Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden
korkeakoulu

Vincent Wiik

Mittakaavaedut infrarakentamisessa ja niiden huomioiminen kustannuslaskentajärjestelmässä

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 22.5.2021
Valvoja: Professori Antti Peltokorpi
Ohjaaja: DI Aki Peltola & DI Timo Ruoho

Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu

Aalto-yliopisto, PL 11000, 00076 AALTO
www.aalto.fi

Diplomityön tiivistelmä

Tekijä Vincent Wiik

Työn nimi Mittakaavaedut infrarakentamisessa ja niiden huomioiminen kustannuslaskentajärjestelmässä

Maisteriohjelma Building Technology **Koodi** Eng27

Työn valvoja Professori Antti Peltokorpi

Työn ohjaaja(t) DI Aki Peltola, DI Timo Ruoho

Päivämäärä 22.5.2021 **Sivumäärä** 83 + 5 **Kieli** Suomi

Tiivistelmä

Infrahankkeiden kustannusarvioilla on merkittäviä vaikutuksia hankkeiden etenemiseen. Kustannusarvioita käytetään mm. päätöksenteon pohjana ja hankkeiden tuottavuutta arvioivan kustannus-hyötyanalyysin perustana. Kustannusarvioiden epätarkkuus saattaa aiheuttaa merkittäviä ongelmia hankkeen edetessä, varsinkin jos hankkeen kustannukset nousevat merkittävästi. Tutkimuksen päätavoite on selvittää infrarakentamisessa esiintyviä mittakaavaetuja ja niiden taustalla vaikuttavia mekanismeja. Lisäksi tavoitteena oli tutkimustulosten avulla kehittää Ihku-laskentapalvelun tapaa huomioida hankkeen koon vaikutus kustannuksiin.

Tutkimus toteutettiin asiantuntijahaastattelujen sekä määrällisen aineiston analyysin avulla. Työssä tutkittiin mittakaavaetuja ja muita kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä infrahankkeissa. Lisäksi työssä perehdyttiin infrahankkeiden laskentaan liittyvään prosessiin Suomessa ja ulkomailla. Työssä tutkittiin myös kustannuksiin vaikuttavien tekijöiden huomioimista Ihku-laskentapalvelun panospohjaisissa rakennusosissa materiaalihintojen ja työsaavutusten avulla sekä hanketehtävien laskennassa. Tutkimustyön tilaajana oli Turun kaupungin kaupunkiympäristön toimiala.

Tutkimuksen pohjalta voidaan todeta, että pelkkä hankkeen euromääräinen koko tai suoritemäärät eivät riitä yksinään todisteeksi mittakaavaetujen esiintymisestä. Infrahankkeissa rakentamisen työmenetelmiin ja kustannuksiin vaikuttavat suuresti hankekohtaiset olosuhteet, kuten maapohja ja toteutusympäristö, jotka ovat aina hankekohtaisia. Suuri hanke voi tutkimuksen perusteella mittakaavaeduista johtuen olla suhteellisesti edullisempaa rakentaa kuin pieni hanke. Mittakaavaetujen esiintymistä havaittiin erityisesti urakoitsijan hanketehtävissä. Tutkimuksessa havaittiin, että mittakaavaetuja esiintyy erityisesti alle miljoonan euron hankkeissa. Miljoonan euron raja-arvon ylittyessä skaalaetuja ei enää esiinny vaan ne muuttuvat vakioiksi.

Diplomityön tutkimustuloksista muodostui ehdotus uudesta hankekoon paremmin huomioivasta hanketehtävien laskentamatriisista Ihku-laskentapalvelua varten. Lisäksi tutkimuksen avulla tunnistettiin rakennusosia, joiden kustannuksiin hankkeen koko tai olosuhteet saattavat merkittävästi vaikuttaa. Tunnistettujen tekijöiden vaikutusta ja vaikutusten huomioimista rakennusosien kustannuksiin työstetään eteenpäin Ihku-allianssissa diplomityötutkimuksen ulkopuolella.

Avainsanat Infrahanke, kustannusarvio, kustannuslaskenta, mittakaavaetu, skaalaetu, volyymietu, hanketehtävät

Aalto University
School of Engineering

Aalto University, P.O. BOX 11000, 00076 AALTO
www.aalto.fi

Abstract of master's thesis

Author Vincent Wiik

Title of thesis Economies of scale in infrastructure construction and application in a cost calculation system

Master programme Building Technology **Code** Eng27

Thesis supervisor Professor Antti Peltokorpi

Thesis advisor(s) M.Sc. (Tech.) Aki Peltola, M.Sc. (Tech.) Timo Ruoho

Date 22.5.2021 **Number of pages** 83 + 5 **Language** Finnish

Abstract

The cost estimate of an infrastructure project has significant impact on the advancement of the project. Cost estimates are used as a basis for decision making and cost-benefit analyses which assess the productivity of the project. The inaccuracy of cost estimates can cause problems as the project progresses, especially if the actual costs increase significantly compared to the cost estimate. The main objective of the research is to investigate economies of scale in infrastructure construction and the mechanisms behind the benefits. Additional objectives also include developing methods for the Ihku cost management systems to take the benefits into account in cost estimation.

The thesis investigates economies of scale and other factors that influence the final cost of infrastructure projects, as well as the process of infrastructure cost calculation in Finland and other countries. Simultaneously the work examines the costs of work components in terms the of factors influencing the productivity and material price as well as calculation of the contractor's project costs. The research was commissioned by the City of Turku's urban environment department. Both qualitative and quantitative research was utilized in the research work. Research methods used include literature review, expert interviews, and quantitative data analysis.

Based on the study, it can be concluded that the size in euros or amount of construction work components of a project alone are not alone sufficient indicators to prove the existence of economies of scale. In civil construction projects, construction work methods and costs are greatly influenced by the circumstances of the project, such as the soil and the implementation environment, which are always project specific. A large project may be relatively cheaper to build than a small project due to the different economies of scale of the study. The study finds that economies of scale occur especially in projects that cost a million euros or less. When the threshold of 1 million euros is exceeded, there are constant returns to scale.

The research results of the master's thesis formed a proposal for an updated calculation matrix for contractors project task costs for the Ihku cost estimation service. The study also identified critical works which costs can significantly be affected by the size of the project or other factors. The effects of the factors on the work components will be worked on further in the Ihku-alliance, but not as a part of this thesis research.

Keywords Infrastructure, cost estimate, civil construction, economies of scale, contractors project tasks

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Turun Kaupungin kaupunkiympäristön toimialan toimeksiannosta, osana Ihku-laskentapalvelun kehitystä, jossa Turun kaupunki toimii allianssin yhtenä tilaajaosapuolena. Työ on tehty opinnäytteeksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten Aalto yliopiston rakennustekniikan laitokselle. Diplomityö alkoi lokakuussa 2020 ja päättyi vuoden 2021 toukokuussa. Diplomityön valvojana toimi professori Antti Peltokorpi. Ohjaajina toimivat Ihku-allianssin projektipäällikkö Timo Ruoho sekä Ihku-allianssin-kustannuslaskentatiimin vetäjä Aki Peltola.

Työni valmistumisesta haluan esittää kiitokset ohjaajalleni Aki Peltolalle, jolta sain selkeän diplomityön aiheen sekä tukea ja apua työn edistämiseen aina kun sitä kaipasin. Haluan myös kiittää toista ohjaajaani Timo Ruohoa ja koko Point Groupin sekä Ihku-allianssin porukkaa työn aikana saamastani kannustuksesta ja avusta. Lisäksi kiitän Turun Kaupungin kaupunkiympäristön toimialan Kimmo Suonpäätä ja Jouko Turtoa, jotka myöntämällä työlle rahoituksen mahdollistivat sen toteutumisen. Haluan myös esittää kiitokset professori Antti Peltokorvelle työni valvomisesta. Erityiset kiitokset kuuluvat myös työn haastatteluihin osallistuneille henkilöille, jotka olivat avainasemassa työn onnistumisen osalta.

Lopuksi haluan myös kiittää perhettäni, isovanhempiani sekä kaikkia ystäviäni heidän tuestansa ja avusta opiskelujeni kaikissa vaiheissa.

