

# TIETOMALLIPOHJAINEN MÄÄRÄLASKENTA TARJOUS- LASKENNAN TYÖKALUNA RADAN RAKENTAMISESSA

Mäkitiura Maiju

Opinnäytetyö  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

2023

Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Maiju Mäkitiura	<b>Vuosi</b>	2023
<b>Ohjaaja(t)</b>	Ari Romakkaniemi		
<b>Toimeksiantaja</b>	Destia Rail Oy		
<b>Työn nimi</b>	Tietomallipohjainen määrälaskenta tarjouslaskennan työkaluna radan rakentamisessa		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	68		

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia tietomallin hyötyjä ratahankkeen tarjouslaskennassa. Lisäksi työssä tarkasteltiin hankkeiden urakkakohtaisia ominaisuuksia, jotka tulee huomioida hankkeen tarjouslaskennassa. Opinnäytetyön tutkimus suoritettiin hyödyntämällä Destia Rail Oy:n vuosina 2020-2023 toteuttamia hankkeita, joita verrattiin alan kirjallisuuteen ja yleiseen ohjeistukseen.

Työn lopputuloksena saatiin katsaus ratahankkeen kustannuslaskentaan yleensä ja tietomallipohjaisuuteen laskennan työkaluna. Työssä keskityttiin erityisesti urakoitsijan näkökulmaan tarjouslaskentavaiheessa, mutta työssä perehdyttiin myös kustannuslaskentaan hankkeen eri vaiheissa.

Avainsanat

ratarakentaminen, kustannuslaskenta, tietomallinnus, digitalisaatio

Degree Programme in Land  
Surveying Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Maiju Mäkitiura	Year	2023
<b>Supervisor</b>	Ari Romakkaniemi		
<b>Commissioned by</b>	Destia Rail Ltd		
<b>Subject of thesis</b>	Information model-based Calculation of Quantities in a Railway Construction Project		
<b>Number of pages</b>	68		

---

The aim of this thesis study was to investigate the benefits of information model in cost calculation of a railway project.

The research was carried out by investigating Destia Rail Ltd's projects in the years 2020-2023, which were compared to the literature and general guidelines of the field. The study focused on the contractor's point of view in cost calculation, and also explored the calculation of costs in the different phases of the project.

The result of the study was an overview of the cost calculation of a railway construction project in general, and the usage of information modelling as a calculation tool. In addition, the thesis examines the project characteristics that should be taken into account in the cost calculation of the project.

**Key words** Railway construction, costing, information modeling, digitalisation

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	TAUSTAA .....	8
2.1	Rautateiden historiaa .....	8
2.2	Ratainfra Suomessa .....	10
2.3	Ratatyöt ja ratarakentaminen .....	11
2.3.1	Ratatyö .....	14
2.3.2	Radan rakenne .....	15
2.4	Destia Rail Oy .....	16
3	MALLIPOHJAINEN HANKE .....	17
3.1	Mallipohjaisuus rakennushankkeissa .....	17
3.2	Roolit mallipohjaisessa infrahankkeessa .....	18
3.3	Mallipohjaisen infrahankkeen vaiheet .....	19
3.3.1	Hankkeen tarveselvitys ja suunnittelu .....	19
3.3.2	Rakentamisvaihe .....	21
3.4	Laadunvarmistus .....	22
3.5	Tietomallinnuksen hyödyt infrarakentamisessa .....	23
4	TARJOUSLASKENTA .....	25
4.1	Kustannushallinta .....	25
4.2	Kustannusriskitarkastelu .....	25
4.3	Kustannuslaskenta hankkeen eri vaiheissa .....	27
4.4	Massatalous .....	29
4.5	Määrälaskenta .....	30
4.6	Jälkilaskenta .....	33
4.7	Riskivaraukset .....	33
5	AIEMMAT TUTKIMUKSET .....	36
6	TIETOMALLIPOHJAINEN MÄÄRÄLASKENTA RATAHANKKEIDEN TYÖKALUNA .....	38
6.1	Esimerkkihankkeet .....	38
6.1.1	Vartiuksen liikennepaikan parannustyöt .....	38
6.1.2	Ypykkävaaran liikennepaikan jatkaminen .....	44
6.2	Mallipohjaisuus esimerkkihankkeilla .....	47

Koulutusalan nimi  
Koulutusala  
Koulutus

---

6.3	Hankkeen toteutusmuoto .....	48
6.4	Hankkeen lähtötiedot .....	53
6.5	Hankkeen koko .....	54
6.6	Hankkeen sijainti.....	55
6.7	Hankkeen luonne .....	57
6.8	Hankkeiden riskit .....	59
7	POHDINNAT.....	62
	LÄHTEET .....	65

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

BIM	Building Information Modelling
JKV	junankulunvalvonta
RSU	radansuojaulottuma
ST-urakka	suunnittele ja toteuta -hankemuoto
YIV	yleiset inframallivaatimukset

## 1 JOHDANTO

Tietomallipohjaiset väylä- ja ratahankkeet ovat nykypäivää, vaikka tietomallinnus infra-alalla onkin verrattain uusi ilmiö. Talorakennusalalla tietomallipohjaisen suunnittelun ja toteutuksen kehitys on ollut nopeaa ja tutkimustyötä tietomallien ympärillä on tehty paljon. Infra-alan tietomalliteknologian kehitys on laahannut talorakennusalan perässä, eikä infra-alalla olla vielä saavutettu tietomallien täyttä hyötyä, vaikka kehityssuunta on ollut viime vuosina hyvin nousujohteista. Suuri osa suurista väylä- ja ratahankkeista toteutetaan tietomallipohjaisesti ja yhä useamman infrahankkeen elinkaari on mallipohjainen.

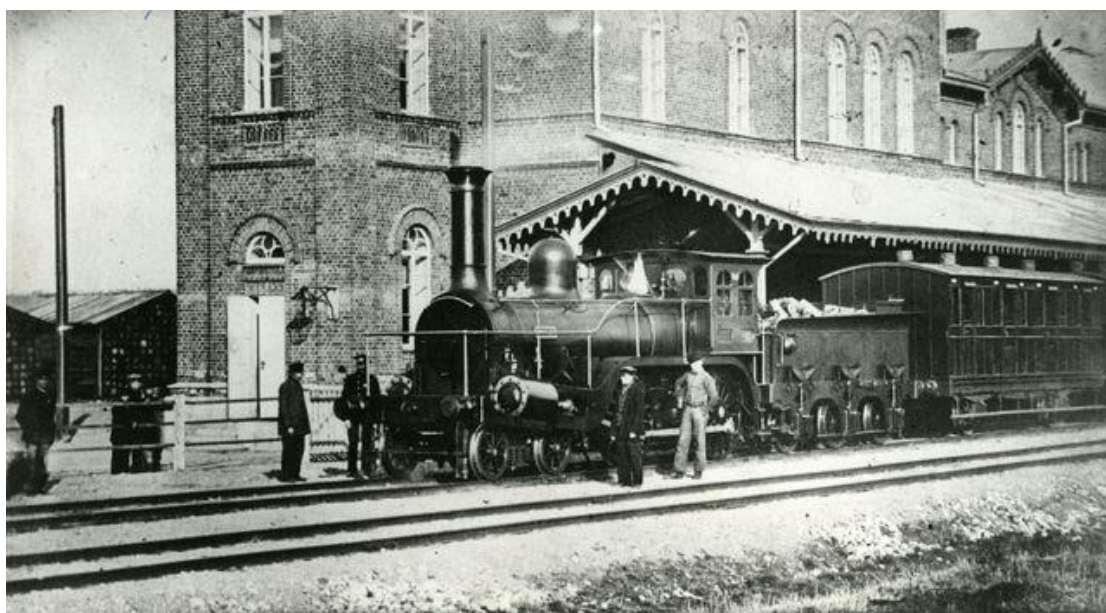
Vaikka tietomallinnus kattaa hankkeen koko elinkaaren, sen täyttä hyötyä ei ole saavutettu määrä- ja tarjouslaskennan työkaluna. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella määrälaskennan hyödyllisyyttä ratahankkeiden tarjouslaskennan työkaluna. Tarkastelun kohteena on erityisesti laskettavan hankkeen mallipohjaisuuden vaikutus määrälaskentaan ja hankkeen aikaiseen riskihallintaan. Työssä sivutaan myös muita tietomallipohjaisesti toteutettavan hankkeen hyötyjä verrattuna perinteiseen hankkeeseen.

Työn tarkoituksena on tuottaa raportti hankkeen hankekohtaisista ominaisuuksista, jotka vaikuttavat hankkeen laskentaan. Tutkimuksen apuna käsitellään Destia Rail Oy:n vuosina 2020 ja 2021 toteuttamia tietomallipohjaisia ratahankkeita. Lisäksi esimerkkihankkeiden samankaltaisuuden vuoksi vertailukohteiksi on valittu vuosina 2022 ja 2023 toteutettuja hankkeita, jotka ominaisuuksiltaan eroavat opinnäytetyön varsinaisista esimerkkihankkeista.

## 2 TAUSTAA

### 2.1 Rautateiden historiaa

Suomessa on esiintynyt 1820-luvulta alkaen yksinkertaisia kiskoteitä, joita pitkin kulki ihmis- ja eläinvetoisia tavaravaunuja, mutta veturiliikenne aloitettiin muuhun Eurooppaan verrattain myöhään vasta 1860-luvulla. Keskustelua rautateiden puolesta ja vastaan oli käyty kuitenkin jo pitkään erityisesti rautateiden ja kanavien kannattajien kesken. Rautatie nähtiin erityisesti yhdistävän sisämaan pääkaupunkiin ja tuovan tätä kautta Suomelle monia etuuksia. Lisäksi rautatie mahdollistaisi talviliikenteen. (Väylävirasto 2011.)



Kuvio 1. Höyryveturi Hämeenlinnan rautatieasemalla 1865-1868 (Suomen Rautatiemuseon kuvakokoelma a)

Rautateillä tapahtuva veturiliikenne aloitettiin 1860-luvulla Helsinki-Hämeenlinna-rautatien myötä ja ensimmäinen matkustajajuna saapui tammi-kuun lopussa vuonna 1862 Helsingistä Hämeenlinnaan (Yle 2022). Verrattain myöhäinen rataverkon rakentaminen tarjosi valmiiksi kehittyneen tekniikan ra-



dan rakentamisessa, sillä monet aikalaiset insinöörit olivat olleet mukana Venäjällä rautatierakentamisessa. Suomen rataverkon raideleveydeksi valittiin 1524 millimetriä; eli sama kuin emämaa Venäjällä, jonne se oli tuotu Yhdysvaltojen etelävaltioista, joissa se oli käytössä sisällissotaan asti. (Väylävirasto 2011.)

Rakentaminen rahoitettiin laina- ja verorahoin, ja aikalainen rakentamistekniikka oli muuhun Eurooppaan nähden alkeellisempaa: käytössä oli hevosia, hakkuja ja lapioita, kun muualla Euroopassa rakentamisessa käytössä olivat porakoneet ja nosturit. Suomessa rautatierakentamisen koneellistuminen alkoi vasta 1920-luvulla ja rakentaminen oli pitkään valtiovetoista. (Kallio, K. 2022.)



Kuvio 2. Ratatyömiehiä Pasilan ratapihalla 1910-1917 (Suomen Rautatiemu-  
seon kuvakokoelma b)

Vuoteen 1944 mennessä oli rakennettu kattava rataverkko ja rautatiet muodostivat rungon silloiselle liikennejärjestelmälle. Aikakautta seurasi teollisuusratojen ja oikoratojen kausi, jonka jälkeen alkoi rataverkon sähköistäminen 1960-luvulla. (Väylävirasto 2011.)

Rautatiet ovat tarjonneet tavaralle ja ihmisille tavan liikkua. Raiteilla on kulkenut ihmisten ja veturien lisäksi sisämaahan kauppatavaraa sekä rannikolle puutavaraa ja maataloustuotteita. Rautateitä pitkin on kulkenut myös sotilaita, kenttäpostia ja panssarivaunuja. Lisäksi rautateiden myötä ovat kulkeneet erilaiset kulttuurivirtaukset ja se on ollut merkittävässä osassa Suomen teollistumista. (Yle 2022.) Lisäksi se on ollut merkittävässä asemassa monien paikkakuntien ja asumiskeskittymien kehittämisessä. Autoliikenteen myötä monet aikalaiset asemat ovat kuitenkin autoituneet seisakkeiksi ja matkustajajunat pysähtyvät ainoastaan osalla asemista. Rautatiet toimivat kuitenkin yhä Suomen vientiteollisuuden, erityisesti metsäteollisuuden, runkokuljettajana (Logistiikan maailma a).

Maailman ja sitä myötä tekniikan uudistuessa muuttuvat myös rautatiejärjestelmän perusedellytykset, mikä vaatii rautatieinfran jatkuvaa kunnossapitoa ja parantamista. Maailman muuttuessa liikenteen painopiste ja eri liikennemuotojen kilpailukykyasetelmat voivat olla muutoksen alla: monet tulevaisuuden megatrendit, kuten fossiilisten polttoaineiden rajallisuus ja ympäristönäkökohtien tärkeys sekä kaupungistuminen, tukevat rautatieliikennettä suhteessa autoliikenteeseen. (Logistiikan maailma 2023 b.) Myös maailman yleinen tilanne vaikuttaa rautatieliikenteeseen: kirjoitushetkellä vuonna 2023 opinnäytetyön esimerkkiurakaksi valitulla Vartiuksen liikennepaikalla ei kulje ainuttakaan junaa.

## 2.2 Ratainfra Suomessa

Suomessa liikennöidyn rataverkon pituus oli vuonna 2020 5918 kilometriä, josta yksiraiteista rataa oli 5226 kilometriä ja kaksi- tai useampiraiteista 692 kilometriä. Suurin käytössä oleva nopeus henkilöjunille on 220 km/h ja tavarajunille 120 km/h, kun taas JKV:n ulkopuolisilla alueilla suurin sallittu nopeus on korkeintaan 80 km/h. Suomesta kulkee raideyhteydet Tornion kautta Ruotsiin sekä Vainikkalasta, Imatrankoskelta, Niiralasta sekä Vartiuksesta Venäjälle. (Rautateiden verkkoselostus 2022, 21.)

Infrastruktuuri-YTE:n mukaisesti rata määritellään joko uudeksi tai vanhaksi radaksi. Uudella radalla tarkoitetaan rataa, joka synnyttää uuden junareitin paikkaan, jossa sellaista ei ennestään ole. Vanhalla radalla puolestaan tarkoitetaan rataa, joka ei ole edellä esitetyn määritelmän mukaisesti uusi rata. Radan parantaminen, uudistaminen ja kunnossapito ovat toimenpiteitä, jotka kohdistuvat vanhaan rataan muuttamatta rataa uudeksi radaksi. (Ratatekniset ohjeet 3 2018, 12.)

Rautatiejärjestelmään kuuluu rataverkko ja siihen liittyvät rakennukset, järjestelmät ja laitteet sekä rataverkolla liikkuva kalusto. Järjestelmän elinkaareen kuuluu suunnittelu, rakentaminen, käyttöönotto, tarkastus ja kunnossapito. (Ratatekniset ohjeet 1 2018, 6.)

Suomen rautateiden ja junaliikenteen sujuvuudesta vastaavat Väylävirasto, Fintraffic ja VR. Väylävirasto toimii valtion rataverkon haltijana ja se vastaa rataverkon kunnossapidosta sekä laiturialueista. Lisäksi Väylävirasto vastaa valtion omistamien ratojen suunnittelusta ja rakentamisesta. Fintraffic hoitaa rautatieliikenteen hallinnan ja liikenteenohjauksen sekä vastaa laiturinäytöistä ja kuulutuksista asemilla. VR ja HSL puolestaan vastaavat matkustajaliikenteestä, kuulutuksista junissa sekä lipunmyynnistä. (Rautateiden verkkoselostus 2022, 16-19.)

Rautateiden suunnittelun perusteet määritellään ratalaissa ja -asetuksessa. Rautatierakentamisessa ja parantamisessa tulee lisäksi noudattaa rakennuslain ja maankäyttölain mukaista kaavaa. (Väylävirasto 2021.)

### 2.3 Ratatyöt ja ratarakentaminen

Ratarakentaminen sisältää erityispiirteitä verrattuna muuhun väylärakentamiseen, jotka tulee huomioida hankkeiden suunnittelussa. Raiderakentamisessa junat ja niiden aikataulu määrittävät työvaiheiden keston eikä muusta väylärakentamisesta eroten ratarakentamisessa voida turvautua kiertotiejärjestelyyn. Lisäksi rautatiehankkeiden, erityisesti linjahankkeiden, logistiset järjestelyt voi-

vat olla muihin väylähankkeisiin nähden vaikeampi järjestää ja vaativat erityistä työn suunnittelua.

Radan rakentaminen eroaa muusta väylärakentamisesta, sillä kaikki rakennusvaiheet tulee suorittaa yleensä rajatun liikennekatkon aikana, mikä vaatii työn tarkkaa suunnittelua ja aikatauluttamista. Työsuunnittelussa tärkeää on hankkeen ennustettavuus, jotta aikataulujen suunnittelussa ei tapahdu merkittäviä virheitä. Liikennekatkon onnistumisen kannalta erityisen tärkeää ovat valmistelvat työvaiheet, jotka voidaan tehdä liikennekatkojen ulkopuolella. Liikennekatkon aikana tulee pystyä yleensä purkamaan, kaivamaan, täyttämään, rakentamaan ja tukemaan rata eikä aikaa yleensä jää ylimääräiseen.



