



Arttu Kettunen

# Raitiotien päällysrakennevertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma

Mestarityö

10.11.2021

## Tiivistelmä

Tekijä: Arttu Kettunen  
Otsikko: Raitiotien päällysrakennevertailu  
Sivumäärä: 27 sivua + 0 liitettä  
Aika: 10.11.2021

Tutkinto: Rakennusmestari (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma  
Ammatillinen pääaine: Infrarakentaminen  
Ohjaajat: Työmaapäällikkö Mikko Koponen  
Lehtori Mika Räsänen

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää ja vertailla Raide-Jokeri hankkeella käytössä olevia päällysrakenteen rakennetyyppejä. Opinnäytetyössä vertailtiin puolipölkkyrakenteita upotettavaan ERS-rakenteeseen. Rakenteista laadittiin työvaihekohtainen työselostus ja rakenteita vertailtiin aikataulullisesti. Opinnäytetyössä otettiin kantaa myös rakenteiden hyviin ja huonoihin puoliin, laatuun ja tulevaisuuden kunnossapitoon sekä elinkaariin.

Tiedonkeruu opinnäytetyöhön toteutettiin seuraamalla työvaiheiden rakennusta ja edistymistä, henkilöhaastatteluilla, omilla kokemuksilla sekä hankkeen sisäisen projektipankin suunnitelmilla ja tiedostoilla.

Tavoitteena oli selvittää paras mahdollinen rakennetyyppi tulevaisuuden raitiotiehankeita koskien. Opinnäytetyö on laadittu NRC Group Finland Oy:n toimeksiannosta.

Avainsanat: raitiotie, kiintoraidelaatta, Raide-Jokeri, rakennetyyppi, infrarakentaminen

## Abstract

Author: Arttu Kettunen  
Title: Comparing Structure Types of Tram Railways  
Number of Pages: 27 pages + 0 appendices  
Date: 10 November 2021

Degree: Bachelor of construction management  
Degree Programme: Construction site management  
Professional Major: Infrastructure construction  
Supervisors: Mikko Koponen, Site manager, NRC Group Finland Ltd  
Mika Räsänen, Senior Lecturer

The aim of this thesis was to study and compare different structure types of tram railways in the Jokeri Light Rail construction project. The thesis includes a comparison between rail structure with concrete slab and the embedded rail system.

The thesis includes work reports for the different structure types. The comparison was written on schedule, and it discusses the construction costs, quality, future maintenance and studied structures. The goal of the thesis was to find the best structure solution for future tram railway projects.

This thesis is written for NRC Group Ltd, and it is written for company's point of view.

Keywords: tram project, structure type, infrastructure construction, rail structure, embedded rail system

1	Johdanto	1
1.1	Raide-Jokeri	1
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet	2
1.3	NRC Group Finland	2
2	Raitiotien päällysrakennetyypit	4
2.1	49E1-kiskotyypin puolipölkkyrakenne	4
2.2	60R2-kiskotyypin puolipölkkyrakenne	8
2.3	ERS-raitiotierakenne	11
3	Työtapavertailu	18
3.1	Puolipölkkyrakenteen aikataulut ja niiden vertailu	19
3.2	ERS-rakenteen aikataulut ja vertailu	22
3.3	Laatuasiat ja kunnossapito	23
4	Pohdintaa	26
5	Yhteenveto opinnäytetyöstä	27
	Lähteet	28

## Lyhenteet ja käsitteet

**Kaato:** Lattian, rakenteen tai esimerkiksi betonipinnan kaltevuus.

**Kammiokumi:** Raitiotiekiskon eristykseen käytettävä kumi, jolla estetään sähkövirrasta syntyvän hajavirran pääsy maaperään. Kiskot eristetään sivuilta ja pohjasta tiiviisti kammiokumeilla. Hajavirtakumi tarkoittaa samaa asiaa.

**Kiintoraide:** Rakenne, jossa kiskorakenne valetaan betonilaattaan. Puolipölkkyrakenne on yleisin kiintoraidetyyppi.

**Maasilta:** Silta, joka ei ylitä vesistöä. Silta ylittää esimerkiksi maastoesteen kuten alikulkutunnelin.

**Polymeeripinnoiteyhdistelmä:** Kumintapainen yhdistelmä, joka suojaa rakenteen.

**Raide:** Raitiovaunu kulkee tätä rakennetta pitkin. Koostuu kahdesta kiskosta, pölkkyistä ja muista raiteen osista.

**Raidegeometria:** Suunniteltu loppuasema kiskoilla. Raiteen lopullinen tavoiteltu asento.

**Raideleveys:** Mitta kiskon kulkureunasta toisen kiskon kulku- eli sisäreunaan.

**Raitiotien päällysrakenne:** Se koostuu raiteista ja niitä ympäröivistä tukikerroksesta.

**Rata:** Väylä, johon kuuluu raiteet ja raideosat tukikerroksineen. Ratasähköistys, kulunvalvonta ja ohjausjärjestelmät kuuluvat myös rataan.

**Termitihitsaus:** Valuhitsausmenetelmä, jossa valetaan kiskot toisiinsa. Rautaoksiidi ja alumiinijauhe sekoitetaan toisiinsa ja seos sytytetään. Tuloksena syntyy sulaa terästä sekä kuonaa, jotka johdetaan muottien sisään, railotilaan. Seos sulattaa liitospinnat (kiskojen päät) ja syntyy hitsi.



# 1 Johdanto

Pääkaupunkiseudun väkiluku kasvaa vuosi vuodelta ja joukkoliikenteelle on keksittävä yhä toimivampia ratkaisuja kasvavan matkustajamäärän liikennöimiseen. Joukkoliikenteen ekologisuus eli ympäristöpäästöjen minimoiminen ja liikenteen nopeus, sulavuus ja helppous ovat avainasemassa suunniteltaessa uusia joukkoliikennehankkeita.

Energiatehokas joukkoliikenne on eduksi kaupunkien kestäväälle kasvulle. Sähkövirralla kulkevat raitiovaunut ovat ympäristömme kannalta tarpeellisia. Ilmastotavoitteita silmällä pitäen raitiovaunuliikenne on oiva ratkaisu taistellessa ilmastomuutosta vastaan. Tulevaisuudessa pyritään kohti päästötöntä liikennettä ja hiilidioksidimäärän hillitsemisen takia parhaat liikkumismuodot ovat puhtaalla sähköllä toimivat liikennevälineet, kuten pikaraitiotie Raide-Jokeri.

Lisääntyvän liikennemäärän takia Helsingin kehätiet ovat ruuhkautuneet ja tulevaisuudessa lisää teitä ja kaistoja tarvittaisiin nopeasti, jotta ihmiset pääsisivät töihin, kouluihin sekä erilaisiin harrastuksiin. Tässäkin mielessä Raide-Jokeri hanke on erinomainen sen tehokkaan linjauksen takia. Linjan edestä joudutaan kaatamaan paljon vähemmän metsää, kuin esimerkiksi tehtäessä uusia teitä ja kaistoja henkilöautoliikenteelle. Siirryttäessä ympäristöystävällisempään liikennöintiin teemme ratkaisuja myös seuraaville sukupolville.