Espoo 22.5.2021

Vincent Wiik

Sisällys

1 Johdanto ... 5
1.1 Tutkimuksen taustaa ... 5
1.2 Infrahankkeiden kustannuslaskentajärjestelmä- ja palvelualliansi ... 5
1.3 Työn tavoitteet ja rajaukset ... 6
1.4 Tutkimusmenetelmät ja aineisto ... 7
2 Kirjallisuuskatsaus ... 9
2.1 Infrahankkeen pääpiirteet ... 9
2.2 Infrahankkeen vaiheet ja niihin liittyvät kustannukset ... 10
2.2.1 Tarveselvitysvaihe ... 10
2.2.2 Hankesuunnitteluvaihe ... 11
2.2.3 Suunnitteluvaihe ... 11
2.2.4 Tarjousvaihe ... 12
2.2.5 Rakentamisvaihe ... 12
2.2.6 Käyttöönottovaihe ... 12
2.3 Infrahankkeen kustannusten hallinta ... 12
2.3.1 Infra 2015 nimikkeistö kustannushallinnan tukena ... 13
2.3.2 Kustannushallinnan merkitys yrityksille ... 15
2.4 Kustannuslaskentamenetelmät ... 15
2.4.1 Viitekohde- ja tilastomenetelmät ... 16
2.4.2 Laajuus- ja tilapohjainen laskenta ... 17
2.4.3 Rakennusosa- ja tuoteosalaskenta ... 17
2.4.4 Suorite- ja panospohjainen laskenta ... 18
2.5 Käytössä olevat kustannuslaskentaprosessit ... 19
2.5.1 Suomessa käytössä oleva prosessi ... 19
2.5.2 Ulkomailla käytössä olevien prosessien kuvaus ... 21
2.6 Mittakaava- ja yhteistuotantoedut ... 27
2.6.1 Skaalaedut ja -tuotot (economies of scale) ... 27
2.6.2 Yhteistuotantoedut- ja tuotot (economies of scope) ... 29
2.6.3 Mittakaava- ja yhteistuotantoedut rakennusyrityksissä ja -alalla ... 29
2.6.4 Mittakaavaedut rakennusprojekteissa ... 31
2.7 Muita rakentamisen tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä ... 33
2.8 Kirjallisuustutkimuksen johtopäätökset ... 35
3 Tutkimusmenetelmät ja – aineisto ... 36
3.1 Asiantuntijahaastattelut ... 36
3.1.1 Asiantuntijahaastatteluiden aineiston ja menetelmän arviointi ... 37
3.2 Määrällisen aineiston analyysi ja laskentamallin käytännön kokeilu ... 37
3.2.1 Määrällisen aineiston ja konstruktion käytännön kokeilun arviointi ... 38
4 Konstruktion kehittäminen hankkeen laajuuden huomioimiseksi ... 39
4.1 Hankkeiden kokoluokkien jako ... 39
4.2 Hankkeen laajuuden vaikutukset kustannuksiin ... 40
4.3 Suoritemäärän vaikutukset rakennusosien yksikkökustannuksiin ... 42
4.3.1 Suoritemäärän vaikutukset materiaalihintoihin ... 45
4.4 Yhteenveto panospohjaisista rakennusosista ja niihin vaikuttavien tekijöiden huomioimisesta Ihku-laskentapalvelussa ... 45
4.5 Urakoitsijan hanketehtävien kustannuksiin vaikuttavat tekijät ... 47
4.6 Rakennusyrityksen koon vaikutus yksikkökustannuksiin ... 49
4.7 Hankkeen laajuuden huomioiminen kustannusarviossa ... 50
4.8 Esteitä mittakaavaetujen saavuttamiseen infrarakentamisessa ... 50
5 Laskentamallien testaus ... 52

5.1 Hankkeiden jako seitsemään suurusluokkaan ... 52
5.2 Hankkeiden jako suuruusluokan ja toteutusympäristön mukaisesti ... 59
5.2.1 Laskentamallin optimointi ... 64
5.3 Ihku-laskentapalvelulle ehdotettu laskentamalli ... 66
6 Johtopäätökset ja yhteenveto ... 69
6.1 Tutkimustulokset ... 69
6.2 Laskentamallin arviointi ... 71
6.3 Tulosten luotettavuuden arvioiminen ... 71
6.4 Ehdotetut jatkotutkimukset ja loppupohdinta ... 72
Lähdeluettelo ... 74
Haastattelut ... 82
Liiteluettelo ... 83

Liite 1. Haastattelukysymykset 4 s.
Liite 2. Haastateltavien henkilöiden viitteet tutkimuksessa 1 s.

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen taustaa

Sekä talo- että infrarakentamisessa tiettyjen rakennusosien suoritemäärällä saattaa olla huomattava vaikutus työsaavutuksiin. Tyypillisesti mitä suurempi rakennushanke on, sitä tehokkaampaa ja edullisempaa rakentaminen on suoriteyksikköä kohden. Rakennusosan suoritemäärä vaikuttaa siis työsaavutuksien kautta koko hankkeen aikatauluun sekä kustannuksiin. Lisäksi kasvaneet materiaalimäärät voivat tietyissä tapauksissa vaikuttaa merkittävästi materiaalien hankintahintoihin, jotka vaikuttavat kokonaiskustannuksiin. Ilmiöllä on englanninkielinen termi economies of scale (EoS), Suomeksi mittakaavaedut. Mittakaavaedut tarkoittavat tuotannon tai jakelun yksikkökustannusten alenemista tuotantoyksikön suuruuden kasvattamisen seurauksena (Chandler ym. 1994). Rakennushankkeissa tämä tarkoittaa sitä, että mitä enemmän samaa työtä tehdään, sitä tehokkaampaa työskentely yleensä on. Suoritemäärien kasvaessa hitaampien työvaiheiden kuten aloittamis- ja lopettamistöiden merkitys työsaavutuksissa vähenee, joka johtaa siihen, että työnsuunnittelussa voidaan käyttää suurempia työsaavutuksia.

Tässä diplomityössä tutkitaan hankekoon vaikutusta kustannuksiin infrarakentamisessa. Tällä hetkellä infrarakentamisen julkinen tieto eri rakennusosien työsaavutuksista on pääosin vanhentunutta eikä se huomioi työsaavutuksien vaihtelua suoritemäärään perustuen. Tarkempi tieto työsaavutuksista eri kokoisissa hankkeissa parantaa kustannusarvioiden tarkkuutta ja luotettavuutta. Talonrakennuspuolella käytössä olevassa Rakennustöiden menekit 2020 kirjassa on otettu huomioon suoritemäärän vaikutus työmenekkeihin. Kirjassa todetaan suoritemäärien vaikutuksesta kohteen työmenekkeihin seuraavasti: ”Työn suoritemäärät vaikuttavat kohteen työmenekkeihin siten, että työmenekki yksikköä kohden yleensä pienenee, kun suoritemäärä kasvaa. Työmenekit pienenevät myös silloin, kun osakohteen keskimääräinen koko kasvaa. Talviolosuhteet puolestaan suurentavat työmenekkiä, sillä talviolosuhteet aiheuttavat ylimääräisiä työtehtäviä ja talvi hidastaa itse työn tekemistä.”. (Rakennustieto Oy 2019).

Samanlaista tietoa työmenekeistä kaivataan myös infrahankkeista. Tutkimuksellisen tiedon tarve nousee esiin Ihku-laskentapalvelun tarpeesta huomioida rakennushankkeen koon vaikutukset kustannuksiin mahdollisimman hyvin. Tässä diplomityössä tullaan tutkimaan miten tiettyjen ennalta määritettyjen rakennusosien määrät vaikuttavat hankkeen kokonaiskustannuksiin työsaavutuksien ja materiaalien hankintahintojen kautta.

1.2 Infrahankkeiden kustannuslaskentajärjestelmä- ja palvelualli-anssi

Tämä diplomityö on laadittu Turun kaupungille kaupunkiympäristön toimialalle. Turun kaupunki on yksi Infrahankkeiden kustannuslaskentajärjestelmä- ja palvelualliansin, eli Ihku-allianssin tilaajakonsortioon kuuluvista kaupungeista. Ihku-laskentapalvelun kehittäminen toteutetaan allianssimallilla, jossa palveluntuottajiin kuuluvat Civilpoint Oy, Mittaviiva Oy, Ramboll Finland Oy ja Solita Oy ja tilaajakonsortioon Väylä sekä kaupungit Helsinki, Espoo, Vantaa, Tampere, Turku ja Jyväskylä.

Ihku-allianssin tavoitteena on infra-alan kustannuslaskentajärjestelmän kehittäminen parantamalla kustannusarvioiden tarkkuutta sekä luotettavuutta. Lisäksi Ihku-laskentapalvelu pyr-

kii lisäämään infra-alan kustannustietoa sekä parantamaan tiedon avoimuutta ja läpinäkyvyyttä. Ihku-laskentapalvelun kustannuslaskenta tulee perustumaan nykyisiin standardeihin kuten Infra 2015 määrälaskentaohjeeseen sekä InfraRYL:iin. Ihku-laskentapalvelun on myös tarkoitus kustannusarvioissa huomioida hankkeen tyyppi, toteutusympäristö ja koko, joiden avulla oletustyösaavutukset saadaan määritettyä ja laskennasta saadaan mahdollisimman tarkka ja paikkansapitävä.

1.3 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen päätavoite on kehittää Ihku-laskentapalvelun kertoimia ja malleja, joilla Ihkun kustannuslaskentajärjestelmä pystyy huomioimaan laskettavan infrahankkeen hankekoon vaikutusta rakentamisen kustannuksiin. Tutkimus keskittyy erityisesti etukäteen tunnistettuihin rakennusosiin tie- ja katuhankkeissa sekä urakoitsijoiden hanketehtäviin. Tavoitteena on myös tunnistaa, mikäli yksittäisten rakennusosien kustannusten välillä voidaan havaita samankaltaisuuksia suoritemäärien kasvaessa. Mittakaavaetujen vaikutuksia rakennusosiin työstetään eteenpäin tämän diplomityön ulkopuolella Ihku-laskentapalvelun asiantuntijoiden toimesta. Tässä työssä on tarkoitus selvittää mittakaavaetujen mekanismeja eri rakennusosissa ja sitä myötä mahdollistaa niiden huomioiminen Ihku-laskentapalvelussa.