Kuvio 3. Raiteen pohjasepeliä vaihteen alla

Radan rakentamisen vaiheisiin kuuluu vanhan radan purkaminen, joka tapahtuu yleensä elementteinä. Purkamisen jälkeen aloitetaan maaleikkuu, jonka jälkeen

rakennetaan radan eri rakennekerrokset, jotka esitellään myöhemmin luvussa 2.3.2. Pölkytys tehdään joko raiteen väliaikaisen tukikerroksen, niin sanotun pohjasepelin, tai välikerroksen yläpinnan päälle, jolloin tukikerrosseppi lisätään vasta raiteen tuennan yhteydessä. Pohjaseppi helpottaa tuentaa, mutta sen rakentaminen kaivinkoneella on usein aikataulullisesti vaikea toteuttaa. Pohjaseppi tulee kuitenkin rakentaa muun muassa raide-elementtien, kuten vaihteiden, alle kuten kuviossa 3.



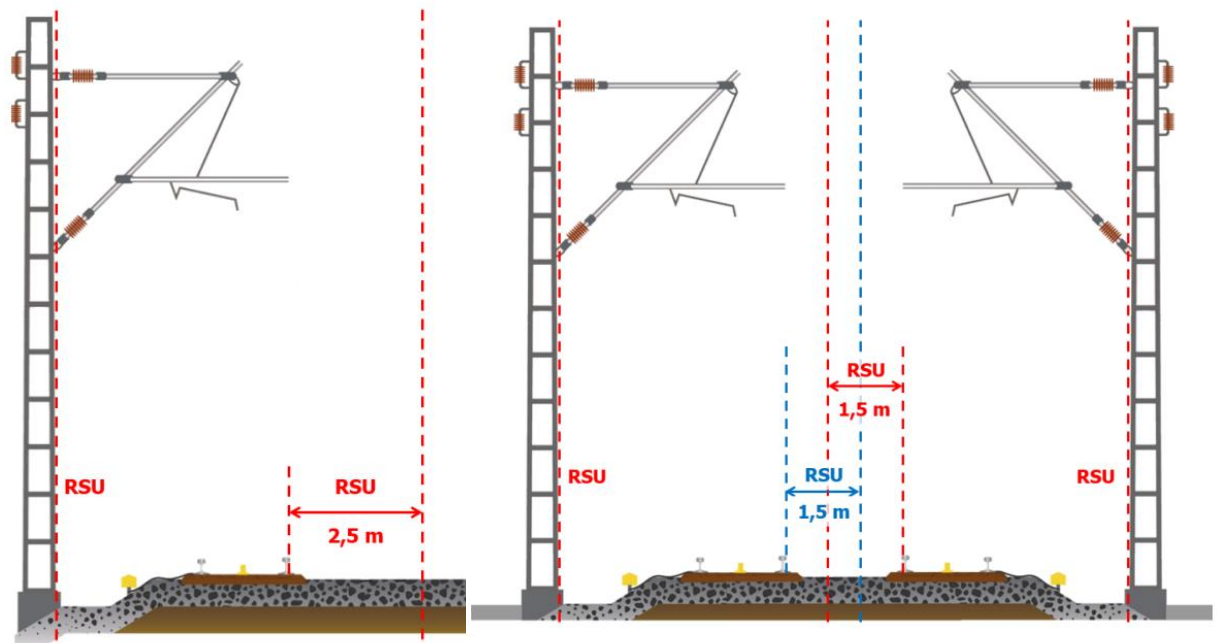
Kuvio 4. Raiteen tuentaa

Raiteen rakentamisen jälkeen raide sepelöidään ja tuetaan suunniteltuun geometriaansa tukemiskoneella, kuten kuviossa 4. Hankkeisiin kuuluu yleensä myös jälkituenta, jonka toteutusaikataulu määritetään aluekohtaisesti raiteen kuormituksen mukaan.

### 2.3.1 Ratatyö

Ratatyötä on kaikki rataverkolla tehtävä työ, joka edellyttää ensimmäisen luokan liikenteenohjauksen alueella liikennöinnin keskeyttämisen tai estää turvalaitoksen toiminnan. Ratatyövastaava vastaa ratatyöstä ja sen suojaamisesta toisen luokan liikenteenohjauksen alueella itsenäisesti. (Radanpidon turvallisuusohjeet 2022, 12.)

Ratatyöksi lasketaan esimerkiksi työskentely työkoneella raiteen kuviossa 5 esitetyn RSU:n sisäpuolella ja työt, joilla on vaikutusta radan rakenteeseen. Ratatyötä on myös jalkaisin tehtävä työ alueella, jossa raiteen sallittu nopeus on yli 140 km/h sekä työskentely silloilla, tunneleissa tai paikoissa, joissa väistö- ja näkemäalueet ovat puutteelliset. (Radanpidon turvallisuusohjeet 2022, 12.)

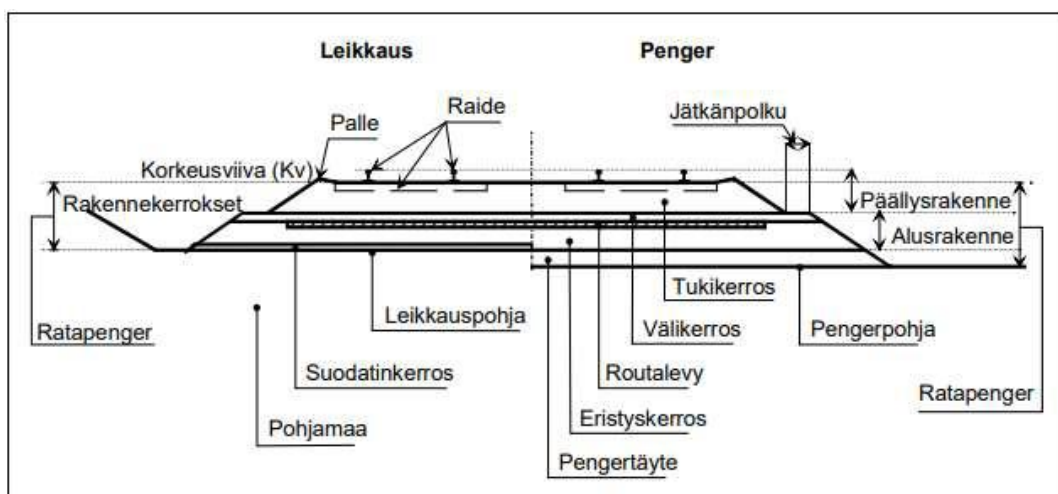


Kuvio 5. Ratatyön suojausalue yksijä useampiraiteisella rataosuudella (Radanpidon turvallisuusohjeet 2022, 21-22)

### 2.3.2 Radan rakenne

Radan rakennekerrokseen kuuluvat päällysrakenne ja alusrakenne, jotka on esitetty kuviossa 6. Päällysrakenne koostuu tukikerroksesta ja raiteesta. Raide koostuu ratapölkkyistä, ratakiskoista, ratakiskojen kiinnitys- ja jatkososista sekä raiteen erikoisrakenteista, kuten vaihteista. Raide muodostaa liikenteen alustan ja ottaa sen kuormat vastaan. Tukikerroksen tarkoituksena on pitää raide geometrisesti oikeassa asemassa ja asennossa, jakaa kuormia alusrakenteelle ja muodostaa raiteelle tasaisen ja kantavan alustan. Tukikerroksen materiaalina toimii raidesepeli tai raidesora. (Ratatekniset ohjeet 11 2021, 7.)

Välikerros, eristyskerros ja mahdollinen suodatinkerros ja routalevyt muodostavat radan alusrakenteen. Näistä välikerroksen tehtävänä on muodostaa tukikerrokselle tasaisen ja kantavan alusta. Lisäksi se estää tukikerroksen ja välikerroksen alla olevien maakerrosten sekoittumisen. Eristyskerroksen tehtävänä on muodostaa välikerrokselle kantava alusta ja estää tai vähentää alla olevien maakerrosten routimista. Lisäksi eristyskerroksen tulee pysäyttää kapillaarinen veden nousu kerroksen alaosaan. Suodatinkerros puolestaan estää eristyskerroksen sekoittumisen pohjamaahan. (Ratatekniset ohjeet 3 2018, 8-10.)



Kuvio 6. Radan rakennekerrokset (Ratatekniset ohjeet 3 2018, 8)

Rataan liittyvät, kuviossa 6 esitetyt, alus- ja pohjarakenteet ovat joko hyvin vaativia tai vaativia pohjarakenteita ja täten suunnittelu edellyttää aina geoteknistä erityisosaamista. Radan geotekninen ja rakenteellinen mitoitus tulee tehdä niin, että pohjarakenteiden ja niiden varassa olevien rakenteiden painumat ja siirtymät eivät vaaranna radan liikennöinnin turvallisuutta ja rakenteiden varmuus sortumista, murtumista, eroosiota ja halkeilua vastaan on riittävän suuri. (Ratatekniset ohjeet 3 2018, 11.)

## 2.4 Destia Rail Oy

Destia on suomalainen infra- ja rakennusalan yhtiö, jonka palveluihin kuuluvat niin maanalaisen ja maanpäällisen rakentamisen palvelut sekä insinöörirakentaminen. Vuodesta 2021 Destia on ollut osana kansainvälistä Colas-konsernia.

Destian organisaatioon kuuluu kuusi valtakunnallista liiketoimintaryhmää, joista Ratapalvelut vastaa ratojen rakentamisesta ja kunnossapidosta. (Destia 2023.) Destia Rail Oy toimii ratakunnossapitäjänä, minkä lisäksi yritys tarjoaa radan rakentamiseen ja korjaukseen liittyviä palveluita.



### 3 MALLIPOHJAINEN HANKE

#### 3.1 Mallipohjaisuus rakennushankkeissa

Mallipohjaisuuden hyödyntäminen on edistynyt infrarakennusalalla viime vuosina, ja kiinnostus mallien käyttämiseen on lisääntynyt merkittävästi. Mallipohjaisuuden käyttö myös työmailla onkin nykyään enemmän sääntö kuin poikkeus ja maanrakennusurakoitsijoilta vaaditaan usein koneohjauslaitteistoa ja kokemusta laitteiston käytöstä. Mallipohjaisesti toteutettavan hankkeen hyödyt on otettu huomioon nykyisillään erityisesti maarakentamisessa, sillä suunnitelmamallit ovat helposti valjastettavissa toteutusvaiheessa käytettäviksi toteutus- ja koneohjausmalleiksi.

Mallipohjaisen toiminnan keskeisimpinä tavoitteina on, että tiedon tuottaminen ja jäsentely tuotetaan yhteisesti sovitulla tavalla, tiedon hallinnointi on yhteisesti sovitussa paikassa, tieto on mahdollisimman ymmärrettävää ja yksiselitteistä, ja että tieto on sujuvasti hyödynnettävissä ja muokattavissa eri osapuolten tarpeisiin (Väyläviraston inframallivaatimukset 2022, 13). Tavoitteena on, ettei aikaisemmissa hankkeen vaiheissa syntyvää tietoa katoa ja tieto on hyödynnettävissä mahdollisimman tehokkaasti ja sujuvasti, eli saavuttamaan tiedolle mahdollisimman korkea jälleenkäyttöarvo (Väyläviraston inframallivaatimukset 2022, 26).

Tiedon mallipohjainen kuvaaminen mahdollistaa tiedon tulkitsemisen eri tietoteknisten järjestelmien ja sovellusten avulla. Lisäksi se tarjoaa mahdollisuuksia esimerkiksi eri ratkaisujen toimivuuden, laajuuden ja kustannusten vertailuun, riskien ja suunnitelmien havainnollistamiseen, erilaisten tekniikkalajien yhteensovittamiseen sekä laadunvarmistukseen ja tiedonsiirron parantamiseen. (Tie ja ratahankkeiden inframalliohje 2017, 9.)

Vaikka tässä opinnäytetyössä käsitellään mallipohjaisuuden hyötyjä ennen kaikkea tarjouslaskentavaiheen määrälaskentaan, on työssä tarpeellista perehtyä myös mallipohjaiseen suunnitteluun. Mallipohjaisen hankkeen vaiheet ja roolitus on tärkeä ymmärtää tarjousvaiheen mallipohjaisuutta tarkasteltaessa. Mallipohjaisen määrälaskennan vaiheita käsitellään myöhemmin luvussa 4.

### 3.2 Roolit mallipohjaisessa infrahankkeessa

Projektin keskeisimpänä toimijana toimii tilaaja, joka tekee mallinnusta koskevat päätökset ja hankinnat sekä vastaa projektin valmistelusta ja läpiviennistä. Tilaaja vastaanottaa ja arkistoi lopputuloksen omiin arkistointi- ja kunnossapitojärjestelmiin. Tilaajan tulee varmistua, että luovutusaineisto on vaatimusten mukaista ja palvelee hankkeen seuraavaa vaihetta. (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 22.)

Mallinnuksen johtamisesta vastaa palveluntuottajan projektinjohto. Projektin työnjohto vastaa puolestaan mallinnuksen toteutuksen ohjauksesta, toteutuksesta, aikataulutuksesta sekä mallipohjaisesta laadunvarmistuksesta kokonaisuudessaan. (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 22.)

Suunnittelun kokonaisorganisoinnista ja aikataulutuksesta vastaa pääsuunnittelija. Suunnittelijat laativat tekniikka-alueensa suunnitelmat mallipohjaisesti, varmistavat mallien yhteensopivuuden ja ristiriidattomuuden sekä vastaavat laadunvarmistustoimenpiteistä. (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 22-23.)

Mallinnuksen organisointi voidaan eriyttää tarvittaessa myös suunnittelun tietomallikoordinaattorille, joka osallistuu mallintamisen suunnitteluun ja aikataulutamiseen yhteistyössä hankeorganisaation kanssa. Lisäksi tietomallikoordinaattori valvoo mallinnuksen vaatimustenmukaisuutta ja osallistuu mallien laadunvarmistukseen ja itselleluovutukseen. Tietomallikoordinaattori myös vastaa yhdistelmämallin kokoamisesta ja ylläpidosta sekä tietomalliselostuksen, -lokin ja sisäisten tarkastusdokumenttien laatimisesta ja tarkastamisesta. (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 22-23.)

Tuotannon tietomallikoordinaattoriksi voidaan nimetä hankkeen mittauspäällikkö. Tuotannon tietomallikoordinaattori vastaa rakennussuunnitelmamallin tarkastamisesta, toteutusaineistojen laatimisesta, toteutusaineistojen jakelusta työmaan eri toimijoille sekä hankkeen mittaussuunnitelman teosta. Lisäksi tuotannon tietomallikoordinaattorin tehtäviin kuuluvat muun muassa määrälasken-

nat, rakentamisen aikainen tiedonhallinta ja tiedonhallintajärjestelmän ajantasaisuus, laadunvarmistusmenetelmän toteutus sekä toteuma- ja mittaustöiden koordinointi. (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 23.)

### 3.3 Mallipohjaisen infrahankkeen vaiheet

Tietomallipohjaisissa hankkeissa hankevaiheet usein limittyvät ja ovat osittain päällekkäisiä. Mallipohjaisen toiminnan tulisi alkaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa hanketta ja suunnitelmien tulisi kulkea mallimuotoisina vaiheesta toiseen täydentyen. Tällaisessa tilanteessa saavutetaan mallipohjaisten hankkeiden suurimmat hyödyt. Hankeosapuolet työskentelevät usein erillään, mutta sovituissa tarkistuspisteissä hankevaiheen aikana tuotetut työtulokset yhdistetään yhdistelmämalleiksi. (Tietomallinnettava rakennushanke 2010, 3)

Valtion hallinnassa olevien ratojen suunnittelusta, ylläpidosta ja rakentamisesta vastaa väylävirasto. Rautateiden yleissuunnitelmat ja ratasuunnitelmat hyväksyy puolestaan Traficom. (Väylävirasto 2022.)

#### 3.3.1 Hankkeen tarveselvitys ja suunnittelu

Ratahankkeet ovat vaiheittain tarkentuvia prosesseja, jossa tulee jatkuvasti huomioida erilaisia teknisisiä, ympäristöllisiä ja kokonaistaloudellisia tekijöitä. Rautatien suunnittelu etenee esiselvitysvaiheesta, yleissuunnitteluun, ratasuunnitelman laatimiseen ja rakennussuunnitteluun. Uusien rautateiden ja rataosuuksien parantamisen suunnittelun tulee aina perustua maankäyttö- ja rakennuslain mukaiseen kaavaan. (Väylävirasto 2023 a.)

Mallipohjaisten hankintojen suunnittelussa korostuvat hankkeen lähtötiedot, mallinnuksen käyttötarkoitukset ja jälleenkäyttöarvo, hankkeen osapuolien välinen yhteistyö ja vuorovaikutus sekä tiedon tarkastus. Mikäli hankinnan aikaisempi vaihe on toteutettu mallipohjaisesti, lähtötietomalli on hyödynnettävissä jo

tarjousvaiheessa, mutta piirustuksissa ja muussa dokumentaatiossa tulee esittää mahdolliset sisältö- ja esitystapamuutokset.

## Tie- tai ratahankkeen eteneminen



Kuvio 7. Tie- ja ratahankkeen etenemistä kuvaava infografiikka (Väylävirasto 2023 a)

Infrahankkeet alkavat tyypillisesti esiselvittelystä, jonka aikana tutkitaan hankkeen tarvetta ja aikataulua maakuntakaavan ja yleiskaavan tarkkuudella sekä luodaan pohjaa hankkeen suunnitteluvaiheelle. Lähtötiedot voivat toimia kaavoituksen lähtötietoina, jolloin esiselvityksen lopputuotteiden tulee palvella myös kaavoituksen tarpeita. Esiselvittelyvaiheen lopputuloksena saadaan ratkaisu, joka esitellään alustavana hankeohjelmalla. Tässä vaiheessa lähtöaineisto on yleispiirteistä ja 2D-esitys on usein riittävä. Esisuunnittelussa tavoitteena on ennen kaikkea etsiä hanketta rajoittavia reunaehtoja. (Väyläviraston inframalli-vaatimukset 2022, 31.)

