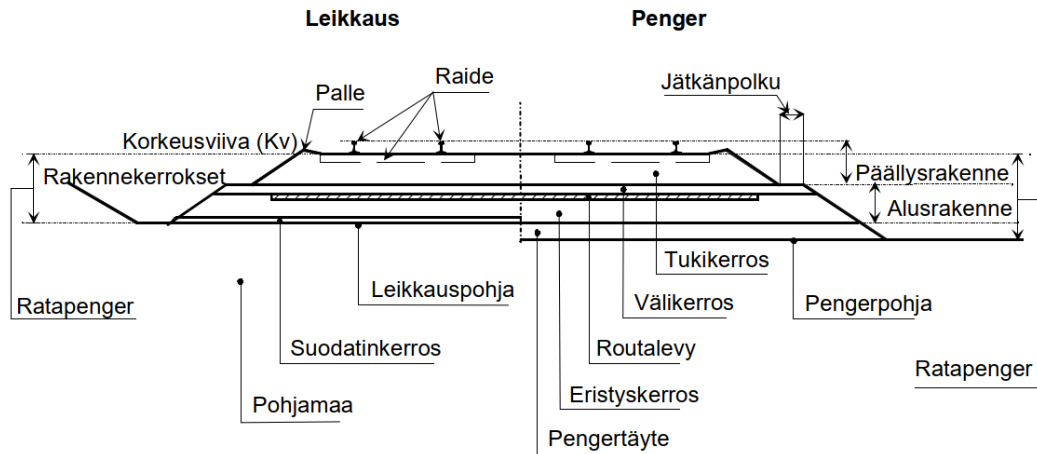
### **3 Kohteen maaperätiedot**

Kohde sijaitsee Lahdenväylän sillan S109 itäpuolella. Pikaraitiotie vanhan painuneen ratapenkereen linjauksella n. pl. 19500 saakka. Ratapenkereen alla sijaitsee lujittunutta savea paksuimmillaan n. 6 m kerros. Savipehmeikkö on syvästabiloitu n. pl. 19475 alkaen vanhan ratalinjan erkaantuessa nykyiseltä Maaherrantieltä. Maanpinnassa on keskimäärin 1,5 m täyttö, jonka alla stabiloitua savea n. 14 m paksu kerros kalliopinnan ollessa n. 19 m merenpinnan alapuolella Pihlajamäentien alkuun saakka. [2.]

### **4 Raitiotien alusrakennekerrokset**

Radan alusrakenteeseen lukeutuvat eristys- ja välikerros sekä mahdollinen suodatin-kerros. Radan alusrakenne toimii tukevana perustana päällysrakenteelle. Alusrakenne tasoittaa pohjamaahan kohdistuvaa kuormitusta, estää rakennekerrosten sekoittumisen, suojaa pohjamaata jäätymiseltä ja mahdollistaa radan rakenteen kuivatuksen. Alusrakenteen kunto vaikuttaa merkittävästi radan toimivuuteen ja turvallisuuteen. Alusrakenteen muodonmuutokset vaikuttavat radan kuntoon, raiteen geometriaan ja liikenteeseen. Liikennekuormituksen, routimisen ja huonon kuivatuksen takia eri kerrosten materiaaleille on asetettu erinäisiä laatuvaatimuksia. Käyttöikävaatimus radan alusrakenteelle on 100 vuotta. [3.]

Välikerros sijaitsee tukikerroksen ja eristyskerroksen välissä (kuva 2). Välikerros muodostaa lujan, tasaisen ja vettäläpäisevän alustan tukikerrokselle, lisää kantavuutta, ehkäisee routimisen haittoja ja estää tuki- ja eristyskerroksen sekoittumisen toisiinsa.

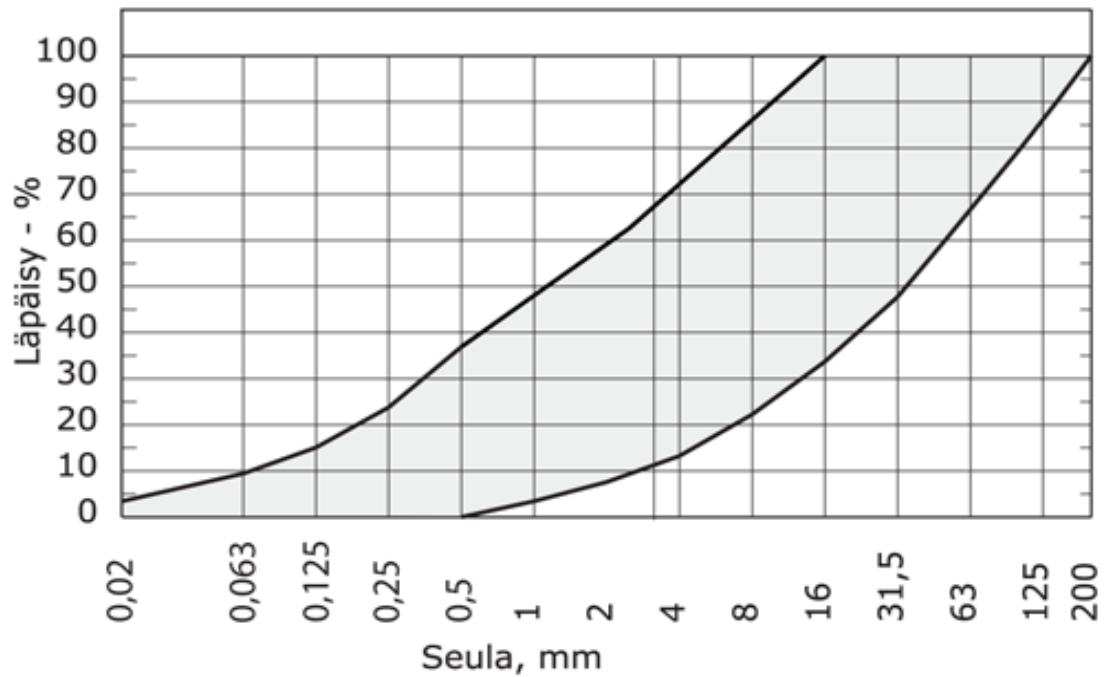


Kuva 2. Radan rakennekerrosten nimityksiä.

Ratarakenteen kuormat jakautuvat maa- tai kalliopohjalle eristyskerroksen kautta. Eristyskerros estää tai pienentää alla olevien maakerrosten routimisesta aiheutuvia muodonmuutoksia. Eristyskerroksella estetään pohjamaan ja ylempien rakennekerrosten sekoittuminen, lisäksi se pysäyttää kapillaarisen vedennousun kerroksen alaosaan. Raitiotien alusrakenteen materiaalit. [4.]

#### 4.1.1 Murskerakenteet

Raitiotien alusrakenne rakennetaan murskatuista kiviaineksista ja luonnonmateriaaleista. Kiviainekset ovat joko sorarakenteita, murskerakenteita tai niiden yhdistelmiä. Uuden kiviaineksen laatu tulee selvittää ennakkotutkimuksin InfraRYL kohdan 21310.1 mukaisesti. Kiviaineksen rakeisuus tutkitaan pesuseulonnalla standardin SFS-EN 933-1:2012 ja tarvittaessa areometrikokeella niin tiheästi kuin on tarpeen vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi. Kiintoraideosuudella EV-kerroksen materiaalina kiintoraidelaatan alla voidaan käyttää InfraRYL kuvan 21210:K3 mukaisesti soraa (kuva 3), InfraRYL taulukon 21210:T1 mukaisesti 0-32, 0-63 tai 0-90 mm:n raekoon kalliomurskettä (taulukko 1). Suurirakeista 0-125, 0-180 ja 0-250 mm:n kalliomurskettä voidaan käyttää erikseen perustellusta syystä InfraRYL kohdan 21210.1.3.2 mukaisesti. Suurirakeista kalliomurskettä käytettäessä on kiintoraidelaatan alle rakennettava ylin 300 mm aina oltava uutta jakavan kerroksen kalliomurskettä raekooltaan 0-63 tai 0-32 mm. Tasauskerroksena kiintoraidelaatan alla voidaan käyttää maksimissaan 50 mm kerros KaM #0/16.



Kuva 3. Jakavaan rakennekerrokseen käytettävän luonnonsoran rakeisuusvaatimukset.

Taulukko 1. Jakavan kerroksen murskeiden keskiarvojen sallittu vaihteluväli

Seulakoko, mm	0/32	0/40	0/45	0/56	0/63	0/80	0/90
	Gp	Gp	Gp	Gp	Gp	Gp	Gp
0,5	-	-	-	-	-	-	-
1	9...20	9...20	9...20	-	-	-	-
2	14...27	14...27	14...27	9...20	9...20	9...20	9...20
4	21...38	21...38	-	14...27	14...27	14...27	-
5,6	-	-	21...38	-	-	-	14...27
8	33...52	-	-	21...38	21...38	-	-
10	-	33...52	-	-	-	21...38	-
11,2	-	-	33...52	-	-	-	21...38
16	54...72	-	-	33...52	33...52	-	-
20	-	54...72	-	-	-	33...52	-
22,4	-	-	54...72	-	-	-	33...52
31,5	-	-	-	54...72	54...72	-	-
40	-	-	-	-	-	54...72	-
45	-	-	-	-	-	-	54...72

Sepeliraideosuudella EV-kerroksen ylimmän 300 mm:n rakennusmateriaalina käytetään taulukon 21210:T1 mukaisesti kalliomurskettä raekooltaan 0-32, 0-63 tai 0-90 mm. Suurirakeista kalliomurskettä käytetään vain erikseen perustellusta syystä InfraRYL kohdan 21210.1.3.2 mukaisesti. [5.]

