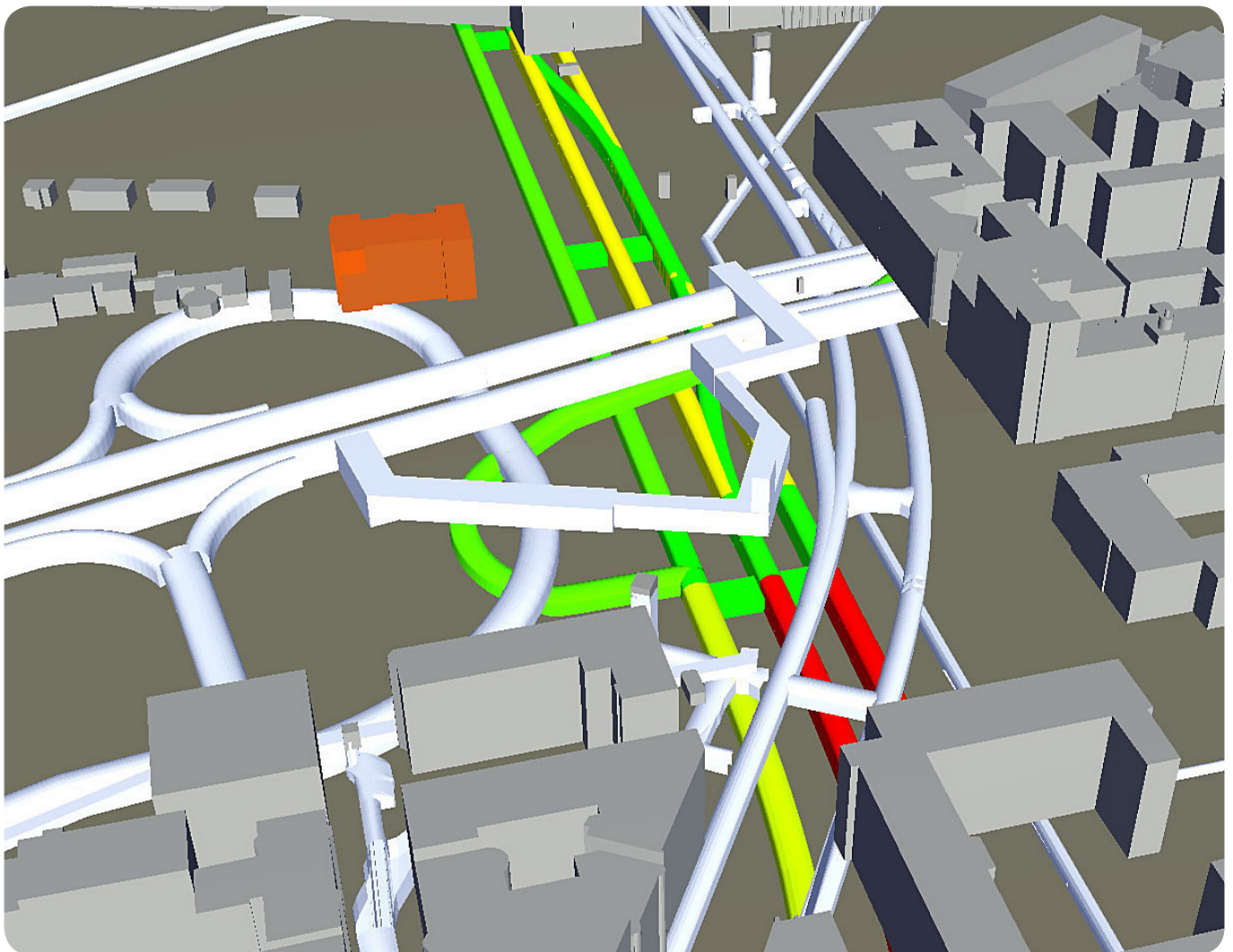


MAILA HERVA  
JAAKKO JAUHAINEN  
KIRSI LILJA

## CO<sub>2</sub>-päästö- ja kustannusohjaus mallipohjaisesti

CASE PISARARATA





Maila Herva, Jaakko Jauhiainen, Kirsi Lilja

# CO<sub>2</sub>-päästö- ja kustannusohjaus mallipohjaisesti

Case Pissararata

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2015

Liikennevirasto

Helsinki 2015

*Kannen kuva: Maila Herva*

Verkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-134-3

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

**Maila Herva, Jaakko Jauhiainen ja Kirsi Lilja: CO<sub>2</sub>-päästö- ja kustannusohjaus mallipohjaisesti – Case Pissararata.** Liikennevirasto, hankehallintaosasto. Helsinki 2015. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2015. 30 sivua ja 2 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-134-3.

**Avainsanat:** inframallintaminen, CO<sub>2</sub>-päästöt, kustannusohjaus

## Tiivistelmä

Hankkeen tavoitteeksi asetettiin monialaisten hankkeiden mallipohjaisen suunnittelun, vuorovaikutuksen ja päätöksenteon kehittäminen. Hankkeessa yhdistettiin kustannus-, aikataulu- ja CO<sub>2</sub>-päästötiedot osaksi eri tekniikka-alojen tietomalleista koottua yhdistelmämallia.

Pilottikohteeksi valittiin Pissararata-hankkeen Keskustan ja Hakaniemen asemien välinen rataosuus. Hankkeen aineisto kerättiin ja tuotettiin helmi-maaliskuussa 2015 ja se kuvaa suunnittelun tilaa kyseisellä ajanhetkellä. Kustannuslaskennan, aikataulusuunnittelun ja CO<sub>2</sub>-päästölaskennan lähtötietoina käytettiin suunnitelmien mukaisia suunnitelmista laskettuja määrätietoja. CO<sub>2</sub>-laskennassa ei huomioitu koko hankkeen elinkaaren aikaisia päästöjä, vaan siinä keskityttiin hankkeen rakentamisessa vapautuviin CO<sub>2</sub>-määrien arviointiin. Kustannukset ja CO<sub>2</sub>-päästöt esitettiin yhdistelmämallissa erilaisin korostuksin ja graafein suhteessa aikaan.

Hankkeen rakennusinvestoinnin päästöt ovat yhteensä noin 24 000 tonnia CO<sub>2</sub>. Näistä noin 95 % muodostuu hankkeen rakentamisessa käytettävistä päämateriaaleista: betonista, teräksestä sekä kuorma-autokuljetuksista ja työkoneista. Päästöt voidaan myös suhteuttaa investoinnin kustannuksiin. Tässä hankkeessa investoitua euroa kohden CO<sub>2</sub>-päästöjen määrä oli työmaatehtävät mukaan lukien 0,28 kgCO<sub>2</sub>/€.

Kustannus-, aikataulu- ja CO<sub>2</sub>-tiedon esittäminen osana tietomalleja tuovat tärkeää lisäinformaatiota päätöksenteon tueksi. Se mahdollistaa esimerkiksi hankkeiden ja toteutusvaihtoehtojen vertailun eri näkökulmista, esimerkiksi ympäristövaikutusperusteisesti, sekä niiden arvottamisen päätöksentekoa varten. Kustannus- ja päästötietojen liittäminen osaksi tieto- ja yhdistelmämallia tarjoaa mahdollisuuden esittää eri järjestelmissä tuotettua tietoa kootusti ja visuaalisesti.

Eri tietojen yhdistäminen vaatii niin teknologisia kuin toimintatapojenkin kehittämistä. Ilman standarditiedonsiirtoformaattien jatkokehitystä ja standardinimikkeistön käytön vahvistamista on tietojen siirto ja yhdistäminen eri järjestelmien välillä työlästä. Lisäksi päästölaskentaan tulisi kehittää vastaava sovelluspohjainen laskentatyökalu kuin kustannusarviontia varten, jotta manuaalista työtä voitaisiin vähentää ja tiedon jakoa helpottaa. Tulevaisuudessa yksityiskohtainen tieto infrahankkeen ympäristövaikutuksista voitaisiin luoda suunnittelijoiden toimesta ja tieto välittää eteenpäin tietomalleissa muiden suunnitelmiin liittyvien tietojen ohella.

**Maila Herva, Jaakko Jauhiainen och Kirsi Lilja: Modellbaserad CO<sub>2</sub>-utsläpp or kostnads-kontroll – Case Pisararata.** Trafikverket, projekthantering. Helsingfors 2015. Trafikverkets undersökningar och utredningar 47/2015. 30 sidor och 2 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664 , ISBN 978-952-317-134-3.

**Nyckelord:** infrastruktur modellering, CO<sub>2</sub>-utsläpp, kostnadskontroll

## Sammanfattning

Projektets målsättning var att utveckla modellbaserad planering, växelverkan och beslutsfattning av mångsektoriella projekt. I projektet inkluderades kostnads-, schema- och CO<sub>2</sub>-utsläppsdata i en kombinationsmodell baserad på olika teknologigrenars informationsmodeller.

Centrumslingans bansträcka mellan stationerna Helsingfors centrum och Hagnäs valdes till pilotmål. Projektets material samlades in och producerades i februari och mars 2015 och det framställer planeringens dåvarande läge. Kvantitativ data beräknad från och enligt planerna användes som utgångsdata för kostnadsberäkning, schemaläggning och CO<sub>2</sub>-utsläppsberäkning. I CO<sub>2</sub>-beräkningen beaktades inte hela projektets livscykelsutsläpp, utan uppskattning av projektets byggrelaterade CO<sub>2</sub>-utsläpp stod i fokus. Kombinationsmodellen förevisade kostnaderna och CO<sub>2</sub>-utsläppen temporalt med hjälp av olika betoningar och diagrammer.

De totala utsläppen i projektets bygginvestering är cirka 24 000 tCO<sub>2</sub>. Cirka 95 % av dessa härrör sig från de huvudsakliga byggmaterialen som användes i projektet: betong, stål samt lastbilstransporter och arbetsmaskiner. Utsläppen kan även sättas i relation till investeringsvärdet. I detta projekt var mängden CO<sub>2</sub>-utsläpp inklusive byggplatsarbete 0,28 kgCO<sub>2</sub> per investerad euro.

Förevisning av kostnads-, schema- och CO<sub>2</sub>-data i informationsmodeller förser beslutsfattande med viktig tilläggsinformation. Det möjliggör bland annat jämförelsen av projekt och genomföringsalternativ från olika synvinklar, till exempel på basis av miljökonsekvenser, samt deras värdering för beslutsfattande. Inkludering av kostnads- och utsläppdata i informations- och kombinationsmodeller erbjuder ett enhetligt och visuellt sätt att presentera data som producerats i olika system.

Sammanföring av olika dataformer förutsätter att teknologin såväl som förfarings-sätten utvecklas. Överföring och sammanföring av information mellan olika system förblir arbetsam utan vidareutveckling av standardformat för dataöverföring och förstärkning av användningen av standardnomenklatur. För utsläppsberäkning bör dessutom ett applikationsbaserat beräkningsverktyg motsvarande budgeteringens beräkningsverktyg utvecklas för att kunna minska manuellt arbete och underlätta informationsspridning. I framtiden skulle planerarna kunna skapa detaljerad data om infraprojekts miljökonsekvenser och vidareförmedla den i informationsmodeller i samband med annan planrelaterad information.

**Maila Herva, Jaakko Jauhiainen and Kirsi Lilja: Model based CO<sub>2</sub>-emission and cost control – Case Pissararata.** Finnish Transport Agency, Project Management. Helsinki 2015. Research reports of the Finnish Transport Agency 47/2015. 30 pages and 2 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-134-3.

**Keywords:** infrastructure modeling, CO<sub>2</sub> emissions, cost control

## Summary

The aim of the project was to develop the model-based planning, interaction, and decision-making of multidisciplinary projects. In the project, data on costs, scheduling, and CO<sub>2</sub> emissions was integrated into a combination model based on information models from different fields of technology.

The City Rail Loop's link between the Helsinki city centre and Hakaniemi stations was chosen as the pilot project. The material for the project was collected and produced in February and March of 2015, and it represents the then-status of planning. Quantitative data calculated from and according to the plans was used as the initial data for cost accounting, schedule planning, and CO<sub>2</sub> emissions accounting. Rather than paying attention to life-cycle emissions of the entire project, CO<sub>2</sub> accounting focused on estimating the project's construction-related CO<sub>2</sub> emissions. The costs and CO<sub>2</sub> emissions were presented temporally with different emphases and diagrams in the combination model.

The emissions related to the construction investments of the project total approximately 24,000 tonnes of CO<sub>2</sub>. Approximately 95 % of these stem from the principal construction materials used in the project: concrete, steel, as well as lorry transports and machinery. The emissions can also be proportioned to the investment value. In this project, the CO<sub>2</sub> emissions, on-site activities included, totalled 0.28 kgCO<sub>2</sub> per each invested euro.

Presenting data on costs, scheduling, and CO<sub>2</sub> emissions in information models provides important additional information to support decision-making. Among other things, it enables the comparison of projects and implementation alternatives from different points of view, based on environmental impact, for example, as well as their valuation for decision-making. Integrating costs and emissions data into information and combination models provides an opportunity to present data produced in different systems in a uniform and visual manner.