Vuorovaikutuksen kannalta tärkein suunnitteluvaihe on yleissuunnittelu. Yleissuunnitelmavaiheen mallipohjainen toteutus mahdollistaa tarkemman, alustaviin massoihin perustuvan kustannusarvion rakenteista, realistisen tilantarpeen

määrittelyn sekä luotettavan kustannuksiin vaikuttavien rakenteiden ja laitteiden huomioimisen. Lähtötiedot ovat yleispiirteisiä eikä mallinnuksen tarkkuutta ole tarkoituksenmukaista tarkentaa. Tässä vaiheessa kustannusarvio laaditaan yleensä hankeosatarkkuudella. (Väyläviraston inframallivaatimukset 2022, 32.)

Ratasuunnitelmavaiheen inframalli on tilantarpeen ja mittojen kuvaus ominaisuuksitiedot kuvataan riittävällä tarkkuudella, jotta niitä voidaan hyödyntää kustannuslaskennan tarpeisiin ja vaikutusarviointi on mahdollista suorittaa malliavusteisesti. Ratasuunnitelmavaiheessa tarkennetaan yleissuunnitelmavaiheen aikana tuotettua lähtötietomallia. Tavoitteena on suunnitteluaineistojen yhteensopivuuden varmistaminen, olemassa olevien suunniteltavien rakenteiden yhteensovittaminen ja teknisten ratkaisujen toteuttamiskelpoisuuden varmistaminen. Lisäksi ratkaisuja pyritään havainnollistamaan ja arvioimaan hankkeen kustannuksia ja vaikutuksia. Ratasuunnitteluvaiheen inframallin tarkoitus on myös luoda pohja rakentamissuunnitelmavaiheen lähtötietoaineistolle. (Väyläviraston inframallivaatimukset 2022, 33-34.)

### 3.3.2 Rakentamisvaihe

Rakennussuunnitelmavaiheessa tuotettu malliaineisto tulee tehdä sellaisella tarkkuudella, että sitä voidaan käyttää hankkeen toteutukseen käytettävän toteutusaineistona. Mallintamisen tulee tukea muun muassa havainnollistamista, määrälaskentaa ja massatalousoptimointia, työmaan hankintoja ja aikataulutus- ta. (Väyläviraston inframallivaatimukset 2022, 35-36.)

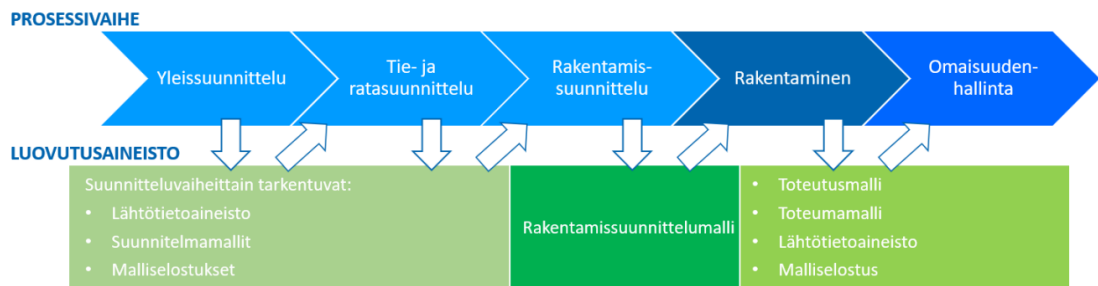
Rakentamisvaihe tulee toteuttaa tilaajan asettamien vaatimusten ja suunnitelma-aineistojen mukaisesti. Mallipohjaisessa toteutuksessa tiedonhallinta ja mallinnus ovat keskeisessä roolissa läpi hankkeen vaiheiden. Toteutusvaiheessa toimintatapojen noudattamista valvotaan ja täydennetään toteutusaineistoja. (Väyläviraston inframallivaatimukset 2022, 41.)

Toteutusvaiheen jälkeen tarkistetaan projektille asetettujen tavoitteiden toteutuminen. Hankkeen päätös- ja luovutusvaiheessa tarkistetaan luovutusaineisto

ja siirretään se Väyläviraston omaisuudenhallinnan käytettäväksi. Toteumamallia tulee voida hyödyntää edelleen seuraavassa vaiheessa, omaisuudenhallinnassa, kunnossapidossa sekä tarvittaessa muiden hankkeiden lähtötietona. (Väyläviraston inframallivaatimukset 2022, 41-50.)

### 3.4 Laadunvarmistus

Inframallintamisen laadunvarmistus on osa suunnittelua ja sen tarkoituksena on varmistaa, että sovitut kokonaisuudet ja tieto tuotetaan hankekohtaisesti alan yleisiä ohjeita noudattaen. Laadunvarmistuksella myös pyritään synnyttämään rakennetun ympäristön mallien katkeamaton ketju, jossa hankkeiden aikana tuotetut mallit toimivat tulevien hankkeiden lähtötietoina ja tiedonsiirto on jatkuvaa. (YIV 2015 Osa 8 Inframallin laadunvarmistus, 4.)



Kuvio 8. Tietomallinnuksen luovutusaineiston muodostuminen (Väyläviraston inframallivaatimukset, 39)

Laadunvarmistustoimenpiteillä voidaan lyhentää hankkeen läpimenoaikaa, vähentää kustannuksia ja parantaa hankkeen suunnitelmien laatua. Laadunvarmistuksen edellytyksenä on, että aineisto tuotetaan alan ohjeiden, nimikkeistön ja pääosin avoimen tiedonsiirtoformaatin määrittelyiden mukaisesti, jolloin mallit voidaan tarkastaa ja analysoida ohjelmistoista riippumatta. (YIV 2015 Osa 8

Inframallin laadunvarmistus, 4.) Hankkeen prosessivaihe ja vaiheisiin kuuluvat luovutusaineistot on kuvattu kuviossa 8.

Laadunvarmistusprosessi on jatkuvaa ja työtä ohjaavaa, jotta virheisiin voidaan puuttua mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja tulevia ongelmia voidaan ennakoida ja kartoittaa. Aineiston tuottaja on velvollinen tuottamaan aineistot sovittussa aikataulussa ja laajuudessa. (YIV 2015 Osa 8 Inframallin laadunvarmistus, 6.)

### 3.5 Tietomallinnuksen hyödyt infrarakentamisessa

Tietomallintaminen tuo monenlaisia hyötyjä hankkeiden suunnitteluun ja toteutukseen. Tietomallien hyötyjä ovat muun muassa niiden visuaalisuus, tiedonkäyttelyn nopeus ja tarkkuus, tietomalliavusteinen laadunvarmistus sekä tiedonkulku ja yhteistyö. Tietomallit sujuvoittavat hankkeen suunnittelua ja toteutusta ja aineistot ovat paremmin vertailtavissa keskenään. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 29.)

Tietomallien visuaalisuus tarjoaa mahdollisuuksia suunnitelmien uudelleen tarkasteluun mahdollistaessa suunnitteluobjektien kolmiulotteisen tarkastelun ja esimerkiksi erilaisten leikkauskuvien tekemisen. Lisäksi visuaalisuus muun muassa helpottaa suunnitelmiin perehtymistä ja asennusjärjestelmien suunnittelua. Tietomallien visuaalisuus yhdessä jaettavuuden ja ajantasaisuuden kanssa myös parantavat hankeyhteistyötä. Lisäksi mallien visuaalisuus ja käytettävyys mahdollistavat erilaiset törmäystarkastelut, joiden avulla pystytään tunnistamaan suunnitteluvirheet ohjelmistoavusteisesti ja näin ollen parantamaan suunnittelun laatua. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 29.)



Kuvio 9. Radan välikerroksen rakentamista mallipohjaisesti

Tietomallit mahdollistavat myös tiedon nopeamman ja tarkemman käsittelyn sekä paikkasidonnaisen tiedonhaun. Osaltaan tietomallipohjaisuus myös vähentää erilaisia inhimillisiä virheitä muun muassa mahdollistamalla esimerkiksi koneohjaukseen liittyvien tietomallien siirtämisen suoraan työkoneisiin. Työkoneautomaatio osaltaan irrottaa työmaalta resursseja, kun työkone pystyy työskentelemään pääasiassa itsenäisesti malliavusteisesti, kuten kuviossa 9.



## 4 TARJOUSLASKENTA

### 4.1 Kustannushallinta

Infrarakennushankkeiden kustannukset ovat usein suuria ja kustannusten merkitys korostuu hankkeiden kasvaessa. Hankkeiden kustannukset ja niiden hallinta määräytyvät erityisesti hankkeen laajuuden, aikataulun ja laadun mukaan. Infranhankkeiden kustannushallinnan tulisi olla jatkuvaa, hallittua ja päämäärätietoista ja onnistuneessa kustannushallinnassa kustannuskehys on realistinen ja kustannushallintaa tehdään aktiivisesti koko hankkeen elinkaaren ajan (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 10).

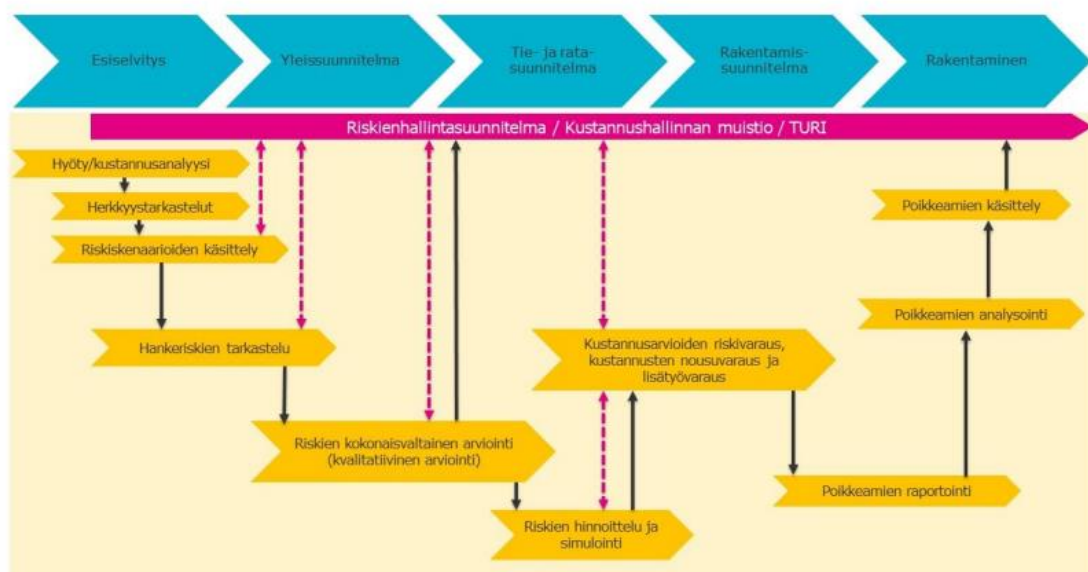
Tämä opinnäytetyö käsittelee määrälaskentaa erityisesti urakoitsijan näkökulmasta tarjouslaskentavaiheessa. Koska kustannushallinta on onnistuessaan koko hankkeen kattava, ennen kaikkea vaiheittain tarkentuva prosessi, on tarpeellista sivuta myös suunnittelun näkökulmaa kustannushallintaan. Suuri osa hankkeen kustannuksista määräytyy usein jo hankkeen suunnitteluvaiheessa, mutta kustannukset konkretisoituvat suurelta osin vasta rakennusvaiheessa, mikä vaatii hankkeen rakentamisen aikaista systemaattista ohjausta. Tietomallipohjaisen hankkeen vaiheet on esitelty tarkemmin luvussa 3.3.

Kustannusarvioiden pohjalta hankkeelle muodostetaan kustannuskehys, joka on osaltaan tärkeä osa hankkeiden suunnitteluperusteita. Suunnitteluprosessin kannalta kustannushallinta tarkoittaa ennen kaikkea kustannusohjattua suunnittelua. Jotta saavutetaan kaikista teknis-taloudellisesti optimaalisin ratkaisu, tarvitaan tietoa suunnitteluratkaisujen ja eri vaihtoehtojen kustannuksista. (Väylähankkeiden kustannushallinta, 10.)

### 4.2 Kustannusriskitarkastelu

Suunnitteluratkaisut sisältävät aina erilaisia riskejä, joiden tunnistaminen ja niiden vaikutusten arvioinnin tarkkuus tulee määritellä hankekohtaisesti. Kustannushallinnan kannalta on tärkeää tehdä kustannusriskitarkastelua, jossa tulee

huomioida hankkeen määräriskien lisäksi muut hankkeen muut riskit ja niistä aiheutuvat kustannukset, joista riskit, joilla on suurin vaikutus hankkeen kustannuksiin, tulee arvioida myös euroina. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 12-13.) Kustannusriskitarkastelun tulee tarkentua hankkeen edetessä suunnitteluvaiheesta toiseen. Kuviossa 10 on kuvattuna riskien taloudellisen vaikutuksen arvioinnin prosessi kustannushallinnan kannalta.



Kuvio 10. Riskien taloudellisen tarkastelun prosessi (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 14)

Esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa riskien vaikutus on arvioitu karkeasti. Kustannusriskit huomioidaan esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa vaihtoehtoja vertailtaessa, mikäli vaihtoehtojen välillä on suuria eroja. (Väylähankkeiden kustannushallinta, 17.)

Yleissuunnittelussa tehdyt riskiarviot tarkentuvat ratasuunnittelussa, jolloin tulee tunnistaa myös uusia kustannusriskejä. Ratasuunnittelun alkuvaiheessa kustannusriskien tunnistamisella on ennen kaikkea suunnittelua ohjaava vaikutus,

ja vaihtoehtojen vertailussa tulee miettiä, ovatko eri vaihtoehtojen sisältämät riskit hyväksyttäviä. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 18.)

Ratasuunnitteluvaiheessa tehtyjä riskiarvioita tarkennetaan edelleen rakentamissuunnittelussa, jolloin suunnitelmaan ei tule jättää enää isoja ratkaisemattomia kustannusriskejä vaan kaikki suunnittelun aikana ilmenneet kustannusriskit tulee saada suunnittelun aikana hyväksyttävälle tasolle. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 18.)

#### 4.3 Kustannuslaskenta hankkeen eri vaiheissa

Tarjousvaiheessa rakennusyrietykset valitsevat urakat, joita ne lähtevät tarjoamaan, miten tarjottavat hankkeet tullaan resursoimaan ja miten tarjousten riskit hinnoitellaan. Hankkeen kustannushallinta helpottuu, jos tavoitearvio laaditaan laskentavaiheessa oikein ja luokiteltujen kustannusrivien määrä on hallittava ja riittävä. Merkittävimmät muutokset hankkeen eri kustannusarvioissa aiheuttavat hankkeen sisällön tai tavoitteiden muutokset, minkä lisäksi myös laatutason muutokset saattavat vaikuttaa merkittävästi kustannusarvioon (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 15).

Hankkeen esisuunnitteluvaiheen kustannusarvio toimii perustana hankkeen kokonaiskustannusten ja investointeihin tarvittavien määrärahojen arvioimiseksi. Se toimii myös perustana tulevien vaiheiden kustannushallinnalle. Laskennat tulee tehdä tarkkuudella, jolla eri vaihtoehtojen väliset kustannuserot käyvät ilmi ja voidaan todeta kustannustehokkain vaihtoehto. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 20-21.)

Hanke tulee ryhmitellä pääkohteittain ja tekniikkalajeittain, ratahankkeessa esimerkiksi liikennepaikoittain ja rataosuuksittain sekä tiejärjestelyin. Kustannusarviolle tulee esittää vaihteluväli, jos siihen on perusteita esimerkiksi lähtötietojen epävarmuudesta tai -tarkkuudesta johtuen. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 21.)

Määrätietojen kerääminen ja hyödyntäminen aloitetaan kustannuslaskennassa viimeistään yleissuunnitteluvaiheessa, vaikka kustannusarvion laadinnassa käytetään pääsääntöisesti hankeosalaskentaa. Yleissuunnitelman tulee määritellä ratalinja ja mahdolliset linjausvaihtoehdot sekä tekniset ja toiminnalliset ratkaisut sillä tarkkuudella, että vaihtoehtoihin ja jatkotoimenpiteisiin liittyvät päätökset voidaan tehdä ja taloudelliset vaikutukset voidaan arvioida. Yleissuunnitelmassa määritetty kustannusarvio ja kustannusvertailut tuotetaan hankeosatarkkuudella. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 22-23.)

Ratasuunnitelmat ovat lakeihin perustuvia hallinnollisia suunnitelmia, jotka hyväksyttynä oikeuttavat suunnitelmassa osoitettujen alueiden lunastamiseen. Niihin sisältyy kustannusarvio, jossa hankkeen kustannukset eritellään väylittäin ja huomioiden lunastuskustannukset. Kustannusarvion tulee olla luotettava, jotta sen pohjalta voidaan tehdä hankkeen toteuttamiseen määrärahavaraus. Täten ratasuunnitelmavaiheessa tekniset ratkaisut tulee kuvata edellisiä suunnitteluvaiheita huomattavasti tarkempina. Suunnitelmassa tulee myös varautua hankkeen toteuttamisen aiheuttamiin kustannuksiin kuten hankkeen aikaisiin johtosiirtoihin tai työnaikaisiin liikennejärjestelyihin, sekä huomioida mahdollisten rakentamisesta aiheutuvien haittavaikutusten ehkäiseminen. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 25.)

Rakentamissuunnitteluvaiheessa tehdään kustannus- ja laajuuspuitteet täyttävä suunnitteluratkaisu ja varmistetaan hankkeen kustannustavoitteissa pysyminen. Arvion tavoitteena on ennakoida rakentamisen kustannukset mahdollisimman luotettavasti. Rakentamissuunnitteluvaiheen määräluettelon tulee olla niin tarkka, että hankkeen tarjouspyyntö voidaan laatia sen tietojen perusteella. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 29.)