#### 4.1.2 Vaahtolasimurske

Vaahtolasimurske on uusiomateriaali, jonka tuottajilla tulee olla laadunvarmistusjärjestelmä. Kevennysrakenteena toimivan vaahtolasimurskeen kelpoisuus osoitetaan CE-merkinnällä ja käytettävän vaahtolasimurskeen on oltava standardin SFS-EN 13055 mukaista. Kohteessa käytetyn Foamit-vaahtolasimurske täyttää InfrRYL-vaatimukset. InfraRYL 181145.1.2 ohjeistuksena on, että mikäli vaahtolasimurskeen toimittajalla on ulkopuolisen valvonnan alaisena toimiva laadunvarmistus, riittää kunkin toimituserän laatuasiakirjojen tarkistaminen, pistokoeluonteiset valvontakokeet ja silmämääräiset havainnot. Näin ollen Uusioaines Oy:n tuottamasta Foamit-vaahtolasimurskeesta ei tarvitse teettää rakeisuus- ja tilavuuspainoselvityksiä. Rakennuskohteen laadunvarmistuksen niin vaatiessa, voidaan vaahtolasimurskeesta tehdä pistokoeluonteisia kokeita. [6.]

Kevennysrakenne sepeliraideosuudella rakennetaan vaahtolasista. Vaahtolasin rakeisuus on 10-60 mm. Vaahtolasikerros tulee paketoita emäksisyyden kestäväällä luokan N3 polypropeenisuodatinkankaalla. Kerralla tiivistettävän vaahtolasikerroksen paksuuden oltava >0,6 m. [6.]

#### 4.1.3 Suodatinkangas

InfraRYL 21120.1 Ratarakenteessa käytettävällä suodatinkankaalla on oltava käyttökohteen tuotestandardin mukainen CE-merkintä. SFS-EN 13250 -standardi määrittää rautatierakenteisiin käytettävän suodatinkankaan ominaisuudet. [6.]

Kohteessa käytettävän suodatinkankaan käyttöikävaatimus tulisi määrittää rakennuskohteen suunnitelma-asiakirjoissa. Käyttöikään vaikuttaa mekaanisten ominaisuuksien pysyvyys pitkäaikaisessa käytössä, sekä siihen kohdistuvat kemialliset, termiset ja biologiset rasitukset. Rakennuskohteessa suodatinkankaan käyttötarkoituksena on paketoita vaahtolasimurskekerroksia ja tämän takia käytettävältä suodatinkankaalta vaadi-

taan emäksisyyden kestämistä vaaditun käyttöiän ajan. Ratarakenteen vahvistus- ja pohjarakenteilla on 100 vuoden käyttöikävaatimus. [4.]

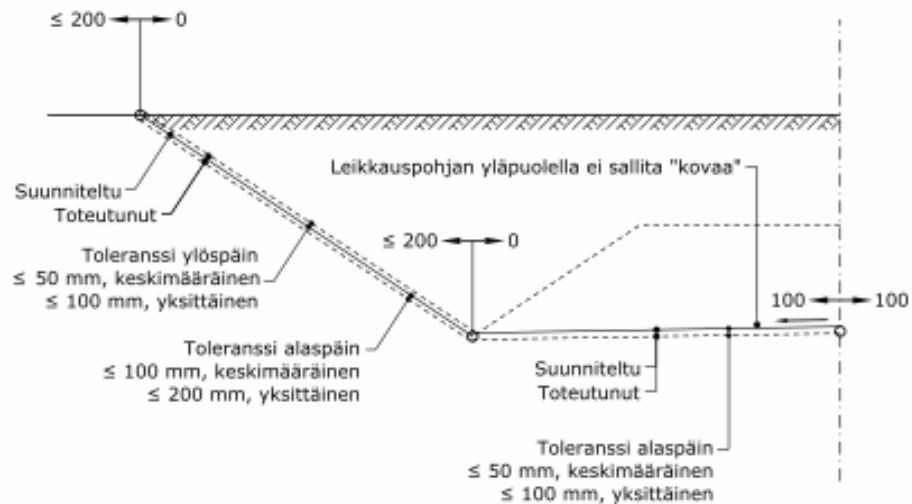
## 5 Alusrakenteiden toteutus

### 5.1 Kevennetty eristys- ja välikerros



Kuva 4. Leikkuupohja

Kevennetyn eristys- ja välikerroksen asennusalustana toimii leikkuupohja, joka rakennetaan koneautomaatiota hyödyntäen suunniteltuun syvyyteen InfraRYL 16110.4 vaatimusten mukaisesti. Maaleikkauksen luiskat tulee muotoilla InfraRYL 16110:K4 kuvan mukaisesti (kuva 5).



Kuva 5. Leikkausluiskan sallitut mitta- ja sijaintipoikkeamat

Ennen kevennysrakenteen asennusta valmis asennusalue tarkastetaan. Maapohjan ominaisuuksia verrataan suunnitelma-asiakirjoissa esitettyihin tietoihin ja pohjatutkimustuloksiin. Pohjaolosuhteiden poiketessa suunnitelma-asiakirjoissa esitetyistä tiedoista, tulee jatkotoimenpiteistä sopia tapauskohtaisesti. Urakoitsijan kelpoisuusasiakirjassa tulee esittää vähintään tehtyjen katselmusten tulokset ja tehdyt tutkimukset. Kevennystä varten kaivettu kaivantokäytävä tulee myös valokuvata 20-40 metrin välein. Vaahtolasimurskeen alustan tulee olla sula, lumeton ja routimaton. Alusrakenteen pohja muotoillaan siten, että vedet johtuvat pois rakenteesta. Alustan oltava kuopaton ja tasaisesti kalteva, jolloin vesi ei pääse varastoitumaan rakenteeseen. Kevennysrakenteena vaahtolasimurske ei tarvitse kuivatuskerrosta. Kuivatus tulee kuitenkin aina suunnitella ja suunnitelmassa tulee esittää kuivatustaso, sekä vedenpoistuminen vaahtolasirakenteesta. Vaahtolasin rakeisuus on 10-60 mm ja jokainen kerros tulee paketoita emäksisyyden kestäväällä N3-luokan polypropeenisuodatinkankaalla. Keralla tiivistettävän vaahtolasikerroksen paksuus saa olla enintään 0,6 m. Valmiin vaahtolasikerroksen on täytettävä InfraRYL 18111.4.1 kuvan 18111:K4 vaatimukset (kuva 6). Vaahtolasikerroksen päälle rakennettavan valmiin välikerroksen on vastattava suunnitelma-asiakirjassa mainittua ja sen on täytettävä InfraRYL kohdan 21230.4 taulukon 21230:T1 laatuvaatimukset. [6.]

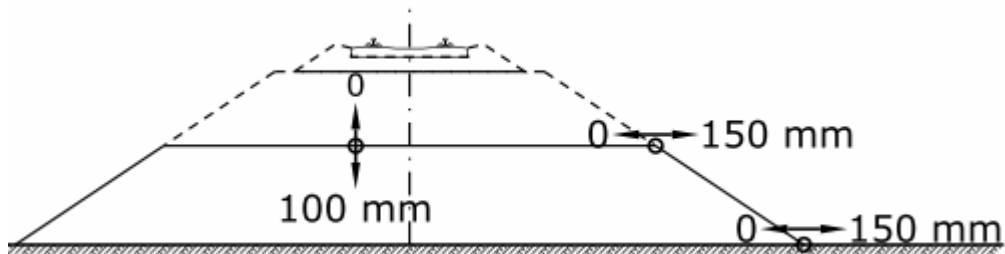
Allianssihanke on määrittänyt poikkeuksen edelliseen. Määräävä tekijä kantavuusvaatimuksissa on tiiveyssuhde. Kantavuusvaatimus kiintoraide- ja sepeliraiteella niin sora kuin murskerakenteella on kantavuus  $E_2=120$  MPa ja tiiveyssuhde  $E_2/E_1 \leq 2,0$  levykuor-



mituskokeella mitattaessa (taulukko 2). Vaikka välikerrosrakenteen kantavuus kasvaisi, on tiiveyssihteen oltava  $E_2/E_1 \leq 2,0$ . [5.]

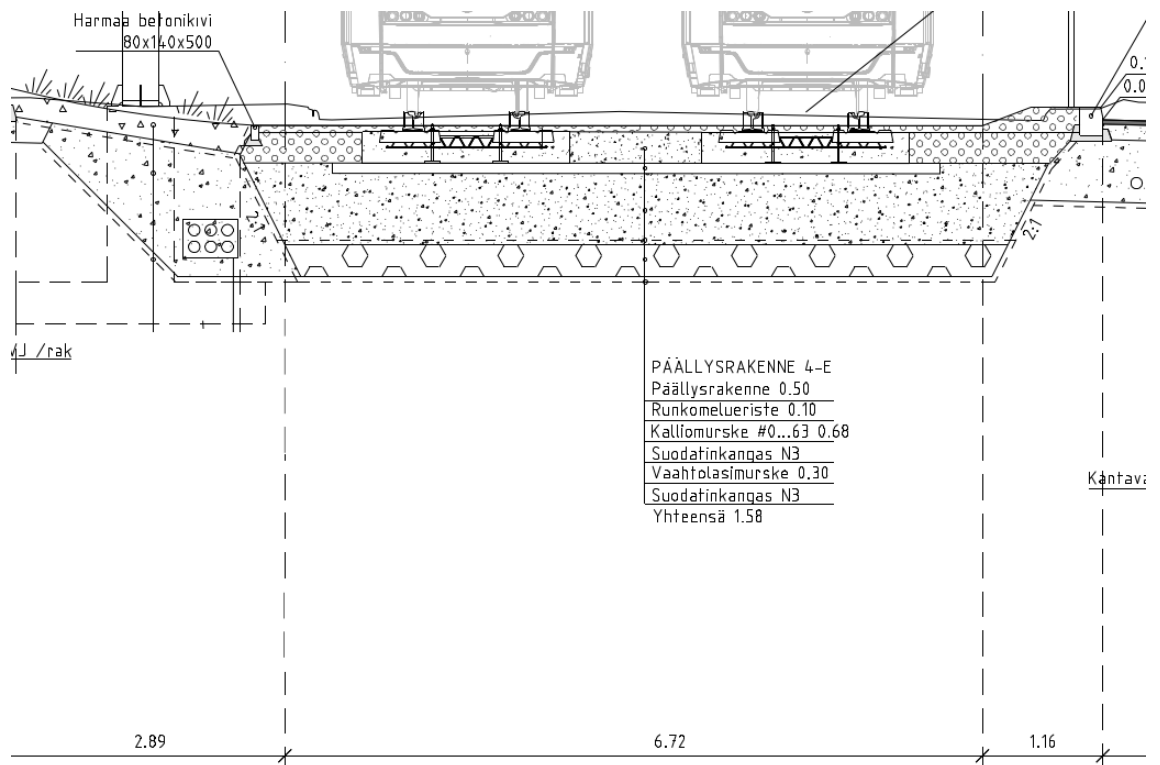
Taulukko 2. Kalliomurskeesta rakennetusta välikerroksesta levykuormituskokeella määritetyn tiiveyssihteen vaatimukset yksittäiselle mittaukselle kantavuuden (E2) suhteen.