The development of technologies as well as procedures is a prerequisite for the combination of different types of data. Data transfer and integration between different systems will remain arduous without further development of standard formats for data transfer and the reinforcement of the use of standard nomenclature. Additionally, an application-based accounting tool, similar to the one used in cost estimation, should be developed for emissions accounting in order to decrease the amount of manual work and to facilitate the distribution of information. In the future, engineers would be able to create detailed data on the environmental impact of infrastructure projects and relay this data by means of information models along with other plan-related data.

## Esipuhe

Liikennevirasto pyrkii edistämään tietomallipohjaisen suunnittelun yleistymistä infraalalla. Mallipohjaisen tiedon hyödyntäminen tarjoaa mahdollisuuksia mm. tehokkaaseen suunnittelun vaihtoehtojen vertailuun ja vaikutusten arviointiin. Kytkeytyä kustannuslaskentaan, tietomallipohjainen suunnittelu tulee tarjoamaan mahdollisuuksia ja tehokkaita työkaluja myös jatkuvaan hankkeen suunnitteluprosessin aikaiseen kustannusohjaukseen ja myös ympäristövaikutusten arviointiin sekä näiden hyödyntämiseen hankkeiden hyötyjen arvottamisessa ja niiden priorisoinnissa.

Tässä projektissa haluttiin selvittää käytännössä, millaisia mahdollisuuksia nykyteknologia ja nykyiset toimintatavat tarjoavat yksittäisen hankkeen tapauksessa ja mitä mahdollisuuksien hyödyntäminen edellyttää hankkeilta, suunnitteluohjelmistoilta ja toimintatavoilta. Haluttiin myös antaa suuntaviivoja ja tavoitteita mallinnukselle ja ohjelmistokehitykselle ja nostaa esiin tärkeitä ratkaistavia asioita, jotka ovat edellytyksiä tietomallipohjaisen suunnittelun, kustannuslaskennan ja ympäristövaikutusten arvioinnin yhteiselle täysipainoiselle soveltamiselle.

Selvitys toteutettiin yhteistyöprojektina Liikenneviraston, Vianova Oy:n, Rapal Oy:n ja Sweco Oy:n kesken. Raportin laativat Maila Herva (Vianova Oy), Kirsi Lilja (Rapal Oy) ja Jaakko Jauhiainen (Sweco Oy). Työtä ohjasivat Liikennevirastosta Kristiina Laakso, Ari Huomo, Tiina Perttula ja Arto Hovi.

Helsingissä syyskuussa 2015

Liikennevirasto  
Hankehallintaosasto



# Sisällysluettelo

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT .....	8
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Tausta .....	9
1.2 Tavoitteet .....	9
1.3 Pilottikohde .....	9
1.3.1 Pissararata .....	9
1.3.2 Pilotin rajaukset ja tehdyt oletukset .....	11
2 PILOTTIKOHTTEEN AIKATAULUSUUNNITTELU JA KUSTANNUSLASKENTA ..	12
2.1 Yleistä .....	12
2.2 Aikataulusuunnittelu .....	12
2.3 Kustannuslaskenta .....	12
3 CO <sub>2</sub> -LASKENTA .....	14
3.1 Päästölaskentamenetelmä .....	14
3.1.1 Fore .....	14
3.1.2 Rapalin CO <sub>2</sub> tietokannasta .....	15
3.1.3 Päästölaskentaprosessi .....	15
3.2 CO <sub>2</sub> – laskennan tulokset .....	17
3.2.1 Päästöt rakennusosittain (InfraRYL 100-taso) .....	17
3.2.2 Päästöt panosluokittain .....	17
3.2.3 Päästöt investointikustannusten suhteessa .....	18
3.2.4 Vertailu aiempiin päästölaskentoihin .....	18
3.3 CO <sub>2</sub> -laskennassa tehdyt oletukset .....	19
3.3.1 Rakennusosat panoksiksi .....	19
3.3.2 Mallintamattomat päästöt .....	19
3.4 Jatkokehitysehdotukset koskien CO <sub>2</sub> päästölaskentaa .....	20
4 TIETOMALLI .....	21
4.1 Yhdistelmämalli .....	21
4.1.1 Yhdistelmämallin luonti .....	21
4.1.2 VDC Explorer .....	21
4.2 Mallin rajaus ja osittelu .....	21
4.3 Aikataulu-, kustannus- ja CO <sub>2</sub> -tietojen esittäminen yhdistelmämallissa .....	22
5 PILOTIN TULOKSET .....	24
5.1 Tietovirrat .....	24
5.2 Päätöksenteon tuki .....	25
5.2.1 Yleistä .....	25
5.2.2 6D-mallien käyttötarkoitukset .....	25
5.2.3 Yhteenveto ja johtopäätökset 6D-mallien hyödyntämisestä .....	26
6 YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPIDE-EHDOTUKSET .....	27
LÄHTEET .....	30
LIITTEET	
Liite 1	Kustannusarvio ja aikataulu
Liite 2	CO <sub>2</sub> -päästölaskennan tulokset

## Lyhenteet ja määritelmät

3D	digitaalinen kolmiulotteinen esitys tässä tapauksessa rakennuksen tai rakenteen geometriasta
4D	digitaaliseen kolmiulotteiseen esitykseen on liitetty aika
5D	digitaaliseen kolmiulotteiseen esitykseen on liitetty kustannukset
6D	digitaaliseen kolmiulotteiseen esitykseen on liitetty laatuun, ylläpitoon tai kuten tässä hankkeessa hiilijalanjälkeen liittyvä tieto
3D.dwg	on binääritiedostomuoto kolmiulotteisen suunnittelutiedon ja siihen liittyvien metatietojen tallentamiseen. Dwg on monien CAD-suunnitteluohjelmistojen natiiviformaatti.
CO <sub>2</sub>	on hiilidioksidin kemiallinen kaava
IFC	(Industry Foundation Classes) on kansainvälinen rakennusalan ISO/PAS 16739 standardi tiedon siirtoon tietokonejärjestelmästä toiseen ohjelmistoriippumattomasti.
IM3	(Inframodel 3) on kansainvälisen LandXML-tiedonsiirtoformaattiin perustuva infratiedonsiirtoformaatti.
Hola	on työkalu hankeosatasoiseen kustannusarviointiin Fore-ohjelmistossa.
Rola	on työkalu rakennusosatasoiseen kustannusarviointiin Fore-ohjelmistossa.

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

Liikenneviraston ympäristötoimintalinjaukset pohjautuvat liikenne- ja viestintäministeriön Liikenteen ympäristöstrategiaan ja Liikenneviraston strategiaan. Liikenneviraston ympäristötavoitteet antavat perustan pitkän aikavälin suunnittelulle, joka sisältää myös talousnäkökulman. Viraston tavoitteena on edistää kansallista ja kansainvälistä ympäristötyötä väylänpidossa ja liikenteen suunnittelussa.

Ympäristöpäästöjen huomioiminen kaikissa hankkeen vaiheissa on Liikenneviraston strategisten tavoitteiden mukaista. Tietomallien avulla hankkeen suunnitelma-aineisto ja niihin liittyvät tiedot on mahdollista yhdistää ja havainnollistaa päätöksentekoa varten.

## 1.2 Tavoitteet

Pilottihankkeen tavoitteeksi asetettiin hankkeen (laskennallisen) päästötiedon yhdistäminen luontevaksi osaksi suunnittelua hankkeen ohjausta ja päätöksentekoa varten. Tavoitteena oli kehittää monialaisten hankkeiden mallipohjaisen suunnittelun ohjausta sekä nostaa esiin interaktiivisen 6D-suunnittelun mahdollisuuksia ja etuja. Pilottikohteeksi valittiin infra- ja talonrakentamista yhdistävä Pissararata, jolloin saatiin näkemystä myös vuorovaikutuksen ja yhteistyön kehittämiseen.

Yhdeksi hankkeen tavoitteeksi nostettiin esille seuraava kysymys: ”Mitä suunnittelu voisi olla vuonna 2020?”

Ensimmäiseksi käytännön tavoitteiksi asetettiin eri ohjelmistojen välisten rajapintojen tunnistaminen, tiedonsiirtokäytännöt ja tiedon integrointi. Miten tieto saadaan siirtymään eri ohjelmistojen välillä, miten aikataulu-, kustannus- ja CO<sub>2</sub>-tiedot voidaan esittää mallissa ja miten niitä voidaan hyödyntää analysoinnissa ja simuloinneissa?

Toinen käytännön tavoite, joka asetettiin, oli konkreettisten näkökulmien saaminen siihen, miten 6D-aineistoa voidaan hyödyntää ja käyttää tulevaisuudessa esimerkiksi suunnittelunohjauksessa ja miten 6D-mallia voidaan hyödyntää kaupunkisuunnittelun ja päätöksenteon tukena?

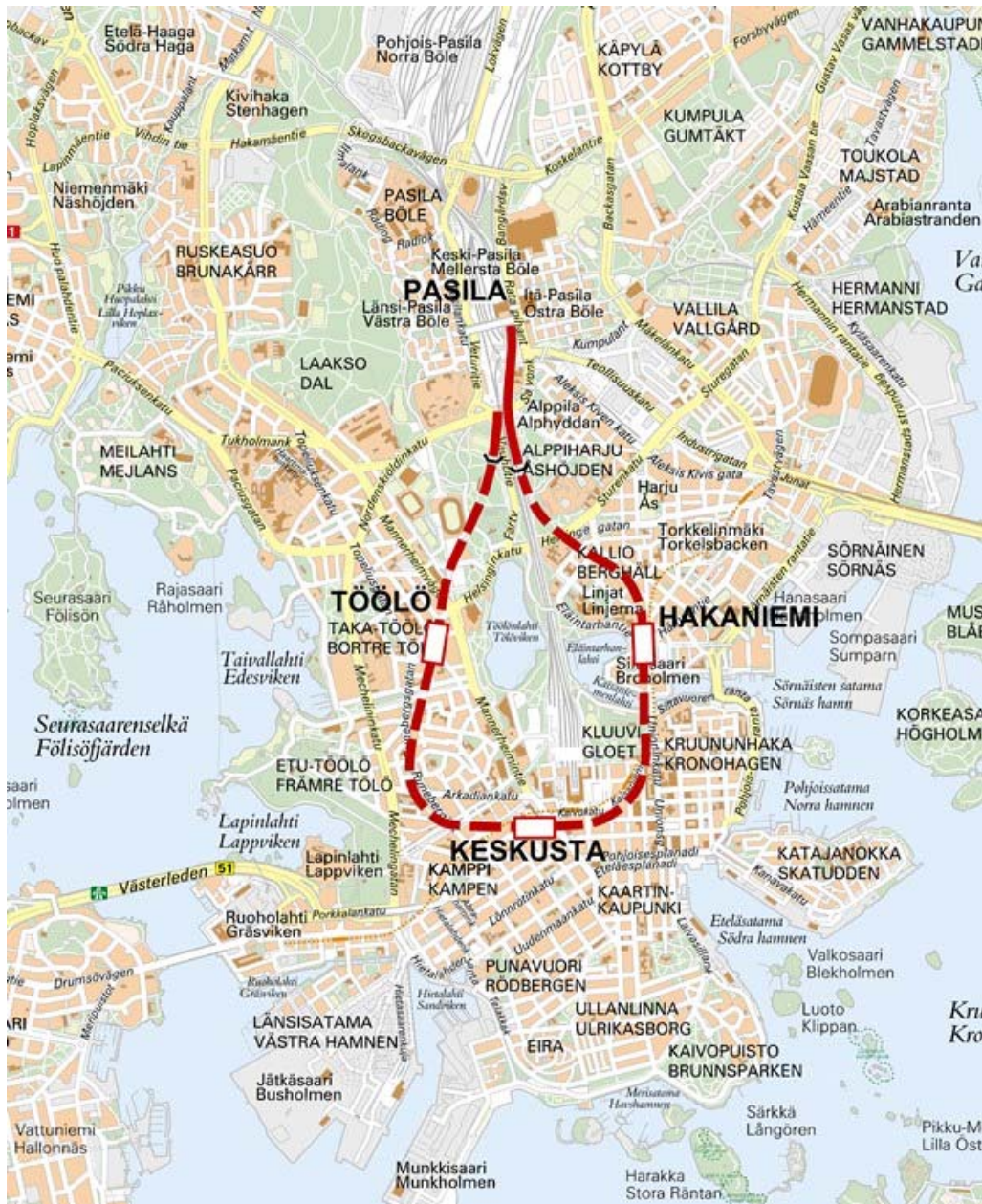
## 1.3 Pilottikohde

### 1.3.1 Pissararata

Pissararata on Helsingin keskustan alle suunniteltu lähijunien kaupunkiratalenkki. Pissaran mallinen rata alkaa Pasilasta ja kiertää tunnelissa Töölön, Helsingin keskustan ja Hakaniemen kautta takaisin Pasilaan. Toteutuessaan Pissararata tarkoittaa sitä, että osa Helsingin seudun lähijunista siirtyy omalle raideosuudelle Pasilan eteläpuolella (nykyiset K, I, N, M ja A).