Ratahankkeen rakentamissuunnitelma sisältää nimikkeittäin ja ryhmittäin laaditun määräluettelon ja paalukohtaiset massaluettelot kullekin raiteelle. Kustannusarvio perustuu tekniikkalajien osalta rakennusosatarkkuudella laskettuihin kustannuksiin. Sen rakenne ja ryhmittely muokataan hankekohtaisesti palvelemaan suunnitteluvaihetta ja urakkakilpailua. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 30.)

Urakkakilpailun voittava urakoitsija siirtyy rakentamisen valmisteluvaiheeseen, jossa se laatii hankkeen toteutussuunnitelmat ja valmistelee tavoitearvion. Kustannusarvioon toteuttaja tarvitsee tietoja hankkeen toteutustavoista, työmaatekniikasta, saatavilla olevista resursseista sekä välitavoitteista ja aikatauluista (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 13). Urakoitsija laatii myös lopullisen tarkan massansiirtosuunnittelun (Väylähankkeen kustannushallinta 2021, 31).

#### 4.4 Massatalous

Hankkeen massat koostuvat maa- ja kalliroleikkausmassoista sekä pengermassoista. Ratahankkeen kustannuksiin vaikuttavat merkittävästi massatalous, massansiirrot sekä maamassojen ja rakennekerrosten materiaalin kuljetusmatkat. Kuljetusmatkoihin osaltaan vaikuttaa merkittävästi myös hankkeessa leikatavan tai louhittavan materiaalin kelpoisuus. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 24.) Ratahankkeissa ongelmaksi nouseekin usein materiaalin käyttökelpoisuusvaatimukset, jotka ovat tiukempia kuin tiehankkeissa, ja leikkausmassoja voidaan harvoin käyttää hankkeen sisällä muuhun kuin vastapenkereiden tai esimerkiksi huoltoteiden rakentamiseen. Tämä osaltaan lisää massakuljetuksia työmaalle ja työmaalta pois. Erityisesti linjahankkeissa maan kuljetuksen järjestely voi olla hankalaa ja kallista. Maantieteellisesti laajoissa hankkeissa massatalouden suunnittelusta tulee myös monisyisempää ja suunnittelussa huomioitavien asioiden määrä kasvaa. Linjahankkeen logistisia järjestelyitä käsitellään myöhemmin luvussa 6.6.

Kuljetusmatkat huomioidaan hankkeen yleissuunnitteluvaiheessa, jolloin kuljetusmatkoja käsitellään ennen kaikkea hankekohtaisesti ja dokumentoidaan, millä perusteella hankkeen kuljetusmatkat on valittu tai kirjataan ylös alustavasti määritellyt läjitysalueet. Kuljetusmatkoja voi olla yleissuunnitteluvaiheessa vielä vaikea arvioida, sillä riittävän tarkkaan arviointiin tarvitaan paikallisten olosuhteiden tuntemusta, joten epävarmoissa tilanteissa käytetään pikemmin liian pitkää kuljetusmatkaa tai kuljetusmatkoista aiheutuvat kustannukset kirjataan ris-

kikustannuksiin ja päivitetään myöhemmässä suunnitteluvaiheessa. (Väylähankkeen kustannushallinta 2021, 24.)

Ratasuunnitteluvaiheessa laaditaan massataloussuunnitelma, joka toimii karkeana arviona massojen käytöstä hankkeilla. Massojen siirtotarpeet tulee määrittellä niiden laadun ja käytön mukaan, ja massataloussuunnitelmassa tulee määrittellä hankkeen massatasapaino, eli miten hankkeen eri massat käytetään, mitä massoja saadaan hankkeen sisäpuolelta ja mitä puolestaan tuodaan ulkopuolelta, sekä mikä osa massoista kelpaa rakentamiseen ja mikä osa on rakentamiseen kelpaamatonta ja tulee toimittaa ylijäämämaiden sijoitusalueelle. Tätä kautta on helpompaa arvioida massojen kuljetusmatkoja. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021, 28.)

Rakentamiseen kelpaavien ja kelpaamattomien massojen määrät ovat arvioita, jotka perustuvat pohjatutkimuksiin. Tämän vuoksi hankkeen ja sen kustannusten tarkka arviointi vaatii paljon pohjatutkimusnäytteitä. Myös olosuhdeherkillä maamassoilla ja esimerkiksi pilaantuneilla mailla on suuri vaikutus hankkeen kustannusarvioon ja ne tulisi arvioida hankkeissa aina tapauskohtaisesti. (Väylähankkeiden kustannushallinta, 28.)

#### 4.5 Määrälaskenta

Hankkeen rakennusmäärät eli massat tarvitaan kustannusarvion lähtökohdiksi. Hanke lopulta hinnoitellaan mallista saatujen määrien pohjalta, joten tarjousprosessin olennainen osa ennen lopullista hinnanmuodostusta on juuri määrätiedon tuottaminen. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2021, 25.) Tietomallinnus tarjoaa myös määrälaskentaan huomattavia hyötyjä, joita ovat muun muassa automaattinen määrätieto ja tiedonkäsittelyn nopeus ja tarkkuus.

Perinteisesti toteutettavassa hankkeessa määrälaskenta tehdään tarjouslaskenta-aineistojen määräluetteloiden ja poikkileikkausten perusteella. Määrälaskenta voi perustua laskentahenkilöstön arvioon tai manuaaliseen laskentaan, jossa lopputulos voi olla usein melko karkea, sillä perinteisessä määrälaskennassa

hyödynnetään mittauksen nopeuttamiseksi usein yksinkertaistettuja mittoja. Määrälaskenta voidaan suorittaa myös eri laskentaohjelmistoilla mallipohjaisesti, mutta perinteisesti toteutettavilla hankkeilla tähän työhön voi mennä saavutettuun hyötyyn nähden paljon resursseja. Toisaalta, mikäli toteutusvaihe on tarkoitus suorittaa mallipohjaisesti, ovat laskentakäyttöön luodut mallit hyödynnettävissä eteenpäin koneohjausmalleiksi, jolloin tietomallipohjainen määrälaskenta on järkevä toteuttaa.

Tietomallipohjaisesti toteutettavassa hankkeessa lähtötietoaineisto on mallimuotoista, mikä helpottaa määrälaskentaa, sillä määrät saadaan laskettua suoraan mallipohjaisesti. Määrälaskenta tehdään yhdistelmämallin pohjalta, jonka perusteella saadaan laskettua sekä massat että muut ratarakenteisiin liittyvien järjestelmien osat ja laitteet. Tätä kautta varmistetaan myös rakenteiden ja järjestelmien yhteensopivuus. Yhdistelmämalliin liitettävän rakennusosittain eritellyn raporttipohjan pohjalta voidaan tuottaa määräluettelo ja tehdä vertailua eri malliversioiden välillä tai rakennekerroksittain. (YIV 2015 Osa 9 Määrälaskenta ja kustannusarviot, 6.)

Määrälaskennan kannalta on tärkeää, että hankkeen eri rakennusosat kuvataan niin, että niiden sisältämä määrätieto saadaan automaattisesti rakennusosittain eroteltuna. Kaikki mallinnettavat objektit tulee erotella, jotta listatessa ne erottuvat toisistaan ja niiden lukumäärä on oikein. (YIV 2015 Osa 9 Määrälaskenta ja kustannusarviot, 7.)

Koska hanke hinnoitellaan suurelta osin mallista saatujen määrien pohjalta, on laskennan automatisoituminen ja varmuus määrien oikeellisuudesta suurimpia hyötyjä, mitä tietomalli tarjoaa tarjouslaskentavaiheessa. Tietomallipohjainen määrälaskenta poistaa määrien manuaalisen mittaamisen suunnitelmapiirustuksista ja mahdollistaa tietokoneavusteisen mittaamisen mallista, mikä lisää laskennan tarkkuutta ja luotettavuutta.

Yhden lähtötietomallin luovuttaminen hankkeen kaikkien osapuolten käyttöön vähentää merkittävästi eri hankkeen vaiheissa tehtävää päällekkäistä työtä ja manuaalisen työn tekeminen vähenee. Saman lähtötietomallin perusteella tehdyt tarjoukset ovat myös paremmin vertailukelpoisia keskenään ja vastaavat

enemmän työmaan tarpeita. Myös urakkarajat ja -alueet voidaan määrittää tarkasti ja kiistattomasti tietomallin avulla. Lisäksi tietomalli vähentää ylimääräisiä, vajavaisten ja epäselvien suunnitelmien vuoksi tehtyjä riskivarauksia. (YIV 2015 Osa 9 Määrälaskenta ja kustannusarviot, 10.)

Massatalouden hallinta on merkittävässä asemassa suurissa infrahankkeissa ja määrälaskentaa tulisi pystyä tekemään myös hankkeen muissa vaiheissa. Tietomalli helpottaa ja nopeuttaa määrälaskennan suorittamista, jolloin sitä on helpompaa tehdä hankkeen aikana myös pienemmissä erissä. Työnaikaisten massamuutosten käsittely ja vertailu on myös helppo suorittaa tietomallin pohjalta laskettujen määrien avulla ja raportointi on luotettavaa. Vaikka mallipohjaisesti toteutettava määrälaskenta on tarkkaa ja luotettavaa, tulee laskentatarkkuutta arvioida ja suorittaa tarvittaessa nimikkeen vertailulaskelmia.

Mallipohjainen laskenta mahdollistaa myös määrien havainnollistamisen uusilla tavoilla. Kun määrät voidaan linkittää suunnitteluohjelman ja määrälaskentaohjelman välillä, voidaan määräluettelon kautta tarpeen mukaan visualisoida mallin eri osat. Visuaalisuus auttaa myös tarjousvaiheessa työsuunnittelussa ja sen avulla voidaan tarkastella erilaisia ratkaisuja työn toteuttamiselle ja valittua näistä kustannustehokkain ratkaisu. Tietomalli auttaa myös riskivarausten tekemisessä, sillä sen avulla voidaan tarjousvaiheessa selvittää etukäteen mahdollisia ongelmia ja riskejä sekä varautua niihin.

Kaiken kaikkiaan tietomallinnus tarjoaa määrä- ja tarjouslaskennalle monia hyötyjä ja ratkaisee monia määrälaskennan kannalta haastavia ongelmia. Ennen kaikkea tietomallinnus on johdonmukaista, sillä kaikki rakennus- ja tekniikkaosat on mallinnettu projektikohtaisten vaatimusten mukaisesti ja mallinnustapa on aina dokumentoitu tietomalliselostukseen. Tietomalliselostuksesta käy ilmi, suunnitteluvaiheessa hankaluuksia aiheuttaneet tilanteet, joita ei ole mallinnettu sekä osat, jotka on mahdollisesti mallinnettu eri tarkkuustasolle, jolloin myös tällaiset tapaukset on mahdollista huomioida määrälaskennassa.

Tietomalli ei kuitenkaan ratkaise yksikäsitteisesti kaikkia määrälaskennan ongelmia eikä tietomallista saada irti kaikkea tarjouslaskentaan vaadittavaa tietoa. Tietomalli on kuitenkin ennen kaikkea työkalu, joka helpottaa ja nopeuttaa työtä



ja tekee laskennasta monella tapaa tarkempaa, luotettavampaa ja vertailukelpoisempaa.

#### 4.6 Jälkilaskenta

Rakennushankkeen valmistuttua urakoitsija ja rakennuttaja tekevät hankkeesta omat jälkilaskentansa, joiden avulla tarkistetaan kohteen taloudellinen lopputulos ja saatuja tietoja voidaan hyödyntää edelleen yrityksen kustannustiedoston päivityksessä ja uusien kohteiden kustannuslaskennassa (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 13). Jälkilaskentaan kuuluu myös hankkeen aikana tehtävä kustannustietojen kerääminen ja jälkilaskentaa suoritetaan aina, kun jokin itsenäinen työkokonaisuus on saatu valmiiksi. Jälkilaskennan yhteydessä muun muassa korjataan ja päivitetään määrätiedot vastaamaan toteutunutta tuotantoa, mikä voi erota suunnitellusta esimerkiksi muutostöiden vuoksi. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 95.) Hyvin sujuneiden hankkeiden tiedot tulisi siirtää laskentajärjestelmään mallihankkeiksi tulevaa tarjouslaskentaa varten.

#### 4.7 Riskivaraukset

Tarjouslaskennassa varaudutaan moniin infrahankkeen riskeihin tarjoushintaa korottavilla, työmaakustannuksiin kohdistuvilla riskivarauksilla, jotka esitetään tyypillisesti prosenttiosuutena. Riskivaraus on tarpeellista tehdä, jos kustannuserä on vaikeasti arvioitavissa tai hankkeen olosuhteiden muutos voi muuttaa kustannuksia merkittävästi tai kustannuserä on muuten kokonaisuuteen nähden merkittävä. Kustannuslaskennassa tyypillisimpiä riskejä ovat tekniset, hallinnolliset, sopimustekniset ja epätarkkuusriskit. (Rakennushankkeen kustannushallinta, 72.)

Tekniset riskit käsittävät useimmiten vaikean tai uuden rakenneratkaisun, työvaiheen tai menetelmän tai näiden yhdistelmän aiheuttamat riskit ja ne on yleensä huomioitu jo hankkeen kustannusarvioissa pääasiassa lisääntyneenä

työ- tai materiaalimenekkinä tai kohonneena alihankintakustannuksena. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 73.) Teknisiin riskeihin varautumiseen vaikuttaa ennen kaikkea laskentaa suorittavien tahojen ja toteutuksesta vastaavan tahon kokemus. Tietomalli voi myös helpottaa rakenneratkaisujen tarkastelussa ja niiden toteutuksen suunnittelussa.

Hallinnollisia riskejä ovat esimerkiksi toiminnan laajuuden, toimialan tai toiminta-alueen muutoksesta johtuvat riskit (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 73). Ongelmia aiheuttavat muun muassa suunnitelmamuutokset, mitkä voivat aiheuttaa toteutusvaiheessa ylimääräisiä henkilö- tai konehankintakuluja sekä pitkiäkin käsittelyaikoja. Toteutusaikaiset suunnitelmamuutokset täytyy hyväksyttää suunnittelijalla ja hyväksyntää voi joutua odottamaan pitkäänkin, mikä puolestaan seisottaa työmaata. Toisaalta suunnitelmamuutokset voivat aiheuttaa lisäkuluja toimituksiin ja kuljetuksiin.

Epätarkkuusriskit liittyvät kustannus- ja tarjouslaskentaan sekä sen määrien ja hinnoittelun epätarkkuuteen. Ne voivat johtua esimerkiksi suunnitelmien valmiusasteesta, minkä vuoksi keskeneräisiin suunnitelmiin sisältyvä epävarmuus tulee aina ottaa huomioon määräriskissä. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 73.) Aineistot voivat olla puutteellisia, virheellisiä tai ne voivat muuten jättää tilaa tulkinnanvaraisuuteen. Joissain tapauksissa suunnitelmat voivat olla myös toteutuksen kannalta kelpaamattomia tai eivät täytä tarjouslaskennan tietotarpeita. Tietomalli tarjoaa mahdollisuuden suorittaa eri malleille törmäystarkasteluita, joiden yhteydessä mallien virheet ja päällekkäisyydet voidaan havaita aikaisessa vaiheessa.

Muun muassa asiakirjoissa esiintyvät yleisistä sopimusehdoista poikkeaminen sekä tavanomaisesta poikkeavat urakkaehdot aiheuttavat sopimusteknisiä riskejä. Sopimusteknisiä riskejä on usein vaikea hinnoitella ja arvioida. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 73.)

Muita tarjouslaskennassa huomioon otettavia riskejä voivat aiheuttaa esimerkiksi hankkeen rahoitus, toteutusmuoto tai kohteen erityispiirteet (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 73). Muun muassa hankeresurssien saataavuus ja niiden laatu voivat aiheuttaa hankkeen kustannusten kannalta merkittä-

viäkin riskejä. Lisäksi hankkeen kannalta merkittäviä kustannushaittoja voi aiheutua myös esimerkiksi toimitusten viivästyisestä, mikä voi johtaa suureen kustannushaittaan sekä viivästyttää työmaata. Toimitukset voivat olla myös virheellisiä tai viallisia, mikä osaltaan aiheuttaa erityisesti aikataulullista haittaa tai vaikuttaa hankkeen laatuun.

Myös suhdanteet vaikuttavat kustannusarvioon ja rakennushankkeen kesto sekä kustannustason nousu ja lasku lisäävät tarjouslaskennan epävarmuutta. Tämä otetaan huomioon tarjouslaskennassa kustannustason muutosvarauksena. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 73.)

Tietomallit auttavat riskihallinnassa muun muassa vähentämällä määräriskejä ja helpottamalla alustavan työmaasuunnitelman tekemisessä. Mallien visuaalisuuden avulla suunnitelmien väliset ristiriidat on myös helppo huomata hyvissä ajoin ja suunnitelmavirheisiin voidaan vaatia korjaavia toimenpiteitä. Tietomallien visuaalisuus helpottaa toteutuksen aikaista työmaasuunnittelua, sillä ympäristön haasteet ovat helposti havaittavissa suhteessa rakennettavaan pintaan. Tämä helpottaa haastavien kohteiden, kuten kallioleikkausten, suunnittelussa. Tietomallien hyödyistä tietomallipohjaisen hankkeen riskihallinnassa lisää luvussa 6.8.