## 1.1 Raide-Jokeri

Raide-Jokeri on pikaraitiolinja, jonka tarkoituksena on korvata Helsingin ja Espoon välillä liikennöivä runkobussilinja 550. Raide-Jokeri on noin 25 kilometriä pitkä ja kulkee Helsingin Itäkeskuksesta Espoon Keilaniemeen saakka.

Raide-Jokeri hanke on allianssimallilla toteutettava ja sen rakentajaosapuolina toimivat NRC Group Finland Oy ja YIT Suomi Oy. Allianssissa hankkeen osapuolet jakavat vastuun, riskit sekä hyödyt. Hankkeen tilaajina toimivat Helsingin ja

Espoon kaupungit. Tilaajaorganisaatio, urakoitsijat ja suunnittelijat muodostavat yhdessä allianssiorganisaation. Linjan rakentaminen alkoi kesäkuussa 2019 ja raitiovaunun on tarkoitus aloittaa liikennöinti tammikuussa 2024. (3.)

## 1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoite on löytää paras mahdollinen päällysrakenteen rakennetyyppi raitioiteille. Opinnäytetyössä kerrotaan laajasti eri rakennetyypit ja niiden hyvät sekä huonot puolet. Rakennetyyppejä vertaillaan aikataulullisesti ja perehdytään myös rakenteiden laatuun ja tulevaisuuden kunnossapitoon.

ERS-raiotierakennetta (upotettu kiskorakenne) vertaillaan puolipölkkyrakenteisiin. Opinnäytetyössä ei paneuduta sepeliratarakenteeseen, jota rakennetaan myös Raide-Jokeri hankkeella. Sepelirata tarkoittaa rakenteeltaan normaalia Suomessa käytössä olevaa junarataa. Eroavaisuutena on 1000 mm raideleveys Raide-Jokerilla 1524 mm sijaan. Myös murskeratarakenne on jätetty pois opinnäytetyöstä. Siinä sepelitäyttö korvataan murskeella.

Tavoitteena opinnäytetyössä on, että tuloksia voidaan hyödyntää tulevaisuudessa rakennettaviin raitiotiehankeisiin. Näkökulma tutkimuksessa on rakentajan, NRC Group Finland Oy:n työmaatoteutuksessa ja yrityksen aikatauluissa sekä työmaakustannuksissa.

## 1.3 NRC Group Finland

Tämä opinnäytetyö toteutetaan NRC Group Finland Oy:n toimeksiannosta. Raidelinfran johtava toimija NRC Group Finland Oy on osa NRC Groupia. Suomalainen tytäryhtiö NRC Group Finland Oy on Suomen suurin raideinfraan erikoistunut yritys. Yhtiössä työskenteli vuonna 2020 yli 900 henkilöä ja yhtiön liikevaihto ylitti 260 miljoonaa euroa kyseisenä vuonna. NRC Group Finland on entinen VR Track Oy, jonka liiketoiminnan NRC Group osti vuonna 2018. NRC Group Finlandin isoimpia projekteja on pikaraitiotie Raide-Jokeri, Tampereen raitiotiehanke sekä



Kruunusillat-allianssi. NRC Group Finland Oy:llä on myös lukuisia päällysrakenteen- ja sähkökunnossapidon projekteja eri puolilla Suomea. Yhtiö tarjoaa myös erilaisia materiaali- ja konepalveluita eritoten raideinfraa koskien.

NRC Group konserni toimii Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa. Konsernilla on työntekijöitä Pohjoismaissa yli 2000 henkilöä. NRC Group konsernin toimialaa on ratarakentaminen ja sen kunnossapito, siltasuunnittelu sekä sähkö- ja ympäristörakentaminen. Koko konsernin liikevaihto vuonna 2020 oli noin 635 miljoonaa euroa. Konsernin toimitusjohtaja on Henning Olsen ja pääkonttori sijaitsee Oslolla, Norjassa. (9.)

## 2 Raitiotien päällysrakennetyypit

Raitiotiehankkeilla on käytössä useampia päällysrakenteen rakennetyyppejä. Tässä opinnäytetyössä paneudutaan Raide-Jokeri hankkeella käytössä oleviin rakennetyyppeihin. Opinnäytetyössä paneudutaan puolipölkkyrakenteen työvaiheisiin ja aikatauluihin. Puolipölkkyrakenne on rakennetyyppi missä pölkyt valetaan betonilaattaan eli se on kiintoraiderakenne. Puolipölkkyrakenteen osuus Raide-Jokeri rakennushankkeesta on yli 70 prosenttia. Puolipölkkyrakenteella on käytössä pääosin kahta erilaista kiskotyyppiä, 49E1-kisko sekä 60R2-kisko.

### 2.1 49E1-kiskotyypin puolipölkkyrakenne

49E1-kiskon nimitys tulee siitä, että se painaa 49 kilogrammaa/metri. Tämä kiskotyyppi on tuttu rautateiltä. Sitä käytetään avoimilla sekä suljetuilla viherraudoilla. Myös sepelirata tehdään 49E1-kiskoista.

Puolipölkkyrakenteen rakennustyöt aloitetaan, kun ratapohjat on vastaanotettu maanrakentajilta. Mittamies merkkää maahan kiintoraidelaa reunaviivat. Kiintoraidelaa voi olla, joko erillislaattaa, jolloin molemmat raiteet valetaan omina laattoinaan tai yhtenäistä laattaa, jolloin molemmat raiteet valetaan yhtenäiseksi laataksi.

Itse radan rakentaminen alkaa runkomelueristeen asentamisella mittamiehen antamien reunamerkkien mukaisesti. Runkomelueristeen tarkoitus on vaimentaa raitioliikenteestä aiheutuvaa runkomelua. Runkomelueristettä asennetaan niihin paikkoihin, joiden lähellä on herkkiä kohteita, kuten yliopistot tai sellaisiin paikkoihin, joissa runkomelua on laskettu aiheutuvan yli annettujen rajoitusten. Runkomelueristettä on kahta eri paksuutta 30 mm sekä 50 mm ja sitä asennetaan 30 mm-100 mm paksuisina kerroksina paikasta riippuen. Runkomelueristettä ei tule koko linjan matkalle, vaan Raide-Jokerilla on myös pätkiä missä rata rakennetaan suoraan murskepinnan päälle.