Hankkeen kokonaiskustannukset ovat noin 900 miljoonaa euroa.

Tällä hetkellä hankkeessa tehdään suunnittelutyötä, joka tuottaa tietoa mahdollista rakentamispäätöstä varten. Suunnittelu tehdään kokonaisuudessaan mallipohjaisesti ja suunnitelmien yhteensovittaminen varmistetaan yhdistelmämallin avulla. Tietomalli antaa mahdollisuuden tutustua suunnitelmiin kolmiulotteisesti. Tuleva rakennuskohde esittäytyy olemassa olevaan ympäristöön sijoitettuna, todellisena tietokoneen ruudulla, kaikkine puutteineen. Mallissa voidaan tarkastella rakennusosien törmäyksiä toisiinsa tai olemassa oleviin rakenteisiin ja antaa esimerkiksi suoraan rakentamiseen tarvittavat tuotemäärät ilman virhemarginaaleja. Näin päästään tekemään myös mahdollisimman todellisia kustannusarvioita.



Kuva 1. Pisararata ©Kaupunkimittausosasto, Helsinki 09/2012

### 1.3.2 Pilotin rajaukset ja tehdyt oletukset

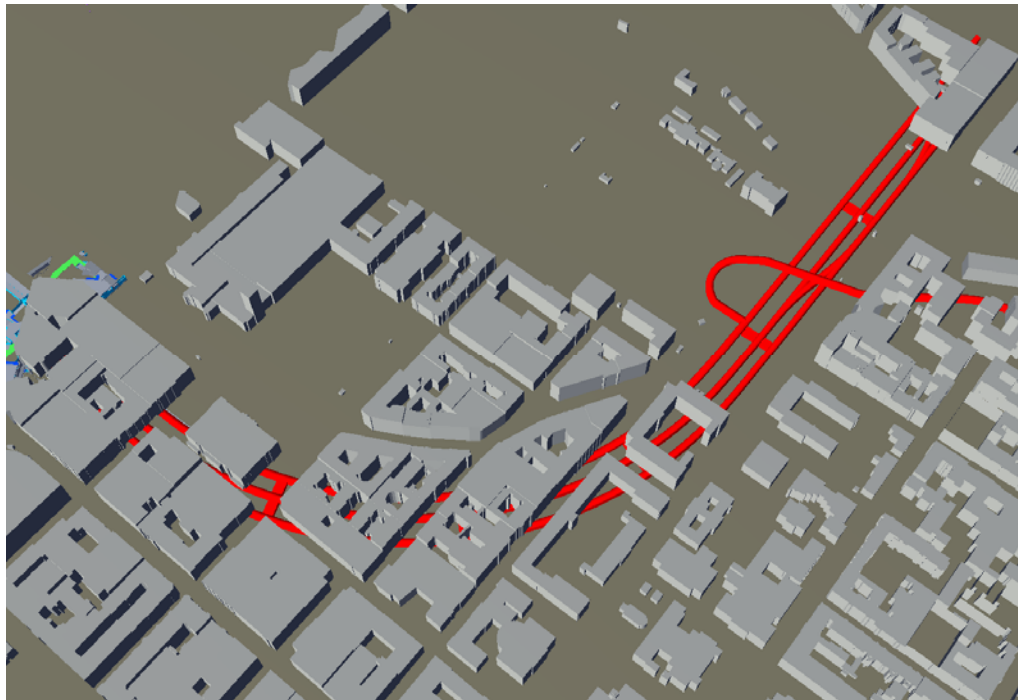
3D-tietomalli on digitaalinen kolmiulotteinen esitys rakennuksen tai rakenteen geometriasta. Eri tekniikka-alojen 3D-suunnitelmamallit on Pesararata hankkeessa yhdistetty yhdistelmämalliksi, johon suunnitelmat on tuotu standardiformaateissa (IM3, IFC, 3D.dwg) ja todellisissa, ns. maailmankoordinaateissa.

Erlaisia simulaatioita varten malliin voidaan helposti liittää aika (4D) ja kustannukset (5D). Näiden lisäksi malliin voidaan liittää laatuun tai ylläpitoon liittyvää tietoa, jolloin voidaan puhua 6D-mallista. Tässä hankkeessa tietomallin kuudes ulottuvuus kuitenkin kuvaa rakentamisen hiilijalanjälkeä, CO<sub>2</sub>-päästöjä.

Pesararata valittiin hankkeen pilottikohteeksi, koska se on suunniteltu mallipohjaisesti ja siitä on valmiiksi olemassa yhdistelmämalli, johon voitaisiin suoraan tuoda rakentamisen aikataulu, kustannukset ja CO<sub>2</sub>-päästöt.

Pilottikohteeksi valittiin Pesararata hankkeen Keskusta–Hakaniemi rataosuus paaluväliltä 6885–8255:

- Ajotunneli
- Ratatunnelit, louhinta- ja rakentaminen sekä radan päällysrakenne
- Huoltotunneli KES-HAK osuudella huonetiloineen ja järjestelmineen
- Talotekniset ja ratatekniset järjestelmät ja laitteet
- 7 yhdystunnelia rakenteineen
- Raiteenvaihtopaikka rakenteineen



Kuva 2. Hankkeeseen sisällytettävä rataosuus

Pilottihankkeen aineisto on kerätty ja tuotettu helmi-maaliskuussa 2015 ja se kuvaa suunnittelun tilaa kyseisellä ajanhetkellä. Kustannus-, aikataulu- ja CO<sub>2</sub>-tiedot ovat arvioita, eivätkä ne kuvaa hankkeen lopullisia kustannuksia tai aikataulua. Laskenta on rajattu sekä kustannuksien että päästöjen osalta rakennusinvestointeihin. Esimerkiksi CO<sub>2</sub>-päästölaskennassa ei ole huomioitu liikenteen päästöjä. Tarkemmat rajaukset ja tehdyt oletukset on esitetty kunkin osa-alueen kappaleessa.

## 2 Pilottikohteen aikataulusuunnittelu ja kustannuslaskenta

### 2.1 Yleistä

Sweco PM Oy:n tehtävänä on selvittää ja määritellä hanketta varten ja sen käyttöön sekä siinä sovellettavaksi Pissararadan tarkastelun kohteena olevan rataosuuden rakennusosakustannusarvio sekä ao. rataosuuden rakentamisaikataulu rataosuudelle Keskusta (KES)–Hakaniemi (HAK).

Kustannuslaskenta ja aikataulusuunnittelun lähtötietoina käytettiin suunnitelmien mukaisia suunnitelmista laskettuja määrätietoja. Kustannuslaskenta ja aikataulusuunnittelu loivat perustan kustannusten ja CO<sub>2</sub>-päästöjen visualisoinnille.

### 2.2 Aikataulusuunnittelu

Aikataulusuunnittelun tehtävänä oli tuottaa rakentamisen ajallinen tieto:

- Rakentamisen edistymisen visualisoimiseksi (4D)
- Kustannusten kertymisen visualisoimiseksi (5D)
- CO<sub>2</sub>-päästöjen syntyminen kokonaismäärän ajallisen kertymisen visualisoinniseksi (6D)

Aikataulussa ajoitettiin seuraavat pilottikohteen rakennustyöt:

- Louhintatyöt
- Rakennustyöt
- TATE-työt
- Ratatyöt

Aikataulutus tehtiin Länsimetron ja sen jatkeen aikataulusuunnittelusta ja -seurannasta saadun kokemusperäisen tiedon avulla.

Aikataulu tehtiin MS Project -aikatauluohjelmalla. Aikataulu on raportin liitteenä.

### 2.3 Kustannuslaskenta

Kustannuslaskenta tuotti Pissararadan pilottikohteen rakennusosapohjaisen kustannusarvion louhintatöistä, rakennustöistä, TATE-töistä ja ratatöistä. Kustannusarviota ja aikataulua käytettiin kustannusten ajallisen kehittymisen visualisointiin hankkeen edistymisen rinnalla.

Tarkastelun kohteena olevan rataosuuden rakennusosakustannusarvio laadittiin FORE-järjestelmässä. Laskennassa käytettiin Infra 2006- ja Talo 2000 -nimikkeistöjä. Rakennusosien massat laskettiin suunnitelmista. Esimerkki kustannusarviosta on esitetty kuvassa 3.

**Rakennusosat**

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
<b>Keskustan ajotunneli ja KES-HAK pelastustunneli pv6885-8255</b>				<b>0,00 €</b>	<b>20 649 694 €</b>
<b>Louhinta ja lujitus</b>				<b>0,00 €</b>	<b>12 983 228 €</b>
1761.1	Louhinta ajotunneli 53. m2 *	m3ktr	27 668	94,24 €	2 607 504 €
1761.2	Louhinta, pelastustunneli 53...180 m2 * sis. tekniikan levennykset ja korotukset	m3ktr	108 821	95,35 €	10 375 723 €
<b>Maanrakennus ja avolouhinta betonitunneli (ajotunneli)</b>				<b>0,00 €</b>	<b>140 701 €</b>
1141	Pintamaan poisto, pienet erittäin vaikeat paikat ( kuljetus < 5 km ) *	m2tr	104	12,04 €	1 253 €
1624	Rakennuskaivanto + kuljetus *	m3ktr	350	32,12 €	11 241 €
1719	Louhittu tila, avolouhinta (suuaukko) *	m3ktr	500	125,46 €	62 728 €
1835	Työmaa alue, täyttö *	erä	1	24 026,37 €	24 026 €
1835	Täyttö viereen *	m3rtr	300	51,19 €	15 356 €
2141	Asfaltti *	m2tr	66	35,13 €	2 318 €
2141.1	Asfaltointi viimeistely *	m2tr	541	32,62 €	17 647 €
2144.4	Murskeverhous	m2tr	70	10,01 €	701 €
2211.1	Reunatuki *	mtr	44	111,81 €	4 919 €
2321.1	Nurmetus, kaupunkialue *	m2tr	50	10,24 €	512 €

Kuva 3. Esimerkki pilottikohteen rakennusosapohjaisesta kustannusarviosta.

Laskenta perustui seuraaviin oletuksiin:

- Aluekerroin 1,10
- Kustannusindeksi 137,50 (2005=100)

Pilottikohteen laajuutta voidaan kuvata seuraavasti:

- Veroton kokonaishinta 120 562 100 €
- Louhinta 379 230 m3

Kustannusarvio on projektinraportin liitteenä.

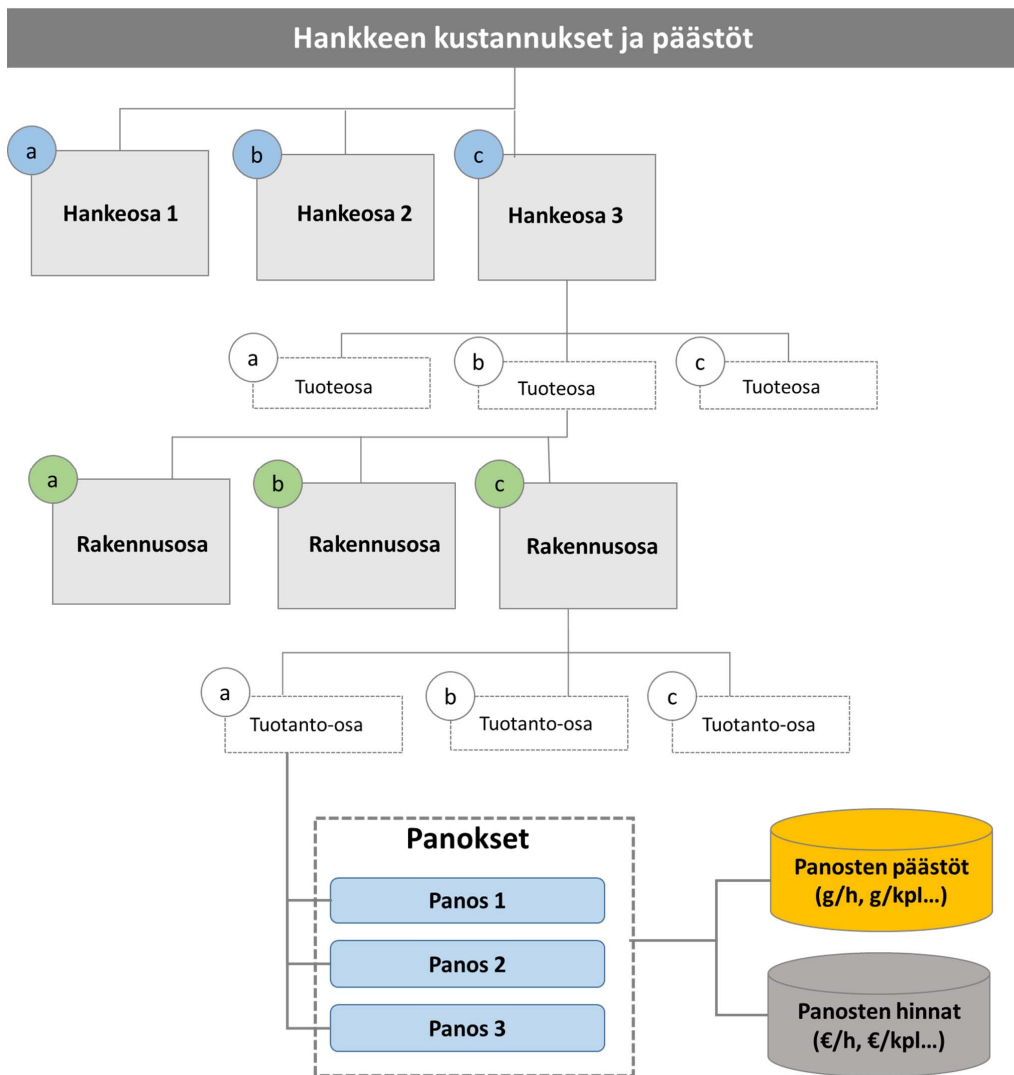
## 3 CO<sub>2</sub>-laskenta

### 3.1 Päästölaskentamenetelmä

#### 3.1.1 Fore

Pilottihankkeessa rakentamisessa muodostuvien kustannusten sekä CO<sub>2</sub>-päästöjen laskennassa hyödynnettiin Rapal Oy:n kehittämää Fore-kustannushallintapalvelua.