## 5 AIEMMAT TUTKIMUKSET

Väylähankkeiden tietomallipohjaisesta tarjouslaskennasta on olemassa joitakin ohjeita ja aiheen tiimoilta on tehty joitakin opinnäyte- ja diplomitoita. Roope Wahlström on tutkinut diplomityössään Tietomallipohjaisten tarjouslaskentamenetelmien kehittäminen ratahankkeille (2017) ratahankkeiden tietomallipohjaista tarjouslaskentaa. Työssään Wahlström tutkii tietomallipohjaisten laskentaohjelmien, erityisesti Tilos-ohjelman, käyttöönottoa Destian tarjouslaskennassa. Lisäksi Wahlström on haastatellut kolmea Destian tarjouspäällikköä laskennan tilanteesta ja käytetyistä menetelmistä työn kirjoitushetkellä sekä kokemuksia työssä käsiteltyjen sovellusten käyttöönotosta.

Työssään Wahlström nostaa ongelmiksi tarjouslaskennassa laskentaan käytettävien resurssien ja kokemuksen määrän rajallisuuden. Lisäksi muun muassa toteumien seurannan vähyys nousi ongelmaksi, sillä se johtaa siihen, että jälkilaskenta joudutaan tekemään manuaalisesti. Tarjouslaskennan ongelmaksi nousi myös tiedonsiirron hankaluus, sillä yrityksessä koettiin, että työpäällikön sisällyttäminen tarjouslaskentaan on aika-ajoin hankalaa aikatauluista ja niiden yhteensovitusongelmista johtuen. (Wahlström, R. 2017. 58.) Ongelmia aiheuttaa myös laskennan kiireellinen aikataulu (Wahlström, R. 2017. 59).

Työssään Wahlström nostaa esiin tarjouspäälliköiden haastatteluista visuaalisuuden ja graafisten näkymien hyödyllisyyden tarjouslaskennan näkökulmasta. Erilaiset törmäystarkastelut koettiin hyödyllisenä apuna jo tarjouslaskennassa. Kehitettäväksi asioiksi Wahlström nosti työssään muun muassa automaattisen toteumien seurannan. (Wahlström, R. 2017. 60.)

Anni Heilala on tutkinut diplomityössään Tietomallipohjainen kustannuslaskenta infra-alalla (2020) infra-alan suunnittelu- ja kustannuslaskentajärjestelmien välistä tiedonsiirtoa ja tiedonsiirtoratkaisujen vaihteistamista kehittämisen kannalta. Työssään Heilala osoitti kustannuslaskennan ongelmiksi tarveprosessit ja niiden ohjeistukset ja yleisten standardien uupumisen. Ohjeistuksissa ongelmaksi koettiin se, ettei kustannuslaskentaa ei olla huomioitu niissä tarpeeksi, jolloin kustannuslaskennan kannalta merkittäviä asioita ei huomioida tarpeeksi hank-

keen aikaisemmissa vaiheissa. Tiedonsiirtoformaattien ja nimikkeistöjen osalta puutteelliseksi jäi myös kustannuslaskennan ja tietomallinnuksen vuoropuhelu. (Heilala, A. 2020. 49.)

Työssään Heilala toteaa, että tietomallipohjainen määrälaskenta on pääasiassa jo hyvällä mallilla, mutta tietomallin avulla ei täysin voida laskea kustannuksia, sillä tietomallipohjaisuuden painopiste on ollut ennen kaikkea määrien laskennassa. Kustannuslaskennan kannalta nimikkeistöjä, jotka eivät keskustele kaikkien ohjelmistojen välillä on liikaa ja laskentaohjelmistot on suunniteltu erityisesti tiesuunnitteluun eivätkä suoraan sellaisenaan sovellu ratasuunnitteluun. (Heilala, A. 2020. 48-49.)

Ratkaisuna työssään Heilala esittää tilaajan vastuunottamisen ohjeiden päivittämisestä siten, että ohjeistukset ovat linjassa koko alan yhteisen tavoitetilan kanssa. Laskennan tarkkuus ja laatuvaatimukset tulisi Heilalan mukaan määrittellä nykyistä tarkemmin, jotta niiden laatu olisi yhtenäistä. (Heilala, A. 2020. 44.)

## 6 TIETOMALLIPOHJAINEN MÄÄRÄLASKENTA RATAHANKKEIDEN TYÖKALUNA

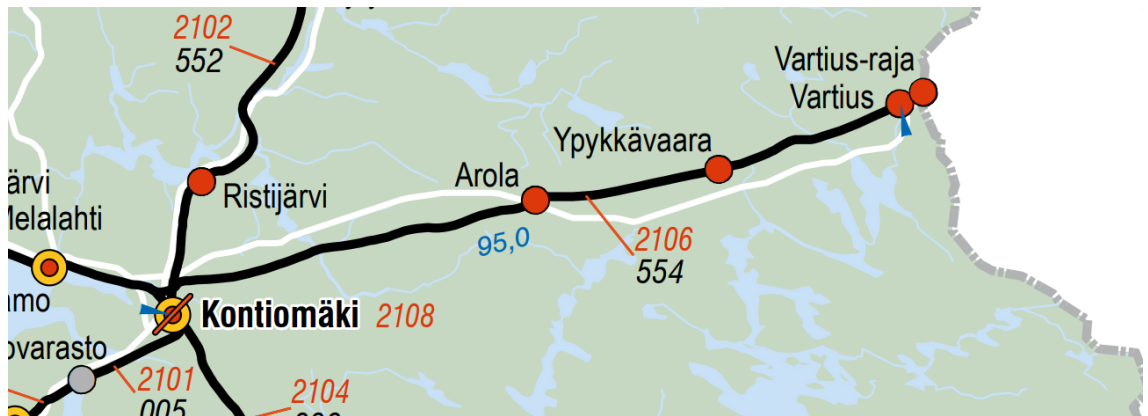
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on nimetä tietomallipohjaisen määrälaskennan merkittävyyteen vaikuttavia urakkakohtaisia seikkoja erityisesti urakoitsijan tarjouslaskennan kannalta. Tutkimusta tehdään vertailemalla Destia Rail Oy:n toteuttamia hankkeita ja tutkimalla mallipohjaisuuden niille tarjoamia hyötyjä.

### 6.1 Esimerkkihankkeet

Tämän opinnäytetyön tutkimuksen tueksi valittiin vuosina 2020 ja 2021 toteutetut hankkeet Vartiuksen liikennepaikan parannustyöt ja Ypykkävaaran liikennepaikan jatkaminen, joihin työssä perehdytään tarkemmin. Hankkeiden samankaltaisuuden takia työhön valittiin vertailukohteiksi myös vuosina 2022 ja 2023 toteutetut hankkeet Kontiomäki-Pesiökylä PRU2 ja Pesiökylän raakapuuterminäli. Näihin hankkeisiin ei kuitenkaan perehdytä työssä tarkemmin ja käsittely pidetään pintapuolisena.

#### 6.1.1 Vartiuksen liikennepaikan parannustyöt

Vartiuksen rajavartioasema on toiminut Suomen ja Venäjän välisen rautatie- ja maantieliikenteen kansainvälisenä rajanylityspaikkana vuodesta 1992. Rajanylityspaikan kautta kulkevat kantatie 89 ja Kontiomäki-Kostamus-rautatie. Rajavartioasema vastaa toimialueensa rajaturvallisuuden ylläpidosta sekä muista lakisääteisistä valvontatehtävistä. (Väylävirasto 2023 b.)



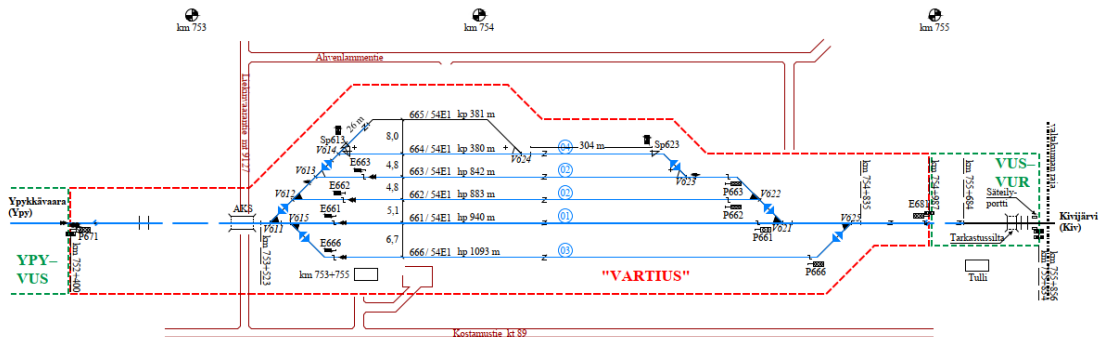
Kuvio 11. Kontiomäki-Vartius rataosa (Valtion rataverkko 1.1.2021)

Hankkeen kohteena oleva Vartiuksen liikennepaikka on toiminut rautatieyhdyshankkeen luovutus- ja vastaanottoasemana (Väylävirasto 2023 b). Liikennepaikka sijaitsee kunnossapitoalueella 11 (Oulu)-Kainuu rataosalla Kontiomäki – Vartius (kuvi 11). Hankkeen parannustyöt kohdistuivat Vartius ja Vartius-rajaliiikennepaikoille sekä niiden väliselle alueelle. (Väylävirasto 2023 c.)



Kuvio 12. Vartiuksen liikennepaikka vuonna 2021

Rataosan liikenne on koostunut Kostamuksen malmipelletin kuljetuksesta Kokkolan satamaan ja Raahen terästeollisuudelle. Lisäksi Kokkolan satamasta on kuljetettu alumiinisavea Vartiuksen kautta Venäjälle. (Ratayhteyden Ylivieska-Kontiomäki-Vartius kehittämisen 2016, 19.) Kirjoitushetkellä Vartiuksen liikennepaikalle ei kulje Venäjän suuntaan liikennettä. Kontiomäki-Vartius rataosan liikenne on vähentynyt huomattavasti malmikuljetuksen loputtua. Ypykkävaaran liikennepaikalla tapahtuu kuitenkin yhä puutavaraliikennettä.



Kuvio 13. Vartiuksen liikennepaikan raiteistokaavio hankkeen edeltä

Kuviossa 13 on esitetty Vartiuksen raiteistokaavio hankkeen edeltä ja kuviossa 16 rakennustöiden jälkeen. Ennen hanketta liikennepaikan raiteista kolme täytti pituudellaan vaatimukset pellettijunien säilytykselle. Tämän vuoksi jokaisen rajajunalla tuodun kuormarungon tuli lähteä Vartiuksesta eteenpäin ennen seuraavan kuormarungon saapumista. (Ratayhteyden Ylivieska-Kontiomäki-Vartius kehittämisen 2016, 15.)





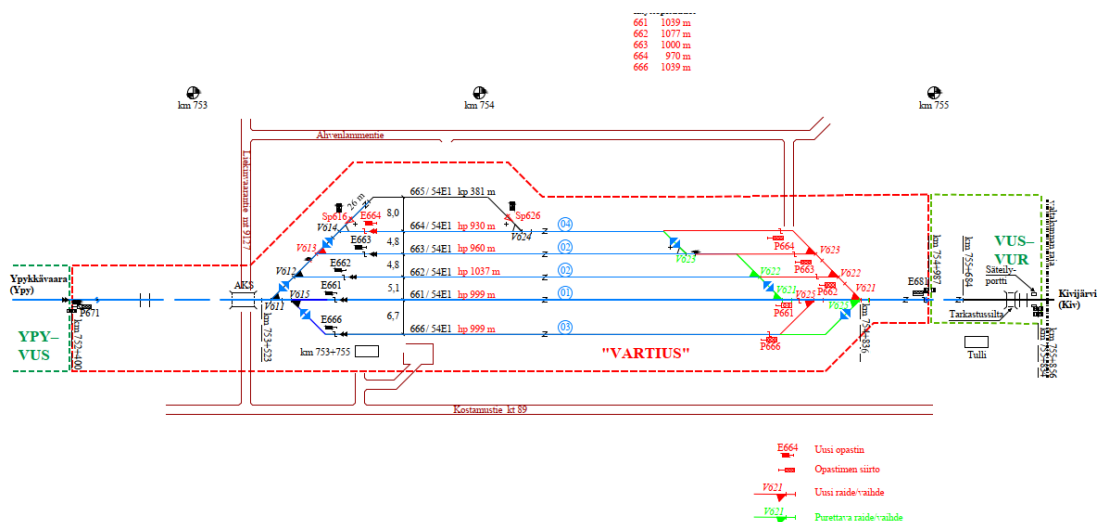
Kuvio 14. Liikennepaikan länsipään vaihteet V611, V612, V615 ja V613 alkuvuonna 2020 (Ratakuvapalvelu 2020)

Hankkeessa jatkettiin liikennepaikan kuvioissa 13 ja 18 esitettyjä raiteita R661-R664 niin, että raiteiden hyötYPITuus riittää malmijunarunkojen säilytykseen ja vetureiden ympäriajoon. Raiteiden jatkamisen lisäksi uusittiin liikennepaikan kuviossa 14 esitetty länsipään vaihde V613 ja kuvioissa 15 ja 17 esitetyt itäpään vaihteet V621, V622, V623 ja V625 sekä uusittiin raiteiden päällysrakennetta.



Kuvio 15. Itäpään vaihteet V623, V622, V621 ja V625 hankkeen edeltä keväältä 2020 (Ratakuva palvelu 2020)

Vaihteiden ja raiteen jatkamisen lisäksi alueelle toteutettiin ratapenkereen levennys, läheisen yksityistien ja pohjoispäässä sijaitsevan ojan siirtäminen sekä ratarummun jatkaminen. Alueelle myös rakennettiin kävelykulkuteitä ja päivitettiin radan merkit ja merkinnät. Levennettävän ratapenkereen maatoihin kuului myös turvemassanvaihto.



Kuvio 16. Vartiuksen liikennepaikan raiteistokaavio hankkeen jälkeen

Hanke toteutettiin vuoden 2020 syksyn ja vuoden 2021 aikana. Loppuvuonna 2020 tehtiin suurin osa maatoista, jolloin raide asennettiin alkuperäiseen asemaansa. Ratapenkereen levennys aloitettiin myös loppuvuoden aikana. Lisäksi vuoden 2020 aikana asennettiin osa sähköraataan liittyvistä rakenteista kuten osa sähköratapylväasperustuksista, joiden asentamista jatkettiin kesän 2021 aikana.



Kuvio 17. Vartiuksen liikennepaikan itäpään vaihteet V623, V622 ja V621 hankkeen jälkeen

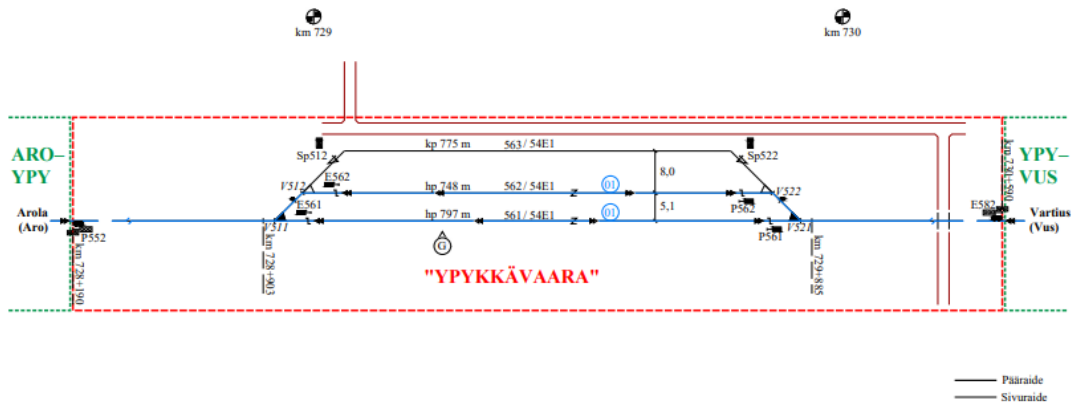
Vuonna 2021 töitä jatkettiin ratapenkereen levennyksen viimeistelyllä sekä uuden raiteen rakentamisella. Liikennepaikalle asennettiin viisi uutta vaihdetta ja jatkettiin kuvioissa 13 ja 16 esitettyjä raiteita R661-R664. Lisäksi liikennepaikalle asennettiin sähköraataan liittyvät turvalaitteet, valaisimet sekä viimeiset sähköratapylväasperustukset ja -pylväät.



Kuvio 18. Hankkeen länsipään vaihteet V611, V612, V615 ja V613 hankkeen jälkeen

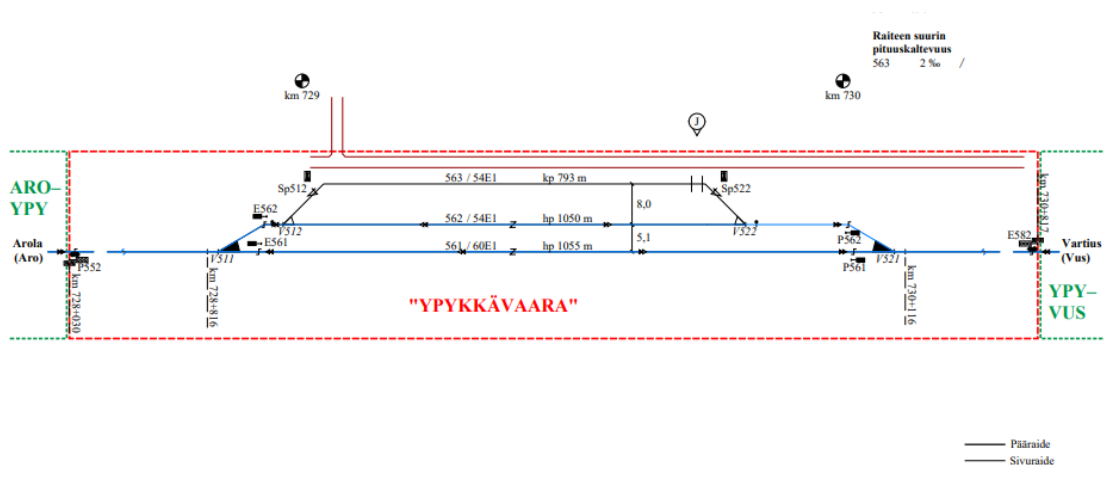
#### 6.1.2 Ypykkävaaran liikennepaikan jatkaminen

Ypykkävaaran liikennepaikka sijaitsee kuviossa 11 esitetyllä rataosalla Kontiomäki – Vartius reilu 20 kilometriä Vartiuksesta Kontiomäkeen päin. Liikennepaikka on toiminut miehittämättömänä junakohtauspaikkana ja raakapuun kuormauspaikkana.