Kantavuus (E2),MPa	Tiiveyssihtede E2 /E1
120	$\leq 2,0$
<145	$\leq 2,5$
145...159	$\leq 2,6$
160...174	$\leq 2,7$
175...189	$\leq 2,8$
190...204	$\leq 2,9$
205...219	$\leq 3,0$
220...234	$\leq 3,1$
$\geq 235$	$\leq 3,2$



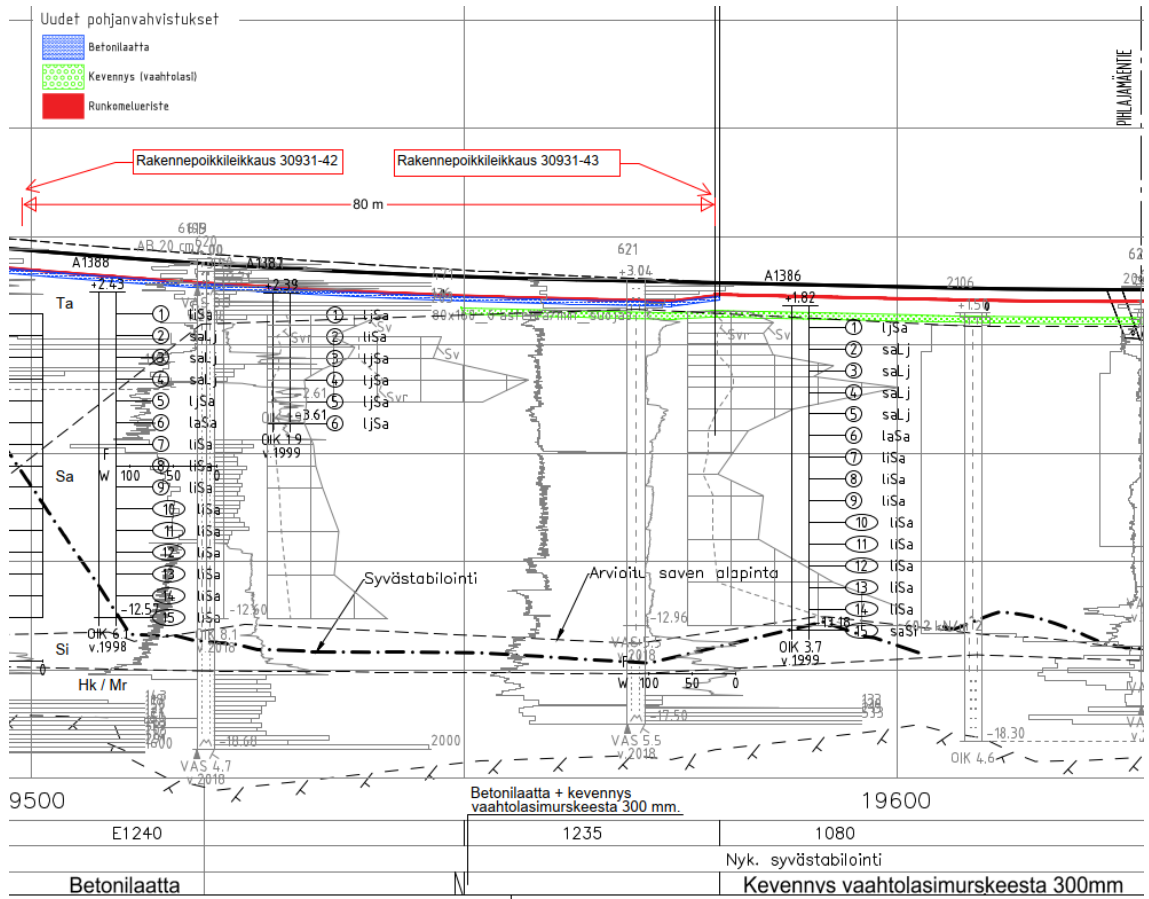
Kuva 6. Maapenkereen tarkkuusvaatimukset yksittäisessä mittauksessa.

## 5.1.1 Suunnitelma-asiakirjat

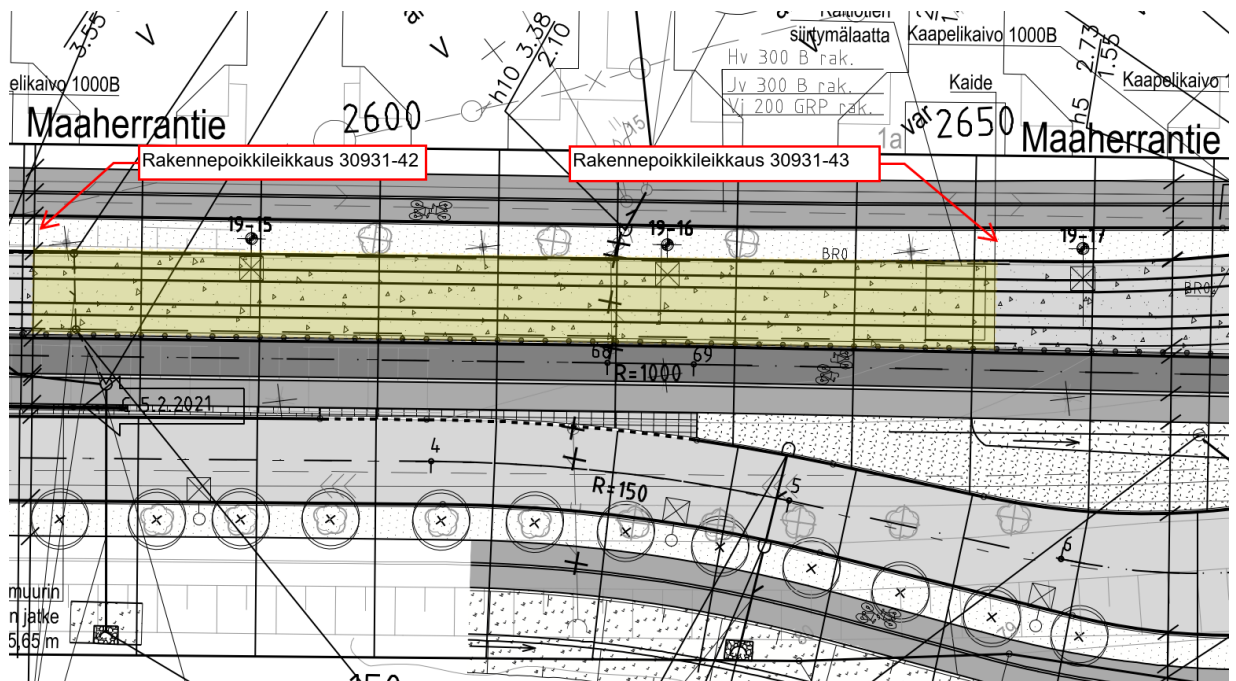


Kuva 7. Rakennepoikkileikkaus 30931-43 Maaherrantien vaahtolasikevennyksestä.





Kuva 8. Pituusleikkaus Maaherrantien toteutettavasta rakenteesta.



Kuva 9. Maaherrantien asemapiirustus.

### 5.1.2 Maaherrantien runkomelueristetyin kevennetyn eristys- ja välikerroksen toteutus

Työ aloitettiin maaleikkauksen tekemisellä suunniteltuun syvyyteen InfraRYL 16110.4 vaatimusten mukaisesti. Maaleikkaus luiskattiin InfraRYL 16110:K4 kuvan mukaisesti. [6.]

Ennen vaahtolasimurskeen levitystä valmiin asennusalustan päälle, sen korkeusasema tarkistettiin ja todettiin suunnitelma-asiakirjojen mukaiseksi mittahenkilön toimesta. Se- pelirataosuudella eristys- ja välikerros rakennettiin 0,3 m paksuisena vaahtolasikeven- nyksenä (kuva 7). Kerralla tiivistettävän vaahtolasikerroksen sallittu enimmäispaksuus on 0,6 m. Valmiin alusrakenteen päälle levitettiin N3-typin suodatinkangas. Suodatinkankaan päälle levitettiin ja muotoiltiin koneellisesti 0,3 m paksuinen vaahtolasikerros. Liikennekuormitetussa rakenteessa huomioitiin vaahtolasin levityksessä n.10...25% ennakkokorotus ennen tiivistystä, jolloin tiivistetty valmis rakenne vastasi rakennepoik- kileikkaukseen merkittävää kerrospaksuutta. Tämä tarkoittaa sitä, että tiivistettyyn 0,3 m paksuiseen valmiiseen vaahtolasikerrokseen vaaditaan 0,33...0,375 m paksuinen ker- ros ennen tiivistystä.

Muotoilun jälkeen vaahtolasikerrokselle suoritettiin esitiivistys 200 kg:n painoisella täry- levyllä, kahdella ylityskerralla InfraRYL taulukon 181145:T1 mukaisesti (taulukko 2). Suodatinkangas jatkettiin esitiivistetyn vaahtolasikerroksen päälle 0,5 m limityksellä siten, että vaahtolasikerros jäi täysin suodatinkankaan sisään "pakettiin".[7.]