Fore sisältää mm. kustannusarvioinnin osatuotteet HOLA (hankeosalaskenta) sekä ROLA (rakennusosalaskenta). Foren hinnastorakenne on hierarkkinen jakautuen ylätasolta ensin hankeosiin (esim. ratalinja ja sillat), tuoteosiin (esim. runko-osa, pinta-osa), rakennusosiin (esim. päällyste, kantava kerros), tuotanto-osiin (esim. kuljetus, asennustyö) ja lopulta panoksiin (esim. kuorma-auto, rakennusmateriaali) asti. (ks. kuva 4). Tämä mahdollistaa kustannus- ja päästöarvioinnin myös hankkeen varhaisessa vaiheessa, kun tarkkaa määrätietoa ei vielä ole.



Kuva 4. Foren hankehierarkia kuvaa miten päästöt ja hinnat järjestelmässä muodostuvat.



Pilottihankkeen kustannusarvio oli laadittu rakennusosatasolla (Rola). Rola sisältää Infra2006 mukaisesti jaotellun nimikkeistön, josta löytyvät yleisimmät infrarakentamisessa käytettävät rakennusosat. Rakennusosien yksikköhinnat koostuvat kustannustiedoista, jotka ovat mallinnettu niissä tarvittavien panosten avulla.

Rolaa hyödynnetään tavallisesti hankkeen tie-, rata- tai rakennussuunnitelman kustannusarvion tekoon. Nimikekohtaiset määrät mitataan suunnitelmista. Määrät kertovat, kuinka paljon mitäkin rakennusosaa on hankkeen rakentamiseen suunniteltu käytettäväksi; toisaalta tarkemmalla tasolla ilmaistuna, kuinka paljon rakennusosan sisältämiä panoksia hankkeen rakentamiseen kuluu.

Näille yksittäisille panoksille on mahdollista määrittää CO<sub>2</sub>-päästökerroin ja sitä kautta koko hankkeen CO<sub>2</sub>-päästöt, kun yksittäisten panosten käyttömäärät tiedetään. Panospohjainen CO<sub>2</sub>-laskenta ei huomioi koko hankkeen elinkaaren aikaisia päästöjä, vaan se keskittyy hankkeen rakentamisessa vapautuvaan CO<sub>2</sub>-määrien arviointiin.

Fore- järjestelmän hierarkiaan perustuvalla menetelmällä on teoriassa mahdollista laskea CO<sub>2</sub>-päästöjä myös karkeammalla hankeosatasolla (Hola), sillä järjestelmässä rakenteet ja niille muodostuvat hinnat/päästöt panostasolta aina hankeosatasolle asti. Toistaiseksi päästölaskentaa on suoritettu pilottihankkeissa vain rakennusosatasolla.

### **3.1.2 Rapalin CO<sub>2</sub> -tietokannasta**

Hiilijalanjäljen laskennan peruseriaate on seuraava: Panokselle määritetään päästökerroin, joka indikoi yhden työsuoritusyksikön aikaansaamisesta aiheutunutta hiilidioksidipäästöä. Mallinnettujen työ- ja materiaalimenekkien perusteella panosten päästöt summataan laskennallisesti hankkeen rakennusosille, joista arvioidaan hankkeen kokonaispäästöt. Päästökertoimet valitaan tilanteeseen soveltuviksi asiantuntija-arvioiden perusteella.

Hiilijalanjäljen laskennassa määritetään usein hiilidioksidipäästöjen lisäksi ekvivalenttipäästöt. CO<sub>2</sub>-ekvivalentti tarkoittaa kasvihuonekaasua, jonka ilmastonlämpenemispotentiaali on suhteutettu hiilidioksidin aiheuttamaan vastaavaan vaikutukseen. Jokaisella kasvihuonekaasulla on oma kertoimensa. Yleisimmät hiilijalanjälkilaskelmissa huomioitavat kasvihuonekaasut ovat metaani (CH<sub>4</sub>) ja typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O).

Tämän laskennan päästökertoimet on määritetty Rapal Oy:n ja VTT:n yhteistyönä vuosina 2009 ja 2010 tehdyssä Liikenneviraston selvityshankkeessa ”Panospohjaisen CO<sub>2</sub>-laskennan pilotointi väylähankkeessa” (Aulakoski et al. 2014) sekä tämän työn yhteydessä. Laskennassa on ekvivalenttikertoimet jätetty huomioimatta, sillä suurin osa väylähankkeiden päästöistä on hiilidioksidia.

### **3.1.3 Päästölaskentaprosessi**

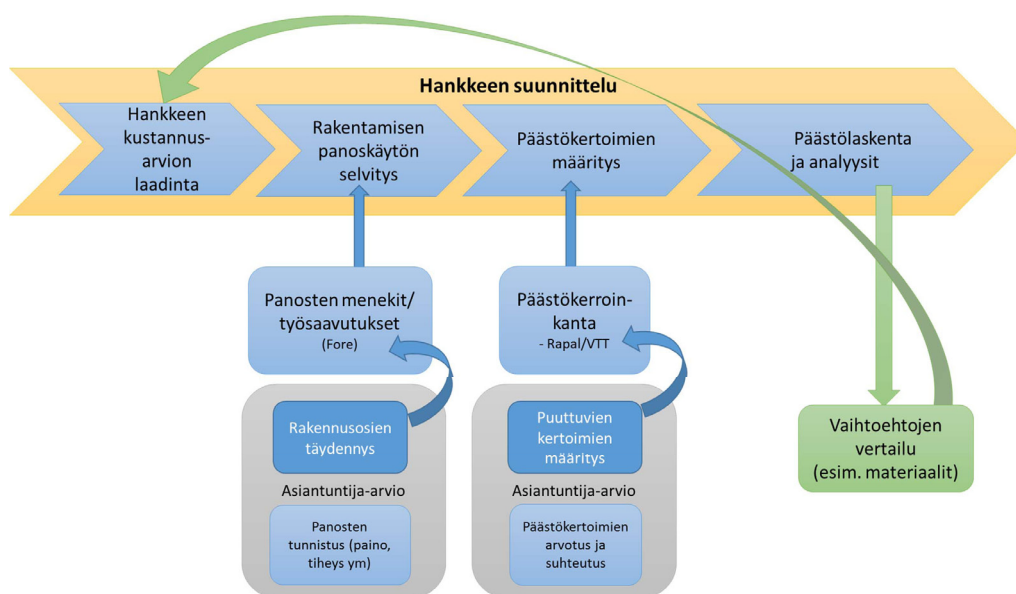
Panospohjaisen CO<sub>2</sub>-laskennan prosessi jaetaan lähtökohtaisesti neljään päävaiheeseen: hankkeen kustannusarvion laskentaan, rakentamisen panoskäytön selvitykseen, päästökertoimien määrittämiseen ja päästölaskentaan. Prosessi alkaa suunnittelijan laatimasta hankkeen kustannusarviosta. Tässä laskennassa kustannusarvio on viety Fore-järjestelmään.

Kustannusarvion pohjalta hankkeen rakennusosat pystytään Foressa purkamaan erityyppisiin panoksiin ja niiden määriin. Tämä tapahtuu nykyisessä järjestelmässä tietokantakyselyn kautta.

Tässä vaiheessa asiantuntija määrittää käytettyjen ja merkittävien materiaalien ominaisuudet (esimerkiksi paino ja tiheys), jotta päästökertoimien yksiköt pystytään määrittämään oikein. Lisäksi tässä vaiheessa järjestelmään voidaan täydentää rakennusosien tietoja, jos päästöjen laskennan tarkkuus tätä edellyttää.

Päästökertoimille on tässä laskennassa olemassa päästökeroinkanta, jota tarvittaessa päivitetään vastaamaan laskettavan hankkeen rakennusosia. Näiden määrittämisen jälkeen suoritetaan päästölaskenta, joka voidaan jaotella eri laskentaosien mukaan esimerkiksi hankeosiin tai rakennusosiin. Laskentavaiheessa voidaan määrittellä päästöt myös vaihtoehtoisille materiaaleille, jolloin päästöjen vertailu on mahdollista eri rakennusmateriaalien valintojen perusteella. Mikäli näiden perusteella nousee esiin merkittäviä vaihtoehtoja, voidaan suunnitteluprosessissa palata vielä tarkentamaan hankkeen kustannusarviota uusilla panoksilla.

Panospohjaisen laskennan prosessikuvaus on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Hankkeen päästölaskentaprosessi

Foren perustuvan päästölaskentaprosessin voi suorittaa hankkeen edetessä ja suunnitelmien tarkentuessa aina uudelleen parhaan mahdollisen tiedon perusteella. Näin jokaisessa suunnittelun ja jopa itse toteutuksen vaiheessa on mahdollisuus valita optimaalisimmat suunnitteluratkaisut myös ympäristönäkökulmasta tarkasteltuna.

Tarkempi kuvaus panospohjaisesta CO<sub>2</sub>-laskennasta löytyy Liikenneviraston julkaisusta ”Panospohjaisen CO<sub>2</sub>-laskennan pilotointi väylähankkeessa” (Aulakoski et al. 2014).

## 3.2 CO<sub>2</sub>-laskennan tulokset

### 3.2.1 Päästöt rakennusosittain (InfraRYL 100-taso)

Hankkeen rakennusinvestoinnin päästöt ovat yhteensä noin 24 000 tonnia CO<sub>2</sub>. Näistä noin 95 % muodostuu hankkeen rakentamisessa käytettävistä päämateriaaleista: betonista, teräksestä sekä kuorma-autokuljetuksista ja työkoneista.

Infra2006 nimiketasolla vertailtuna suurin osa päästöistä aiheutuu nimiketasolle 1700 kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit. Nämä ovat noin 66 % koko hankkeen päästöistä. Toinen merkittävä päästö määrä on seurausta maanalaisten tilojen rakenteista, nimiketasolla 4800, joiden päästöt ovat noin 23 % koko hankkeen päästöistä.

Päästösuudet on esitetty taulukoissa 1 ja 2 sekä kuvassa 6.