Kuvio 19. Ypykkävaaran liikennepaikka hankkeen edeltä

Kuviossa 19 on esitetty Ypykkävaaran raiteistokaavio hankkeen edeltä ja kuviossa 20 rakennustöiden jälkeen. Hankkeessa uusittiin liikennepaikan länsipään vaihteet V511 ja V512 sekä itäpään vaihteet V521 ja V522. Lisäksi liikennepaikkaa jatkettiin Vartiuksen suuntaan noin 230 metriä ja Kontiomäen suuntaan noin 160 metriä, mikä mahdollistaa malmijunien kohtaamisen. Raiteiden jatkamisen yhteydessä raiteiden alle toteutettiin massanvaihto ja raiteelle R561 rautasuojaus sekä uusittiin raiteiden päällysrakennetta.



Kuvio 20. Ypykkävaaran liikennepaikka hankkeen jälkeen

Ratatöiden lisäksi alueella tehtiin muutoksia hanketta edeltäviin tiejärjestelyihin ja niitä muutettiin raakapuun käsittelyyn toimivimmiksi. Vaihteen V512 huoltotie siirrettiin ja sitä jatkettiin 3,5 metrin levyisenä vaihteelle V511 ja tien päähän rakennettiin kääntöpaikka, jonka yhteyteen rakennettiin huoltoportaat. Lisäksi itäpäähän yhdystietä siirrettiin ja itäpäässä sijainnut tasoristeys poistettiin käytöstä ja tasoristeykselle tulleelle metsätielle tehtiin muutoksia. Hankkeen aikana toteutettiin myös sähkörata-, vahvavirta- ja turvalaitetyöt.



Kuvio 21. Ypykkävaaran liikennepaikka vuonna 2021

Hanke toteutettiin vuosina 2020 ja 2021 samaan tapaan kuin Vartiuksen liikennepaikan parannustyöt. Syksyllä 2020 suoritettiin hankkeen merkittävimmät massanvaihdot ja rata rakennettiin alkuperäiseen asemaansa. Vuonna 2021 raitteet asennettiin uuteen asemaansa ja asennettiin muut liikennepaikan elementit kuten sähköratapylväät ja turvalaitteet.

## 6.2 Mallipohjaisuus esimerkkihankkeilla

Hankkeet olivat mallipohjaisesti toteutettavia ja niiden lähtötiedot olivat mallimuotoisia, ja ne olivat erityisesti Vartiuksen osalta hyvin monipuoliset ja kattavat. Molemmilla hankkeilla hyödynnettiin suunnittelusta tullutta lähtötietomallia eteenpäin toteutus- ja koneohjausmalleiksi. Hankkeiden aliurakoitsijoiden konekuseilla oli merkittävää kokemusta koneohjausjärjestelmien käyttämisestä, mikä osaltaan edisti hankkeiden mallipohjaisuudesta saatavien hyötyjen tavoittamisessa.

Hankkeiden mallipohjaiset vaatimukset erosivat toisistaan hieman. Vartiuksen tarjouspyyntöaineiston mukana toimitettiin tietomalliaineisto, joka sisälsi suunnitelmamallit sekä lähtötietomallin, joka koostui suunnittelun lähtötietoina käytetyistä nykytilaa kuvaavista lähtötiedoista. Suunnitelmamallit sisälsivät kaikki suunnittelutoimeksiantoon sisältyneet tekniikka-alat, ja aineisto sisälsi myös käyttöä helpottavia viitetiedostoja.

Vartiuksen liikennepaikan muutostyöt hankkeen tietomallivaatimukset käsittivät tietomallisuunnitelman laatimisen, tuotannon tietomallikoordinaattorin nimeämisen, tietomallipalavereihin osallistumisen, laadunvarmistuksen ja mallipohjaisen laadunvarmistuksen käytön, tietomallien hyödyntämisen esityksen tilaajalle, työkoneautomaation käytön, turvalaite- sähkörata- ja vahvavirtasuunnittelun malliaineiston hyödyntämisen kehityksen sekä digitaalisen luovutusaineiston kokoamisen urakan aikana. Koneohjausmallit tuli tuottaa suunnittelussa tuotettujen suunnitelmamallien pohjalta, minkä lisäksi urakoitsijan oli mahdollista tuottaa omia tarvitsemiaan toteutusmalleja.

Vartiuksen liikennepaikan hankkeesta eroten Ypykkävaaran liikennepaikan hankkeessa työkoneautomaatio ja tietomallipohjainen laadunvarmistus olivat vapaaehtoisia toimintatapoja. Urakoitsija sai halutessaan hyödyntää rakentamisessa työkoneautomaatiota, jolloin urakoitsijan tuli itse vastata toteutusmallien teosta ja siitä, että toteutusmallit ovat suunnitelmien mukaiset. Urakoitsijan tuli myös kuvata toteutusmallien laatiminen, tarkastus ja käyttö. Työkoneautomaatiota hyödynnettäessä urakoitsijan tuli esittää ohjeiden mukaisen mallipohjaisen

laadunvarmistuksen käyttöönottoa, jolloin mallipohjaisen laadunvarmistuksen toteuttamisesta tuli laatia suunnitelma, joka hyväksyttiin tilaajalla. Ypykkävaa-  
ran liikennepaikan hankkeessa tietomallipohjaisuuden vähimmäisvaatimuksena oli, että urakoitsija tuotti kohteesta digitaalisen luovutusaineiston.

Molemmissa hankkeissa tavoitteena oli yhdessä tilaajan, valvojien, urakoitsijan ja tarvittaessa suunnittelijan kanssa kehittää tapoja, joilla turvalaite- sähkörata- ja vahvavirtasuunnittelun malliaineistoa pystyttäisiin hyödyntämään rakentamisessa. Vartiuksen hankkeella hyödynnettiin Trimble SiteVision -järjestelmää, jonka avulla 3D-malleja pystyttiin tutkimaan visuaalisesti työmaalla lisätyn todellisuuden avulla. Lisätty todellisuus helpottaa toteutusvaiheen suunnittelussa havainnollistamalla tulevien rakenteiden sijainteja suhteessa ympäristöön ja toisiinsa.

Hankkeita tutkittaessa voidaan todeta viisi tarjouslaskentavaiheen kannalta merkittävää seikkaa, jotka tulisi huomioida tarjouslaskentavaiheessa mietittäessä, tulisiko hankkeet laskea mallipohjaisesti. Seikkoja ovat urakan lähtötiedot, toteutusmuoto, koko, sijainti ja luonne.

### 6.3 Hankkeen toteutusmuoto

Yksi hankkeen tarjouslaskennan kannalta huomioitava seikka on hankkeen toteutusmuoto, sillä se määrittelee hankkeen suunnittelu- ja rakennustyön kilpailuttamisen tavat, suunnittelun ja toteutuksen ohjauksen ja hankkeen vastuiden ja velvoitteiden jakaantumisen hankkeen eri osapuolten välillä. Oikein valittu toteutusmuoto edesauttaakin hankkeen tavoitteiden saavuttamisessa. Hankkeen toteutusmuodon valinnalla on merkitystä tarjouslaskennan kannalta, sillä päätöksillä on vaikutusta tilaajan ja rakennuttajan mahdollisuuksiin ohjata hanketta ja sen kustannuksia. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 13-14.)

Esimerkkihankkeet toteutettiin kokonaishintaperusteisina kokonaisurakkoina. Kokonaisurakkamallisessa hankkeessa tilaaja vastaa suunnittelusta ja urakoitsija vastaa osaltaan suunnitelmien mukaisista rakennustöistä. Hankemuodossa



urakoitsija tarvitsee mahdollisimman valmiit suunnitelmat urakkatarjousta varten, joten tarjousvaihe voidaan aloittaa vasta kun hankkeen pääsuunnitteluvaihe on saatu päätökseen. Pääurakoitsijan tarjouksessa tulee ottaa huomioon vastuut rakennustöiden hallinnasta sekä siitä aiheutunut työ ja kustannukset.

Koska kokonaisurakkamallisessa hankkeessa suunnitelmat ovat valmiita, on niissä jo huomioitu pääosin hankkeen toteutusratkaisut, jolloin urakoitsija ei kilpaile tarjousvaiheessa kuin hankintojen ja työsuoritusten kustannuksilla. Toisaalta, jos suunnitelmat sisältävät tarjousvaiheessa paljon ristiriitaisuuksia tai ne ovat keskeneräisiä, tulee urakoitsijan sisällyttää tarjoukseensa suurempi riskivaara. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 16.)

Kokonaisurakoissa korostuu ennen kaikkea tilaajan ratkaisut ja hankkeen urakoitsijalle jäävä kokonaisvastuu toteutuksen suhteen. Kokonaisurakassa vastualueet ja täten virhevastuu sekä sopimukset ovat selkeitä ja hankkeen hallinnointi on helppoa. Toisaalta kokonaisurakoiden hankeaika on pitkä ja kokonaisurakkamuotoisessa hankkeessa projektin käynnistyminen on yleensä myös hidasta. Toisella hankemuodolla tilaajan olisi mahdollista saada aikasäästöjä verrattuna kokonaisurakkaan. Urakoitsijan kannalta kokonaisurakka on helppo toteutusmuoto, sillä suunnitelmien tulisi olla tarjouslaskentavaiheessa valmiita ja täten virhevastuu suunnitelmista kaatuu yleensä tilaajalle. Toisaalta urakoitsija ei pysty laskentavaiheessa kilpailemaan hankkeen suunnitteluratkaisuilla. Sitomalla lasketut määrät tilaajan luovuttaman tietomallin määriin, voi urakoitsija tarvittaessa kuitenkin kehittää ja esittää tarjousvaiheessa taloudellisempia suunnitelmavaihtoehtoja.

Suunnittelun ja rakentamisen yhdistämisellä on vaikutusta hankkeen riskien jakautumiseen tilaajan ja toteuttajan välillä ja hankkeen kustannushallintaan. Suunnittele ja toteuta -hankkeen hyötynä pidetäänkin hankkeen yhdistämisen kokonaisedullisuutta. Tilaajan osalta riskiksi jää suunnittelun lähtötietojen ja ohjeistuksen sisältö ja onnistunut kilpailuttaminen, kun pääurakoitsija vastaa rakentamisen ohella myös suunnittelusta. (Rakennushankkeen kustannushallinta 2018, 14-15.)

ST-hankkeen tarjouksessa on mahdollista säästää myös suunnitelmien kustannuksissa ja urakoitsija pystyy hyödyntämään laajasti kokemustaan vastaavista hankkeista. Myös ST-urakassa vastuualueet ovat selkeitä ja urakoitsijalla on kokonaisurakkaan verrattuna suurempi vastuu. ST-urakka on toimiva urakkamuoto, mutta se vaatii yleensä urakoitsijalta kokemusta vastaavista hankkeista eikä se ole verrattain kovinkaan suosittu urakkamuoto infrarakentamisessa. Infra-alalla ST-urakkamuodon ongelmana ovat yleensä hankkeet, jotka vaativat suurempia maa-alueita verrattuna esimerkiksi talorakentamiseen. Rakenteiden sijainti on yleensä tällaisilla alueilla tarkasti määritetty eikä niitä voida rakennusteknisesti toteuttaa eri tavoilla, jolloin hankkeen suunnitteluratkaisuja ei ole taroituksenmukaista kilpailuttaa.

Vaikka toisaalta ST-urakassa toteuttajalla on kokonaisurakkaan verrattain suuremmat mahdollisuudet, ovat myös riskit suuremmat ja taloudellinen riski tulisi huomioida jo tarjousvaiheessa. Toisaalta ST-urakkamuoto vaatii toteuttajalta paljon kokemusta vastaavista hankkeista, jolloin urakkamuoto voi karsia tarjouslaskentakilpailusta pienempiä toimijoita pois. Tämä osaltaan voi näkyä urakatarjouksien hinnoissa, sillä hanketta ei lähtökohtaisesti tarjota pienemmällä riskivarauksilla. Riskien konkretisoitumatta jääminen voi toisaalta johtaa suurempaan taloudelliseen hyötyyn kuin kokonaisurakassa, jotka lähtökohtaisesti lasketaan pienemmällä riskivarauksella.

ST-hanke tuo tarjouslaskentaan erilaisia haasteita ja huomioitavia asioita. Urakoitsijalta odotetaan ST-hankkeessa kokonaisurakkamuotoista hanketta enemmän kokemusta aikaisemmista samankaltaisista hankkeista, sillä liian varovaisella hinnoitettulla hankkeen tarjoushinta on verrattain liian suuri, mutta toisaalta liian alhaiset riskivaraukset ja laskennassa tapahtuvat virheet voivat johtaa katelityksiin hankkeen toteutuksessa. ST-urakan laskennassa tulisi huomioida hankkeen suunnittelutyön aikataulut ja suunnittelusta johtuvien kulujen hinnoittelu. Toisaalta tarkkojen suunnitelmien puuttuminen hankaloittaa hankkeen laskentaa ja arvio tulevista rakenteista tulee tehdä laskentahenkilöstön kokemuksen perusteella. Tällöin myös tietomallipohjainen laskenta on vaikeaa tai mahdotonta suorittaa.

Vaikka urakoitsija vastaa ST-urakan suunnittelusta, lähtötietojen oikeellisuus ja luotettavuus ovat tilaajan vastuulla. Urakoitsija tarvitseekin laskettavasta hankkeesta riittävät lähtötiedot, jotta laskenta ja suunnittelu voidaan suorittaa. Joskus lähtötiedot voivat olla kuitenkin puutteellisia luotettavien ja hankkeen kannalta sopivien suunnitelmien ja laskelmien tekemiseen. Destia Oy toteutti vuonna 2022-2023 Suomussalmen Pesiökylään uuden raakapuuterminaalin (kuvio 22.), joka toteutettiin sisäisenä yhteistyönä Destia Rail Oy:n kanssa ST-hankkeena. Hankkeen yhteydessä uusittiin myös Pesiökylän liikennepaikka.



Kuvio 22. Pesiökylän terminaalintuontaa

Hankkeen lähtötietoaineistot olivat puutteellisia koskien erityisesti maaperätutkimuksia. Hanke sijaitsee maaperäolosuhteiltaan haastavalla alueella ja lähtötietoihin kuului vain muutamia maaperätutkimustuloksia. Uudet maaperätutkimukset myöhästyivät ja toisaalta ne myös osoittivat, että poistettavaa turvetta oli alkuperäisesti suunniteltua selvästi syvemmillä ja muiden leikattavien penger materiaalien laatu oli huonoa. Tämä osaltaan viivästytti ja hankaloitti hankkeen toteutusta ja johti suunnitelmamuutoksiin.

Yhteistoiminta- ja allianssihankeissa taustalla on ajatus eri osapuolien osaamisen ja asiantuntemuksen hyödyntämisestä riittävän aikaisessa vaiheessa ja

yhteistyön tiivistämisestä hankkeen aikana. Allianssimallissa projektin eri osapuolet muodostavat projektiorganisaation, joka vastaa hankkeen suunnittelusta, ja rakentamisesta. Näin hankkeen osapuolet jakavat keskenään projektin voitot ja tappiot ja kunkin osapuolen menestys on riippuvainen koko projektin menestyksestä. (Rakennushankkeen kustannushallinta , 15-16.)

Allianssimallisessa hankkeessa pyritään vähentämään perinteisten hankkeiden sitovia suunnitteluratkaisuja ja osapuolten erillisyyttä, sillä ne heikentävät hankkeen kehittämismahdollisuuksia. Myös hankkeen eri osapuolten osaamista pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti osallistamalla hankeosapuo- lia aikaisemmassa vaiheessa hanketta. Vaikka toisaalta hankeosapuolilla on esimerkiksi kokonaisurakkamallia suuremmat vaikutusmahdollisuudet hankkeen suunnitteluratkaisuihin, voivat sitomattomat suunnitteluratkaisut aiheutua hankkeen toteutuksen kannalta myös ongelmaksi. Hankkeen suunnitelmat eivät ole sitovia ja suunnitteluratkaisut ja niiden vaatimukset voivat muuttua kesken toteutusvaiheen, jolloin urakoitsijan voi olla vaikea mitoittaa suunnitteluratkaisujen kuluja tarjousvaiheessa.

Urakkamuoto huomioidaan hankkeen tarjouslaskentavaiheessa, sillä se määrittelee esimerkiksi hankkeen vastuiden ja velvoitteiden jakaantumisen. Se määrittelee myös muun muassa hankkeen virhevastuut hankkeen määrä- ja kustannusylitysten sattuessa, mikä vaikuttaa hankkeen tarjousvaiheessa tehtävien riskivarausten tekemiseen. Kokonaisurakassa vastuu hankkeen suunnittelusta ja johtamisesta on selkeimmin tilaajalla, kun taas urakoitsija vastaa hankkeen toteutuksesta. Muissa hankemuodoissa vastuuta on pyritty siirtämään urakoitsijalle, mikä osaltaan vaatii urakoitsijalta kokemusta vastaavista hankkeista, mutta vaikuttaa hankkeen kilpailutukseen urakoitsijan pystyessä vaikuttamaan myös muun muassa suunnittelukustannuksiin. Suunnitelmien puuttuessa, voi kuitenkin laskenta olla vaikeaa ja tarjoushinnan laskeminen perustuu laskenta- henkilöstön kokemukseen ja mahdollisiin vertailuhankkeisiin. Tämän vuoksi muun muassa jälkilaskenta ja aikaisempien hankkeiden hyödyntäminen vertailuhankkeina on tärkeää.