Taulukko 2. Vaahtolasimurskekerroksen esitiivistys

	<b>Enimmäiskerrospaksuus (ennen tiivistystä)</b>	<b>Yliajokerrat</b>
Tela-alustainen työkone (pohjapaine 30...50 kPa)	0,6 m (0,9 m*)	≥ 2 **
Tärylevy (50...200 kg)	0,4 m*	≥ 2 **
* Heikosti kantavalle pohjamaalle rakennettaessa alimman tiivistyskerroksen pak- saus voi olla 0,9 m, jotta pohjamaa ei häiriinny		
** Yliajokerrat ja tiivistys on riittävä, kun pinta on tasainen eikä siihen jää painumia koneesta.		

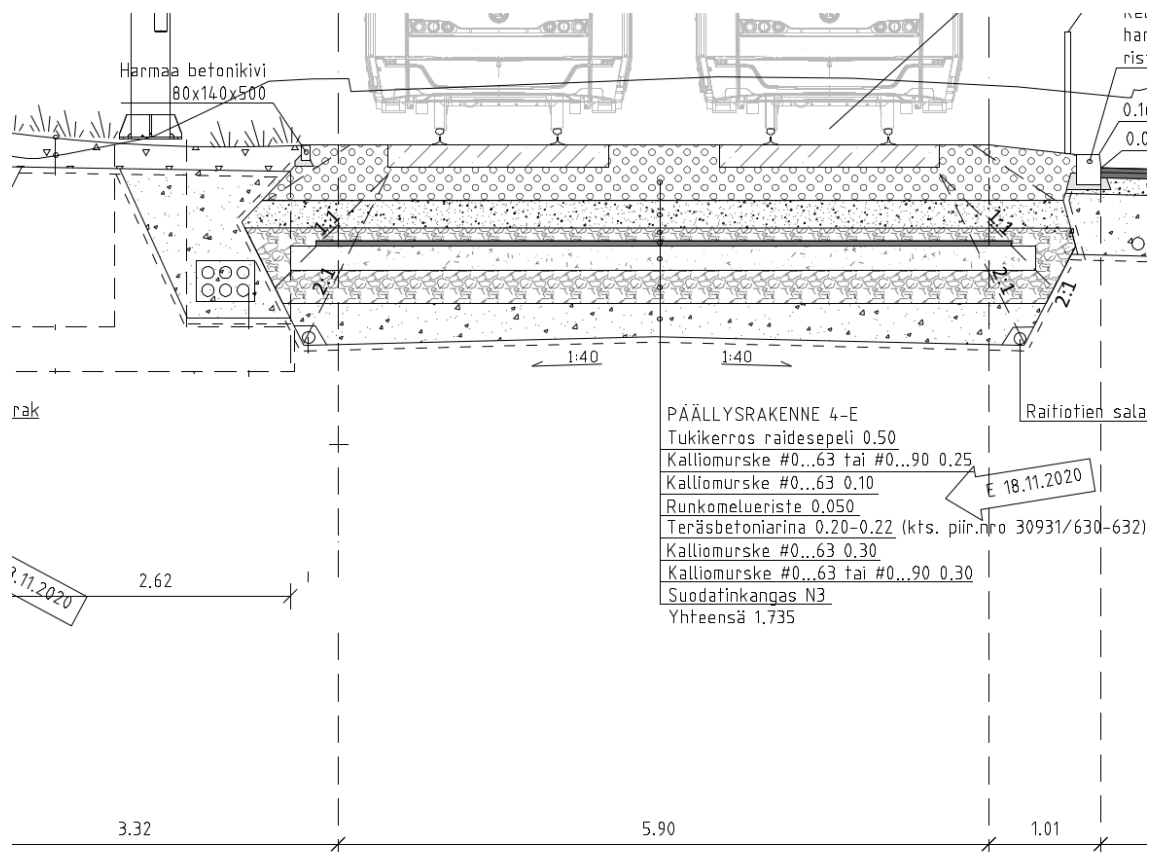
Valmiin vaahtolasikerroksen kelpoisuus osoitettiin mittahenkilön toimesta mittaamalla valmiin vaahtolasikerroksen korkeusasema 20 m välein sekä rakenteen molemmista päistä. Valmiin vaahtolasikerroksen päälle suunniteltu 0,68 m paksuinen välikerros toteutettiin siten, että vaahtolasikerroksen päälle levitettiin ja muotoiltiin koneellisesti n. 0,38 m paksuinen kerros 0-63 mm kalliomursketta, jonka päältä suoritettiin vaahtolasikerroksen lopullinen tiivistys kahdeksalla ylityskerralla käyttäen 10 t painoista kumipyörävetoista täryvalssijyrää. Rakennepoikkileikkauksen (kuva 7) mukainen jäljellä oleva 0,3 m kerros levitettiin ja muotoiltiin koneellisesti taulukon 21210:T1 mukaisesta uudesta 0-63 mm kalliomurskeesta. Välikerroksen tiivistystyö toteutettiin 10 t painoista kumipyörävetoista täryvalssia käyttäen kahdeksalla yliajokerralla.

## 5.2 Maaherrantien runkomelueristeinen teräsbetonilaatta

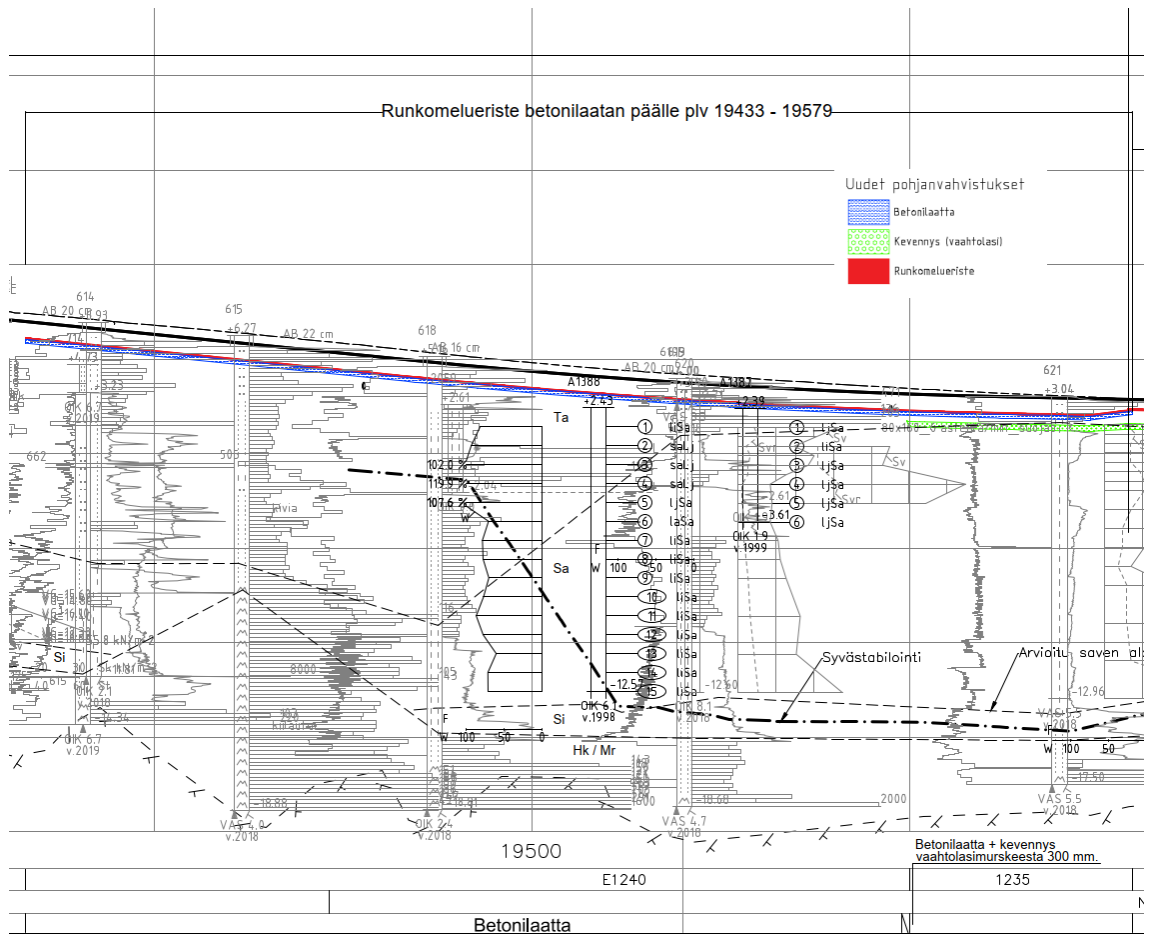
Runkomelueristeisen betonilaatan alusrakenne rakennetaan leikkuupohjan päälle koneautomaatiota hyödyntäen ja suunniteltuun syvyyteen InfraRYL 16110.4 vaatimusten mukaisesti. Maaleikkauksen luiskat tulee muotoilla InfraRYL 16110:K4 kuvan mukaisesti (kuva 5).

Teräsbetonilaatalle oli allianssihankeeseen määritelmä oma työselostus, jonka mukaan teräsbetonilaatta rakennettiin. Alustan tuli olla InfraRYL 2019 kohdan 13260.2 mukainen. Teräsbetonilaatan paikalleenmittauksessa noudatettiin InfraRYL 2019 2000.1.5.4 ohjeita ja betonityössä tuli noudattaa InfraRYL 2019 42020 ohjeita sekä vaatimuksia. Teräsbetonilaatan kelpoisuus tuli osoittaa InfraRYL 2019 kohdan 42001.4.8 vaatimusten mukaisesti, eli rakenteen laadullinen toteutus tuli pystyä osoittamaan jälkikäteen laatumateriaalista, joka tallennettiin sähköiseen projektipankkiin.[8.]