Runkomelueristeen päälle asennetaan pitkittäin suojamuovi, jonka päälle mittamies merkkää tarvittavat radanrakentamiseen tarvittavat merkinnät, kuten halutun ratakoron, kiskojenpäätsä sekä rataan asennettavat kaivot ja mahdolliset tulevat sähköjärjestelmät, kuten kisko- ja raideyhteydet. Suojamuovi estää betonin valumisen runkomelueristelevyjä väleihin.



Kuva 1, Runkomelueristeen päälle rakennettu 49E1-rata. Kuva: Arttu Kettunen

Seuraavaksi nostetaan puolipölkkyt kiskojen kiinnitystä varten runkomelueristeen päälle. Pölkkyt 49E1-kiskoilla ovat korkeita puolipölkkyjä ja ne asennetaan 75 senttimetrin etäisyydelle toisistaan. Pölkkyjen asennuksen jälkeen 18 metrin mittaiset kiskot nostetaan pölkkyjen päälle ja kiinnitetään pölkkyihin pölkkyissä olevien jousien avulla. Kiskot kiinnitetään toisiinsa sidekiskojen avulla. Tiukoissa kaarteissa käytetään yleensä esitaivutettuja kiskoja suorien kiskojen sijasta. Kaarteissa, joissa on käytössä 49E1-kisko ja joiden kaarresäde on yhtä suuri tai pienempi kuin 150 m, käytetään valmiiksi taivutettuja kiskoja.



Kuva 2, 49E1-kiskon sidekiskot ja kiskopuristin sekä pölkkyssä oleva kiskon kiinnitysjärjestelmä. Kuva: Arttu Kettunen

Kun kiskot on saatu kiinnitettyä alkaa radan asemointi. Raiteen asemointi oikeaan raidegeometriaan eli lopulliseen asemaansa tapahtuu pölkyissä olevien nostopulttien avulla. Rata nostetaan haluttuun korkoon ja sivuttaissuuntainen asemointi tapahtuu säätövanttien avulla. Rata kiinnitetään radan viereen nostetuihin betonipainoihin säätövanteilla ja niiden avulla rata pysyy paikallaan vaaluun eli rataalaan betonointiin asti.

Raiteen raideleveys 1000 mm säädetään kuntoon pölkyissä olevien säätökiilojen avulla. Kiskot kumitetaan hajavirtaa eristävillä kammiokumeilla. Kammiokumien tehtävänä on eristää kisko niin, että hajavirta ei pääse maaperään. Hajavirta on sähkövirta, joka karkaa maaperään, jos kiskoa ei eristetä hajavirtakummeilla sivuilta ja pohjasta.



Kuva 3, Kiskon asemointiin käytettävät säätövantit ja betonipainot. Kuvassa kisko eristetty oikeaoppisesti kammiokumeilla. Kiskotyyppi 49E1. Kuva: Arttu Kettunen

Raiteiden ympärille rakennetaan muotit valua varten. Käytössä on kolmen metrin muottisiivuja, joita käytetään uudestaan seuraavassa valussa. Raitiotien kiintoraidelaatan materiaalina käytetään betonia, joka on vähintään lujuusluokan C35/45 XF3 kuitubetonia. Betonikuitu on teräskuitua ja sitä on oltava vähintään 30 kg/m<sup>3</sup>. Raide-Jokerilla ei rakenneta erikseen raudoitusta kiintoraidelaattaan Tampereen raitiotiehankeen tapaan. (2.)

Valu puretaan 1–2 vuorokauden jälkeen riippuen ilmanlämpötilasta. Muottisiivut ja valun päälle asennettu muovipressu poistetaan ja radan korkopultit nostetaan pois uusiokäyttöä varten. Viimeinen vaihe on kiskojen hitsaus jatkuviksi. Kiskot hitsataan toisiinsa termiittihitsauksilla. Kesällä hitsaukset suoritetaan öisin viileämmän lämpötilan takia. Kun kiskot on hitsattu ja hiottu oikeaan profiiliin, hitsikohdat kumitetaan vielä kammiokumeilla. Rataosuus on valmis ja sen ympärille rakennetaan pintarakenne. Pintarakenteita on viherraide, missä radan ympäristö on nurmikkoa tai kova päällyste, jossa radan ympäristö on esimerkiksi asfaltoitu tai siihen on valettu pintabetoni.

## 2.2 60R2-kiskotyypin puolipölkkyrakenne

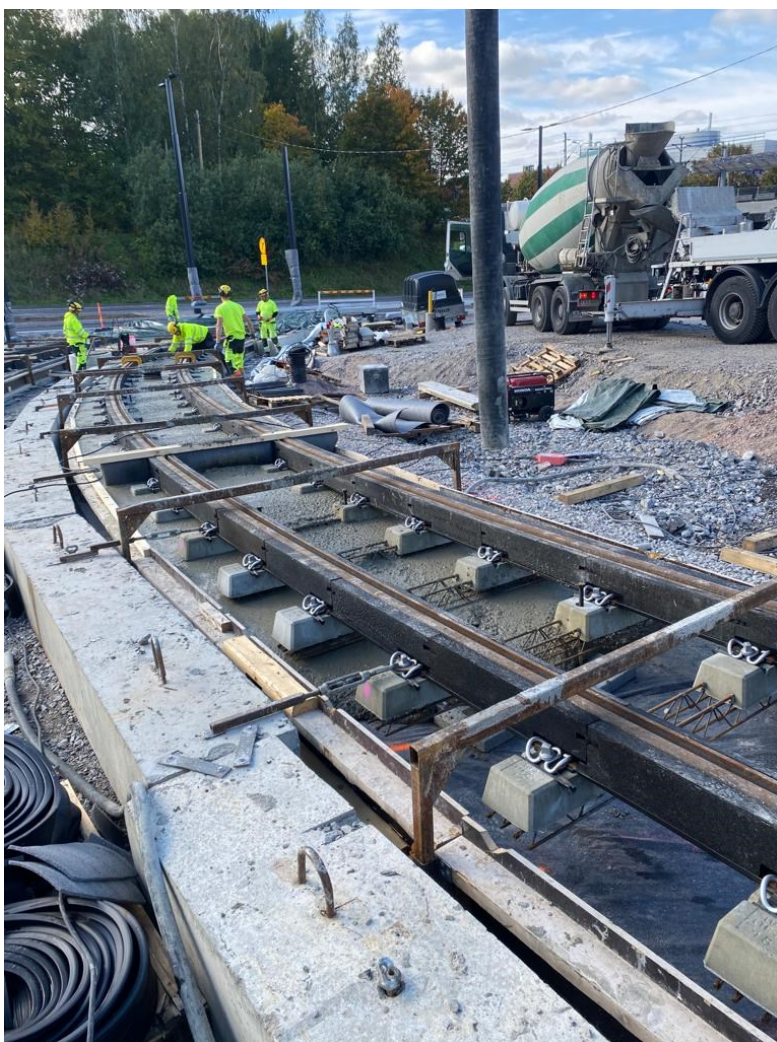
60R2-kisko eli urakisko on painoltaan 60 kilogrammaa/metri. Sen profiili on hieinan erilainen verrattuna 49E1-kiskoon. Urakiskossa kiskon hamaraosa eli se osa minkä päällä kiskopyörä pyörii ja vieressä oleva vastakisko muodostavat kiskolle laippauran. Kantakaupungin raitiotiet on tehty kokonaan vastaavanlaisella kiskotyypillä. Kaarteissa, joissa on urakiskotyyppi ja joiden kaarresäde on pienempi tai yhtä suuri kuin 250 m, käytetään esitaivutettuja kiskoja.