#### 6.4 Hankkeen lähtötiedot

Hankkeen tarjouspyyntöasiakirjoissa toimitettavilla lähtötiedoilla on merkittävä vaikutus hankkeen laskentaan ja tarjousvaiheen riskivaraukseen. Tämän työn esimerkkihankkeilla lähtötiedot tulivat mallimuotoisina, jolloin tietomallipohjainen toteutus voitiin aloittaa jo hankkeen alkuvaiheessa. Aineistot olivat erityisesti Vartiuksen hankkeen osalta monipuolisia ja kattavia, jolloin määrälaskenta oli helppo suorittaa ja se voitiin toteuttaa tarkasti. Massat olivat tällöin myös helpommin ennustettavissa ja suurilta virheiltä menekkiarvioissa pystyttiin välttymään.

Hyvät lähtötiedot antavat vankan pohjan hankkeen laskentaan ja helpottavat hankkeen ennustettavuutta ja toteutuksessa voidaan välttyä yleensä suuremmilta yllätyksiltä. Vajavaiset lähtötiedot lisäävät hankkeen laskennassa tapahtuvaa riskiä ja hankkeen riskivaraus kasvaa. Suuret toteutusvaiheen muutokset suhteessa tarjousvaiheen suunnitelmaan voivat aiheuttaa merkittäviä taloudellisia haittoja hankkeen talouden kannalta.

Vartiuksen tarjouspyyntöaineiston mukana toimitettiin kattava mallipohjainen aineisto, jonka pohjalta hanke oli pääosin hyvin arvioitavissa. Hankkeeseen kuului turvemassanvaihto, johon liittyvä suunniteltu kaivussyvyys oli suuntaa antava ja kaivuu tehtiin lopulta suunniteltua syvemmältä. Suunnitelmien ollessa suuntaa antavia, voitiin suunniteltua suurempaan leikkuuseen varautua.

Hyvät lähtötiedot helpottavat myös alustavien töiden suunnittelua jo tarjousvaiheessa, jolloin näistä töistä johtuvat kustannukset voidaan huomioida jo hankkeen tarjousvaiheessa. Tietomallipohjaisista tarjouslaskenta-aineistoista saadaan suoraan myös määräluettelot, joista määrälaskenta on helppo suorittaa. Tarjoukset ovat tällöin myös vertailukelpoisempia keskenään. Tarjousvaiheen tarkoista määristä hyödytään myös työnaikaisessa määrälaskennassa ja jälkilaskennassa, sillä tällöin voidaan vertailla suunniteltuja ja toteutuneita massoja, mikä helpottaa seuraavien hankkeiden laskennassa. Lisäksi tarjouspyyntöasiakirjoissa toimitettavat valmiit suunnitelmamallit vähentävät mallintamiseen tarvit-

tavia resursseja ja mallit ovat usein jalostettavissa toteutusvaiheessa hyödynnettäviksi toteutusmalleiksi.

Usein hankkeiden tarjouslaskentavaiheen mallipohjaisen määrälaskennan haasteena on saada tarjousvaiheessa kattava malliaineisto laskennan käyttöön. Malliaineisto saatetaan myös toimittaa vasta tarjouksen viimeisissä lisäkirjeissä ja sen hyödyntämisessä ja määrien laskennassa tulee kiire. Ongelmaksi tällaisessa tilanteessa voi osoittautua myös resurssien saatavuus, sillä laskentaan tulee tällöin saada laskennasta vastaava henkilö kiireellisellä aikataululla.

Väyläpuolella ongelmana ovat toisaalta myös tarkat määräluettelot, joiden määrät eivät ole kuitenkaan sitovia. Hankkeen toteutuksessa voi tulla määräluetteleihin nähden ylityksiä, joiden yhteydessä virhevastuun jako voi olla epäselvää.

## 6.5 Hankkeen koko

Yksi mallipohjaisen määrälaskennan merkittävyyteen vaikuttava tekijä on laskettavan hankkeen koko. Vaikka sekä pienillä että suurilla hankkeilla mallipohjaisuudesta on hyötyä, korostuvat mallipohjaisen laskennan hyödyt erityisesti suurien hankkeiden kohdalla.

Pienempiä ratahankkeita on helpompaa hallita ilman tietomallin apua määrälaskennassa, mutta suurissa hankkeissa kokonaisuutta voi olla hankala hallita ja riski laskennan virheisiin on suuri. Laskennan virheistä syntyvät kustannushaitat ovat myös suurissa hankkeissa suurempia kuin pienissä. Suurissa hankkeissa suoritetaan myös välitarkastuksia, mikä osaltaan helpottuu, kun kustannuslaskennan prosessi on toteutettu mallipohjaisesti. Mallipohjaisen kustannuslaskennan ansiosta myös laskennat ovat on vertailukelpoisempia.

Suurissa hankkeissa mallipohjaiseen määrälaskentaan panostamiseen kuluvat resurssit ovat usein määrälaskennasta saatuihin hyötyihin nähden pieniä, jolloin tietomallipohjaisen kustannuslaskennan prosessi otetaan pienemmällä kynnyksellä käyttöön aikaisessa vaiheessa. Näin ei kuitenkaan ole aina pienillä hank-

keilla, joilla resurssit ja aikataulut voivat olla tiukkoja. Suuret hankkeet suoritetaan pääasiassa aina tietomallipohjaisesti, jolloin laskentavaiheessa tuotetut mallit voidaan hyödyntää eteenpäin toteutus- ja koneohjausmalleiksi.

Suuret hankkeet sisältävät usein paljon erilaisia tekniikkalajeja ja erilaisia laskettavia aineistoja. Virheen mahdollisuus on tällöin suuri ja sitä voidaan pienentää tietomallipohjaisen määrälaskennan avulla ja laskenta on usein selkeämpää. Pienillä hankkeilla tekniikkalajeja on usein vähemmän ja aineistot ovat helpommin hallittavissa ilman tietomallipohjaisen toiminnan työkaluja.

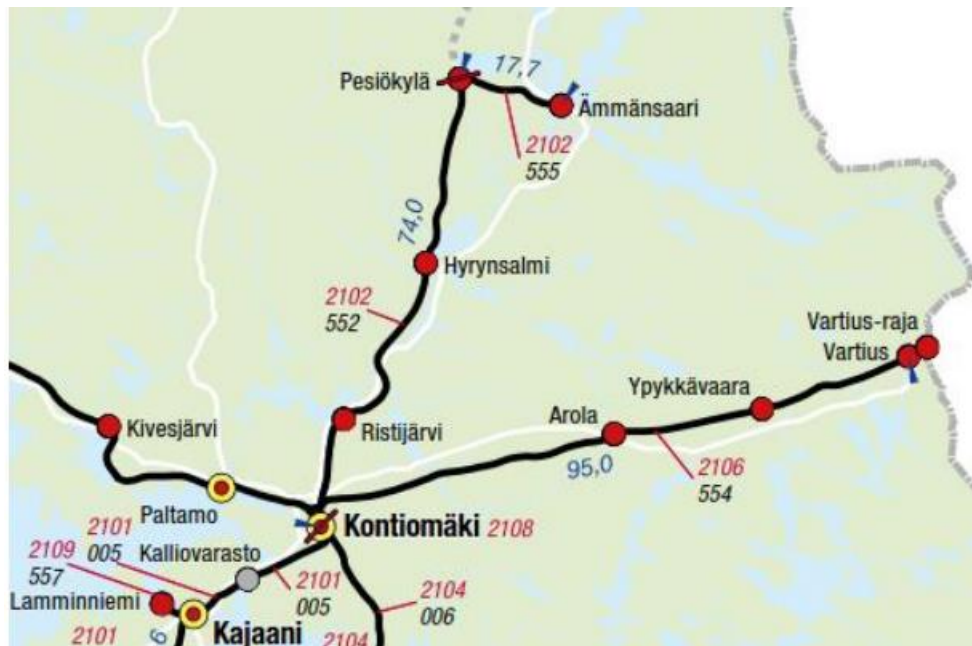
## 6.6 Hankkeen sijainti

Hankkeen mallipohjaisen määrälaskennan hyötyihin vaikuttaa myös muun muassa hankkeen sijainti. Maantieteellinen sijainti vaikuttaa paljon esimerkiksi paikallisiin hintoihin ja erityisesti kuljetusmatkoihin. Opinnäytetyön esimerkkihankkeen sijaitsevat Kainuussa lähellä Venäjän rajaa, josta lähimmät kaupungit ovat Kuhmo ja Kajaani, minkä lisäksi lähellä sijaitsevat Suomussalmi ja Paltamon kuntaan kuuluva Kontiomäki. Etäisyyttä Vartiuksesta Kuhmoon tulee noin 45 kilometriä, Kajaaniin 120 kilometriä, Suomussalmelle 80 kilometriä ja Kontiomäkeen noin 100 kilometriä. Ypykkävaarasta Kuhmoon matkaa tulee noin 55 kilometriä, Kajaaniin noin 105 kilometriä, Suomussalmelle 70 kilometriä ja Kontiomäkeen 85 kilometriä.

Hankkeen sijainnin takia massat tuli laskea tarkasti, sillä kuljetusmatkat olivat pitkiä ja esimerkiksi katkon aikana massojen loppuminen olisi voinut viivästyttää katkoa, mistä olisi voinut seurata merkittäviä taloudellisia haittoja. Erityisesti Vartiuksen vuoden 2020 liikennekatkot olivat aikataulullisesti tiukkoja ja maaleikkaukset merkittäviä.

Kuljetusmatkojen merkitys korostuu erityisesti linjahankkeilla, joiden logistinen suunnittelu eroaa muutenkin merkittävästi liikennepaikkahankkeen suunnittelusta. Vuonna 2022 toteutettiin Kontiomäki-Pesiökylä päällysrakenteen vaihto (myöhemmin Kontiomäki-Pesiökylä PRU2), jossa vaihdettiin noin kuusikym-

mentä kilometriä radan päällysrakennetta (kuviossa 23 rataosa 2102), minkä lisäksi suoritettiin Hyrynsalmen liikennepaikan vaihteiden ja päällysrakenteen vaihto sekä asennettiin rumpuja.



Kuvio 23. Kontiomäki-Pesiökylä rata (Valtion rataverkko 1.1.2021)

Hankkeella kuljetusmatkat olivat pitkiä ja läjitysalueiden suunnittelu oli hyvin erilaista, kuin liikennepaikkaurakalla, jossa läjitys- ja maanottoalueet voivat olla koko urakan ajan samalla paikalla. Kontiomäki-Pesiökylä PRU2 kaltaisella pitkällä linjahankkeella massat tulee pystyä arvioimaan niin tarkasti, että läjitysalueet voidaan sijoittaa ja mitoittaa järkevästi. Raidesepeliä tulee olla saatavilla tasaisin välimatkoin, jotta sepelikaluston ei tarvitse hakea tavaraa tarpeettoman kaukaa, mikä viivästyttää raiteen sepelöintiä ja tukemista, joiden aikataulu on linjahankkeen kaltaisella urakalla valmiiksi hyvin tiukka.

Kainuun ympäristössä myös huoltotiet ovat rajallisia, jolloin maanottopaikat tulee suunnitella tarkasti, jotta esimerkiksi katkon aikana ei jouduta tuomaan tavaraa lisää. Kontiomäki-Pesiökylä PRU2 täyttömaa jaettiin ottopaikoille junalla ennen varsinaisen päällysrakenteenvaihdon alkua, jolloin hankkeen tarkat mas-



sat tuli olla tiedossa jo alustavien töiden aikana. Huoltoteiden rajallisuus luo vaikeuksia teitä pitkin kuljetettavan maa-aineksen tuomiseen, millä voi olla suuri merkitys esimerkiksi katkon aikataulun kannalta.

Toisaalta määrien tarkka arviointi helpottaa huoltoteiden kantavuuden arvioinnissa ja mahdollisiin ongelmiin ennakoinnissa. Huoltoteitä pystyttiin aikaisessa vaiheessa tarpeen mukaan vahvistamaan, kun niillä kulkevat määrät olivat alustavien töiden aikaan mahdollisimman tarkasti tiedossa.

Maantieteellinen sijainti vaikuttaa myös alueen maaperäolosuhteisiin, jotka voivat vaikuttaa merkittävästi maaleikkauksiin. Vartiuksessa suoritettiin massiiviset maaleikkaukset, minkä lisäksi uuden ratapenkan alueelle suoritettiin turvemassanvaihto, joka toteutettiin alkuperäistä suunnitelmaa syvemmältä. Maaperäolosuhteiden merkitys korostui toisella Destian toteuttamalla hankkeella, jota käsiteltiin luvussa 6.3.

## 6.7 Hankkeen luonne

Tässä opinnäytetyössä on käsitelty kahta liikennepaikkahanketta ja sivuttu yhtä linjahanketta. Tässä yhteydessä liikennepaikkahankkeena käsitellään urakkaa, jonka työt sijoittuvat liikennepaikalle. Linjahankkeena käsitellään hanketta, jonka työt sijoittuvat pääasiassa liikennepaikkojen väliselle alueelle ja maatyöt kohdistuvat pääosin radan päällysrakenteeseen. Hankkeet eroavat toteutukseltaan ja työsuunnittelultaan paljon toisistaan. Kuten aiemmassa luvussa todettiin, hankkeen luonne vaikuttaa myös tarkan määrälaskennan tarpeellisuuteen, vaikkakin tarkka määrälaskenta hyödyttää kaikenlaisia hankkeita hankkeen luonteesta riippumatta.

Kontiomäki-Pesiökylä PRU2 hankkeen rummunvaihoissa täyttömaata jouduttiin tuomaan kiskopyöräkaivinkoneen ja koneen apuvaunun, rillukan, avulla linjalle. Joskus matkaa lähimmältä maanottoalueelta oli jopa useampia kilometrejä, jolloin massiivisen rumpukaivannon täyttämiseen kului paljon aikaa, jolloin

täyttömaan arvioinnissa tapahtuva virhe olisi voinut johtaa katkon myöhästymiseen.

Erityisesti pitkällä linjaurakalla mallit tuovat paljon hyötyjä sen ehkäistessä ylikaivuuta. Vaikka muutamien senttien ylikaivuu voi tuntua merkityksettömältä, on pitkällä linjaurakalla muutamien senttien ylikaivuista suuria taloudellisia haittoja. Yli- ja alikaivuu aiheuttavat ylimääräistä maan siirtoa ja toisaalta täyttömaan ylimääräistä kulutusta, kun otetaan ylimääräistä valmiiksi tiivistynyttä maata pois. Radassa voi syntyä myöhemmässä vaiheessa myös painumaa, mikä aiheuttaa laadullisia ongelmia ja lisätuennan tarvetta. Laatupoikkeamia syntyy myös rakennekerrosten jäädessä liian ohuiksi, mikä johtaa osaltaan mainehaittaan.

Merkittävä taloudellinen haitta syntyy esimerkiksi välikerroksen yläpinnan jäädessä liian ohueksi, jolloin raiteen tukikerroksesta tulee suunniteltua paksumpi. Raiteen tukikerros rakennetaan raidesepelistä, joka on radalla käytettävistä maa-aineista kalleinta. Kontiomäki-Pesiökylä PRU2 kaltaisella pitkällä urakalla esimerkiksi välikerroksen jäädessä viisi senttimetriä alle suunnitellun, mikä käytännössä täyttää vielä välikerroksen toleranssin, kuluisi raidesepeliä karkeasti 1260 m<sup>3</sup> ylimääräistä.

Toisaalta linjahankkeessa rata rakennetaan suoraan välikerroksen päälle ilman tukikerrosta ja sepeli lisätään vasta radan rakentamisen ja tuennan yhteydessä, voi jo 5 senttimetrin ero välikerroksen korkeudessa lisätä uuden tuennan, joka osaltaan lisää tuennasta ja sepelöinnistä aiheutuvia kuluja. Aikataulut hankkeilla ovat tiukkoja, joten ylimääräisen tuennan tai tuennan viivästymisen takia muut työvaiheet voivat jäädä jälkeen ja niistä aiheutua lisäkuluja. Tuentojen viivästyminen viivästyttää osaltaan muun muassa kiskojen hitsaamista. Toisaalta radan ylimääräinen tuenta voi myös huonontaa radan laatua ja radassa voi paikoin esiintyä enemmän painumaa.

Liikennepaikoilla on usein useita erilaisia ja joskus päällekkäisiä ja risteäviä elementtejä, ja mallit helpottavat työsuunnittelua niiden mahdollistaessa erilaiset törmäystarkastelut. Liikennepaikoilla leikkuut ovat usein myös erilaisia ja sy-

vempiä kuin linjahankkeilla, joissa kaivuu yleensä sijoittuu vain päällysrakenteseen.

Tietomalli antaa työkalut myös työn edistymisen ja valmiusasteen tarkastelun, mikä on hyödyksi erityisesti liikennepaikkahankkeella. Työn valmiusasteen ja edistymisen tarkastelu auttavat riskianalyyseissa ja niistä voidaan saada osaltaan referenssitietoja myöhempään tarjouslaskentaan. Yksi valmiusasteen tarkastelusta saatava tieto on kaivinkoneiden työskentelynopeudet, joka voi helpottaa tulevien hankkeiden laskennassa. Toisaalta työskentelynopeuksien ja valmiusasteen tarkkailulla voidaan myös kehittää nopeampia työtapoja, josta voi olla suurta etua myös myöhemmässä tarjouslaskennassa.