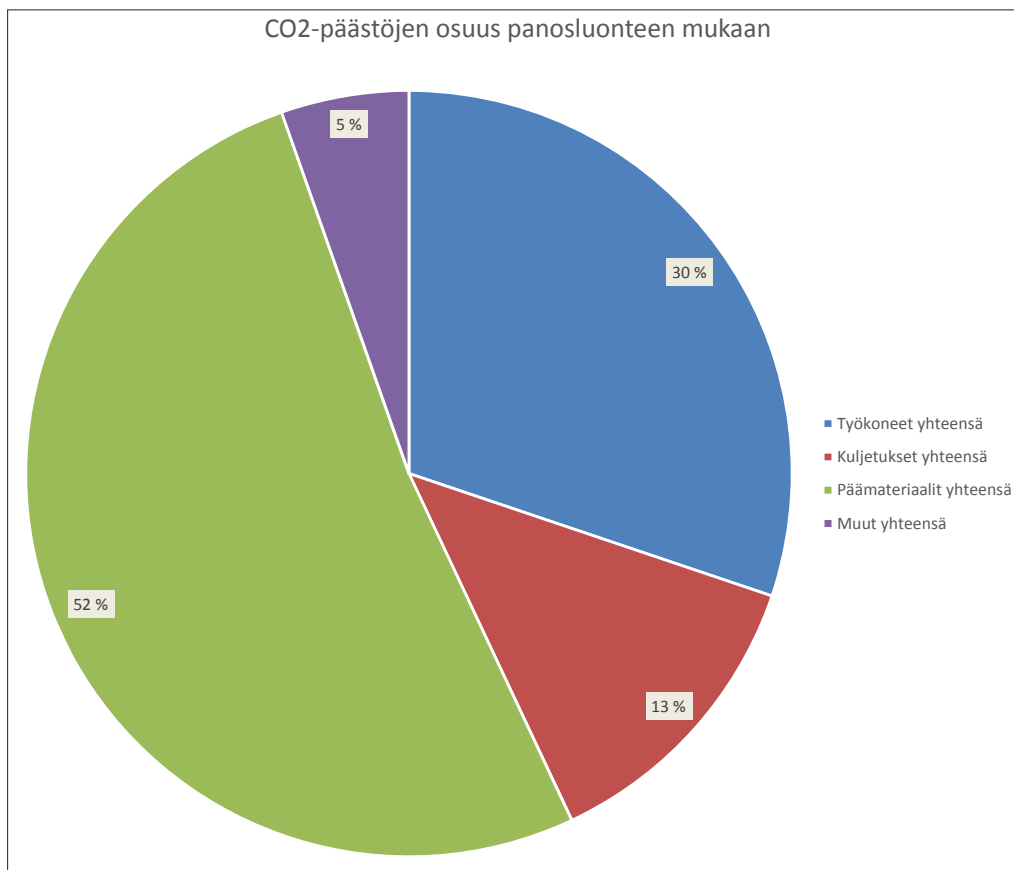
Taulukko 1. Nimikkeistön mukaan luokitellut päästöt

	kgCO <sub>2</sub> 20000-29999 Koneet	kgCO <sub>2</sub> 30000-39999 Kuljetukset	kgCO <sub>2</sub> 40000-50000 Materiaalit	kgCO <sub>2</sub> Yhteensä	
Kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit 1700	6 973 024	2 432 354	6 534 786	15 940 000	66,2 %
Maanalaisten tilojen rakenteet 4800	20 914	254 934	5 299 224	5 575 000	23,2 %
Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät 3300	74 419	175 305	1 111 366	1 361 000	5,7 %
Ratojen päällysrakenteet 2400	48 590	28 804	316 608	394 000	1,6 %
Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset 2100	48 933	100 377	96 800	246 000	1,0 %
Ympäristörakenteet 4500	10 701	0	187 559	198 000	0,8 %
Pohjarakenteet 1400	68 109	14 389	52 299	135 000	0,6 %
Penkereet, maapadot ja täytöt 1800	12 023	46 149	8 351	67 000	0,3 %
Reunatuet, kourut, askelmat ja eroosiosuojaukset 2200	3 181	6 295	51 066	61 000	0,3 %
Sillat 4200	496	718	41 526	43 000	0,2 %
Laiturit 4300	0	25 536	13 216	39 000	0,2 %
Maaleikkaukset ja -kaivannot 1600	460	2 546	0	3 000	0,0 %
Olevat rakenteet ja rakennusosat 1100	487	317	0	1 000	0,0 %
Turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät 3200	205	182	590	1 000	0,0 %
Kasvillisuusrakenteet 2300	0	24	1	0	0,0 %
<b>Yhteensä</b>	<b>7 262 000</b>	<b>3 088 000</b>	<b>13 713 000</b>	<b>24 064 000</b>	
	<b>30,2 %</b>	<b>12,8 %</b>	<b>57,0 %</b>		

### 3.2.2 Päästöt panosluokittain

Taulukko 2. Päästösuudet panosluonteen mukaan

Panostyyppi	Päästöt kgCO <sub>2</sub>	
<b>Päämateriaalit</b>		
Betoni	10 694 000	44 %
Teräs	1 721 100	7 %
Päämateriaalit (betoni ja teräs) yhteensä	12 415 000	52 %
<b>Kuljetukset ja työkoneet</b>		
Kuljetukset	3 088 000	13 %
Työkoneet	7 261 600	30 %
Kuljetukset ja työkoneet yhteensä	10 349 600	43 %
Päämateriaalit, kuljetukset ja työkoneet yhteensä	22 764 600	95 %
<b>Muut</b>		
Räjähdyksineet	664 000	3 %
Muovi	253 100	1,1 %
Maajalosteet	221 400	0,9 %
Puu	87 700	0,4 %
Sähkötuote	59 100	0,2 %
Sekalaiset	14 000	0,1 %
Muut yhteensä	1 299 300	5 %
<b>Päästöt yhteensä</b>	<b>24 064 000</b>	<b>100 %</b>



Kuva 6. Päästöt panosluonteen mukaan

### 3.2.3 Päästöt investointikustannusten suhteessa

Päästöt voidaan myös suhteuttaa investoinnin kustannuksiin. Tässä hankkeessa investoitua euroa kohden CO<sub>2</sub>-päästöjen määrä oli työmaatehtävät mukaan lukien 0,28 kgCO<sub>2</sub>/€. Kyseiset kustannukset kattavat rakennusosat ja työmaatehtävät, joten ne vastaavat urakkahintaa. Kustannusarviossa työmaatehtävien (Infra-nimikkeistön pääryhmät 5100–5500) osuus on 21 %. Ilman työmaatehtäviä keskimääräinen päästö euroa kohden oli 0,34 kgCO<sub>2</sub>/€.

### 3.2.4 Vertailu aiempiin päästölaskentoihin

Liikenneviraston v. 2013 teettämässä vastaavanlaisessa päästölaskentahankkeessa ”Panospohjaisen CO<sub>2</sub>-laskennan pilotointi väylähankkeessa” (Aulakoski et al. 2014) tutkittiin moottoriliikenneväylän ja siihen liittyvän eritasoliittymän investointivaiheen tuottamia päästöjä. Kyseisessä tutkimuksessa pilottikohteena oli Helsingissä sijaitseva Kehä I moottoriliikenneväylä Kivikontien kohdalla.

Edellä esitetty päästölaskennan tunnusluku oli Kehä I parantamishankkeessa 0,37 kgCO<sub>2</sub>/€, joka oli noin 24 % korkeampi, kuin tässä hankkeessa saatu 0,28 kgCO<sub>2</sub>/€.

Päästøjakauma oli samankaltainen. Joitain selittäviä tekijöitä voidaan havaita, miksi tunnusluku-kgCO<sub>2</sub>/€ on tässä hankkeessa alhaisempi kuin vuoden 2013 suoritetussa päästölaskennassa. Hankkeiden päästövertailua voidaan tehdä, koska kummankin hankkeen päästölaskenta on tehty Fore-järjestelmään perustuvalla panospohjaisella menetelmällä.

Kuorma-autokuljetusmatkat olivat Kehä I Kivikon eritasoliittymä hankkeen osalta pidemmät, jonka myötä myös päästöjä kuljetuksista seurasi suhteessa enemmän. Niin ikään tiehankkeelle tyypillistä asfaltointia ei juurikaan sisältynyt Pisararadan rataosuudelle Keskusta (KES)–Hakaniemi (HAK).

Kannattaa lisäksi huomioida tässä hankkeessa tehdyt rajaukset (ks. kohta 3.3.2), joka vaikuttaa laskennan tulosten tulkintaan.

## 3.3 CO<sub>2</sub>-laskennassa tehdyt oletukset

### 3.3.1 Rakennusosat panoksiksi

Laskenta suoritettiin pääsääntöisesti perustuen rakennusosien panosrakenteisiin Fore-järjestelmän nimikkeisiin. Ne sisälsivät mallinnetun tuotanto- ja panosrakenteen. Laskelmaan oli lisäksi tehty joitain rakennusosia, joiden nimi tai yksikköhinta oli määritetty käyttäjän toimesta. Näille käyttäjän itse lisäämille tai muokkaamille rakennusosille ei ole valmista panosrakennetta, jota voitaisiin hyödyntää CO<sub>2</sub>-päästölaskennassa.

Eniten Fore-järjestelmää vastaavaksi muutettuja nimikkeitä oli maanalaisten tilojen rakenteet 4800-nimiketasossa, joka käsittää muun muassa teräsbetoniset anturat, laatat ja seinät. Nämä muutettiin vastaamaan järjestelmästä löytyviä nimikkeitä. Tällä tavoin niiden panoskäyttö saatiin mukaan laskentaan. Rakennusosan määrässä otettiin myös huomioon mitta- ja painoseikat siten, että esimerkiksi teräsrakenteen kokonaispaino ei muuttunut merkittävästi.

### 3.3.2 Mallintamattomat päästöt

Tiettyjä kustannusarvioissa olleita kustannuseriä ei voitu mallintaa panospohjaisiksi rakennusosiksi päästölaskentaa varten. Näitä rakentamisen osa-alueita ei ole vielä suunniteltu siten, että niitä voitaisiin pilkkoa rakennusosiksi, vaan niihin varaudutaan kustannusarviossa kustannuserillä.

Nimiketasosta 3300-tasosta sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät puuttuu merkittävä määrä (noin 2/3 kustannusten perusteella) rakennusosia, joita ei voitu määrittää. Tämä vaikuttaa myös lopulliseen jakaumaan. Ne ovat koko päästömäärästä 5,7 %, mutta jos tarkastellaan puuttuvaa kustannusten suhteessa, olisi se yhteensä 15,2 %.

Mallintamattomat rakennusosat ja niihin liittyvät panokset ovat lähinnä ratateknii-kasta (sähköistys- ja turvalaite) sekä LVIS-järjestelmistä aiheutuvia eriä. Osa näistä tekniikkalajeista on määritetty kustannusarvioon eräkustannuksina, joiden rakennusosa- ja panosmäärää ei voitu arvioida, koska niitä ei ole vielä tässä vaiheessa hankkeen suunnittelua määritetty tarkemmin. Näin ollen myöskään niihin liittyviä päästökertoimia ei voitu määrittää ja ne on jätetty laskennassa huomioita.

Nimiketasosta 4800-tasosta puuttuu pintarakenteet ja kalusteet, joka on tästä kustannuserästä vain noin 5–6 %, joka on koko hankkeen päästömäärään verrattuna vähäinen osuus.

Mikäli nämä kuluerät huomioidaan hankeen päästövertailuluvussa, saadaan kohdassa 4.3.3 esitetyn tunnusluvun arvoksi 0,33 kgCO<sub>2</sub>/€, 0,28 kgCO<sub>2</sub>/€ sijaan. Vertailuna kohdassa 3.2.4 mainittuun, v. 2013 tehtyyn laskentaan, tämä olisi vain 9 % vähemmän kuin mainitussa laskelmassa saatu 0,37 kgCO<sub>2</sub>/€.

### 3.4 Jatkokehitysehdotukset koskien CO<sub>2</sub>-päästölaskentaa

Karkeasti voidaan todeta, että Fore-järjestelmään perustuva panospohjainen määrälaskenta voidaan suorittaa, mikäli hankkeesta on laskettu Infra2006-nimikkeistöön perustuvat rakennusosapohjaiset määrät.

CO<sub>2</sub>-päästölaskenta on nykyisellään työlästä ja manuaalista. Fore-järjestelmän osalta sovelluskehitystä tulisi suorittaa siten, että päästölaskentaan tehtäisiin vastaava laskentatyökalu, kuin kustannuslaskennassakin on (Rola).

Suunnittelijan tulee ottaa kantaa nimikkeiden/kustannuserien CO<sub>2</sub>-päästömääriin, kun hän ei käytä Fore-järjestelmän nimikkeitä. Niiden päästöerien, joista ei ole olemassa tarkempaa suunnitelmaa, päästölaskijan tulee suorittaa karkeampi arvio, kuten kustannuslaskennassakin tehdään, mikäli tarkempia suunnitelmia ei ole saatavilla (tehdään kustannusvaraukset). Näitä päästöeriä voitaisiin arvioida esimerkiksi kustannuksiin perustuen. Tässä hankkeessa karkea arvio voisi esimerkiksi olla 0,20 kgCO<sub>2</sub>/€, jolloin esimerkiksi nimiketasontasolle 3300 CO<sub>2</sub>-päästöjä tulisi 15 892 000 € \* 0,2 kgCO<sub>2</sub>/€ = 3 178 400 kgCO<sub>2</sub>.

Fore-järjestelmän hierakista hinnastorakennetta ylläpidetään tällä hetkellä Rapal Oy:n sisäiseen käyttöön tarkoitetulla CMA-sovellustyökalulla. CMA-työkalua voisi jatkossa kehittää niin, että suunnittelijat voisivat ylläpitää omaa päästötietokantaa suoraan CMA:ssa, jolloin kullekin panokselle, esim. tietylle materiaalille tai tuotemerkillä, suunnittelija itse voisi syöttää päästökertoimen. Tämä vaatii sekä sovellus- että toimintatapoihin liittyvää prosessikehitystä.

Päästölaskennan lukuja olisi myös hyvä tarkastella suhteessa erilaisten liikenne- ja tuotantojen tuottamiin liikennöintimääriin. Näin saataisiin aitoa vertailua eri liikenne- ja tuotantojen kesken.