Kuva 4, 60R2-kiskot yhdistyvät 49E1-kiskoihin. Kuvasta näkee 60R2-kiskotyypin pidemmän pölkkävälän sekä pölkyissä olevat korkopultit, joilla raide asennetaan ja jotka nostetaan pois valun jälkeen. Kuva: Arttu Kettunen

Yllä olevasta kuvasta näkee kiskotyyppien eroja. 60R2-kiskolla pölkkyväli on suoralla rataosuudella 150 cm mutta kaarteissa 75 cm. Pölkkyt ovat matalia puolipölkkyjä ja ne ovat kevyempiä kuin 49E1-kiskon korkeat puolipölkkyt. Kiskon kammiokumit ovat myös erilaiset.

Työvaiheet molemmilla kiskotyypeillä on samat. Omasta kokemuksestani 60R2-kiskorakenne on kuitenkin miellyttävämpi ja nopeampi rakentaa, koska pölkkyväli on pidempi eli pölkkyjä ei mene niin paljoa ja myös kiskon kumitus on mielestäni helpompaa ja nopeampaa. 60R2-kiskolla ei tarvitse erikseen asentaa yläkumia mikä 49E1-kiskolla täytyy, jotta kammiokumi tulee kiskon yläreunaan saakka. (8.)



Kuva 5, 60R2-radon betonointi. Erillislaatta eli raiteet valetaan omina laattoina. Kuva: Arttu Kettunen



### 2.3 ERS-raitiotierakenne

ERS-rakenne tulee sanoista Embedded Rail System eli upotettu kiskojärjestelmä. ERS-rakennetta rakennetaan pääsääntöisesti maasilloille ja muualle mihin normaalia kiintoraidelaaattarakennetta, puolipölkkyrakennetta, ei voida toteuttaa. Syynä tähän on ahtaat tilat, liian korkea rakenne tai kantavuudet. ERS-rakennetta rakennetaan kahdella eri menetelmällä, teräskouruilla sekä betonikouruilla.

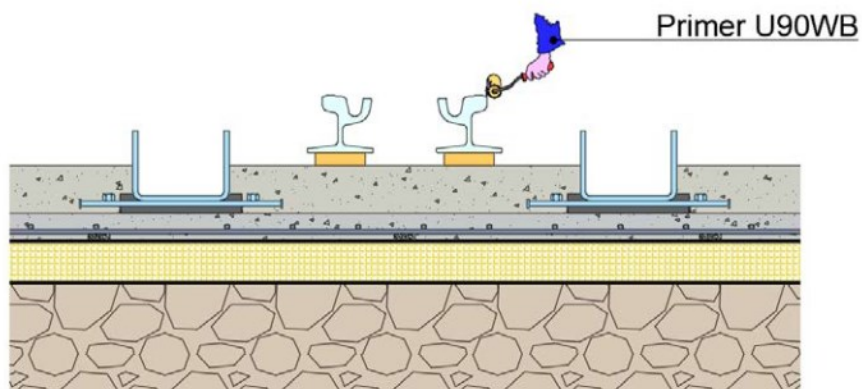
Teräskoururakenteen rakentaminen alkaa, kun mittamies antaa mittapistet kouruille maasillan päälle. Kourut asemoidaan oikeaan geometriaan mittamiehen ja nostopulttien avulla.



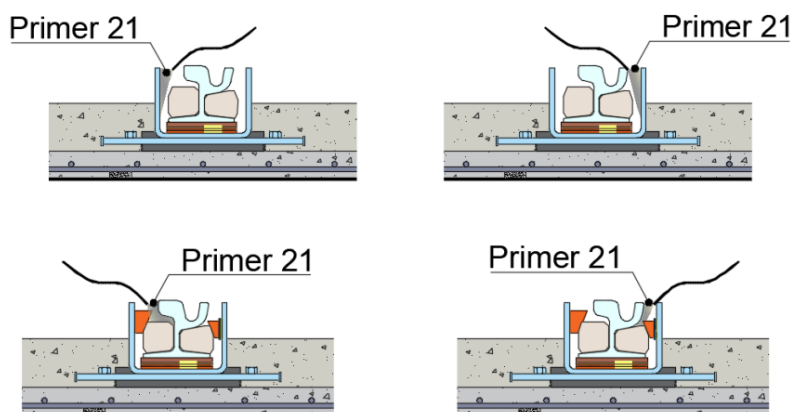
Kuva 6, Teräskourujen asemointia oikeaan geometriaan. Kuva: Arttu Kettunen

Kourujen ympärille tehdään pintavalu mikä pitää kourut paikallaan ja antaa koko päällysrakenteelle niiden lopullisen koron. Kohteesta riippuen tulee valu myös mahdollisesti raudoittaa. Seuraavaksi kourujen pohjalle asennetaan tarvittaessa kumimatto liimaamalla. Kumimaton päälle asennetaan polymeerilevyjä (korkolappuja) 150 cm välein mittamiehen antamien korkolukujen perusteella. Polymeerilevyt ovat 1 mm - 10 mm paksuudeltaan. Kiskot hitsataan jatkuviksi kourujen ulkopuolella, jonka jälkeen ne voidaan nostaa kourujen sisään korkolappujen päälle.

Jos kiskoja ei ole tehtaalla valmiiksi käsitelty eli niihin ei ole tehty pintakäsittelyä, tulee ne käsitellä Primer U90WB pinnoitteella mikä varmistaa kiinnitysmassan tartunnan kiskoisiin. Pinnoitus suojaa kiskoa korroosiolta eli estää teräksen muuttumista käyttökelvottomaan muotoon.



Kuva 7, Kiskojen primerointi eli pintakäsittely. Kuva: Edilon Sedra



Kuva 8, Kourujen pintakäsittely ja oranssit säätökiilat. Kuva: Edilon Sedra

Kiskojen sivuttaissuuntainen asemointi toteutetaan säätökiilojen avulla. Ensin asemoidaan niin sanottu johtokisko. Johtokisko on mittamiehen määrittämä kisko, jonka perusteella vierekkäistä kiskoä säädetään niin, että raideleveydeksi saadaan haluttu 1000 mm. Johtokisko asemoidaan aina ensin. Kiiloja lyödään alaspäin, jolloin kisko liikkuu sivuttaissuuntaisesti. Kun oikea raidegeometria on saavutettu, tulee raideleveys tarkastaa vielä raideleveysmittarilla.