Tutkimus käsittelee rakennusosien toteutuskustannuksia per toteutusyksikkö, huomioiden työsaavutukset sekä materiaalihinnat niiltä osin, kun ne vaikuttavat merkittävästi kustannuksiin. Rakennusosalla tarkoitetaan Infra 2015 Rakennusosa- ja hankenimikkeistön määrämittausohjeen mukaista rakennuskohteeseen pysyvästi jäävää aineellista osaa, joka koostuu yhdestä tai useammasta rakenneosasta. Tutkimus keskittyy rakentamisen aikaisiin kustannuksiin, eikä siinä huomioida hankkeen muihin vaiheisiin liittyviä kustannuksia.

Työssä pyritään selvittämään mitkä ovat kynnysarvot rakennushankkeessa saavutettaville mittakaavaeduille, ja missä mahdollinen raja tulee vastaan, jonka jälkeen mittakaavaetu lakkaa kasvamasta. Ostovoiman mittakaavaetuun liittyy myös selvitys siitä, johtuuko etu enemmän yksittäisen suuren hankkeen ostovoimasta vai hankkeen toteuttajan yrityskohtaisesta ostovoimasta.

Lisäksi työssä selvitetään miten hankkeen koko vaikuttaa urakoitsijoiden hanketehtäviin. Tutkimuksessa tarkastellaan olettamuksia, josko rakennusosien toteuttamisen lisäksi myös urakoitsijan hanketehtävissä esiintyy hankkeen koosta johtuvia mittakaavaetuja tai onko esimerkiksi suuressa hankkeessa urakoitsijoiden hanketehtävät edullisempia suhteessa pieniin hankkeisiin.

Tavoitteiden saavuttamiseksi työssä etsitään vastauksia seuraaviin neljään toisiinsa liittyviin kysymyksiin:

- Missä rakennusosissa suoritemäärät vaikuttavat erityisesti kustannuksiin?
    - Mikä on kustannuksiin vaikuttava mekanismi kyseisissä rakennusosissa?
    - Miten suoritemäärät vaikuttavat kyseisten rakennusosien työsaavutuksiin ja materiaalihintoihin?
- Miten hankkeen koko vaikuttaa urakoitsijan hanketehtäviin?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaamalla pyritään määrittelemään tarkasteltavat rakennusosat joihin työssä tullaan keskittymään. Toisen tutkimuskysymyksen avulla pyritään selvittämään mekanismit vaikutuksen takana, kuten rakennusosan toteutukseen liittyvät mobilisaatiokulut tai esimerkiksi työryhmän tai kaluston koon muuttuminen. Kolmannella tut-

kimuskysymyksellä pyritään määrittelemään vaikutukset työsaavutuksiin sekä materiaalihintoihin, jotka vaikuttavat suoraan hankkeen kustannuksiin. Neljännellä kysymyksellä pyritään määrittelemään tapa, jolla hankkeen koon voi huomioida myös kustannusarvion hanketehtävien laskennassa.

1.4 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Diplomityö on yhdistelmä laadullista ja määrällistä tutkimusta, jossa hyödynnetään kirjallisuusselvitystä, teemahaastatteluja sekä määrällisiä menetelmiä. Ihku-laskentapalvelun kehityksen aikana on tunnistettu joukko keskeisiä rakennusosia, joihin suoritemäärät vaikuttavat erityisesti. Haastattelujen avulla pyritään varmistamaan, että tunnistetut rakennusosat ovat oikeita sekä täydentämään tunnistettujen rakennusosien joukkoa. Haastattelujen avulla luodaan tarvittaessa myös kertoimia suoritemäärän vaikutuksesta rakennusosan kustannuksiin. Haastattelujen perusteella luotua laskentalogiikkaa tutkitaan ja täsmennetään määrällisen aineistoanalyysin avulla.

Tutkimus on luonteeltaan konstruktiivinen, jossa tutkimusta käytetään ongelman tarkempaan määrittelemiseen sekä käytännön ratkaisumallien luomiseen. Tutkijan tehtävänä on konstruktiivisen tutkimuksen laatijana rakentaa teoriaan pohjautuva ratkaisu, jonka toimivuus todetaan käytännössä (Kasanen ym. 1993, Virtanen, 2006). Konstruktiivisen tutkimuksen tutkimusprosessiin kuuluu kuusi vaiheitta, joista ensimmäiset kolme vaihetta keskittyvät ongelmaan kartoittamiseen sekä aiemman tutkimustiedon keräämiseen ja syvälliseen ymmärtämiseen. Vaiheet 4–6 sisältävät konstruktion luomisen (vaihe 4), konstruktion testaamisen käytännössä (vaihe 5) sekä pohdinnan konstruktion soveltamisesta käytännössä (vaihe 6) (Lukka 2000).

Kirjallisuusselvityksessä selvitetään mittakaavaetujen toimintaperiaatteita sekä yleisellä tasolla että tarkemmin rakentamisessa. Toinen kirjallisuusselvityksessä tarkasteltava teema on infrahankkeiden kustannuslaskennan toimintaprosessi ja menetelmät. Tarkastelemalla mittakaavaetuja ja kustannuslaskennan prosessia ja menetelmiä saadaan käsitys, miten mittakaavaedun mekanismit vaikuttavat kustannuksiin. Kirjallisuusselvityksessä perehdytään myös rakentamisen kustannuslaskentaprosessiin muissa maissa ja selvitetään hyväksi todettuja käytäntöjä, joilla huomioida hankkeen koon vaikutus rakentamiskustannuksiin.

Tutkimuksen empiirinen osuus on toteutettu henkilöhaastatteluina ja määrällisen kustannuskustannusaineiston analyysiä hyväksikäyttäen. Haastatteluiden kohderyhminä on ollut urakoitsijoiden tarjouslaskijoita sekä muita kustannuslaskennan asiantuntijoita. Haastatteluiden tavoitteena oli selvittää miten urakoitsijat näkevät hankkeen koon tai tietyn rakennusosan suoritemäärän vaikuttavan hankkeen tai rakennusosan kustannuksiin. Haastattelujen avulla pyrittiin vahvistamaan käsitystä siitä, että Ihku-laskentapalvelun kehittämisen aikana tunnistetut keskeiset rakennusosat, joiden kustannuksiin suoritemäärät vaikuttavat ovat oikeita. Alkuperäiset rakennusosat, joissa määrän uskotaan vaikuttavan kustannuksiin ovat Ihku-laskentapalvelun kehityksessä mukana olleiden asiantuntijoiden tunnistamia. Haastateltavilta asiantuntijoilta toivottiin myös täydennyksiä listaan jo tunnistetuista rakennusosista, joissa suoritemäärä voi vaikuttaa rakennusosan kustannuksiin. Rakennusosan muuttujien, kuten työsaavutuksen tai materiaalin hinnan muuttaminen vaikuttaa rakennusosan kustannuksiin. Esimerkiksi suuren kentän päällystäminen voi olla yksikköhinnoiltaan halvempaa kuin pienen kentän päällystäminen sillä työsaavutus saattaa nousta esimerkiksi työn jatkuvuuden sekä suurempien koneiden käytön ansiosta. Tuottaessa suuria määriä myös kiinteät kustannukset jakautuvat suuremmalle kokonaisuudelle, joka laskee kiinteiden kustannusten hintaa

per yksikkö. Esimerkiksi kaluston mobilisaatio on suhteellisesti edullisempaa, kun mobilisaatiokustannus voidaan jakaa useammalle yksikölle.

Tutkimuksen haastattelut toteutettiin teemahaastatteluina. Teemahaastattelu on vuorovaikutteinen keskustelu, jossa tutkija pyrkii selvittämään haastateltavalta häntä kiinnostavat tutkimuksen aihepiiriin kuuluvat asiat. Teemahaastattelulle ominaista on, että haastattelun kulkua ei ole etukäteen tarkoin määritetty, vaan haastattelu etenee joustavasti ennalta suunniteltujen teemojen mukaisesti. Teemahaastattelussa käsitellyt teemat ovat kuitenkin tarkasti etukäteen mietittyjä ja vaativat huolellista perehtymistä aiheeseen ja haastateltavien tilanteen tuntemista (Aaltola & Valli 2010, Hirsijärvi & Hurme 2008).