## 4 Tietomalli

### 4.1 Yhdistelmämalli

#### 4.1.1 Yhdistelmämallin luonti

Hankkeen yksi keskeisistä tavoitteista oli selvittää, miten CO<sub>2</sub>-tieto voidaan liittää osaksi tietomalleja. Lähtökohdaksi asetettiin päästötietojen esittäminen yhdistelmämallissa, jossa kaikkien eri tekniikka-alojen suunnittelijoiden tuottamat tietomallit on koottu koordinoitusti yhteen.

Yhdistelmämalli on keskeinen työkalu suunnittelun havainnollistamiseen sekä vuoropuheluun suunnitteluryhmän kesken ja sidosryhmien kanssa. Yhdistelmämalli mahdollistaa eri tekniikka-alojen välisen törmäystarkastelun nostoen mahdolliset ristiriidat esiin jo varhaisessa vaiheessa. Lisäksi yhdistelmämalli toimii jo nyt alustana erilaisille kustannus- ja aikatauluanalyysille sekä -simuloinneille, joten se koettiin luontevaksi paikaksi tuoda myös CO<sub>2</sub>-päästötieto.

#### 4.1.2 VDC Explorer

Yhdistelmämallin tekemiseen sekä aikataulu-, kustannus- ja CO<sub>2</sub>-tiedon esittämiseen ja simulointiin käytettiin Vianova Systems Finland Oy:n VDC Explorer ohjelmistoa. VDC Explorer on suunnittelujärjestelmäriippumaton työkalu tietomallien tarkastamiseen, suunnitelmien yhteensovittamiseen, virtuaaliseen simulointiin ja kommunikointiin. Se tukee avoimia IM3- ja IFC-tietomallistandardeja ja mallien linkittämistä oikeaan suunnittelukoordinaatistoon.

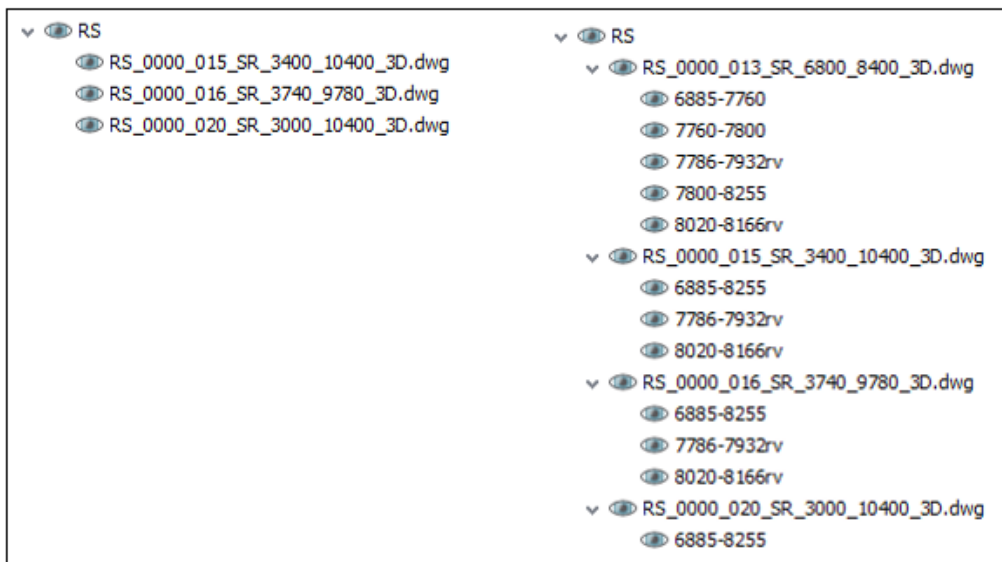
Ohjelmisto tukee tällä hetkellä 4D (aikataulu) ja 5D (kustannukset) -simulointeja, mutta pilottia varten kehitettiin prototyyppi, johon pystyttiin tuomaan myös CO<sub>2</sub>-päästötiedot. Lisäksi kehitettiin tapa esittää päästötiedot mallissa erilaisia korostuksia ja graafeja käyttäen.

### 4.2 Mallin rajausta ja osittelu

Aineiston keruuvaiheessa Pissararadan ratasuunnitelmavaihe oli vielä kesken, minkä takia lopulliseen malliin tuotu suunnitelma-aineisto oli jossain määrin puutteellinen. Mallipohjaista suunnitelma-aineistosta ei ollut saatavilla taloteknisistä järjestelmistä, ratasähköstä, kiskoista eikä vaihteista. Hankkeen johtoryhmässä kuitenkin todettiin, ettei näiden puuttuminen tule merkittävästi vaikuttamaan tietojen esittämiseen tai hankkeen lopputulokseen. Yllämainittujen lisäksi myös yhdyssuunnitelmien mallipohjaiset suunnitelmat puuttuivat. Niiden sisällyttäminen malliin koettiin tarpeelliseksi ja ne päätettiin mallintaa erikseen tilavarauksina.

Suunnitelma-aineisto haettiin Pissararata-hankkeen ylläpitojärjestelmästä 11.3.2015 ja se kuvastaa Pissararadan mallipohjaisen suunnittelun tilannetta ko. ajanhetkellä.

Malli ositeltiin Sweco PM Oy:n tuottaman aikataulun ja kustannuslaskelman mukaisesti. Suunnittelijoiden tuottamat rata- ja kalliotekniset suunnitelmat olivat tarpeeseen nähden liian suuria kokonaisuuksia (esim. plv. 3000–10400), minkä takia mallit ositeltiin kolmeen-viiteen osaan aikataulussa käytettyjen paaluvälien mukaan. Esimerkki ratasuunnitelman osittelusta paaluväleittäin verrattuna suunnittelijoiden tuottamaan aineistoon on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Esimerkki pilottia varten tehdystä suunnitelmien osittelusta paaluväleittäin verrattuna Pissararata-hankkeessa tehtyyn yhdistelmämalliin.

Kun malli saatiin valmiiksi, havaittiin, että kallioteknisten suunnitelmien välillä oli ero sijainnissa ratasuunnitelmaan verrattuna. Tämä johtui asiantuntijoiden mukaan siitä, että suunnitelmat muuttuivat vielä tuossa vaiheessa niin paljon, ettei kallioteknisiä suunnitelmia oltu ehditty päivittää ratasuunnitelmaa vastaavaksi. Ero suunnitelmien välillä oli niin merkittävä, että simuloinnissa päätettiin käyttää vain ratasuunnitelma-aineistoa ja siihen liittyvät objektit linkitettiin aikataulussa louhintatyöksi.

### 4.3 Aikataulu-, kustannus- ja CO<sub>2</sub>-tietojen esittäminen yhdistelmämallissa

Yhdistelmämalli luotiin Virtual Map -ohjelmistolla, joka tuotiin VDC Explorer-ohjelmistoon yhdessä kustannus-, aikataulu- ja CO<sub>2</sub>-tiedon kanssa. Pissararata-hankkeen aikataulu ja kustannustieto tuotiin suoraan MSProject-tiedostona (.mpp). CO<sub>2</sub>-tiedot tuotiin excel-tiedostona (.xls) ennalta sovitussa formaatissa aikataulun mukaan ryhmiteltyinä.

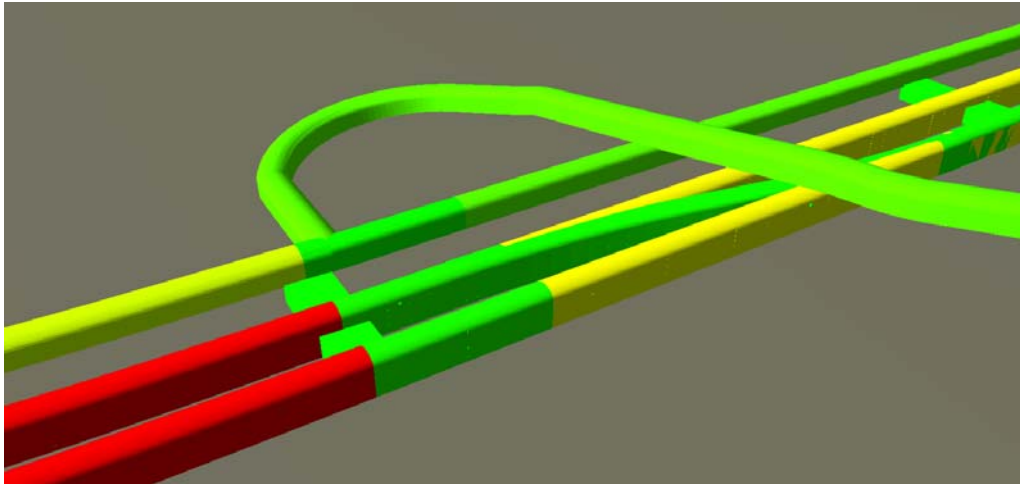
Uniikki ID	ID	Nimi	CO <sub>2</sub>
------------	----	------	-----------------

Kuva 8. Excel-tiedoston sarakkeet CO<sub>2</sub>-tietojen tuomiseksi malliin.

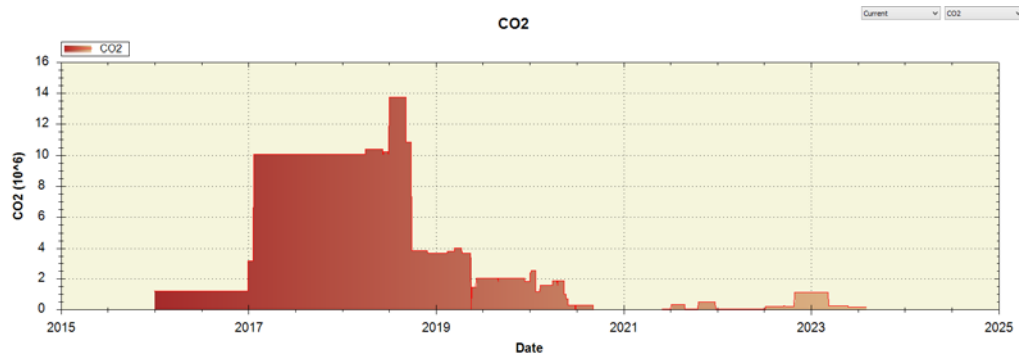
Aineiston sisänluvun jälkeen kustannus-, aikataulu- ja CO<sub>2</sub>-tiedot linkitettiin rakennusosittain malliin, jonka jälkeen niin kustannus- kuin CO<sub>2</sub>-päästöjä pystyttiin tarkastelemaan ajan suhteen.



VDC Explorer mahdollistaa monipuoliset simuloinnit ajan suhteen. Mallin avulla voidaan simuloida rakentamista ajan suhteen, sekä korostaa mallissa eniten hiilidioksidipäästöjä tuottavia rakenteita. Lisäksi voidaan graafien avulla osoittaa kustannusten ja hiilidioksidipäästöjen kertymä tietyllä ajanhetkellä tai kumulatiivisesti. Kuvissa 9 ja 10 on esimerkit hiilidioksidipäästöjen erilaisista mallipohjaisista ja graafisista esitystavoista.



Kuva 9. CO<sub>2</sub>-päästötiedon havainnollistaminen tietomallissa

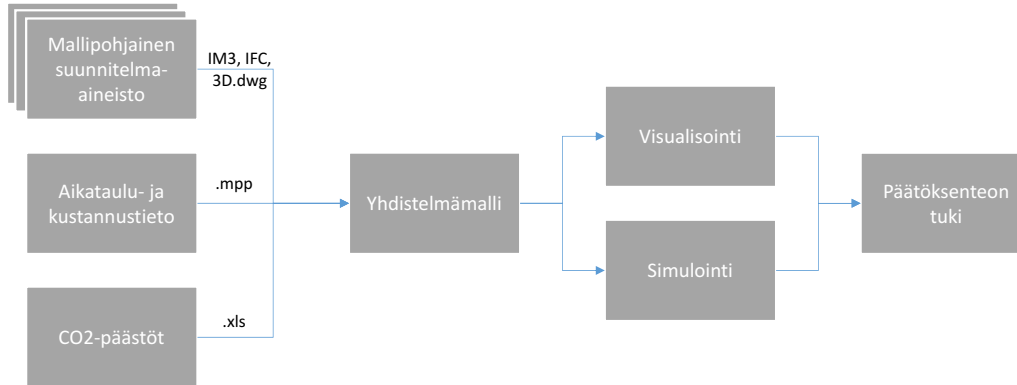


Kuva 10. Hiilidioksidipäästöjen kertymä tietyllä ajanhetkellä

## 5 Pilotin tulokset

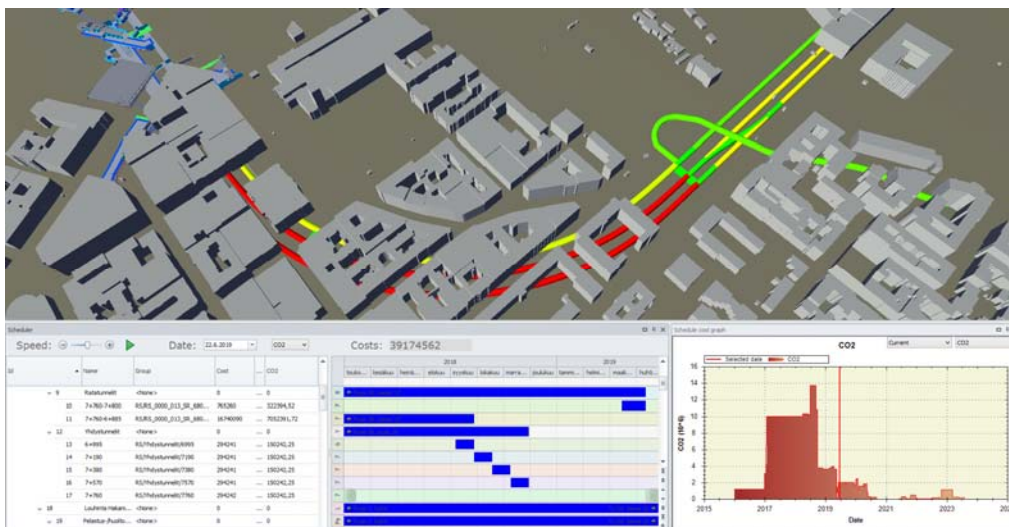
### 5.1 Tietovirrat

Kuvassa 11 on esitetty tiedonkeruun, -siirron, -yhdistämisen ja hyödyntämisen prosessi.