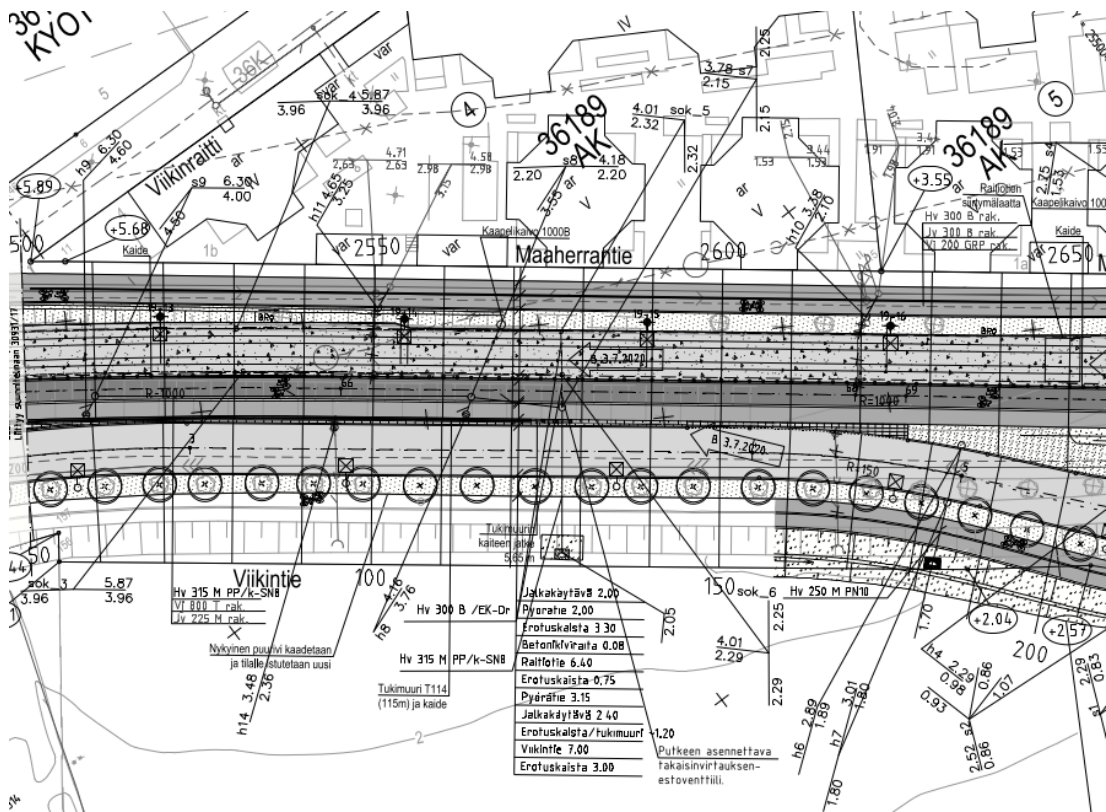
## 5.2.1 Suunnitelma-asiakirjat



Kuva 10. Rakennepoikkileikkaus 30931-42 Maaherrantien runkomeluieristetystä laatasta.



Kuva 11. Pituusleikkaus Maaherrantien runkomelueristetystä laatasta.



Kuva 12. Maaherrantien asemapiirustus.

## 5.2.2 Maaherrantien runkomelueristetyin teräsbetoni-laatan toteutus

Työ aloitettiin maaleikkauksen tekemisellä suunniteltuun syvyyteen InfraRYL 16110.4 vaatimusten mukaisesti. Maaleikkaus luiskattiin InfraRYL 16110:K4 kuvan mukaisesti. [6.]

Ennen ensimmäisen eristyskerroksen rakentamista valmiin leikkauspohjan päälle, sen korkeusasema tarkistettiin ja todettiin suunnitelma-asiakirjojen mukaiseksi mittahenkilön toimesta. Valmiin leikkauspohjan päälle levitettiin pituussuuntaansa 0,5 m limityksellä kaksi N3-tyyppin suodatinkangasta. Suodatinkankaiden päälle levitettiin ja muotoiltiin koneellisesti 0,3 m paksuinen kerros 0-63 mm kalliomursketta. Levityksen ja muotoilun jälkeen ensimmäinen eristyskerros tiivistettiin 10 t painoista kumipyörävetoista täryvalssia käyttäen kahdeksalla yliajokerralla. Tiivistystyön jälkeen edellinen työvaihe toistettiin ilman suodatinkankaan levitystä toisen eristyskerroksen osalta. Valmiin eristyskerroksen korkeusasema ja sijainti tarkistettiin mittahenkilön toimesta.



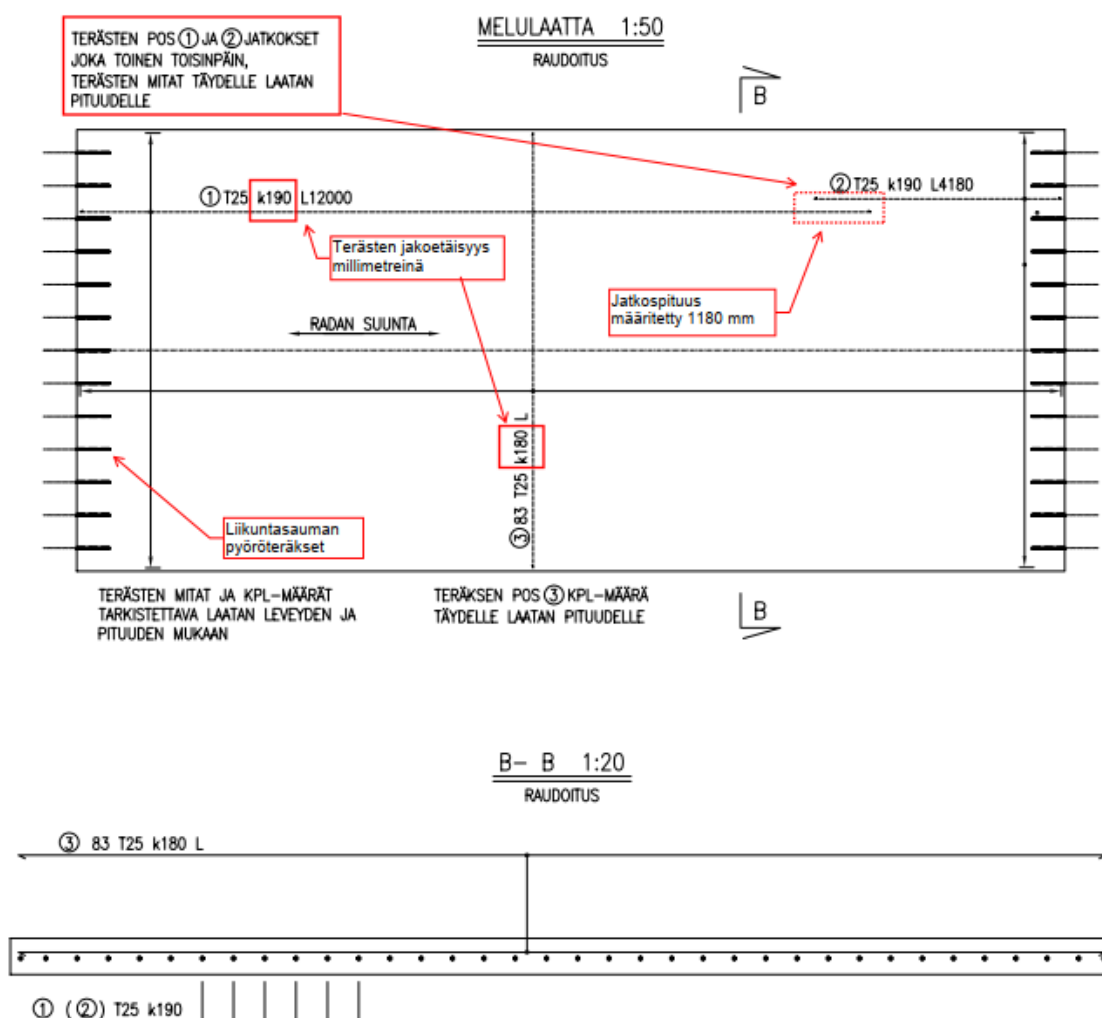
Teräsbetoni-laatan rakentaminen aloitettiin sillä, että mittahenkilö merkkasi merkintämaalilla leikkauspohjaan kunkin teräsbetoni-laatan alku- ja loppupisteen sijainnit. Mittahenkilö merkitsi myös leikkuuluiskaan valmiin teräsbetoni-laatan korkeusaseman. Mittaustyön jälkeen tela-alustainen kaivukone jakoi oikean määrän 25 mm:n paksuisia harjateräksiä jokaisen mittahenkilön merkkamaan teräsbetoni-laatan sijainnille (kuva 13).



Kuva 13. Teräsbetoni-laatan teräkset valmiin eristyskerroksen päällä.

Itse raudoitustyö tehtiin käsin haalaamalla ja jakamalla radansuuntaiset pitkittäisteräkset oikeille paikoilleen leikkuupohjan päälle jaettujen betonikivien päälle. Haalauksen jälkeen teräkset sijoitettiin oikealle etäisyydelle, eli jaolle toisistaan teräsbetoni-laatan mitta- ja raudituspiirustuksen mukaan (kuva 14). Rakennettavan laatan pituus oli 14990 mm, kun taas tehtaalta tilattavan harjateräsraudoitteen maksimipituus on 12000 mm. Tämän takia pitkittäisteräksiin oli asennettava jatkokset harjateräksen pituuden

kasvattamiseksi, jolloin harjateräksen pituus saatiin vastaamaan paremmin teräsbetoni-  
laatan pituutta. Jatkos tarkoittaa vähintään kahta harjaterästä toistensa kylkiin kiinnitet-  
tynä suunnittelijan määrittämällä jatkospituudella, joka selviää teräsbetoni-  
laatan mitta- ja raudoituspiirustuksesta. Harjaterästen jatkokset toteutetaan surraamalla, eli vierek-  
käisten harjaterästen ympäri kierretään metallilankasilmukka, joka kiristetään ”surraa-  
malla” eli pyörittämällä metallilanka tiukalle työhön tarkoitettulla käsityökalulla – surri-  
koudella. Pitkittäisterästen asennuksen jälkeen niiden päälle haalattiin ja jaettiin mää-  
rämittaiset poikittaisteräkset. Jaetut poikittaisteräkset asennettiin mitta- ja raudoituspii-  
rustuksen mukaisesti oikealle etäisyydelle toisistaan, jonka jälkeen poikittaisteräkset  
surrattiin kiinni edellisessä vaiheessa asennettuihin pitkittäisteräksiin. Tällöin raudoitus-  
kokonaisuus muodosti raudoitusverkon (kuva 15).