Haastatteluiden perusteella arvioitiin, onko tietyille rakennusosille tarvetta luoda vaihtoehtoja, jotka huomioivat esimerkiksi suoritemäärän tai olosuhteet. Näiden tunnistettujen rakennusosien mallintamisessa käytetään apuna asiantuntijoita. Rakennusosien mallintaminen ei kuulu tämän tutkimuksen piiriin, vaan tutkimus pyrkii tunnistamaan rakennusosat, joissa olosuhteet tai suoritemäärät voivat vaikuttaa kustannuksiin huomattavasti työsaavutuksen noustessa tai laskiessa. Tässä työssä tehtyjen havaintojen perusteella rakennusosia työstetään eteenpäin Ihku-laskentapalvelun asiantuntijoiden toimesta. Työssä pyrittiin tuottamaan tietoa rakennusosien yksikkökustannuksiin vaikuttavista tekijöistä, joiden pohjalta rakennusosien malleja ja mallintamista voidaan parantaa.

Haastatteluista saatujen näkemysten perusteella pyrittiin myös luomaan laskentamallit hanketehtävien osuudelle hankkeen kustannuksista määrällistä analyysia varten. Laskentamalleja kokeiltiin käytännössä Ihku-laskentapalvelulla lasketuilla hankkeilla. Ihku-laskentapalvelun kustannusarvioiden tarkkuutta on seurattu toteutusvaiheen aikana vertaamalla laskentapalvelulla laskettuja hankkeita Väyläviraston ja kuntien toimittamiin urakoitsijoiden tarjouksiin. Näin palvelun kehittymistä on voitu seurata ja ohjata. Tavoitteena on, että palvelulla tuotetut kustannuslaskelmat vastaavat urakoitsijoiden tarjouksia. Kertoimia kokeiltiin Ihku-laskentapalvelulla aikaisemmin lasketuilla hankkeilla. Ihku-laskentapalvelulla laskettuja hankkeita ei ole käytettyä Ihku-laskentapalvelun rakennusosakirjaston kehitykseen, vaan rakennusosat ovat hinnoiteltu panospohjaisesti asiantuntijoiden toimesta. Hankkeita on käytetty rakennusosakirjaston testaamiseen.

Analysoitavien hankkeiden tiedot saatiin Ihku-allianssin keräämästä aineistosta. Ihku-allianssin aineistoon kuuluu mm. Väyläviraston sekä kuntien toimittamia urakkatarjouksia ja vastaavien urakoiden kustannusarvioita. Analysoitavat hankkeet valittiin Ihku-laskentapalvelun kehittämisen sisäisen hanketestausprosessin ohjeen mukaisesti. Ohjeen mukaisesti varmistetaan, että hankkeesta oli saatavilla kaikki tarvittavat tiedot. Analysoitavasta hankkeesta piti olla saatavilla vähintään urakoitsijoiden tarjoukset, suunnittelijan kustannusarvio tai yksikköhintaurakan vertailu määrätietoineen sekä hankekuvaus, josta saadaan lisätietoa hankkeen olosuhteista. Näin vertailumateriaalia ei tarvinnut hankkia erikseen, ja laskentamallien vaikutuksia rakennusosiin voitiin tarkastella tehokkaasti. Tavoitteena on, että kertoimien käyttöönotto parantaa Ihku-laskentapalvelulla tuotettavien kustannusarvioita tarkkuutta entisestään, eli laskettujen hankkeiden kustannusten ero vastaaviin urakoitsijoiden tarjouksiin pienentyisi. Tulosten perusteella kertoimien toimimista analysoidaan ja mahdollisesti muokataan tarkkuuden parantamiseksi. Kyseessä oli siis eräänlainen iterointiprosessi, jossa kertoimia muokattiin ja verrattiin aikaisempiin tuloksiin. Kertoimien kokeiluun käytettiin Ihku-laskentapalvelun kokeiluhetkellä käytössä olevaa versiota.

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Infrahankkeen pääpiirteet

Infrastruktuuri termillä voidaan kuvata ja ymmärtää laajaa kokonaisuutta, joka palvelee vielä laajempaa ja moninaisempaa toimintaa. Infrarakentaminen tuottaa ja ylläpitää kaikkea rakennettua ympäristöä pois lukien talonrakentamisen. Infrastruktuuriin lukeutuu mm. tie-, rautatie, lento- vesi-, energia- ja tietoliikenneverkot. Lisäksi infrarakentamiseen kuuluu myös uudistalonrakentamisen aluerakenteet, kiinteistöjen ulkoalueiden hoito, kaivosten avaamiseen liittyvät työt sekä tuulivoimaloiden perustamiseen liittyvät työt. (RIL 2006, Vainio & Nippala 2013). Infrahankkeella vastataan tarpeeseen luoda, korjata, kehittää tai ylläpitää aikaisempaa infrastruktuuria. Toimiva infrastruktuuri on perusehto yhteiskunnan, tuotannon ja talouden toiminnalle ja kehittymiselle. Tarve infrahankkeelle syntyy siis yhteiskunnan toiminnoista tai muutoksesta yhteiskunnan tai infran tarjoamissa palveluissa (RIL 2006).

Infrahankkeet ovat tyypillisesti julkisen sektorin investointeja, joilla on pitkä elinkaari ja merkittävä vaikutus ihmisten elinympäristöön (Siipo 2004, Kivilä ym. 2017). Infrahankkeisiin liittyvät investoinnit eroavat monilta osin muista investoinneista. Infrahankkeen taloudellinen elinkaari saattaa olla jopa yli sata vuotta. Infrahankkeiden takaisinmaksuaika on myös huomattavasti pidempi kuin muiden tuotantohyödykkeiden. Infrahankkeen takaisinmaksuaika vaihtelee yleensä 15–30 vuoden välillä, kun taas normaalin tuotantohyödykkeen laskettu takaisinmaksuaika on yleensä 8–9 vuotta. Toisaalta infrahankkeiden operatiiviset kustannukset ovat verrattain matalat verrattuna muihin investointeihin. Hankkeita varten on myös usein tarpeen ottaa lainaa, jolloin korkokustannukset ovat myös suhteellisen suuret. (Nijkamp & Ubbels 1998).

Suomessa infrarakentamisen suurimmat tilaajat ovat yksityinen sektori (44 %:a), kuntakonsernit (34 %:a), ja valtio (22 %:a). Kuntakonserneihin kuuluvat kunnat, kuntien liikelaitokset ja kuntien omistamat yritykset. Suurimmat valtion tilaajaorganisaatiot ovat ELY–keskukset sekä Väylävirasto. Kuntien käyttömenoista infran osuus on noin 4–5 prosenttia ja investoinneista noin kolmasosa. Valtion budjetista infran menot ovat 3 prosentin luokkaa ja investoinneista 70 prosenttia. Yksityiseen sektoriin kuuluvat yritykset ja kotitaloudet. Inframenojen osuus niiden vuotuisesta tuotannosta on noin 1–2 prosenttia ja investoinneista n. 15 %:a. (Vainio & Nippala 2013).

Yleistä infrahankkeille on, että ne sisältävät useita infrarakentamisen alueita ja ovat pitkäkestoisia sekä monimutkaisia toteuttaa. Infrahankkeet muuttavat yleensä merkittävästi ihmisten elinympäristöä ja ne herättävät laajasti kiinnostusta eri sidosryhmissä. Uusissa infrarakentamisen hankkeissa esiintyy myös usein eri sidosryhmien välisiä intressiriitoja. Intressien yhteensovittaminen hyväksytyksi tarvetta vastaavaksi tavoitteeksi on yksi infrarakentamisen suurimpia haasteita, jonka vuoksi infrahankkeen lopputulokset ovat kompromisseja. (RIL 2006, Lindholm & Junnonen 2012). Tämä johtaa myös siihen, että odotusaika ennen varsinaista rakentamisen aloittamista saattaa olla pitkä. Nämä muodollisuudet johtavat usein siihen, että hankesisältö muuttuu sen odotusaikana ja muutoksilla voi olla vaikutuksia hankkeen kustannuksia lisääviä vaikutuksia. Muutokset vaikeuttavat luotettavan kustannusarvion luomista hankkeen alkuvaiheessa huomattavasti. (Nijkamp & Ubbels 1998).

Lisäksi infrahankkeiden rakentamisaika on usein pitkä riippuen hankkeen koosta. Rakentamisaikana projekti ei tuota tuloja mutta korkoja ja muita maksuja tulee kuitenkin jo raken-

nusaikana maksaa. Pitkä rakennusaika on myös yksi tekijä, joka vaikeuttaa luotettavan kustannusarvion luomista. Monet ulkoiset tekijät saattavat vaikuttaa hankkeen kustannuksiin rakentamisaikana, kuten esimerkiksi kustannustason nousu. (Nijkamp & Ubbels 1998).