Kuva 11. Tiedonkeruun, -siirron, -yhdistämisen ja hyödyntämisen prosessi

Mallipohjainen suunnitelma-aineisto tuotiin yhdistelmämalliin standardiformaateissa. Aikataulu- ja kustannustieto sekä CO<sub>2</sub>-päästöt jouduttiin tuomaan yhdistelmämalliin erikseen, sillä ko. tietoja ei voida ainakaan vielä liittää osaksi suunnitelmamalleja suunnitteluohjelmistoissa. Tietojen yhdistäminen yhdistelmämalliin sujui ongelmitta, mutta esimerkiksi päästölaskenta vaati useita tietokantakyselyitä ja aineiston käsitteilyä excelissä ennenkuin CO<sub>2</sub>-päästötiedot saatiin sellaiseen muotoon, että ne voitiin yhdistää muuhun aineistoon. Kuvassa 12 on esimerkki aikataulu-, kustannus- ja CO<sub>2</sub>-päästötietojen esittämisestä VDC Explorer -ohjelmistolla.



Kuva 12. Aikataulu-, kustannus- ja CO<sub>2</sub>-päästötiedon esittäminen mallissa

Yksi keskeisistä haasteista ja tulevaisuuden kehityskohteista liittyy suunnitteluohjelmistojen ja standardiformaattien sisältämiin tietoihin. Mikäli tietomalleista ei saada määrätietoja, on myös kustannusten ja CO<sub>2</sub>-päästöjen linkittäminen niihin käytännössä mahdotonta. Nykyiset suunnitteluohjelmistot eivät vielä tue CO<sub>2</sub>-päästöjen esittämistä osana tietomalleja; infrasuunnittelun osalta myös määrätiedon esittämisessä on puutteita. Näiden lisäksi myös standarditiedonsiirtoformaateissa on puutteita. IFC-formaatissa siirtyy jo esimerkiksi määrätieto, mutta IM3-formaatissa ei tätä vielä ole. Tietojen esittäminen vaatisi lisäksi standardinimikkeistön käyttöä, jotta erilaiset tiedot olisivat yhteensopivia ja ne voitaisiin esittää tieto- ja yhdistelmämallissa.

## 5.2 Päätöksenteon tuki

### 5.2.1 Yleistä

Urban Mill'ssä järjestettiin 28.4.2015 esittelytilaisuus "CO<sub>2</sub>-päästö- ja kustannusohjaus mallipohjaisesti -case Pissararata". Tapahtuman tarkoituksena oli esitellä 6D-pilottihanke.

Esittely- ja keskustelutilaisuudessa järjestettiin myös työpaja, jonka tavoitteena oli määrittää kuinka 6D-mallia voidaan tulevaisuudessa hyödyntää infrahankkeiden hiilijalanjäljen, kustannusten, aikataulun tai muiden asian visualisoimisessa ja ohjaamisessa.

Fasilitoidun työpajan tavoitteena oli:

- Tuottaa ideoita siitä, miten 6D-mallia voidaan tulevaisuudessa hyödyntää hiilijalanjäljen, kustannusten, aikataulun tai muun asian visualisoimisessa ja ohjaamisessa.
- Luoda tuotetuista ideoista yhteinen tietopankki, jossa ideat on jaettu käyttötarkoituksen mukaan aihealueisiin (hiilijalanjäljen, kustannusten, aikataulun tai muun asian visualisoimisessa ja ohjaamisessa).
- Asettaa hyödyntämistavat keskinäiseen tärkeysjärjestykseen pisteyttämällä ne. Pisteytykseen osallistuivat kaikki työpajaan osallistujat.
- Arvioida ideoiden toteuttamiskelpoisuus tai toteuttamiskelpottomuus suhteessa toisiinsa.

Tärkeimmät identifioidut 6D-mallien käyttötarkoitukset on kuvattu alla.

### 5.2.2 6D-mallien käyttötarkoitukset

Työpajan tuloksena syntyivät seuraavat 6D-mallien toteuttamiskelpoiset hyödyntämiskeinot infrahankkeiden hiilijalanjäljen, kustannusten, aikataulun tai muiden asioiden visualisoimisessa ja ohjaamisessa. Hyödyntämiskeinot on kuvattu paremmuusjärjestyksessä.

1. Hankkeiden ja toteutusvaihtoehtojen vertailu eri näkökulmista ja niiden (aika, kustannukset, ympäristönäkökulmat) arvottaminen päätöksentekoa varten (käyttötarkoitus muu).
2. Investointi- ja hankeprosessin läpinäkyvyys tilaajalle ja yhteiskunnalle (käyttötarkoitus muu).

3. Hankkeiden ympäristövaikutusten mittaaminen (käyttötarkoitus infra-hankkeiden hiilijalanjäljen mittaaminen).
4. Tiedon tuottaminen päätöksenteon tueksi (käyttötarkoitus muu).
5. Hankkeiden toteutusvaihtoehtojen keskinäinen vertailu ympäristövaikutus-perusteisesti (käyttötarkoitus infrahankkeiden hiilijalanjäljen mittaaminen).
6. Infrahankkeiden kustannusten vertailu ja visualisointi päätöksenteon tueksi (käyttötarkoitus kustannusohjaus).

### 5.2.3 Yhteenveto ja johtopäätökset 6D-mallien hyödyntämisestä

Keskeinen havainto ja johtopäätös oli, että 6D-mallien hyödyntämisen tärkeimpänä tehtävänä pidettiin tukea hankkeita koskevalle päätöksenteolle. Päätöksenteko infra-hankkeiden eri vaiheissa edellyttää hankkeen vaiheeseen soveltuvaa tietoa.

Esimerkiksi tehtäessä ympäristönäkökulmista päätöksiä, syntyy suunnitteluvaiheessa luotava ympäristövaikutustieto liian myöhään, koska tällöin on jo valittu esimerkiksi liikennemuoto. Tämä voitaisiin välttää luomalla laskentamalleja, joilla voitaisiin vertailla erilaisia liikennemuotoja ja suunnitelmaratkaisuja sekä niiden ympäristövaikutuksia suhteessa liikennesuoritteisiin.

Toinen keskeinen johtopäätös oli, että yksityiskohtainen tieto infrahankkeen ympäristövaikutuksista voitaisiin luoda suunnittelijoiden toimesta, koska ympäristövaikutukset liittyvät suunnitteluratkaisuihin. Tieto voitaisiin välittää tietomalleissa eteenpäin samalla tavalla kuin infrarakenteen komponenttien muu tieto.

Kolmas tehty johtopäätös oli, että infrahankkeen ympäristövaikutusten arviointia ja päätöksentekoa varten pitäisi määrittää suunnitelmien ja mallien keskeiset käyttötapaukset, jotta tieto välittyisi eri sidosryhmien välillä mahdollisimman tehokkaasti.

## 6 Yhteenveto ja jatkotoimenpide-ehdotukset

Hankkeessa tarkasteltiin laskennallisen päästötiedon ja kustannusten yhdistämistä luontevaksi osaksi suunnittelua, hankkeen ohjausta ja päätöksentekoa. Päätöksenteko nähtiinkin yhdeksi keskeiseksi alueeksi, jossa 6D-malleja pystytään tulevaisuudessa hyödyntämään. Infra- ja talonrakentamista yhdistävä Pissararata oli tähän tarkoitukseen oivallinen pilottikohde jo pelkästään sen takia, että koko hanke on suunniteltu mallipohjaisesti. Alla on esitetty yhteenveto ja pohdinta hankkeen aikana tehdyistä havainnoista eri osa-alueisiin liittyen.

### Määrä- / kustannuslaskenta mallintamisen näkökulmasta

Suunnitteluvaiheesta riippuen suunnitelmien ja siten tietomallin tarkkuus vaihtelee, jolloin kaikkia objekteja/komponentteja ei ole vielä mallinnettu. Siten kaikkia kustannus- ja päästölaskennassa tarvittavia määriä ja teknisiä tietoja ei ole välttämättä käytettävissä. Määrien laskeminen on siten edelleen jossain määrin vielä käsityötä.

Suunnitelmien tulisi sisältää riittävästi kustannus- ja päästölaskennassa tarvittavia tietoja, jotta hinnoittelu ja päästöjen laskenta voitaisiin toteuttaa mahdollisimman automaattisesti. Näin voitaisiin helposti tuottaa tarvittava tieto päätöksentekoa varten hankkeen eri vaiheissa. Tulevaisuudessa päätöksentekijöillä tulisi olla mahdollisuus hyödyntää myös vertailutietoja päätöksenteon tukena.

### CO<sub>2</sub>-päästölaskenta

Mikäli panospohjainen päästölaskenta investointien osalta todetaan osaksi hankearviointeja, päästölaskentaan tulisi kehittää vastaava sovelluspohjainen laskentatyökalu, kuin kustannusarviontia varten on (Fore). Etuna sovelluspohjaisessa työkalussa olisi laskentaprosessin nopeuttaminen, manuaalisen työn vähentäminen sekä päästötiedon systemaattinen ylläpito ja jakaminen alan osaajien käyttöön.

CO<sub>2</sub>-päästölaskennan tuloksilla voi olla merkitystä toteutusratkaisuihin ja esimerkiksi kuljetusmatkoihin tai uusiomateriaalien käyttöön (lue vertailu aiempiin päästölaskentoihin kohdassa 3.2.4.). Päästötieto tulisi olla helposti suunnittelijan saatavissa suunnittelun aikana esimerkiksi päästölaskentatyökalun avulla. Suunnittelija tai urakoitsija voisivat myös tehdä oman panosrakenteen sekä määrittää panoksen päästökertoimen itse, esim. suoraan Fore-järjestelmän panosrakenteiden ylläpitoon tarkoitettuun työkaluun (CMA). Tämä vaatii sekä sovelluskehitystä että päästölaskennan vakiinnuttamista osaksi hankesuunnittelua.

Suhdelukua kgCO<sub>2</sub>/€ pitää tarkastella kriittisesti suhteessa kunkin laskennan rajauksiin. Laskentaa tulisi suorittaa hankkeissa systemaattisesti, jotta päästölukujen tasosta syntyisi oikeantasoinen käsitys.

Päästölaskennan tarkkuustaso riippuu paljon suunnitteluvaiheesta, sillä varhaisessa suunnitteluvaiheessa joudutaan tekemään oletuksia ja manuaalisia korjauksia sekä määrätietoihin että panosrakenteisiin määriteltyihin päästökertoimiin.

Päästölaskennan viemisestä hankeosatasolle tulisi kehittää esimerkiksi testi (pilot) laskentahankkeilla. Laskentaan tulisi tällöin yksi taso lisää (rakennusosista >hankeosiin). Hankeosalaskentapohjainen päästölaskenta on jo nyt teoriassa mahdollinen, mutta päästölaskentasovelluksen puutuessa työläs.

Suunnittelijan tulee ottaa kantaa päästölaskennassa eriin, joista päästölaskentaa ei voida vielä suorittaa tarkalla tasolla (vrt. kustannusvaraukset kustannusarvioissa).

Päästölaskennan kytkeminen käytönaikaisiin (liikenteen) päästöihin on asia, jonka tulisi vaikuttaa päätöksentekoon. Perusteluviestintään tarvitaan myös tietoa käytönaikaista yhteiskunnallisista vaikutuksista. Tämän pilotin menetelmällä saadaan päästöjen rakentamisaikainen osuus. CO<sub>2</sub>-päästö tarkasteltuna liikennesuoritetta kohden voisi myös olla päätöksentekokriteeri

### **Aikataulu**

Tietomallien yleistymisen ja mallinnusprosessien kehittymisen myötä tulevaisuudessa avautuu uusi mahdollisuus linkittää määrä-, kustannus- ja CO<sub>2</sub>-tiedon lisäksi myös toteutusaikataulu malliin, jolloin hankkeen ohjaukseen ja päätöksentekoon saadaan uusia näkökulmia.