Kuva 14. Ote mitta- ja raudoituspiirustuksesta.



Määrämittaisena tilattujen poikittain asennettavien harjaterästen mitoituksessa oli huomioitu betonin suojaetäisyys  $C_{\min}$  50 mm. Betonin suojaetäisyys on mitta- ja raudituspiirustuksessa ilmoitettu lukuarvo, jonka tarkoituksena on ehkäistä teräksen ennenaikainen korrosio. Maata vasten rakennettavan teräsbetonilaatan osalta, tämä tarkoitti käytännössä sitä, että asennettavan teräksen pituuden oli oltava 100 mm lyhyempi kuin laatan pituus teräksen asennussuuntaan. Tällöin keskeisesti asennetun harjateräksen päätyjen ja teräsbetonilaatan valmiin ulkopinnan etäisyys on mitta- ja raudituspiirustuksen mukaisesti 50 mm. Pitkittäisterästen osalta suojaetäisyys huomioitiin jatkosten asennuksen yhteydessä.



Kuva 15. Valmis rauditusverkko

Raudituksen jälkeen aloitettiin muottityö, joka toteutettiin osin maamuottina ja osin lautamuottina. Teräsbetonilaatan alustana toimi valmis eristyskerros (kuva 13), jonka reunat toimivat teräsbetonilaatan pitkittäissivujen muottina. Lautamuotit tarvittiin tällöin vain teräsbetonilaattojen päätyihin. Teräsbetonilaatan suunniteltu yläpinnan korkeus

leikkuupohjasta oli 220 mm, jolloin lautamuotti oli halvin ja helpoin tapa rakentaa muotti.

Teräsbetonilaattoja toisistaan erottavan liikuntasauaman suuruudeksi oli määritelty 10 mm. Liikuntasauaman käyttötarkoitus on antaa rakenteen laajentua ja kutistua lämpölaajenemisen takia, rasittamatta rakennetta ja aiheuttamatta muodonmuutoksia ympäröiviin rakenteisiin. Liikuntasauaman liikkuvuutta parannettiin asentamalla päätymuotin läpimitta- ja raudoituskuvan mukaiset liikuntasaumateräkset. Liikuntasaumateräkset asennettiin liikuntasauamaan nähden keskeisesti siten, että 0,5 m pyöröteräksestä tuli betonoitavan teräsbetonilaatan sisäpuolelle ja pyöröteräksen loput 0,5 m jätettiin rakenteen ulkopuolelle. Betonoitavan rakenteen ulkopuolelle ulottuva osuus liikuntasaumateräksestä siveltiin kumibitumilla, jolloin järjestyksessä seuraavan laatan betonin sisään joutuessaan liikuntasaumateräs on kumibitumikerroksella erotettuna lujasta betonista, joka taas mahdollistaa lämpölaajenemisesta aiheutuvan liikkeen teräsbetonilaatan sisällä. Liikuntasauomojen takia laattoja ei voitu betonoida kerralla tai edes peräkkäisessä järjestyksessä vaan 5 kpl teräsbetonilaattoja valettiin järjestyksessä 1, 3, 2, 4 ja 5.

Betonointi sovittiin hyvissä ajoin etukäteen jo ennen raudoituksen ja muotituksen valmistumista. Mitta- ja raudoituspirstustukseen oli merkitty teräsbetonilaattaan suunnitellun betonin resepti, jonka mukaan betonitehdas pystyi valmistamaan betonin betonoitavalle rakenteelle sopivaksi. Betonitilauksen yhteydessä ilmoitettiin myös betonoitavan rakenneosan rakenneteoreettinen kuutiomäärä, joka voitiin laskea helposti valettavan alueen pinta-alasta ja valettavan rakenteen korkeudesta. Tilatun betonin määrässä huomioitiin kuitenkin, että ensimmäiset sata litraa pumpattavasta betonista ei ole koskaan käyttökelpoista, vaan se laskettiin betonipumpun letkusta pois muovitettuun kuoppaan, josta se kovettuneena siirrettiin betonijätteisiin. Myös viimeiset muutama sata litraa betonia jää betonipumpun perälle ja tämä huomioitiin myös tilausta tehdessä. Tilauksen yhteydessä sovittiin myös betonoinnin ajankohta, arvioitu kesto ja betonointitapa.



Kuva 16. Teräsbetoniilaatan yläpinnan korko, betonipumppu ja moottorikäyttöinen tärypalkki.

Betonointi valmisteltiin merkkäämällä maamuottiin merkintämaalilla teräsbetoniilaatan suunniteltu yläpinnan korkeus (kuva 16), jota voitiin helposti seurata tasolaserin avulla betonointia tehdessä. Lautamuotit sahattiin poikki oikealta korkeudelta, jolloin teräsbetoniilaatan päädyt tulivat automaattisesti oikean korkuisiksi. Ennen betonointia tarkistettiin tiivistyskaluston toimivuus. Ennen rakenteen betonointia ensimmäisestä saapuneesta betonikuormasta otettiin laborantin toimesta lieriön muotoiset 150 x 300 mm kokoiset puristuskoekappaleet, joiden puristuslujuudet testattiin laboratoriossa. 3 kpl puristettiin 28 vuorokauden ikäisinä ja 1 kpl 7 vuorokauden ikäisenä. Betonoinnissa betoni pumpattiin muottiin betonipumpun letkusta siten, ettei betoni pudonnut 0,5 m korkeammalta. Teräsbetoniilaatan betonointi suoritettiin järjestelmällisesti yhteen suuntaan kulkien. Betonia pumpattiin aina n. 1-3 m<sup>2</sup> alueelle ja tärytettiin huolellisesti sauvatäryttimellä, jolloin betoni tiivistyi ja asettui tasaisesti joka puolelle betonoitavaa aluetta. Tärytetty betoni tasoitettiin oikeaan korkeusasemaan polttomoottorikäyttöisellä perässä vedettävällä tärypalkilla. Tärypalkin rinnalla käytettiin tasolaseria, jolloin voitiin varmis-



tua betonipinnan suunnitelmanmukaisuudesta jo betonoinnin aikana. Betonoinnin jälkeen betonin pintaan suihkutettiin jälkihoitoaine ja vuorokausi betonoinnin jälkeen runkomelueristevilla ladottiin teräsbetoniin päälle (Kuva 17).



Kuva 17. Ladottua runkomelueristevillaa

Valmiin runkomelueristetyn teräsbetoniin päälle suunniteltu välikerros toteutettiin siten, että runkomelueristetyn teräsbetoniin päälle levitettiin ja muotoiltiin koneellisesti n. 0,35 m paksuinen kerros taulukon 21210:T1 mukaisesta uutta 0-63 mm kalliomurskettä, joka tiivistettiin käyttäen 10 t painoista kumipyörävetoista täryvalssijyä.

Rakennepoikkileikkauksen (kuva 10) mukainen jäljellä oleva 0,3 m kerros levitettiin ja muotoiltiin koneellisesti taulukon 21210:T1 mukaisesta uudesta 0-63 mm kalliomurskeesta. Välikerroksen tiivistystyö toteutettiin 10 t painoista kumipyörävetoista täryvalssijyä käyttäen kahdeksalla yliajokerralla.

### 5.3 Rakenteiden toteutusten vertailu

Kahden eri rakennetyypin työtavat ja kestot aiheuttavat selviä eroavaisuuksia työn nopeuteen. Taitava kaivukoneen kuljettaja saa rakennekerroksia asennettua tehokkaalla tahdilla rakennetyypistä riippumatta, jolloin edes täyttötyöhön käytetyn materiaalin vaihtelu ei merkittävästi hidasta työsaavutusta. Teräsbetoniilaatan rakentaminen runkome-lueristevillan ja välikerroksen alusrakenteeksi aiheuttaa huomattavasti enemmän työtä sillä jo harjaterästen jakaminen ja kiinnittäminen on käsin tehtävää työtä, eikä sitä voi nopeuttaa koneellisesti. Teräsbetoniilaattojen liikuntasaumot aiheuttivat sen, ettei rakenteen betonointia voinut toteuttaa yhdellä kertaa. Suurimman vaikutuksen työn kestoon aiheutti kuitenkin betonin ominaisuudet, sillä valmista betonia ei saanut kuormittaa kaivukoneella, muulla raskaalla kalustolla tai maakerroksilla kuin vasta 11 päivän kuluttua betonoinnista, jolloin betoni oli saavuttanut riittävän ominaislujuuden.



## 7 Tulokset

Tutkimuksen tuloksista voidaan päätellä selvästi rakenteiden väliset aikataulu- ja kustannuserot. Vertailuista alusrakenteista teräsbetonilaatta oli selvästi kalliimpi ja hitaampi toteuttaa, kuin kalliomurskeesta ja vaahtolasimurskeesta rakennettu alusrakenne.