Kiskojen asemoinnin jälkeen kourujen päihin asennetaan päätystopparit. Kiskojen yläpinnat teipataan ja suojataan ilmastointiteipillä ja kourun sivut suojataan esimerkiksi rakennuspahvilla. Kouru käsitellään vielä Primer 21 sidosaineella, että Edilon Sedra:n Corkelast tarttuisi paremmin kiinni kouruihin. Corkelast on polymeeripinnoiteyhdiste, jolla on optimaaliset sähköeristysominaisuudet ja ennalta määritelty kiskotuen jäykkyys. Primer 21 on ainetta, jota suihkutettaessa työntekijän on suojauduttava asianmukaisin suojaruustein, kuten hengityssuojaimella, hanskoilla ja suojahaalarilla. Säsuojan eli teltan sisällä ei saa olla muita henkilöitä työvaiheen aikana. Tässä työvaiheessa työnjohton on oltava erityisen tarkkana ja opastettava työntekijät suorittamaan työvaihe turvallisesti.

Kun Primer 21 on annettu vaikuttaa tunnin ajan, voidaan kouruihin alkaa kaataa Corkelastia. Corkelast koostuu kahdesta eri komponentista, jotka sekoitetaan

keskenään siihen tarkoitetulla sekoittimella 90 sekunnin ajan. Valmis seos kaadetaan kouruihin kahdessa kerroksessa. Lopullisen pintakoron saavutettua mahdolliset ilmakuplat poistetaan liippaamalla eli hiertämällä pinta tasaiseksi.



Kuva 9, ERS-teräskoururakenne yhdistyy 49E1-puolipölkkyrakenteeseen. Kuva: Arttu Kettunen



Kuva 10, Valmis ERS-rakenne. Kuva: Arttu Kettunen

Kun rakenne on saatu valmiiksi voi sääsuojan purkaa seuraavana päivänä. ERS-rakenne vaatii aina sääsuojan vesisateiden ja ihanteellisen lämpötilan vuoksi. ERS-rakenteen Corkelast-vaihetta ei saa suorittaa, jos kiskon pintalämpötila on alle +5 °C:n eikä yli +45 °C:n. Corkelastin tulee olla välillä +15 - +30°C ja ympäristön tulee olla kuiva. ERS-rakenteen lämpötilat ja olosuhteet dokumentoidaan.

Betonikoururakenteen työvaiheet alkavat runkomelueristeen levittämisellä. Runkomelueriste asennetaan mittamiehen antamien reunamerkkien mukaisesti. Eristeen päälle asennetaan suojamuovi.



Kuva 11, Betonikourujen alle tuleva raudoite muotitettuna. Kuva: Arttu Kettunen

Suojamuovin päälle tehdään raudoitus annettujen suunnitelmien pohjalta. Betonikoururakenne tehdään kahdessa osassa. Ensin valetaan pohjavalu, jonka jälkeen raudoitetaan pintavalu ja muotitetaan betonikourut. Seuraavaksi voidaan valaa pintavalu, jonka jälkeen muotit voidaan purkaa ja päästään asentamaan kumimattoa ja korkolappuja valetun betonikourun pohjalle. Työvaiheet etenevät loppuun samalla tavalla kuin teräskoururakenteessa. Betonikoururakenteeseen tulee yleensä raudoitus ja se lisää työtä ja siihen käytettävää aikaa.



Kuva 12, Valmis ERS-betonikoururakenne. Kuva: Arttu Kettunen

Yllä olevassa kuvassa on valmis ERS-betonikoururakenne. Valumuotit on purettu ja seuraava vaihe on tehdä sääsuojasta suljettu ja laittaa sisälle lämmitys. Sen jälkeen voidaan siirtyä kohti Corkelast rakennusvaiheita. Betonipinnan tulee olla liipattu. Se tulee hiertää sileäksi ja tarkastaa, että pinnan kaadot on tehty oikein. Kohteesta riippuen betonipinta voi olla myös harjattu eli betonipinnasta tehdään sellainen, että liukastumisen vaara pinnan päällä minimoidaan. (7.)

### 3 Työtapavertailu

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on vertailla edellä mainittuja päällysrakenteiden rakennetyyppejä kriittisesti. Raitiotien rakentaminen näillä menetelmillä on melko uutta Suomessa ja Raide-Jokeri on uniikki kohde Suomen raitiotiemaailmassa. Raitiotiehankkeita tulee tulevaisuudessa lisää kovalla vauhdilla ympäri pääkaupunkiseutua ja niihin tulisi valita kustannustehokkaimmat ja kaikin tavoin parhaat päällysrakenteiden rakennetyypit.

Työtapoina vertailtaessa puolipölkkyrakennetta rakennetaan huomattavasti enemmän kuin ERS-rakennetta. Näin ollen rakenne on helpompaa rakentaa, koska siihen on syntynyt hankkeen aikana rutiinit. ERS-rakennetta rakennettaessa kiskojen asemointi on hitaampaa ja virheiden korjaaminen hankalampaa, koska asemointi tapahtuu kourun sisällä missä tilat ovat rajalliset.

Betonoinnin kannalta rakenteita vertailtaessa haastattelin opinnäytetyötä varten Janne Saloa ja Jere Paloluomaa. Janne on vastaava betonityönjohtaja ja Jere on betonityönjohtaja kiintoraidelaatan betonitöissä, Raide-Jokerilla.

”Betonityöt puolipölkkyrakenteella ovat paljon helpompia verrattuna ERS-rakenteeseen. Puolipölkkyrakenteen valettu pinta ei ole lopullinen, koska päälle tulee vielä pintarakenne esimerkiksi nurmi, pintavalu, kiveys tai asfaltti. Pintaan ei tarvitse tehdä kaatoja hiertämällä, mutta valussa tavoitteena on kuitenkin, että korkein kohta on laatan keskellä. ERS-rakenteen valupinta on lopullinen ja se vaatii enemmän työtä ja tarkkaavaisuutta pinnan laadun sekä kaatojen suhteen. ERS-rakenteeseen tulee myös joskus raudoituksia. Raudoitukset vaativat aikaa, materiaaleja ja näin ollen myös kustannukset kasvavat. ERS-rakenteet ovat aina erikoiskohteita, joten ne vaativat enemmän suunnittelua ja erikoismateriaaleja. ERS-rakenteen valu on hankalampaa myös sääsuojan takia. Sääsuojaan joudutaan aukaisemaan kaistaleita, joiden kautta valu pystytään suorittamaan. ERS-rakenteen materiaalit tulevat pääsääntöisesti ulkomailta, joten toimituksiin liittyy mahdollinen aikatauluriski.” (6.)