## 6.8 Hankkeiden riskit

Rakennushankkeen riskit tulee havaita ja tunnistaa jo tarjouslaskennassa mahdollisimman kattavasti, jotta niihin ja niistä aiheutuviin kuluihin pystytään reagoimaan tarpeeksi varhaisessa vaiheessa. Myös turvallisuusriskit tulee tunnistaa tarjouslaskentavaiheessa, sillä niiden ennaltaehkäisyyn ja erityisesti toteutumiseen määräytyy aina jokin hinta. Turvallisuustekijät tulee huomioida työsuunnittelussa, jotta työ voidaan suunnitella ja hinnoitella niin, että se toteutetaan mahdollisimman turvallisella, mutta tehokkaalla tavalla.

Rakennustyömaalla on tunnistettavissa monenlaisia riskejä, joista voi koitua henkilövahinkoja tai merkittävää kustannushaittaa. Kyseiseltä hankkeelta on tunnistettavissa riskitekijöinä muun muassa työmaan sijainti liikennöidyllä ratapihalla, mikä hankaloitti töiden järjestelyä. RSU:n sisäpuolella ei saa työskennellä ilman turvamiestä ja joissain työvaiheissa tulee turvautua ratatyömenettelyyn. Tällaisia työvaiheita ovat esimerkiksi työt, jotka vaativat kiskoilla liikkuvaa kiskopyöräkaivinkonetta tai muuta koneella tehtävää työtä, jossa koneen puomin ulottuma on RSU:n sisällä. Liikennepaikka oli hankkeen aikana päivisin liikennöity, mikä aiheutti sen, että monet työkonetta vaativat työt tuli tehdä öisin. Yöaikaan työskentelystä aiheutuu osaltaan omia turvallisuuden kannalta merkittäviä riskejä.

Ratatyöalueella aiheutuu riskejä myös koneen alle jääntiin. Esimerkiksi kaivutyöissä koneen apumies tai esimerkiksi mittausvastaava voi olla vaarassa jäädä koneen alle esimerkiksi koneen kaatuessa tai henkilön jäädessä koneen kuoleeseen kulmaan. Koneohjausjärjestelmä irrottaa mittausvastaavan kaivutyöstä, mikä voi vähentää työmaan henkilövahinkoja. Koneohjausjärjestelmä myös mahdollistaa hankalien paikkojen kaivutyöt ilman mittausvastaavaa. Kyseisellä hankkeella esimerkiksi turvemassanvaihdossa leikkaus oli niin suuri, että mittausvastaavan olisi ollut vaarallista mennä kaivuuseen. Leikkaus suoritettiin mallipohjaisesti, mikä irrotti mittausvastaavan kaivutyöstä ja konekuski pystyi ottamaan myös toteumat suoraan kaivinkoneen mittalaitteiden avulla. Vaikeita kaivuita olivat myös ahtaat ja syvät sähköratapylväasperustuskaivannot, joiden kaivuussa koneohjausjärjestelmästä oli merkittävää hyötyä aikataulun ja työturvallisuuden kannalta.

Työkoneella työskentely voi aiheuttaa myös kustannushaittoja. Työkoneautomaatio voi vähentää riskiä esimerkiksi kaapeleiden ja putkien tahattomaan ylös kaivuuseen. Myös mittapisteverkon lisääminen koneiden varoituskarttoihin (kuvio 24) vähentää turhia uuden kiintopisteverkon rakentamisesta aiheutuvia kuluja.



Kuvio 24. Esimerkki kiintopisteen lisäämisestä varoituskarttaan

Tietomallipohjainen määrälaskenta mahdollistaa kaivu- ja täyttömäärien tarkan arvioinnin, mikä osaltaan helpottaa logistiikan suunnittelua. Täyttömäärien väärästä arvioinnista voi syntyä suurta kustannushaittaa, kun esimerkiksi liikennekatkon aikana täyttömaa loppuu kesken. Vartiuksen liikennepaikan parannustöiden kaltaisella hankkeella lisääminen voi johtaa pahimmillaan myös merkittävään maanajon välimatkan kasvuun, mikä osaltaan johtaa sekä suurempiin maanajokuluihin kuin myös hidastaa maanajoa. Suuremmalla maanajomäärällä ajossa tulisi olla useampia autoja, jotta maa liikkuisi mahdollisimman tehokkaasti suhteessa maan leikkuuseen ja täyttöön. Lisäkuluja syntyy muun muassa aikatauluhaitasta, jos ajossa olevien autojen määrä on laskettu toteutunutta pienemmällä massamäärällä. Ratatyömaalla aikatauluhaitta voi olla myös katkon aikataulun kannalta kriittinen ja johtaa liikennekatkon viivästymiseen, josta syntyvät taloudelliset haitat ovat merkittäviä.

Vaikka tietomallipohjainen laskenta ja toteutus tuovat paljon hyötyjä hankkeen kannalta, vie tietomallipohjaisuus osaltaan myös resursseja. Työnaikainen määrä seuranta ja työkalujen hyödyntäminen sitoo yleensä henkilöstöä ja vaativat vaivannäköä. Ratatyömaalla tietomallipohjaisuudesta vastaa yleensä hankkeen mittausvastaava yhdessä mittauspäällikön kanssa. Työmaalla mittausvastaava vastaa kuitenkin myös hankkeen muista mittauksista ja työtä on usein paljon tarvittuun aikaan nähden, mikä aiheuttaa myös resurssien vähyyttä. Tämä aiheuttaa usein sen, että tietomallipohjaisuudesta ei saada kaikkea hyötyä irti tai hankkeen muut mittaukset jäävät suorittamatta tai myöhästyvät. Tällöin manuaalinen toteutus voi osoittautua toimivammaksi ratkaisuksi.

## 7 POHDINNAT

Mallipohjaisuus on infrarakentamisen nykypäivä ja tulevaisuus. Rautatierakentamisessa on tultu pitkälle ajoista, jolloin topparoikat kulkivat resiina allaan kiskoilla ja työt tehtiin manuaalisesti lihasvoimalla. Nykypäivän ratatyömaalla telalustainen kaivinkone vetää välikerroksen yläkerroksen malliavusteisesti ja lisäksi mittaa toteumatiedot suoraan kaivinkoneen mittalaitteilla. Tietomalli mahdollistaa työsuunnittelun ja aikataulutuksen muun muassa visuaalisuutensa ja yhdistettävyytensä avulla.

Tarjouslaskennan kannalta tietomalli avaa monenlaisia ovia ja laskenta on ennen kaikkea luotettavampaa ja selkeämpää kuin manuaalisessa suunnitelmapiirustusten perusteella mittaamisessa ja laskennassa. Karkeasta arvioihin perustuvasta laskennasta siirtyminen tietomallipohjaiseen laskentaa, tekee tuloksista luotettavampia ja keskenään vertailukelpoisempia. Tietomalli mahdollistaa myös työn automatisoinnin, joka vapauttaa laskentaan tarvittavia resursseja. Tietomallinnus myös nopeuttaa tiettyjä prosesseja, mutta toisaalta myös sitoo resursseja eikä yksiselitteisesti ratkaise kaikkia määrälaskennan ongelmia. Toisaalta tietomallinnus voi myös jossain tapauksissa sitoa enemmän resursseja kuin vapauttaa niitä.

Työssä tarjouslaskennan kannalta merkittävimiksi urakkakohtaisiksi ominaisuuksiksi nimettiin hankkeen lähtötiedot, toteutusmuoto, koko, sijainti ja luonne. Nämä seikat tulee huomioida tarjouslaskentavaiheessa myös tutkittaessa tietomallipohjaisen laskennan tarpeellisuutta. Seikat keskustelevat myös keskenään: esimerkiksi toteutusmuodolla ja lähtötietojen laadulla on selvä yhteys keskenään.

Opinnäytetyössä perehdyttiin monipuolisesti tietomallipohjaiseen kustannuslaskentaan ja yleisesti tietomallien hyötyihin infrahankkeen suunnittelussa ja toteutuksessa. Tutkimustietoa ratahankkeiden osalta on suhteessa vähän, joten lähtötiedot pohjautuivat pitkälti väylähankkeisiin ja työssä sovellettiin talotekniikan lähdeaineistoja siinä määrin, kuin se oli mahdollista. Tutkimustyötä ratahankkeiden osalta kaivataan, sillä hankkeet eroavat monin tavoin muista väylähank-

keista ja sisältävät omia erityispiirteitään, jotka tulisi ottaa huomioon määrälaskennassa.

Opinnäytetyön tekeminen oli opettavainen ja haastava prosessi. Erityisen haastavaksi osoittautui työn aikatauluttaminen ja aikataulu venyi reilusti alkuperäisestä suunnitelmasta. Opinnäytetyö tuki massa- ja tarjouslaskentaan tutustumista ja kasvatti ymmärrystäni mallipohjaiseen toimintaan yleensä.

Työn painopiste muuttui opinnäytetyöprosessi aikana monta kertaa ja työn rajaaminen jäi aloitusvaiheessa tekemättä kunnolla, mikä hankaloitti työn tekemistä huomattavasti. Opinnäytetyö lähti helposti rönsyilemään ja tutkittava alue tuntui usein jopa hallitsemattomalta.

Kirjoitusprosessi pohdinnan osalta oli mielekästä, sillä pääsin soveltamaan omaa työkokemuksen pohjalta karttunutta tietotaitoa. Toisaalta opinnäytetyön esimerkkihankkeita oli helppo käsitellä, sillä olin itse toiminut vuosina 2020 ja 2021 hankkeilla insinööriharjoittelijana ja vuonna 2021 erityisesti Vartiuksessa pääasiallisena mittaajana. Myös Kontiomäki-Pesiökylä PRU2 hanketta oli helppo käsitellä, sillä olin itse toiminut hankkeella lähes koko päällysrakenteenvaihdon ajan.

Vaikka tietotaitoni tarjouslaskennan osalta oli kirjoitusprosessin alussa vähäistä ja kirjoitustyön aloittaminen tuntui todella hankalalta, pystyin hyödyntämään mielestäni monipuolisesti mallipohjaisen toiminnan osalta tietotaitoani. Mallipohjaisesta toiminnasta löytyy myös infrapuolen osalta nykyään kattavasti ohjeistuksia ja tutkimuksia, joita pystyin yhdistämään omaan työn kautta kerrytettyyn osaamiseeni.

Kirjoitusprosessin loppuvaiheessa Destia Railin työpäällikkö ehdotti, että työssä voisi käsitellä myös mittausdatan hyödyntämistä tulevien hankkeiden tarjouslaskennassa. Tiukan aikataulun vuoksi tämän aiheen käsittely jäi kuitenkin pinta-puoliseksi ja jätti osaltaan tilaa jatkotutkimukselle. Toisaalta aihe olisi ollut mielekäs ja helposti lähestyttävä toimittuani kolme vuotta yrityksessä mittaajana. Mittausdatan hyödyntämisen kehittäminen olisi tärkeää, sillä sen kautta saataisiin monenlaista informaatiota esimerkiksi kaivinkoneiden työskentelyno-

peuksista. Toisaalta tarkastelun kautta myös voitaisiin tehostaa joitakin työvaiheita.

Kaiken kaikkiaan tietomallipohjainen toiminta ja laskenta on vielä kehityksen alla infra-alalla ja erityisesti ratapuolella kehitystyötä tehdään jatkuvasti. Tietomallipohjaisuus ei yksiselitteisesti ratkaise kaikkia hankkeiden ongelmia ja jokaisella hankkeella on omat erityispiirteensä, jotka vaikuttavat myös hankkeen tietomallipohjaisuuteen. Tietomalli kuitenkin ennen kaikkea selkeyttää niin suunnittelua kuin toteutustakin ja toisaalta mallipohjaisuutta kehittämällä voitaisiin monia työvaiheita tehostaa tai automatisoida kokonaan. Tietomalli onkin ennen kaikkea oiva työkalu rakentamiseen – tällaisena sitä pitäisi myös hyödyntää.



## LÄHTEET

Destia. Tietoa meistä. Viitattu 4.11.2023 <https://www.destia.fi/tietoa-meista/>.

Kallio, K. 2022. Ratajätäkät — Rautatienrakentajien kokemukset 1857-1939. Helsinki: SKS Kirjat. E-kirja. Viitattu 3.11.2023.

Logistiikan maailma 2023 a. Rautatiekuljetus. Viitattu 4.11.2023  
<https://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/rautatiekuljetus/>.

Logistiikan maailma 2023 b. Rautatiekuljetusten tulevaisuudennäkymät. Viitattu 4.11.2023  
<https://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/rautatiekuljetus/tulevaisuudennakymat/>.

Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO). Ohje 40/2022. Helsinki: Väylävirasto. Väylävirasto. Viitattu 4.11.2023  
[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2022-40\\_TURO.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-40_TURO.pdf).

Rakennushankkeen kustannushallinta 2018. Rakennustuotanto-kirjasarja. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 1. Yleiset perusteet. Ohje 31/2018. Helsinki: Liikennevirasto. Väylävirasto. Viitattu 4.11.2023  
[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2018-31\\_rato1\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-31_rato1_web.pdf).

Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 11. Radan päällysrakenne. Ohje 29/2021. Helsinki: Väylävirasto. Väylävirasto. Viitattu 4.11.2023  
[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2021-29\\_rato11\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2021-29_rato11_web.pdf).

Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3. Radan rakenne. Ohje 13/2018. Helsinki: Liikennevirasto. Väylävirasto. Viitattu 4.11.2023  
[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2018-13\\_rato3\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-13_rato3_web.pdf).

Ratayhteyden Ylivieska-Kontiomäki-Vartius kehittäminen. Liikenneviraston suunnitelmia 3/2016. Helsinki: Liikennevirasto. Liikennevirasto. Viitattu 4.11.2023 [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/125290/ls\\_2016-03\\_ratayhteyden\\_ylivieska\\_web.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/125290/ls_2016-03_ratayhteyden_ylivieska_web.pdf?sequence=4&isAllowed=y).

Rautateiden verkkoselostus 2022. Helsinki: Väylävirasto. Väylävirasto. Viitattu 4.11.2023 [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/180115/vj\\_2020-52\\_978-952-317-812-0.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/180115/vj_2020-52_978-952-317-812-0.pdf?sequence=5&isAllowed=y). (Väylävirasto 2020a)

RT 10-10992, Tietomallinnettava rakennushanke. Ohjeita rakennuttajalle. 2010. Rakennustieto.

Väylähankkeiden kustannushallinta. Ohje 39/2021. Helsinki: Väylävirasto. Väylävirasto. Viitattu 4.11.2023 [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2021-39\\_vaylahankkeiden\\_kustannushallinta\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2021-39_vaylahankkeiden_kustannushallinta_web.pdf).

Väylävirasto 2011. Vuosi 2012 on rautateiden juhluvuosi. Viitattu 4.11.2023 <https://vayla.fi/-/vuosi-2012-on-rautateiden-juhlavuosi>.

Väylävirasto 2021. Rataverkko. Viitattu 4.11.2023 <https://vayla.fi/vaylista/rataverkko>.

Väylävirasto 2022. Suunnittelun lähtökohdat. Viitattu 5.6.2023 <https://vayla.fi/suunnittelu-rakentaminen/hankkeiden-suunnittelu/suunnittelun-lahtokohdat>.

Väylävirasto 2023 a. Hankkeiden suunnittelun vaiheet. Viitattu 4.11.2023 <https://vayla.fi/suunnittelu-rakentaminen/hankkeiden-suunnittelu/hankkeiden-suunnittelun-vaiheet>.

Väylävirasto 2023 b. Vartiuksen rajanylityspaikan kunnostustyöt. <https://vayla.fi/rajanylityspaikat/vartius>.

Väylävirasto 2023 c. Rajanylityspaikkojen kehittämishankkeet. <https://vayla.fi/rajanylityspaikat>.

Väylävirasto 2023 d. Rataverkko 1.1.2021. Viitattu 6.12.2023

[https://vayla.fi/documents/25230764/47264414/Rataverkko\\_01012021.pdf/2d56780c-9d86-8695-02b5-37031b9e69d8/Rataverkko\\_01012021.pdf/Rataverkko\\_01012021.pdf?t=1608032206939](https://vayla.fi/documents/25230764/47264414/Rataverkko_01012021.pdf/2d56780c-9d86-8695-02b5-37031b9e69d8/Rataverkko_01012021.pdf/Rataverkko_01012021.pdf?t=1608032206939).

Väyläviraston inframallivaatimukset. Ohje 32/2022. Helsinki: Väylävirasto. Väylävirasto. Viitattu 5.11.2023

[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2022-32\\_inframallivaatimukset.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-32_inframallivaatimukset.pdf).

Wahlström, R. 2017. Tietomallipohjaisten tarjouslaskentamenetelmien kehittäminen ratahankkeille. Oulun yliopisto. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Diplomityö.

Yle 2022. Tulihevosesta luotijunaan – Elävä arkisto sukeltaa Suomen 160-vuotiseen rautatiehistoriaan. Viitattu 4.11.2023 <https://yle.fi/aihe/a/20-10002019>.

Yleiset inframalli vaatimukset YIV 2015 Osa 9 Määrälaskenta ja kustannusarviot. Building SMART Finland. Infra-toimialaryhmä. Viitattu 4.11.2023 <https://drive.buildingsmart.fi/s/zZawDNJCYR8Ni4j>.

Yleiset inframalli vaatimukset YIV. 2021. Building SMART Finland. Infra-toimialaryhmä. Viitattu 4.11.2023 <https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2>.

Ratakuvapalvelu 2020. Viitattu 4.11.2023 <https://ratakuvapalvelu.fi/>.

Suomen rautatiemuseon kuvakokoelma b. Sandell G. A., k. Radanrakentajia työkaluineen ratapihalla.

Suomen rautatiemuseon kuvakokoelma a. Hämeenlinnan rautatieasemalla veturi A1 nro 6 Pohja.