### 7.1 Kevennetyn eristys- ja välikerroksen mukaiset kustannukset

Eristys- ja välikerros ilman teräsbetonilaataa							
RATU nro.	22						
RATU-nimike	Maarakentaminen: Maankaivu						
InfraRYL numero	1610						
InfraRYL nimike	Maaleikkaukset						
Yksikkö	m3ktr						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
KKHT 25	22	Kaivuluokka M1	0,012	kone-h/m3ktr	75,000	0,900	
RAM	22	Perämies	0,012	tth/m3ktr	30,000	0,360	
KA 5-aks	22	Massojen kuljetus 45 km	1,200	h/kuorma			
KA 5-aks		massamuunnos kuorma HkMr-> m3ktr	9,565	m3ktr/kuorma			
KA 5-aks		kustannus muunnos kuorma -> m3ktr	0,125	h/m3ktr	67,000	8,405	
Maiden vastaanotto		Maiden vastaanottomaksu	1,000	m3ktr	11,000	11,000	
							<b>20,67 €/m3ktr</b>
RATU nro.	22						
RATU-nimike	Maarakentaminen: Täyttö						
InfraRYL numero	1811.45						
InfraRYL nimike	Vaahtolasimurskepenkereet						
Yksikkö	m3rtr						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
KKHT 25	22	Vaahtolasin lastaus K2	0,061	kone-h/m3rt	75,000	4,575	
KA 5-aks	22	Vaahtolasin kuljetus 0...3 km	0,210	h/kuorma	67,000		
KA 5-aks		massamuunnos kuorma -> m3rtr	15,000	m3rtr/kuorma			
KA 5-aks		kustannusmuunnos kuorma -> m3rtr	0,014	h/m3rtr	67,000	0,938	
KKHT 25	22	Vaahtolasin levitys K2	0,061	kone-h/m3rtr	75,000	4,575	
RAM	22	Perämies	0,061	tth/m3rtr	30,000	1,830	
Vaahtolasi 10/60		Vaahtolasin materiaalkustannus	1,000	m3rtr	62,500	62,500	
							<b>74,42 €/m3rtr</b>
RATU nro.	22						
RATU-nimike	Kultukankaan asennus						
InfraRYL numero	2112						
InfraRYL nimike	Suodatinkankaat						
Yksikkö	m2						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
RAM	22	Kultukangas 1. kerros	0,004	tth/m2	30,000	0,120	
Kultukangas N3		Kultukangas N3 materiaalkustannus	1,100	m2	0,715	0,787	
							<b>0,91 €/m2</b>
RATU nro.	22						
RATU-nimike	Maarakentaminen: Täyttö (Välikerrokset ratarakenteissa)						
InfraRYL numero	2123						
InfraRYL nimike	Välikerrokset ratarakenteissa						
Yksikkö	m3rtr						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
KA 5-aks	22	Massojen kuljetus 45 km	1,200	h/kuorma			
KA 5-aks		massamuunnos kuorma -> m3rtr	9,020	m3rtr/kuorma			
KA 5-aks		kustannusmuunnos kuorma -> m3rtr	0,133	h/m3rtr	67,000	8,914	
KKHT 25	22	Välikerrokset ratarakenteissa: murskeen levitys K2	0,061	kone-h/m3rtr	75,000	4,575	
JTM K 10	22	Välikerrokset ratarakenteissa: murskeen tiivistys	0,061	kone-h/m3rtr	65,000	3,965	
KaM 0/63	22	Välikerroksen materiaali	1,000	m3rtr	13,415	13,415	
							<b>30,87 €/m3rtr</b>

Kuva 19. Työvaiheiden menekki-kustannukset

## 7.2 Runkomelueristetyin eristys- ja välikerroksen mukaiset kustannukset

Eristys- ja välikerros teräsbetonilaatalla							
RATU nro.	22						
RATU-nimike	Maarakentaminen: Maankaivu						
InfraRYL numero	1610						
InfraRYL nimike	Maaleikkaukset						
Yksikkö	m3ktr						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
KKHT 25	22	Kaivuluokka M1	0,012	kone-h/m3ktr	75,000	0,900	
RAM	22	Perämies	0,012	tth/m3ktr	30,000	0,360	
KA 5-aks	22	Massojen kuljetus 45 km	1,200	h/kuorma			
KA 5-aks		massamuunnos kuorma HkMr-> m3ktr	9,565	m3ktr/kuorma			
KA 5-aks		kustannus muunnos kuorma -> m3ktr	0,125	h/m3ktr	67,000	8,405	
Maiden vastaanotto		Maiden vastaanottomaksu	1,000	m3ktr	11,000	11,000	
							<b>20,67 €/m3ktr</b>
RATU nro.	22						
RATU-nimike	Maarakentaminen: Täyttö						
InfraRYL numero	2122						
InfraRYL nimike	Eristyskerrokset ratarakenteissa						
Yksikkö	m3rtr						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
KA 5-aks	22	Massojen kuljetus 45 km	1,200	h/kuorma	67,000		
KA 5-aks		massamuunnos kuorma -> m3rtr	9,020	m3rtr/kuorma			
KA 5-aks		kustannus muunnos kuorma -> m3rtr	0,133	h/m3rtr	67,000	8,914	
KKHT 25	22	Eristyskerrokset ratarakenteissa: murskeen levitys K2	0,061	kone-h/m3rtr	75,000	4,575	
JTM K 10	22	Välikerrokset ratarakenteissa: murskeen tiivistys	0,061	kone-h/m3rtr	65,000	3,965	
KaM 0/63	22	Välikerroksen materiaali	1,000	m3rtr	13,415	13,415	
							<b>30,868 €/m3rtr</b>
RATU nro.	22						
RATU-nimike	Kuitukankaan levitys						
InfraRYL numero	2112						
InfraRYL nimike	Suodatinkankaat						
Yksikkö	m2						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
RAM	22		0,004	tth/m2	30,000	0,120	
Kuitukangas N3	22	Kuitukangas N3 materiaalikustannus	1,100	m2	0,715	0,787	
							<b>0,907 €/m2</b>
RATU nro.	22						
RATU-nimike	Maarakentaminen: Täyttö						
InfraRYL numero	2122						
InfraRYL nimike	Eristyskerrokset ratarakenteissa						
Yksikkö	m3rtr						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
KA 5-aks	22	Massojen kuljetus 45 km	1,200	h/kuorma	67,000		
KA 5-aks		massamuunnos kuorma -> m3rtr	9,020	m3ktr/kuorma			
KA 5-aks		kustannusmuunnos kuorma -> m3rtr	0,133	h/m3ktr	67,000	8,914	
KKHT 25	22	Eristyskerrokset ratarakenteissa: murskeen levitys K2	0,061	kone-h/m3rtr	75,000	4,575	
JTM K 10	22	Eristyskerrokset ratarakenteissa: murskeen tiivistys	0,061	kone-h/m3rtr	65,000	3,965	
KaM 0/63		Eristyskerroksen materiaali	1,000	m3rtr	13,415	13,415	
							<b>30,868 €/m3rtr</b>
RATU nro.	41						
RATU-nimike	Betonirakentaminen						
InfraRYL numero	1311.3						
InfraRYL nimike	Teräsbetoniarinat						
Yksikkö	1000 kg						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
KKHT 25	41	Raudoitusten siirto	0,200	tth/1000 kg	75,000	15,000	
RAM	41	Raudoitusten siirto	0,200	tth/1000 kg	30,000	6,000	
RAM 3	41	Laatan raudoitus ø 25 mm	4,500	tth/1000 kg	30,000	135,000	
Harjateräs B500B T25	41	Harjateräkset	1,100	1000kg	0,780	0,858	
							<b>156,858 €/1000 kg</b>

Kuva 20. Työvaiheiden menekkikustannukset 1/2.



RATU nro.	<b>41</b>						
RATU-nimike	<b>Betonirakentaminen</b>						
InfraRYL numero	<b>1311.3</b>						
InfraRYL nimike	<b>Teräsbetoniarinat</b>						
Yksikkö	<b>1000 kg</b>						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
KKHT 25		41 Raudoitusten siirto	0,200	tth/1000 kg	75,000	15,000	
RAM		41 Raudoitusten siirto	0,200	tth/1000 kg	30,000	6,000	
RAM 3		41 Laatan raudoitus ø 25 mm	4,500	tth/1000 kg	30,000	135,000	
Harjateräs B500B T25		41 Harjateräkset	1,100	1000kg	0,780	0,858	
						<b>156,858 €/1000 kg</b>	
RATU nro.	<b>41</b>						
RATU-nimike	<b>Betonirakentaminen</b>						
InfraRYL numero	<b>1311.3</b>						
InfraRYL nimike	<b>Teräsbetoniarinat</b>						
Yksikkö	<b>m2</b>						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
RAM		41 Muottityö	0,250	tth/muotti-m2	30,000	7,500	
RAM		41 Muotinpurku	0,400	tth/muotti-m2	30,000	12,000	
Sahatavara 25x100		41 Muottimateriaali	1	m2	3,500	3,500	
Sahatavara 25x100		Puujiätteen vastaanotto	1	m2	2,574	2,574	
						<b>25,574 €/m2</b>	
RATU nro.	<b>41</b>						
RATU-nimike	<b>Betonirakentaminen</b>						
InfraRYL numero	<b>1311.3</b>						
InfraRYL nimike	<b>Teräsbetoniarinat</b>						
Yksikkö	<b>m3</b>						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
RAM (yht 3 )		41 Betonointi	0,200	tth/m3	30,000	6,000	
C35-45,S3,#32,		Betoni materiaali	1,100	m3	130,000	143,000	
						<b>149,000 €/m3</b>	
RATU nro.	<b>91</b>						
RATU-nimike	<b>Routasuojauslevyjen asennus</b>						
InfraRYL numero	<b>1421</b>						
InfraRYL nimike	<b>Roudaneristykset</b>						
Yksikkö	<b>m2</b>						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
RAM (yht 3 )		91 Runkomeluieristysvillan ladonta	0,020	tth/m2	30,000	0,600	
Eristelevyt		91 Runkomeluieristysvillan materiaali	1,000	m2	5,500	5,500	
						<b>6,100 e/m2</b>	
RATU nro.	<b>22</b>						
RATU-nimike	<b>Maarakentaminen: Täyttö</b>						
InfraRYL numero	<b>2123</b>						
InfraRYL nimike	<b>Välikerrokset ratarakenteissa</b>						
Yksikkö	<b>m3rtr</b>						
<b>Nimike</b>	<b>Ratu numero</b>	<b>Selvennys</b>	<b>Menekki T3</b>	<b>Menekkiyksikkö</b>	<b>€/menekkiyksikkö</b>	<b>Kustannus</b>	
KA 5-aks		22 Massojen kuljetus 45 km	1,200	h/kuorma	67,000		
KA 5-aks		massamuunnos kuorma -> m3rtr	9,020	m3rtr/kuorma			
KA 5-aks		kustannus muunnos kuorma -> m3rtr	0,133	h/m3rtr	67,000	8,914	
KKHT 25		22 Välikerrokset ratarakenteissa: murkseen levitys K2	0,061	kone-h/m3rtr	75,000	4,575	
JTM K 10		22 Välikerrokset ratarakenteissa: murskeen tiivistys	0,061	kone-h/m3rtr	65,000	3,965	
KaM 0-63		Välikerroksen materiaali	1,000	m3rtr	13,415	13,415	
						<b>30,868 e/m3rtr</b>	

Kuva 21. Työvaiheiden menekkikustannukset 2/2.