Hankkeiden toteutusmallit ja hankintastrategiat voitaisiin huomioida jo suunnittelun aikana. Tämä vaatii suunnittelijoilta erilaista ajattelua ja toimintatapaa liittyen suunnitelmien ositteluun sekä mallintamiseen sekä tuotantotekniikoiden tuntemista. Suunnitelmamalli tulisi jo suunnittelun aikana pystyä jakamaan toteutettaviin ja aikataulutettaviin osiin.

Suunnittelijoilla on kuitenkin vain harvoin osaamista toteutusaikataulun laatimisesta, mikä lisää tarvetta ottaa toteuttava taho mukaan keskusteluun jo suunnittelun aikana. Esimerkiksi erilaiset integroidut projektitoimitusmuodot mahdollistavat jo tällaisen toimintatavan.

### **Mallintaminen**

Nykyiset suunnitteluohjelmistot eivät vielä tue CO<sub>2</sub>-päästöjen esittämistä osana tietomalleja; infrasuunnittelun osalta myös määrätiedon esittämisessä on puutteita. Tietomallien sisältämiin objekteihin pystytään kyllä lisäämään erilaisia vapaavalintaisia metatietoja, mutta mikäli näihin ei kehitetä yhtenäistä käytäntöä, on tiedonsiirto eri ohjelmistojen välillä käytännössä mahdotonta.

Suunnitteluohjelmistojen ja mallinnuskäytäntöjen kehittämisen lisäksi, tulevaisuudessa tulisi panostaa myös standarditiedonsiirtoformaatteihin sekä standardinimikkeistön kehittämiseen ja hyödyntämiseen. IFC-formaatissa siirtyy jo esimerkiksi määrätieto ja rakennusosien teknisiä ominaisuuksia, mutta IM3-formaatissa ei tätä vielä ole. CO<sub>2</sub>- ja muiden tietojen lisääminen on tällä hetkellä käsityötä. Tiedonsiirtoformaattien lisäksi yhtenä vaatimuksena tiedonsiirron onnistumiselle on standardinimikkeistöjen (kuten Infra2006 ja Talo2000) käyttö, sillä erilaiset rakennusosien nimeämiskäytännöt estävät tai vaikeuttavat tietojen yhdistämistä, yhteensovittamista ja esittämistä tieto- ja yhdistelmämallissa.

CO<sub>2</sub>-päästöjen kirjaamiseen osaksi tietomallia ja siirtämiseen standardiformaateissa tulisi siis kehittää yhtenäinen käytäntö, jotta tieto siirtyy eri ohjelmistojen välillä. Vasta tällöin kustannus- ja CO<sub>2</sub>-tiedon laajamittainen hyödyntäminen suunnittelun-ohjauksessa ja päätöksenteossa on mahdollista.

### Jatkotoimenpide-ehdotukset ja tutkimusaiheet

- Tutkimus siitä, kuinka infraohjelmistojen tietomalleista saataisiin mahdollisimman tehokkaasti rakennusosien määrä- ja tyyppitiedot kustannus- ja CO<sub>2</sub>-laskentaa varten.
- Tulevaisuudessa infraohjelmistoissa tulisi yleisesti olla "määrälaskenta-moduli", josta saadaan määrät. Lisäksi tarvitaan yhteiset kansalliset menettelytavat.
- Päästölaskentaan tulisi kehittää sovelluspohjainen laskentatyökalu, jotta manuaalinen työ vähenisi.
- Päästölaskennan viemistä hankeosatasolle tulisi kehittää: esimerkiksi testi (pilot) laskentahankkeilla.
- Tutkimus suunnitelmatiedon ja suunnittelun tarvittavasta tarkkuustasosta hankkeen eri vaiheissa sekä tarvittavasta vertailutiedosta hankekohtaista päätöksentekoa varten.
- Pilotti toteutus suunnittelun (toteutusaikataulu ja hankintastrategia sekä -hankintapakettijako) ja teknisen suunnittelun tiukasta integroinnista.
- Standarditiedonsiirtoformaattien jatkokehitys.
- Standardinimikkeistön käytön tukeminen ja vahvistaminen.

### Lopuksi

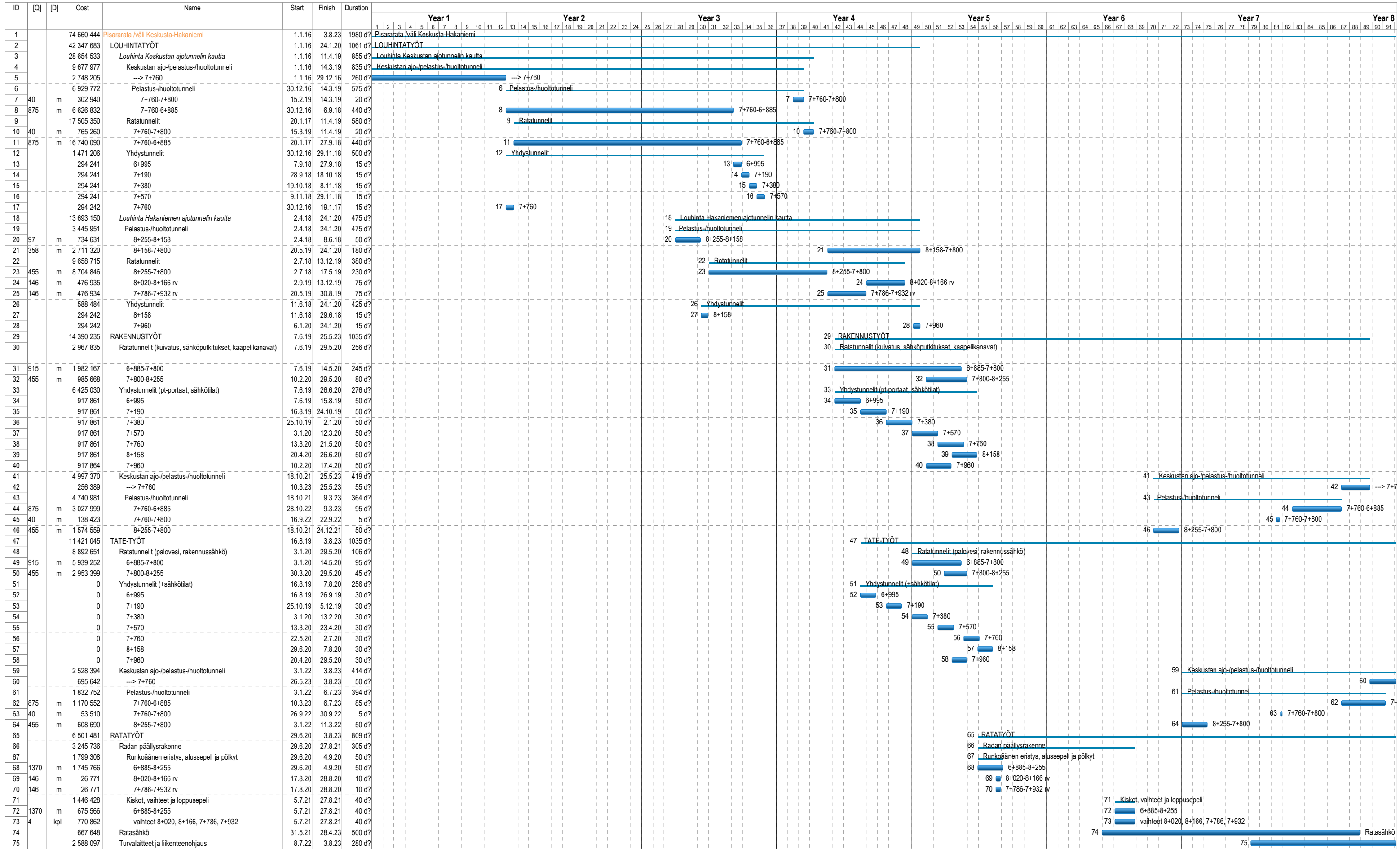
Teknologiset kehitysaskleet kuten ohjelmistojen, formaattien ja standardien kehittäminen ovat vain osa askelista kohti parempaa päätöksentekoa. Näiden lisäksi avainasemassa on prosessien ja toimintatapojen kehittäminen niin, että ne nivoutuvat yhtenäiseksi systeemiksi teknologian kanssa. Tätä varten tulisi määrittää suunnitelmien ja mallien keskeiset käyttötapaukset, jotta tieto saataisiin välittymään mahdollisimman tehokkaasti eri sidosryhmien välillä hankkeen eri vaiheissa.

Huomioitava on myös suunnittelun ohjauksen ja päätöksenteon tarpeet sekä tiedon tarkkuustaso. Suunnittelun ja tiedon tarkkuustaso paranevat hankkeen edetessä, jolloin myös päätöksenteon tueksi voidaan tarjota luotettavampaa informaatiota. Epätarkemmasta tiedosta voi kuitenkin olla hyötyä jo hankkeen varhaisissa vaiheissa, mutta tällöin on sovittava niistä käytännöistä, joilla tieto tuotetaan ja tiedostettava, että ne sisältävät vielä epävarmuuksia.

## Lähteet

Aulakoski, Anna; Montin, Pekka; Lydman, Petri ja Häyrinen, Kalle (2014) Panospohjaisen CO<sub>2</sub>-laskennan pilotointi väylähankkeessa – Kehä I liittymän parantaminen Kivikontien eritasoliittymän kohdalta. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2014.





Unique ID	ID	Name	CO2
41521	1	Pisarakarata /väli Keskusta-Hakaniemi	
41438	2	LOUHINTATYÖT	
41439	3	Louhinta Keskustan ajotunnelin kautta	
41440	4	Keskustan ajo-/pelastus-/huoltotunneli	
41441	5	---> 7+760	1206331,80
41520	6	Pelastus-/huoltotunneli	0,00
41442	7	7+760-7+800	137901,87
41443	8	7+760-6+885	3016612,35
41444	9	Ratatunnelit	
41445	10	7+760-7+800	322394,52
41446	11	7+760-6+885	7052391,72
41447	12	Yhdystunnelit	
41448	13	6+995	150242,25
41449	14	7+190	150242,25
41450	15	7+380	150242,25
41451	16	7+570	150242,25
41452	17	7+760	150242,76
41453	18	Louhinta Hakaniemen ajotunnelin kautta	
41454	19	Pelastus-/huoltotunneli	
41455	20	8+255-8+158	334412,73
41456	21	8+158-7+800	1234224,95
41457	22	Ratatunnelit	
41458	23	8+255-7+800	3667243,36
41459	24	8+020-8+166 rv	229254,70
41460	25	7+786-7+932 rv	229254,70
41461	26	Yhdystunnelit	
41462	27	8+158	150242,76
41463	28	7+960	150242,76
41464	29	RAKENNUSTYÖT	
41465	30	Ratatunnelit (kuivatus, sähköputkitukset, kaapelikanavat)	
41466	31	6+885-7+800	297659,02
41467	32	7+800-8+255	148016,28
41468	33	Yhdystunnelit (pt-portaat, sähkötilat)	
41470	34	6+995	285385,25
41471	35	7+190	285385,25
41472	36	7+380	285385,25
41473	37	7+570	285385,25
41474	38	7+760	285385,25
41476	39	8+158	285385,25
41477	40	7+960	285385,25
41478	41	Keskustan ajo-/pelastus-/huoltotunneli	
41479	42	---> 7+760	59549,50
41513	43	Pelastus-/huoltotunneli	
41480	44	7+760-6+885	928914,94
41481	45	7+760-7+800	42464,74
41483	46	8+255-7+800	483035,62
41484	47	TATE-TYÖT	
41485	48	Ratatunnelit (palovesi, rakennussähkö)	
41486	49	6+885-7+800	560060,58
41487	50	7+800-8+255	278500,12
41488	51	Yhdystunnelit (+sähkötilat)	
41490	52	6+995	0,00
41491	53	7+190	0,00
41492	54	7+380	0,00
41493	55	7+570	0,00
41494	56	7+760	0,00
41496	57	8+158	0,00
41497	58	7+960	0,00
41498	59	Keskustan ajo-/pelastus-/huoltotunneli	
41515	60	---> 7+760	
41516	61	Pelastus-/huoltotunneli	
41517	62	7+760-6+885	
41518	63	7+760-7+800	
41519	64	8+255-7+800	
41499	65	RATATYÖT	
41500	66	Radan päällysrakenne	
41501	67	Runkoääneneristys, alussepeli ja pölkyt	
41502	68	6+885-8+255	265917,02
41503	69	8+020-8+166 rv	4077,79
41504	70	7+786-7+932 rv	4077,79
41505	71	Kiskot, vaihteet ja loppusepeli	
41506	72	6+885-8+255	309768,10
41507	73	vaihteet 8+020, 8+166, 7+786, 7+932	8421,00
41508	74	Ratasähkö	22006,90
41512	75	Turvallitteet ja liikenteenohjaus	170978,50