Ennen infrahankkeen käynnistämistä hanke arvioidaan käyttämällä hyöty-kustannusanalyysia (HK-analyysi) ja vaikuttavuuden arviointia. Hankearvioinnilla selvitetään hankkeen yhteiskuntataloudellinen kannattavuus, vaikuttavuus ja toteutettavuus. Hankearvioinnin tuottama tieto auttaa eri suunnitelmavaihtoehtojen vertailussa sekä päätöksenteossa hankkeen toteuttamisesta. Liikenneväylien HK-analyysissä arvioidaan väylän rakentamis- ja ylläpitokustannuksia sekä hankkeen toteuttamisesta johtuvia rahamääräisiä nettohyötyjen muutoksia. Analyysissä huomioidaan vaikutukset mm. matka-aikaan, onnettomuuksiin, meluun, päästöihin ja ajoneuvojen, alusten ja junien käyttökustannuksiin. Hanke on rahamääräisesti kannattava, jos HK-suhde on yli yksi, jolloin säästöt ovat investointeja suuremmat. HK-suhde ei kuitenkaan yksinään määrittele toteutetaanko hanke vai ei sillä se ei huomioi kaikkia hankkeen vaikutuksia. Hanke voi siis olla rahamääräisesti kannattava mutta johtaa muihin laskelman ulkopuolisiin haittoihin, jolloin hanketta ei toteuteta. Analyysin tuottamaa tietoa voidaan käyttää myös hankkeiden priorisoinnissa, kun päätetään mitkä hankkeet käynnistyvät ja mitkä saavat vielä odottaa. (Väylävirasto, nd). HK-analyysin lisäksi hankkeen ympäristövaikutukset arvioidaan Väyläviraston Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn (YVA) avulla. YVA:n tarkoituksen on varmistaa, että sekä fyysisesti että ympäristövaikutuksiltaan suurten hankkeiden suunnittelun yhteydessä selvitetään myös ympäristövaikutukset. (Väylävirasto, nd). Ympäristövaikutukset tulee ottaa huomioon suunnitelmaratkaisussa ja hankkeen päätöksenteossa (Lindholm & Junnonen 2012).

Onnistunut infrahanke täyttää sille asetetut vaatimukset toiminnaltaan, laatutasoltaan ja vaikutuksiltaan. Tavoitteiden asettamista ja määrittelemistä voidaan pitää jopa hankkeen tärkeimpänä vaiheena. Hankkeen tilaaja vastaa tavoitteiden kuvaamisesta ja niiden toteutumisen varmistamisesta. Kustannushallinnan kannalta infrahankkeen tavoite on saavuttaa sille määritellyt tavoitteet kohtuullisin kustannuksin. Kustannushallinnan tavoite ei ole minimoida kustannuksia vaan optimoida kustannuksia ja lopputuotetta niin, että lopputulos on mahdollisimman laadukas. Infrahankkeen laadun määrittää se, miten hyvin lopputuote ja asiakkaan tarpeet ja odotukset kohtaavat. (RIL 2006).

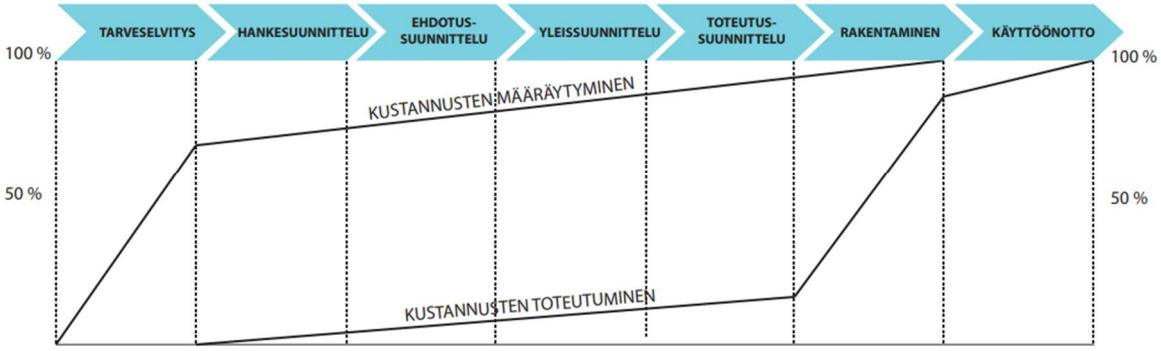
2.2 Infrahankkeen vaiheet ja niihin liittyvät kustannukset

Infrahanke voidaan yleisesti jakaa viiteen eri vaiheeseen, jotka saattavat kuitenkin vaihdella hanketyypin mukaan. Yleiset käsitteet ovat kuitenkin vakiinnuttaneet asemansa käytännön, lainsäädännön ja asetusten avulla. Hankkeen kustannushallinnan kannalta vaiheiden nimeämisellä ei ole suurta merkitystä. Tärkeämpää on ymmärtää ja yhtenäistää ylätason nimikkeistö sekä kuvata miten kustannuksiin voidaan eri vaiheissa vaikuttaa. Yleisesti infrahankkeille on tunnistettu seuraavat vaiheet; tarveselvitys, ohjelmointi, suunnittelu, rakentaminen ja käyttö. (RIL 2006).

2.2.1 Tarveselvitysvaihe

Infrahankkeen ensimmäistä vaihetta kutsutaan usein tarveselvitykseksi. Tarveselvitysvaiheessa todetaan tarve rakentaa uutta tai korjata tai muuttaa olemassa olevaa infrastruktuuria. Tarve voi johtua useasta eri syystä, kuten uusista toiminnoista, toimintojen ja rakenteiden palvelutason muutoksista mutta myös täysin toiminnoista ja palvelutasosta riippumattoistasyistä. Tarveselvityksen tarkoitus on perustella hanke tarvelähtöisesti ja selostaa tarpeiden tarkoituksenmukainen ympäristö. Tilaaja määrittää tarveselvitysvaiheen päätöksillä ja rat-

kaisuilla hankkeen kustannustason. (RIL 2006). Hankkeen kustannustaso määräytyy sen laajuuden, aikataulun, laatutason, hankintatavan ja sopijapuolten riskinjaon perusteella. Hankkeen kustannukset määräytyvät siis suurelta osin jo ennen suunnittelua tai rakentamista. Kustannukset toteutuvat myöhemmin hankkeen eri vaiheiden aikana. Tarveselvitys johtaa hankepäätökseen ja kustannuspuitteeseen. (Rakennustieto 2018). Yleensä tarveselvitysvaiheessa ratkaisuvaihtoehtoja on useampia, joista laaditaan alustavat hankeohjelmat ja joille lasketaan kustannusarviot hankeosalaskentamenetelmällä. (RIL 2006).



Kuva 1 Rakennushankkeen kustannusten määräytyminen ja toteutuminen (Rakennustieto 2018)

2.2.2 Hankesuunnitteluvaihe

Ohjelmointivaiheen tai nykyisin myös hankesuunnitteluvaiheen lähtötietoina toimivat tarveselvitys sekä sen yhteydessä laaditut alustavat hankeohjelmat. Alustavia hankeohjelmia tarkennetaan ja ratkaisuvaihtoehtoja karsitaan. Hankesuunnitteluvaiheessa päätetään myös mikä tai mitkä ratkaisut valitaan rakennussuunnittelun ja toteutuksen lähtökohdaksi. Kun päätökset on tehty, tehdään valitulle vaihtoehdolle yleissuunnitelma ja hankeohjelmaa tarkennetaan. (RIL 2006). Hankesuunnitteluvaiheessa asetetaan rakennushankkeen tavoitteet sekä määritetään hankeosien mitoitus ja tyyppiratkaisut. Hankesuunnitteluvaiheessa asetetaan kustannustavoitteen raamit, minkä vuoksi se on hankkeen kannalta erittäin tärkeä vaihe. Mikäli aikaisemmin tarveselvitysvaiheessa laadittu kustannusarvio on muuttunut, tulee se huomioida myös HK-analyysissä. Hankesuunnitteluvaiheen lopputuloksena saadaan investointipäätös ja hankkeen budjetti. (Rakennustieto 2018).

2.2.3 Suunnitteluvaihe

Hankkeen suunnitteluvaiheessa käytetään lähtötietoina hankesuunnitteluvaiheessa määritettyjä reunaehtoja ja tavoitteita, sekä yleissuunnitelmia jos niitä on luotu jo aikaisemmissa vaiheissa. Suunnitteluvaiheen aikana laaditaan ehdotus-, yleis- ja toteutussuunnitelmat, jotka vastaavat hankkeelle asetettuja tavoitteita. (Rakennustieto 2018). Tavoitteiden vastaisia suunnitelmia ei tule hyväksyä ilman syytä, ja poikkeamiset asetetuista tavoitteista johtavat aina jonkinlaisen päätösprosessin läpikäymiseen. Systemaattisen lähestymistavan etuna on, että päätöksentekijä pysyy tietoisena hankkeen tilasta ja kustannustavoitteessa pysymisestä. Suunnitteluvaihe voi myös jakaantua useampaan vaiheeseen riippuen hankkeen tyypistä ja päätöksenteon tarpeesta. Kustannushallinnan kannalta suunnitteluvaiheiden määrällä ei ole merkitystä, kunhan resursointi on kunnossa. Suunnitteluvaiheessa sovelletaan tavoitejohtamista, joka tarkoittaa ratkaisujen ohjaamista kohti aikaisemmin asetettuja tavoitteita. (RIL 2006). Määrätietojen kerääminen aloitetaan viimeistään yleissuunnitteluvaiheessa, vaikka yleissuunnitteluvaiheen kustannusarviossa käytetään pääosin vielä hankeosalaskentaa (Lii-

kennevirasto 2013). Suunnitelmien määrätietojen avulla saadaan muodostettua määräluettelo ja rakennusosapohjaiset kustannusarviot sekä rakentamisen budjetti. Rakennusosalaskelmaa verattaan aikaisempien vaiheiden kustannustavoitteeseen. (Rakennustieto 2018).