### 7.3 Kevennetyn eristys- ja välikerroksen sekä runkomelueristetyn eristys- ja välikerroksen välillä.

#### Määrälaskenta

##### Eristys- ja välikerros ilman teräsbetonilaataa

Rakennustöiden menokit 2020 mukaan.						
RATU nro.	RATU-nimike	InfraRYL numero	InfraRYL nimike	Määrä yksikkö	€/yksikkö	Kustannus
22	Maarakentaminen: Maankaivu ja kuljetus	1610	Maaleikkaukset	973,6 m3ktr	20,67	20 119,89
22	Maarakentaminen: Täyttö (kuitukankaan levitys 1.kerros)	2112	Suodatinkankaat	1066 m2	0,91	966,33
22	Maarakentaminen: Täyttö (vaahatolasin levitys)	1811.45	Vaahatolasimurskepenkeret	230,4 m3ktr	74,42	17 145,91
22	Maarakentaminen: Täyttö (kuitukankaan levitys 2. kerros)	2112	Suodatinkankaat	533 m2	0,91	483,16
22	Maarakentaminen: Täyttö (Välikerrokset ratarakenteissa)	2123	Välikerrokset ratarakenteissa	410,4 m3ktr	30,87	12 668,29
						<b>51 383,58</b>

##### Eristys- ja välikerros teräsbetonilaatalla

Rakennustöiden menokit 2020 mukaan.						
RATU nro.	RATU-nimike	InfraRYL numero	InfraRYL nimike	Määrä yksikkö	€/yksikkö	Kustannus
22	Maarakentaminen: Maankaivu ja kuljetus	1610	Maaleikkaukset	1488,8 m3ktr	20,67	30 766,73
22	Maarakentaminen: Täyttö (kuitukankaan levitys )	2112	Suodatinkankaat	1066 m2	0,91	966,33
22	Maarakentaminen: Täyttö (Eristyskerrokset ratarakenteissa)	2122	Eristyskerrokset ratarakenteissa	184 m3ktr	30,87	5 679,74
22	Maarakentaminen: Täyttö (Eristyskerrokset ratarakenteissa)	2122	Eristyskerrokset ratarakenteissa	162 m3ktr	30,87	5 000,64
41	Betonirakentaminen: Laatan raudoitus	1311.3	Teräsbetoniarinat	34,312 tn	156,86	5 382,11
41	Betonirakentaminen: Muottityö	1311.3	Teräsbetoniarinat	8,8 m2	25,57	225,05
41	Betonirakentaminen: Betonointi	1311.3	Teräsbetoniarinat	118,9 m3	149,00	17 716,10
41	Betonirakentaminen: Muottityö, purku	1311.3	Teräsbetoniarinat	8,8 m2	25,57	225,05
91	Routasuojauslevyjen asennus	1421	Roudaneristykset	504 m2	6,10	3 074,40
22	Maarakentaminen: Täyttö (Välikerrokset ratarakenteissa)	2123	Välikerrokset ratarakenteissa	224,8 m3ktr	30,87	6 939,16
						<b>75 975,32</b>

Kuva 22. Rakenteiden määrälaskenta.

## 8 Yhteenveto

Vaikka tässä opinnäytetyössä esitettävät hinnat ovat keksittyjä, ovat ne hyvin suuntaa antavia. Teräsbetonilaatan rakentamiseen käytettävät työtavat ja materiaalit ovat selvästi hitaampia työstää ja kalliimpia normaaleihin maanrakennuksessa käytettäviin täytötmateriaaleihin verrattuna. Suurimmat hinta- ja aikatauluerot aiheutuivat teräsbetonilaatan raudoitteiden hinnan, raudoitustyön sekä betonoinnin osalta. Maanrakennustöiden hintaero poikkileikkausten välillä oli 1043,42 €, kun taas teräsbetonilaatta lisäsi kustannuksiin suoraan 23548,31€.

## Lähteet

- 1 **Raide-Jokeri**. Raide-Jokerin verkkosivut. [Online] 5.12.2020 [Mikä on Raide-Jokeri?](#)
- 2 Luettu 10.4.2021. **Helsingin Kaupunki**. liikenne- ja katusuunnittelu. Maaherrantien työselostus 30931 s.9-10.
- 3 Saarinen, Maija: Ratojen alusrakenteissa käytettyjen materiaalien routimisherkkyys. Ratahallintokeskus, Rataverkko-osasto. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 7/2008.
- 4 Liikenneviraston ohjeita 13/2018. RATO 3 Radan rakenne
- 5 Luettu 13.4.2021. **Raide-Jokeri**. Raide-Jokerin raitiotien alusrakenneohje. Versio 1.2 12.2.2020
- 6 InfraRYL 2020
- 7 Luettu 1.5.2021. **Raide-Jokeri**. RJ\_000\_LAA; TUO\_Ohjekortti-Vahtolasimurskepenger

PANK- hyväksytyt testausoroinsaatio

Mittauspöytäkirja, Levykuormituskoe, Infra-Ryl

Pöytäkirjan numero: 27

Mittalaitte: Power-Team, laitteen yksilöintinumero: 2

**Testin tilaaja:**

Yit Suomi Oy/ Rakennus, Niko Heikkinen

**Projekti:**

Raide-Jokeri FI 1001196, Lohko 5


**Päivämäärä**

6.10.2020

**Kohde:**

Maaherrantie, Ratapohja EV-kerros

**Lisätietoja:**

Nro	Paaluluku/ mittauspiste	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E2/E1	Vaatimus	
					E2 (MPa)	E2/E1
1	PL 2500 vasen raide	142	273	1,9	≥120	≤2,0
2	PL 2500 oikea raide	196	306	1,6		
3	PL 2600 vasen raide	21	31	1,5		
4	PL 2600 oikea raide	22	30	1,4		
Keskiarvo		95	160	1,6		
<b>Jakelu:</b> JLab Oy YIT, Jarkko Lönnfors, Niko Heikkinen				<b>Mittaajan allekirjoitus:</b>  Jani Peräkylä. 050 568 9529		

PURISTUSLUJUUS						
<b>Tilaja:</b>	Lujabetoni Oy			<b>Tilauspäivä:</b> 16.9.2020		
<b>Kohde:</b>	Raidejokeri, Viikinportinkatu 1 lohko 5, runkomelulaatta			<b>Toimitettu laboratorioon:</b> 22.9.2020		
<b>Projektinnumero:</b>	4414-2470			<b>Laboratorio:</b> Espoo		
<b>Näytteiden muoto ja mitat:</b>	Lieriö 150 x 300 mm			<b>Valu pvm:</b> 16.9.2020		
				<b>Testaus pvm:</b> 14.10,16.12.2020		
<b>Menetelmät:</b>						
<p>Puristuslujuuskoe ja tiheyden määrittäminen ovat akkreditoituja menetelmiä ja ne suoritettiin tilaajan toimittamista näytteistä laboratoriossa standardin SFS-EN 12390-3 ja SFS-EN 12390-7 mukaisesti. Koekappaleiden puristusvoimat on tasotettu tarvittaessa hiomalla siten, että pituuden ja halkaisijan suhde on 1,0 tai 2,0. Kokeessa käytetty puristusastuskone on Controls Automax 55-C46D02. Puristuslujuuskokeen mittausepävarmuus on <math>\pm 3,9\%</math> ja tiheyden määrittämisen mittausepävarmuus on <math>\pm 2,0\%</math>. Laitteisto on kalibroitu 03/2020 (Espoo), 2/2020 (Oulu) ja 3/2020 (Tampere). Tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Labroc Oy vastaa toimeksiannoista KSE 2013 mukaisesti. Tulokset toimitetaan sähköpostilla PDF-muodossa ilman suojausta.</p>						
<b>Näytteenottaja:</b> Vesa Purje						
Näyte	Materiaali / tila tai rakennusosa	Ikä [vrk]	Tiheys 2) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Voima [kN]	Tulos 1) [MPa]	Poikkeama
1	98731, C35/45 S3 32 XC2, 40166	28	2300	740,5	51,9	-
2	98731, C35/45 S3 32 XC2, 40166	28	2310	748,7	52,5	-
3	98731, C35/45 S3 32 XC2, 40173	28	2290	788,9	54,7	-
4	98731, C35/45 S3 32 XC2, 40173	28	2310	784,0	54,4	-
5	98731, C35/45 S3 32 XC2, 40173	91	2290	832,3	57,1	-

1) Lujuudet on ilmoitettu 150 mm kuution lujuuksina BY65 kohdan 5.2.2.1 mukaisesti.

2) Tiheys on määritetty veden kyllästämistä koekappaleesta käyttäen mitattuja mittoja.



Jyrki Valtonen, Tutkija, Laborantti  
 p. 040 778 9240, jyrki.valtonen@labroc.fi