### 3.1 Puolipölkkyrakenteen aikataulut ja niiden vertailu

Puolipölkkyrakenteita pyritään rakentamaan kohteen pituudesta riippuen arviolta 70–100 metrin työalue/työryhmä kolmen viikon jaksoon. Tämä tarkoittaa sitä, että aikataulu alkaa siitä, kun ratapohjat on vastaanotettu maanrakentajilta ja loppuu hitsausten jälkeisiin hitsauskumituksiin tai jos kohde on tarkoitus trolata heti perään eli raiteiden geometriat dokumentoidaan tietokantaan mittamiehen trolley-vaunulla. Trollaukset voidaan suorittaa myös myöhemmin, esimerkiksi katukohtaisesti, jolloin trollattava matka on pidempi. Hitsauskumitusten, loppusiivouksen ja trollauksen jälkeen kohde luovutetaan takaisin maanrakentajille. He hoitavat radan ympäristäytön ja maisemoinnin.

Kohde / Työläji	Leveys [m]	JÄLJÄ	LIVA	Huoneisto vaki määrä	Käynnin lisä määrä kunt	Huolitt.	Tarvittavat työt kunt	Talv.	Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su	Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su	Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su				
<b>Lohko 1</b>																																	
E02-Laatta L2 526-536	10,63					8		50,00 %	H	H	KU	KU																					
E02-Laatta Y3 536-569	32,75	ZKVR/RV	Silvot			4		30,00 %			H	KU	KU																				
E02-Laatta Y4 569-601	32,25		Liva			8		100,00 %																									
E02-Laatta Y5 601-606	5,00					4		85,00 %	R/P	KT	A	A	A																				
E02-Laatta Y6 606-624	18,05					4		85,00 %	R/P	KT	A	A	A																				
E02-Laatta L7 624-655	30,76	ZKVR/RV	Liva			6		85,00 %	R/P	KT	A	A	A																				
E02-Laatta L8 655-691	36,00					10		85,00 %	R/P	KT	A	A	A																				
E02-Laatta L11 797-762	36,46	ZKVR				8		100,00 %	M	M	V	S	H																				
E02-Laatta L10 762-729	33,03					8		100,00 %	M	M	V	S	S																				
E02-Laatta L9 729-694	35,30	ZKVR/RV				8		100,00 %	M	M	V	S	S																				
E02-Laatta L19 970-1006	36,00					8		50,00 %			V	S	H	H																			
E02-Laatta L20 1006-1040	33,85		Liva			8		50,00 %			V	S																					
E02-Laatta L21 1074-1039 Vaihte	35,38					20		66,00 %	V	S	S																						
E02-Laatta L22 1100-1074	25,63	ZKVR/RV	Liva			8		66,00 %			V	S	S	H	H																		
E02E03-Laatta Y1 1125-1100	24,70					4																											
E03 L6-E04 L1																																	
E01-Laatta L11 305-269	36,00	ZKVR/RV				8																											
E01-Laatta L10 269-233	36,00		Liva			8																											
E01-Laatta L9 233-197	35,64	ZKVR/RV	ZKRV/P			4																											

Kuva 13, Radan 3-viikkoisaikataulu. Punaisella ympyröity kohde on noin 89 metriä pitkä. Kuva: Arttu Kettunen

Yllä oleva radan 3-viikkoisaikataulu kertoo hyvin kaiken tarvittavan kiintoraide-laattarakenteen rakentamisesta ja sen aikatauluista. Tarkasteltaessa punaisen ääriviivan sisään jäävää aikataulua saadaan hyvä käsitys radan työvaiheista ja aikataulusta. Radan työvaiheet on merkattu seuraavasti:

- R/P, runkomelueristeen ja pölkkyjen asennus.
- KT, kiskojen tuonti ja nostaminen pölkkyjen päälle.
- A, kiskojen ja radan asemointi.

- KU, kiskojen kumitus ja jousien suojaksi laitettavat suojakupit asennetaan.
- M, radan muotittaminen tulevaa betonointia varten.
- V, valu eli kiintoraidelaatan betonointi.
- S, ratapätkän siivous roskasta ja ylimääräisten materiaalien poisvienti.
- H, hitsaus ja hitsauskohtien hionta kiskonprofiilin muotoisiksi.
- PU/TR, kiskojen putsaus ja kiskojen trolaus.

Aikataulu kertoo myös kohteen pituuden, kohteelle tulevat sähköjärjestelmät, hitsausten määrän ja viikon toteumaprosentin eli millä prosentilla edellisviikon työvaiheista suoriuduttiin.

Kohteen aikatauluihin vaikuttaa tietysti myös se onko kyseessä suora ratakohde vai kaarre. Kaarre vaatii yleensä aina enemmän aikaa radan asemointiin. Hitsareiden tavoitetyösuorite on neljä hitsiä hitsattuna ja hiottuna/työvuoro/hitsaaja-työpari.

Kiskotyyppien välillä ei ole juurikaan eroja aikatauluissa. Molempia kiskotyyppisiä (49E1 ja 60R2) pyritään rakentamaan annettu kohde valmiiksi kolmessa viikossa. Aikatauluihin vaikuttaa raitiotien erikoiskohteet kuten vaihteet eli mekaniisit, joilla raitiovaunu saadaan ohjattua raiteelta toiselle ja kiskonliikuntalaitteet, jotka mahdollistavat liike-eron sillalla olevan raiteen ja sillan ulkopuolella olevan raiteen välillä. Näitä kohteita on yleisesti hitaampaa rakentaa ratametreissä vertailtuna. (4.)



Kuva 14, Kiskonliikuntalaite Impilahden sillalla, Espoossa. Kuva: Arttu Kettunen

## 3.2 ERS-rakenteen aikataulut ja vertailu

Kohde / Työsi	Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su	Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su	Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su	Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su
<b>Lohko 5 - Maasilta S122</b>																												
Tarvikkeiden tuonti	x																											
Kiskokaukalon merkit laetaan	x																											
Kiskokaukalot jaeto karnelle	x	x																										
Säätösuojan rakentaminen	x	x																										
Kiskokaukalojen esiasemointi	x	x																										
Vänereiden naputtelu paikalleen ja teippaus oranssi			x	x																								
Liikuntasuomien ja päälystöparrin rakentaminen					x																							
Taruntateräksiset ikkuntasuomaan																												
Kourujen suomien teippaus ukopuolelta silto				x																								
Välusaikkien teko teitään				x																								
Valu laatat Y18-Y19				x																								
Itäpään muotitus laatat (tuentia teitään)							x																					
Liikuntasuoman ja päälystöparrin rakentaminen							x	x																				
Toisen välialueen kourujen asemointi								x																				
Kouruvänereiden siirto, asennus ja teipit								x																				
Valu laikko Y20-Y21									x																			
Muotien purku										x																		
Siivous										x																		
Kiskopöytä																												
Kourun puhdistus ja karhennus										x																		
Korkomerkki										x																		
Dex-G ja pohjalevy											x																	
Korkolast												x																
Aluspuut												x																
Kiskon tuonti																												
Hitsaus																												
Materiaalien tuonti: Corkelat, sekoittimet, kilat yms.																												
Hitaakohien karhennus ja primer 90																												
Kylkipuut																												
Kiskon puhdistus kaukaloon																												
Asemointi korkeus																												
Asemointi sivusuunta ja raittelevyys																												
Kourun ja kiskon puhdistus ja sudeaus																												
Välusaemointi																												
Primer 21 ja Corkelat																												
Palkkauscorkelat (jos tarpeen)																												
Siivous																												
Teitän purku																												