2.2.4 Tarjousvaihe

Tarjousvaihe ja rakentamisen valmistelu voidaan myös erottaa omiksi vaiheikseen. Tarjousvaiheessa tilaaja kilpailuttaa rakennusurakan pääpiirustuksien pohjalta. Urakoitsijat laskevat hankkeelle tarjoushinnan sekä jättävät urakkatarjouksen. Rakentamisen valmistelun aikana päätoteuttaja laatii toteutussuunnitelmat, valmistelee projektin hankintoja sekä laatii hankkeen tavoitearvion. Tavoitearvio toimii kustannushallinnan tukena ja ohjaa työ-, materiaali- ja kalustokustannuksia. Tavoitearviota laatiessa kohde ositellaan. Osittelu tarkoittaa, että projekti jaetaan pienempiin kokonaisuuksiin, jotka helpottavat projektin hallintaa ja ohjaamista. Osittelu riippuu hankkeen vaiheesta ja osapuolesta. Osittelun tuloksena saadut lohkot jaetaan edelleen osalohkoiksi, tehtäviksi ja tehtävänimikkeiksi. Rakennustöiden edetessä litteroiden kustannuksia seurataan. Seuranta edesauttaa ennakoimaan kokonaiskustannuksia ja varmistamaan kustannusten pysymistä kustannusarvion puitteissa. (Rakennustieto 2018).

2.2.5 Rakentamisvaihe

Rakentamisvaiheessa suunnitelmien ja päätöksien mukainen lopputuote toteutetaan. Lähtötietoina rakentamisvaiheeseen toimivat urakka-asiakirjat, jotka koostuvat urakkasopimuksesta, urakkaohjelmasta, määrämittausperusteista, urakkarajaliitteestä, laatuvaatimuksista ja työselostuksista sekä suunnitelmapiirustuksista (RIL 2006, Rakennusteollisuus nd.). Rakentamisvaiheessa pääurakoitsija vastaa tuotteen toteuttamisesta suunnitelmien mukaisesti ja sovitussa aikataulussa. Rakentamisen aikaisia kustannuksia seurataan ja ohjataan mm. tuotannon tavoitelaskennan, seurannan ja valvonnan, sekä muutostöiden ja jälkilaskennan avulla. (Rakennustieto 2018).

2.2.6 Käyttöönottovaihe

Hankkeen viimeisessä vaiheessa eli käyttöönottovaiheessa tilaaja ja hankkeen loppukäyttäjä vastaanottavat rakennushankkeen ja pääsevät käyttämään uutta infraa. Ennen käyttöönottoa rakennukselle on kuitenkin tehtävä sopimusehtojen mukainen vastaanottotarkastus. Ennen hankkeen lopullista luovutusta tilaajalle, pääurakoitsija varmistaa hankkeen laadun seuraavien suoritusten mukaisesti: itselleluovutus, järjestelmien ja laitteiden toimintakokeet ja säädöt, luovutusaineiston ja dokumentaation kokoaminen. Kun urakoitsijan on suorittanut edellä mainitut tehtävät alkaa hankkeen vastaanottoprosessi. Vastaanottoprosessin avulla todetaan, että molemmat sekä tilaaja että urakoitsija ovat täyttäneet sopimusasiakirjojen mukaiset velvoitteet. Vastaanottoprosessin päättymisen myötä myös osapuolten velvollisuudet päättyvät ja hanke voidaan ottaa käyttöön (Kankainen & Junnonen 2015). Käyttövaiheessa suoritetaan myös hankkeen jälkilaskenta, jonka avulla tarkistetaan taloudellinen lopputulema. Urakoitsija ja rakennuttaja tekevät kummatkin ovat jälkilaskelmat. Jälkilaskelman tietoja voidaan käyttää hyväksi yrityksen sisällä kustannustietojen päivittämiseen sekä uusien kohteiden kustannuslaskentaan. (Rakennustieto 2018).

2.3 Infrahankkeen kustannusten hallinta

Rakennushankkeen kustannushallinta on hankkeen onnistumisen kannalta yksi keskeisimpiä tehtäviä. Vaikka suurin osa rakentamisen kustannuksista määräytyy jo suunnitteluvaiheessa, tarvitaan koko hankkeen läpi jatkuvaa kustannushallintaa takaamaan onnistuneen lopputuloksen. (RIL 2006). Suunnittelun kannalta kustannushallinta ohjaa suunnittelua saavutta-

maan optimaaliset teknistaloudelliset ratkaisut (Liikennevirasto 2013). Hankkeen kustannukset konkretisoituvat perinteisesti rakentamisen aikana, jolloin kustannuksiin voi vaikuttaa enää hyvin rajallisesti (Lindholm 2009). Hankkeen kustannusohjausta käytetään päätöksenteon tukena estämään päätöksiä, jotka aiheuttavat tarpeettomia ja kohtuuttomia kustannuksia hankkeelle. On siis tärkeää, että päätöksentekijä on jatkuvasti tietoinen päätösten kustannusvaikutuksista ja siitä, miten kustannukset jakautuvat rakennushankkeen eri vaiheiden välillä. (Rakennustieto 2018, RIL 2006). Rakennushankkeen kustannuksiin vaikuttavat erityisesti laadittu hankeohjelma, kohteen olosuhteet, suunnitelmaratkaisut, toteutus- ja tuotantoratkaisut sekä suhdanne ja hintatekijät (Rakennustieto 2018).

Kuva 2 Rakennushankkeen kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä (muokattu lähteestä Rakennustieto 2018)

2.3.1 Infra 2015 nimikkeistö kustannushallinnan tukena

Rakentamisen kustannushallinta vaatii yhteisesti sovittuja tapoja jäsennellä määrä- ja kustannustietoa. Tästä syntyy tarve hanketta mallintavalle nimikkeistölle. Nimikkeistö toimii standardina hankkeen osittelulle, jota kaikki hankkeen osapuolet käyttävät läpi hankkeen tiedonvaihdossa. Nimikkeistö on jaettu hierarkkisesti, jotta nimikkeistö toimii myös eri tarkkuuksilla eri vaiheissa hanketta. Ylätasolla hankkeen kuvauksen on oltava tarpeeksi yleinen ja alimmalla tasolla sen on kuvattava suunnitteluratkaisu yksityiskohtaisesti. Nimikkeistöjärjestelmän avulla suunnitelma voidaan kuvata joko hanke- tai rakennusosina. Suunnitelmien kuvaamisen lisäksi nimikkeistöä käytetään sopimuksissa, kustannuslaskennassa ja resurssitarpeiden määrittämisessä. Nimikkeistöjärjestelmän avulla voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä, kun suunnittelijat ja urakoitsijat siirtyvät käyttämään yhteistä käsitteistöä, jolloin myös kustannusten vertailtavuus parantuu. Kaikille hankkeen osapuolille yhteisen nimikkeistön nimi on Rakennusosa- ja hankenimikkeistö. (Rakennustieto 2015).

Rakennusosa- ja hankenimikkeistö kuvaa suunnittelun lopputulosta ja laadullisia vaatimuksia. Rakennusosanimikkeistön avulla hanke on mahdollista mallintaa määrinä ja kustannuksina sekä kuvata hankkeen laatuvaatimukset. Nimikkeistö kattaa kaikki infra-alan lopputuotteet.

Rakennusosa- ja hankenimikkeistön pääryhmät ovat

1. Maa-, pohja- ja kalliorakenteet
2. Päällys- ja pintarakenteet
3. Järjestelmät
4. Rakennustekniset rakennusosat
5. Hanketehtävät.

Nimikkeistön rakennusosat kuvaavat fyysisen lopputuotteen rakenteelliset osat. Kun rakennusosien erilaiset suunnitteluratkaisut eritellään ja niiden määrät mitataan, on lopputuote mahdollista mallintaa hankkeen kustannusten hallintaa ja tuotannon ohjausta varten.
Rakennusosien pääryhmät ovat seuraavat:

1000 maa-, pohja- ja kalliorakenteet
2000 päällys- ja pintarakenteet
3000 järjestelmät
4000 rakennustekniset rakennusosat.