Kuva 15, ERS-rakenteen aikataulu. Maasilta S122 Helsingin Varikkotiellä. ERS-rakenne on 75 metriä pitkä. Kuva: Arttu Kettunen

ERS-rakenteessa työvaiheita on paljon enemmän kuin puolipölkkyrakenteissa. Kohteiden pituudet vaihtelevat ja näin ollen myös aikataulu hieman muuttuu kohteesta riippuen. ERS-rakenteen rakentaminen yleisesti on paljon hitaampaa kuin puolipölkkyrakenteen.

Esimerkkiaikataulusta huomataan, että kyseinen rakenne rakennetaan alusta loppuun kuudessa viikossa. Näin ollen myös rakenteen kustannukset kasvavat, kun otetaan huomioon pidempi rakennusaika. Aikataulullisesti puolipölkkyrakenteen on parempi vaihtoehto raitioiteille. Kiskoasennusryhmälle tulee myös aikatauluun venttää eli turhaa odottelua, kun he odottavat hitsausten valmistamista. Näille päiville on keksittävä vaihtoehtoista tekemistä asentajille.

ERS-rakenne vaatii aina sääsuojan sopivan ilmanlämpötilan ja kosteuden takia. Syksyllä ja talvella sääsuoja tulee lämmittää sisältä ihanteellisten olosuhteiden takia ja rakennuskustannukset kasvavat merkittävästi. (5.)

49E1- ja 60R2-kiskorakenteet	
Aikataulu	Nopea toteuttaa, valmis ratapätkä alusta loppuun noin 3 viikossa
Asennus	Rutiinit ja toistuvuus helpottaa ja nopeuttaa rakentamista
Kustannukset	Halvempi rakentaa kuin ERS-rakenne
Korjaukset	Pölkkyjen, kisko-osien ja kiskojen vaihtoa tarpeen mukaan
Kunnossapito	Liikkuvien osien kuten vaihteiden rasvaus ja sähkölaitteiden kunnossapito
Elinkaari	Kiskot 5-30 vuotta, betoni 50 vuotta
Huoltovapaus	Vaatii kunnossapitoa
ERS-metallikoururakenne	
Aikataulu	Hidas toteuttaa, noin 80 metrin ratapätkä valmis 6 viikossa, kiintoraiteella 3 viikossa
Asennus	Hankkeen edetessä asennus helpottunut, vaatii enemmän suunnittelua ja erikoismateriaaleja
Kustannukset	Korkeat, materiaaleja tulee ulkomailta. Rakentamiseen menee aikaa eli kustannukset kasvavat
Korjaukset	Corkelastin vaihto
Kunnossapito	Kunnossapitoa ei tarvita, jos rakenne ei vahingoitu
Elinkaari	30 vuotta rakenteella, 50 vuotta betonilla
Huoltovapaus	Huoltovapaa rakenne
ERS-betonikoururakenne	
Aikataulu	Hidas toteuttaa, noin 80 metrin ratapätkä valmis 6 viikossa, kiintoraiteella 3 viikossa
Asennus	Vaatii yleensä raudoitukset betonirakenteeseen, enemmän suunnittelua ja erikoismateriaaleja
Kustannukset	Korkeat, sääsuojan tarve pakollinen niinkuin metallikoururakenteessakin. Teltan lämmitys.
Korjaukset	Corkelastin vaihto
Kunnossapito	Kunnossapitoa ei tarvita, jos rakenne ei vahingoitu
Elinkaari	30 vuotta rakenteella, 50 vuotta betonilla
Huoltovapaus	Huoltovapaa rakenne

Kuva 16, Raide-Jokerilla käytössä olevien rakenteiden vertailua. Kuva: Arttu Kettunen

### 3.3 Laatuasiat ja kunnossapito

ERS-rakenteessa on työtavallisesti asioita, joita voisi parantaa tulevaisuudessa. Raide-Jokeri hankkeella Corkelastin kaato on tehty suoraan niiden omista säilytysämpäreistä. Työtapa on todella raskas, kun kyseessä on pitkä pätkä tehtävänä. Aineet sekoitetaan keskenään ja kannetaan pitkiä matkoja sekoittimelta kouruun. Corkelastilla on vain kahden tunnin työstöaika eli aine jähmettyy tuossa ajassa käyttökelvottomaksi. Tämä työvaihe tulee toteuttaa todella nopeasti ja tulevaisuuden kannalta pitkiin kohteisiin tulisi harkita ulkomailta käytössä olevia pumppuautoja ja pumppauskalustoa. Tämä säästää aikaa ja työntekijöiden työergonomia paranee.



Kuva 17, Corkelastin käyttöön soveltuva pumppauskalusto. Kuva: Edilon Sedra

Laadullisesti rakennushankkeella rakenteiden välillä ei ole ollut isoja eroja. Materiaaleissa on ilmennyt pieniä poikkeamia, kuten hajavirtakumeja on toimitettu pieni määrä vääränkokoisina ja puolipölkyissä on ollut pientä kierreongelmaa eli nostopulttien kierteet ovat olleet virheelliset. Corkelast on joissain paikoissa reagoanut veden ja ilman kanssa sillä seurauksella, että sen pintakerrosta on jouduttu poistamaan ja tekemään sama vaihe uudestaan. Laadunvalvontaa suoritetaan betonirakenteille ottamalla betonista ilmamäärämittauksia ja koekappaleita. Laadunvarmistuksen suorittaa Labroc Oy. Laatudokumentoinnit suoritetaan kaikille rakennetyypeille.

Tulevaisuuden kunnossapidosta Raide-Jokerilla huolehtii HKL eli Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos. Kiskojen elinkaari on 5–30 vuotta riippuen onko kiskot suoralla vai kaarteessa. Kaarteissa kiskot kuluvat nopeammin. ERS-rakenteen elinkaareksi on annettu yli 30 vuotta ja se on kunnossapidollisesti todella helppo rakenne. (1.) ERS-rakenteen uusiminen tapahtuu kaivamalla Corkelast pois

kouruista kaivinkonetta apuna käyttäen ja vaihtamalla tilalle uudet kiskot ja Cor-kelastin. Kouruja ei tarvitse vaihtaa, jos ne eivät ole vaurioituneet. ERS-rakenne ei vaadi huoltotoimenpiteitä tai erityistä kunnossapitoa ennen kiskonvaihtoa.