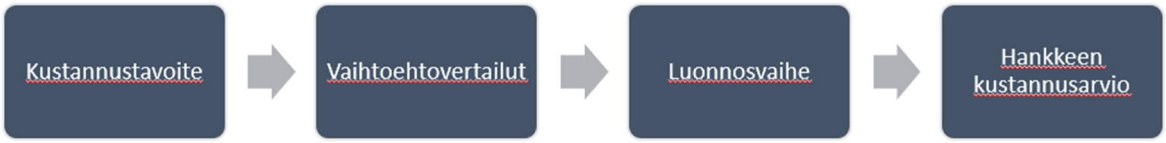
Rakennusosa- ja hankenimikkeistö on perustasoltaan nelinumeroinen mutta käytännössä sitä tulisi täydentää lisäerittelyjen avulla viisi- tai kuusinumeroiseksi. Infra 2015 määrämittausohje sisältää myös alalle yhteisesti sovitun tavan todeta rakennusosien paljous. Yhteisesti sovitun tavan käyttö varmistaa, että eri osapuolilla on yhteinen käsitys määristä. (Rakennustieto 2015)

1300 Perustusrakenteet
1320 Paaluperustukset
1321 Paalut
1321.1 Lyöntipaalut
1321.11 Teräsbetonipaalut
1321.111 Teräsbetonipaalu 250 x 250
1311.1111 Kalliokärki
1311.1112 Jäykkä jatkos
1321.112 Teräsbetonipaalu 350 x 350
1321.1121 Kalliokärki

Kuva 3 Esimerkki Rakennusosa- ja hankenimikkeistöstä (Rakennustieto 2015)

Hankkeen alkuvaiheessa kustannustieto on vasta alustavaa tai suuntaa antavaa. Kustannustieto tarkentuu suunnitelmien tarkentumisen mukaan hankkeen edetessä. Tämän vuoksi kustannusarvioita on syytä päivittää hankkeen edetessä ja pitää kustannushallinta jatkuvana prosessina läpi hankkeen. Jatkuvalla kustannustietojen tarkentamisella vähennetään kustannuskasvujen riskiä. (Rakennustieto 2018). Kustannusarvioita käytetään myös investointeihin tarvittavien määrärahojen arvioimiseen. Kustannushallinnassa on erittäin tärkeää, että menettelyt ja olettamukset dokumentoidaan. Näin laskentoja on mahdollista tarkentaa, muuttaa

ja käyttää pohjina seuraavissa vaiheissa. Suunnittelunaikainen kustannustiedon päivittäminen etenee seuraavan kuvan mukaisesti. (Liikennevirasto 2013).



Kuva 4 Suunnittelun aikaisen kustannustiedon päivittämisen eri vaiheet (Liikennevirasto 2013)

2.3.2 Kustannushallinnan merkitys yrityksille

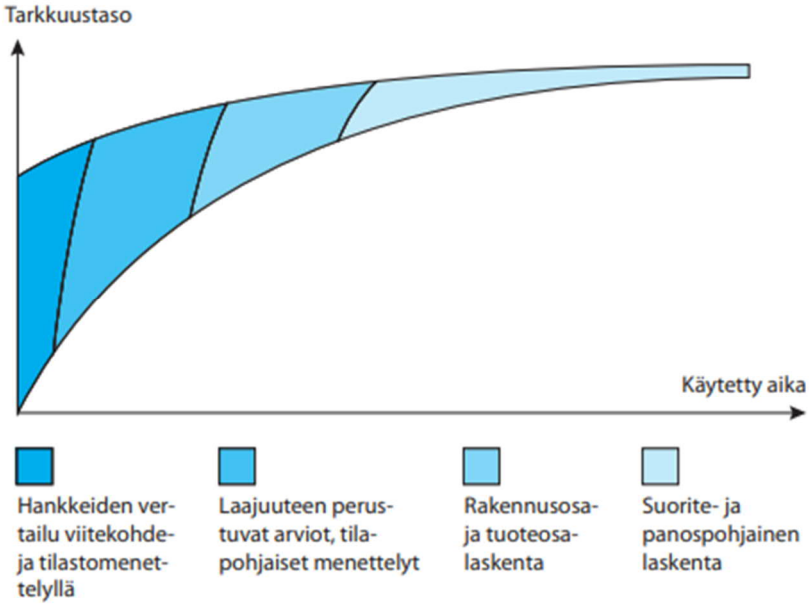
Rakennushankkeiden parissa toimivien yrityksien kannalta kustannusohjaus ja kustannusten ennustettavuus ovat erittäin tärkeitä toimintoja. Hankkeesta saatavalla kustannustiedolla ja kustannusohjauksella on suora vaikutus rakennusyrityksen toimintaan. Hankkeen kustannusohjaus vaikuttaa yrityksen tuottavuuteen, katteeseen ja kassavirtaan. Rakennusyrityksen kannattaakin panostaa urakan voittamisen jälkeisessä laskentavaiheessa tuotettavaan tavoitearvioon. On erityisen tärkeää, että tavoitearvio on oikein laadittu ja kustannusrivien määrä on hallittava ja riittävä kustannusohjauksen kannalta. (Rakennustieto 2018).

Tavoitearvion luomiseen kannattaa ottaa mukaan myös hankinnan ja tuotannon edustajia, jolloin siitä saadaan käytettävyydeltään mahdollisimman hyvä. Myöhemmin suunnitteluvaiheessa tulee myös tehdä yhteistyötä suunnittelijoiden, hankinnan ja tuotannon kesken, niin että hankintapaketteja voidaan muodostaa ja hinnoitella hankinnan ja tuotannon tarpeiden mukaisesti. Rakentamisen kustannusohjaukseen kuuluu rakennusyrityksen kannalta olennaisesti myös alihankinnat. Alihankintasopimukset tulee siis tehdä hyvin ja kattavasti ettei sopimusten mukaisten urakoiden rajapintoihin jää tehtäviä, jotka eivät kuulu mihinkään urakkaan. (Rakennustieto 2018).

2.4 Kustannuslaskentamenetelmät

Kustannuslaskentaa tehdään rakennushankkeen aikana hyvin eritasoiseen lähtöaineistoon perustuen. Hankkeen alkuvaiheessa lähtötiedot ovat karkeita, joten silloin käytetään myös yleistasoisempia laskentatapoja. Kustannuslaskentatavat voidaan jakaa 4 eri menettelytapaan.

- Viitekohde ja tilastomenettelyt
- Laajuus- ja tilapohjaiset menettelyt
- Rakennusosa- ja tuoteosalaskenta
- Suorite- ja panospohjainen laskenta
  (Rakennustieto 2018)



Kuva 5 Kustannusarviomenetelmien tarkkuustaso Kustannusarviointimenettelyjen tarkkuustaso (Muokattu lähteestä Bledsoe 1992)

2.4.1 Viitekohde- ja tilastomenetelmät

Viitekohde ja tilastomenettelyt perustuvat aiemmin samantyylisten kohteiden toteutuneiden kustannusten hyödyntämiseen arvion tekemisessä (Rakennustieto 2018). Projektin varhaisessa vaiheessa hankkeesta on harvoin yksityiskohtaista suunnittelutietoa saatavilla. Äskettäin käynnistyneistä tai toteutuneista hankkeista saattaa kuitenkin löytyä samanlaisia projekteja, joiden hintatietoja voidaan käyttää perustana kustannusarviolle. (AASHTO 2013). Aikaisemman hintatiedon käyttäminen hankkeen kustannusarvion perusteena on suoraviivainen ja nopea tapa tehdä kustannusarvio. Historiallisen hintatiedon korjaaminen vastaamaan uuden projektin yksikköhintoja voi kuitenkin olla hankalaa. (Anderson ym. 2009).

Viitekohdemenettelyssä vertaillaan toteutettujen kohteiden ja arvioinnin alla olevan kohteen yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia (Rakennustieto 2018). Yksi tapa on hyödyntää historiallista tilastotietoa hankkeen tyypin, koon ja kustannuksien yhteydestä. Toinen tapa on käyttää historiallisten kustannustietojen ja tärkeiden projektiparametrien suhteita hankkeen elementtien hinnoitteluun. Menetelmä antaa karkean arvion kustannuksista ja se sopii käytettäväksi, kun lähtötietoja on saatavilla rajallisesti. Viitekohdemenettelyssä arvion pohjana voi toimia parametreja kuten projektin kesto, budjetti, koko sekä monimutkaisuus. (Project management Institute 2017). Vanhan hankkeen toteutuneet kustannukset voidaan asettaa suoraan uuden hankkeen kustannustavoitteeksi tai päivitettynä indeksikorotuksen mukaisesti (Rakennustieto 2018, Lindholm 2009). Viitekohdemenettelyssä on erittäin tärkeää kiinnittää huomiota kohteiden vertailukelpoisuuteen ja valita hyvin toteutettu viitekohde. Viitekohdemenettelyä käytetään yleensä tarveselvitysvaiheen loppuvaiheessa sekä osittain myös hankesuunnitteluvaiheessa. Viitekohdemenettely soveltuu erityisen hyvin laajempiin kerros- tai rivitaloalueiden kustannusarviointeihin. (Rakennustieto 2018). Kustannusarvion laatiminen viitekohdemenetelmän avulla on yleisesti halvempaa ja nopeampaa kuin muiden menetelmien käyttäminen (Project management Institute 2017).

Erokustannusmenettely eroaa viitekohdemenettelystä ottamalla huomioon kohteen erityispiirteet. Kohteen erityispiirteet lasketaan erikseen kohteen standardiosista. Standardiosien laskemiseen voidaan käyttää aikeisempien kohteiden tietoja ja erikoisosien kustannukset arvioidaan erikseen. Arvion onnistuminen perustuu siihen, miten hyvin standardiosat ja yksilölliset osat erotellaan sekä miten ne hinnoitellaan aikaisemman tiedon ja muiden tietolähteiden perusteella. (Rakennustieto 2018).