Puolipölkkyrakenteet vaativat pölkkyjen ja kiskojen vaihtoa, kun ne vaurioituvat tai tulevat elinkaarensa päähän. Pienet osat kuten kammiokumit, jouset, jousien suojakupit vaativat nekin kunnossapitoa ja huoltoa, jos ne rikkoutuvat. Vaihdealueet vaativat liikkuvien osien rasvausta ja yleistä huoltoa. Betonilaattojen elinkaari on 50 vuotta.

## 4 Pohdintaa

Vertailtaessa rakenteita puolipölkkyrakenne on paras mahdollinen päällysrakenteen rakennetyyppi raitioiteille. Se on aikataulullisesti nopeampi ja kustannusten kannalta halvempi verrattuna ERS-rakenteeseen. ERS-rakenteeseen tilattavat materiaalit tulevat pääsääntöisesti ulkomailta ja varsinkin COVID-19- taudin seurauksena riski materiaalityötoimitusten viivästyminen on kasvanut. Materiaalityötoimitukset saattavat venyä.

Kiintoraidelaattarakenteelle tulevat puolipölkkyt tulevat hankkeelle Suomesta, Lujabetoni Oy:ltä. Pölkkyjen laatu on pääsääntöisesti hyvää ja pölkkyille tehdään jatkuvaa laadunvarmistusta. Puolipölkkyrakenteen toistuvuus on yleisempää ja näin ollen rakennetta osataan rakentaa nopeasti, kustannustehokkaasti ja työturvallisesti. Toistuvuus helpottaa myös rakenteiden aikataulutusta ja sitä kautta ratatöiden tekeminen on sujuvampaa ilman kiirettä.

Tulevaisuuden raitiotiehankeisiin tulisi miettiä kiskojen hitsausta yhtenäisiksi leimuhitsausmenetelmällä niin kiintoraidelaatoilla kuin ERS-rakenteilla. Leimuhitsausta käytetään sepeliradalla. Leimuhitsaus tapahtuu leimuhitsauskoneella sähkövirran avulla. Kiskonpäät kuumennetaan haluttuun lämpötilaan ja puristetaan sen jälkeen yhteen, jolloin syntyy hitsiliitos. Hitsaus on nopeampaa kuin termiittihitsaus ja hitsaukset ovat yleisesti parempia laadullisesti. Valmista jatkuvaa kiskoja voidaan nostaa pölkkyjen päälle monia kymmeniä metrejä kerralla. Näin ollen aikatauluissa säästetään aikaa hitsauksissa ja kiskojen aseointi on helpompaa, koska kiskojen kierousvirheet vähenevät ja aseointi oikeaan geometriaan helpottuu.

Oikeat rakennetyyppi- ja työtapavalinnat helpottavat rakentamista tulevaisuudessa huomattavasti. Ne vaikuttavat työturvallisuuteen ja -ergonomiaan, aikatauluun, laatuun ja kustannuksiin. Niihin tulee kiinnittää huomiota tulevaisuuden raitiotiehankeita suunniteltaessa.



## 5 Yhteenveto opinnäytetyöstä

Opinnäytetyössä esiteltyjä rakennetyyppejä on haastavaa vertailla, koska vastaavia raitiotierakenteita on niin vähäinen määrä Suomessa entuudestaan ja tarvittavaa tietoa esimerkiksi rakenteiden kunnossapidosta Suomessa on vähän. Rakenteita vertailtaessa tultiin siihen tulokseen, että kiintoraidelaattarakenteista puolipölkkyrakenne on paras mahdollinen rakenne raitioiteille. Se on nopein ja kustannustehokkain. Rakenteiden hyvät ja huonot puolet selvitettiin ja saatuja tuloksia voidaan hyödyntää tulevaisuudessa. ERS-rakenteen huoltovapaus on hyvä tulevaisuudelle mutta itse rakentaminen on ainakin vielä toistaiseksi hidas ja kallista. Laadullisesti rakenteissa ei juurikaan eroja ole ja tulevaisuus näyttää mikä rakenteista on laadullisesti paras.

Hyvin suunniteltu työ vaikuttaa onnistuneeseen lopputulokseen ja näin ollen on hyvä kyseenalaistaa rakennussuunnitelmia ja mahdollisesti miettiä vaihtoehtoisia tapoja toteuttaa rakenne. Loppujen lopuksi opinnäytetyössä mainitut päällysrakenteen rakennetyypit toimivat mainiosti, kun niihin saadaan vaan toistuvuutta ja rakentaminen on hyvin aikataulutettu ja suunniteltu.

Tästä opinnäytetyöstä on hyötyä tulevaisuuden raitiotiehankkeita suunniteltaessa. Opinnäytetyö antaa hyvän pohjatiedon puolipölkkyrakenteen ja ERS-rakenteen työvaiheisiin ja niiden aikatauluihin. Tulevaisuudessa rakenteita ja työtapoja tulee kuitenkin kehittää ja parantaa, jotta päästään parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen. Mielestäni opinnäytetyössä onnistuttiin melko hyvin ja tutkimusongelmiin saatiin ratkaisut.

Opinnäytetyön tiedonkeruu ja haastattelut tapahtuivat heinäkuun ja lokakuun välillä vuonna 2021. Opinnäytetyön kirjoittaminen tapahtui syyskuun ja marraskuun välillä 2021.

## Lähteet

- 1 Väyläviraston nettisivut, luettu 28.10.2021 [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts\\_2011-01\\_ratakiskon\\_elinkaari\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2011-01_ratakiskon_elinkaari_web.pdf)
- 2 Tampereen raitiotiehankkeen kotisivut, luettu 7.10.2021 <https://raitiotieallianssi.fi/>
- 3 Raide-Jokerin kotisivut, luettu 7.10.2021 <https://raidejokeri.info/>
- 4 Päällysrakenteiden yleinen työselitys, 28.10.2021 [https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk\\_d16\\_paallysrakennetoiden\\_yleinen\\_tyoselitys.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk_d16_paallysrakennetoiden_yleinen_tyoselitys.pdf)
- 5 Haastattelu, Niko Tainio, työmaamestari, NRC Group Finland Oy, 11.10.2021
- 6 Haastattelu, Janne Salo ja Jere Paloluoma, YIT Suomi Oy & NRC Group Finland Oy, vastaava betonityönjohtaja & betonityönjohtaja, 21.10.2021
- 7 Edilon Sedran kotisivut, luettu 29.10.2021 <https://www.edilonsedra.com/>
- 8 M-Files, Raide-Jokerin oma projektipankki, suunnitelmat ja työselostukset
- 9 NRC Group Finlandin kotisivut, luettu 6.10.2021 <https://nrcgroup.fi/>