Tilastomenettely eroaa viitekohde- ja erokustannusmenettelystä siinä mielessä, että laskettavan kohteen kustannusarvio perustuu useampaan toteutuneen hankkeen hintatietoihin. Luotettavan arvion luomiseen tarvitaan kattavat tiedot aikaisemmista samanlaisista kohteista. Tilastomenettelyn toimivuutta heikentää rakennusalan kustannustietojen nopea vanhentuminen sekä paikkakunnittain ja suhdanteen mukaisesti vaihtelevat kustannukset. (Lindholm 2009, Rakennustieto 2018). Tilastomenettelyä voi kuitenkin käyttää yksittäisten kustannustietojen arviontiin, kuten neliöhintojen tai hankintojen kustannuksien arviointiin. Tilastomenettelyn avulla kohteiden vaihteluvälit saadaan esille. Tilastomenettelyn avulla saadaan luotettavampi kustannusarvio kuin viitekohdemenettelyllä ja se sopii käytettäväksi, kun kohteen ominaispiirteitä ei vielä tunneta. (Rakennustieto 2018).

Hankeosalaskentaa (HOLA) käytetään usein apuvälineenä hankesuunnittelussa, kun hankkeelle laaditaan kustannustavoite (RIL 2006). Hankeosittelu on infraprojektin perusosittelun karkeimman tason osittelu. Hankeosittelussa hanke jaetaan laajoihin yhtenäisiin kokonaisuuksiin, jotka kuvaavat omistajan tarpeita. (Rakennustieto 2015). Hankeosa kuvaa valmista infrahankkeen lopputuotetta sisältäen kaikki siihen liittyvät rakennusosat. Esimerkkejä tyypillisistä hankeosista ovat katu, liittymä ja silta. Hankeosat ilmoitetaan niitä kuvaavalla mittayksiköllä, kuten metri tai kappale. (RIL 2006).

2.4.2 Laajuus- ja tilapohjainen laskenta

Hankkeen laajuuteen ja tilatietoihin perustuvaa kustannusarviointia käytetään yleensä hankkeen suunnitteluvaiheessa, kun suunnitelmista on mahdollista laskea pinta-aloja ja tilavuuksia. Arvioinnissa käytetään hyödyksi aikaisempien hankkeiden toteutuneita kustannuksia, jotka jaetaan pinta-alalle tai tilavuudelle (€/m2 tai €/m3). Jos laskennan perusteena käytetään hankkeen tiloja, kustannusarvioon viitataan termillä tilalaskenta. Tilalaskenta on menetelmä kustannuspuitteen ja laajuuspuitteen asettamiselle hankesuunnitteluvaiheessa. (Rakennustieto 2018).

2.4.3 Rakennusosa- ja tuoteosalaskenta

Rakennusosalaskentamenetelmällä määritetään hankkeelle uudishinta suunnitelmien perusteella. Rakennusosalaskentaa varten eri rakennusosien määrät kootaan joko piirustuksista tai tietomalleista, josta syntyy määräluettelo. Rakennusosien määrät lasketaan nimikkeistön määrämittausohjeen mukaisesti. (RIL 2006). Määrien ollessa selvät jokaiselle rakennusosalle lasketaan kustannus yksikkökustannuksin. Koko hankkeen kustannukset saadaan rakennusosien kustannusten summana. Rakennusosalaskentaa voidaan myös hyödyntää suunnitelmien kustannuserojen ja suunnitelmien tavoitteiden mukaisuuden vertailussa. (Lindholm 2009).

Yksikköhintojen käyttäminen on hyvin simppeli mutta tehokas tapa tuottaa oikean suuruusluokan kustannusarvioita. Käyttämällä tarkkoja tietoja yksikköhintojen määrittelemiseen arviosta on myös mahdollista saada hyvin tarkka. (Newman ym. 2004). Tarpeeksi huolellisesti tehtyä rakennusosalaskelmaa voidaan käyttää myös tarjouslaskennan ja urakkabudjetin perusteena (Lindholm 2009, RIL 2006). Rakennusosalaskemissa käytetään yleisesti saatavilla olevia yksikkökustannuksia tai yritysten ylläpitämiä yksikkökustannuksia. Yksikköhinnoissa hyödynnetään ennalta määritettyjä työsaavutuksia ja materiaalihintoja, joilla lasketaan yksikkökohtainen (m, m2, m3 yms.) hinta työlle. Yksikköhinnan määrittelijän on siis otettava huomioon työn määrä ja hinta sekä laitteiden ja materiaalien hinta. (Proverbs ym. 1997).

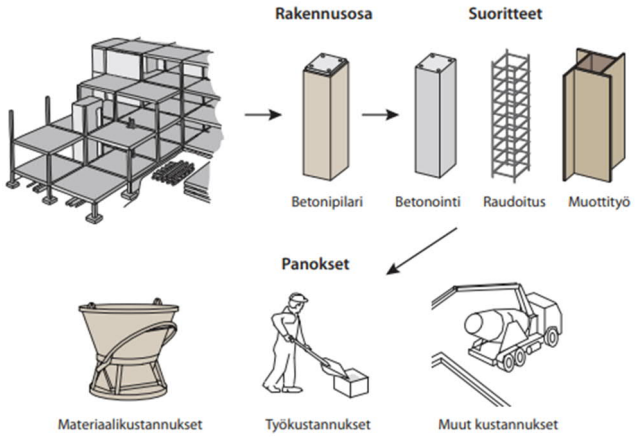
Yksikköhintoja on esillä esimerkiksi kustannuslaskennan kirjallisuudessa. Laskelman luotettavuuden varmistamiseksi rakennusosat tulee hinnoitella olosuhdetta ja sisältöä vastaavalla hinnalla. Mikäli vastaavaa yksikköhintaa ei ole saatavilla valitaan mahdollisimman realistinen rakennusosan yksikkökustannus. Puuttuva yksikkökustannus voidaan selvittää esimerkiksi interpoloimalla samantyyppisiä hintoja tai hyödyntämällä asiantuntijoita. Käytettäessä yksikköhintoja on kuitenkin hankala huomioida skaalaetuja. (Newman ym. 2004). Suunnittelun edetessä myös rakennusosalaskelmaa voidaan tarkentaa muokkaamalla määriä tai kustannuksia (Rakennustieto 2018).

2.4.4 Suorite- ja panospohjainen laskenta

Suoritelaskennassa lähtökohtana on suoritemäärät. Suoritemäärät saadaan kohteen suunnitelmista ja määräluettelosta. Suoritelaskennassa kohteen määrä hinnoitellaan panosten hintatietojen avulla. Esimerkiksi betonipilarin tuottaminen koostuu seuraavista suoritteista; betonointi, raudoitus ja muottityö. Jokainen suorite koostuu vielä panoksista, jotka ovat materiaalikustannukset, työkustannukset sekä muut kustannukset, kuten rahdit tai vastaanottomaksut. (Rakennustieto 2018).

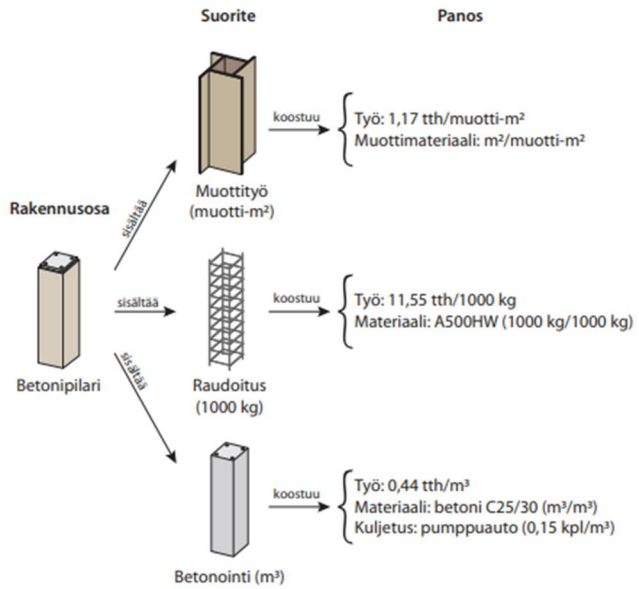
Suoritelaskennan suorittaminen vaatii vähintään pääpiirustustasoiset suunnitelmat sekä täydellisen rakennusselostuksen ja perustusrakenteiden suunnitelmat (Rakennustieto 2018). Suoritelaskentaa varten on käytävä tarkasti läpi projektin vaatimukset, selvittää rakentamisprosessi sekä mallintaa rakentamisen kustannukset (AASHTO 2013). Kustannusten laskemista varten vaaditaan rakennusosan toteutukseen tarvittavan työmenetelmän tunteminen. Jokaisen kuluerän, eli panoksen kustannuksen laskemiseen tarvitaan kyseisen panoksen työn ja materiaalien osalta menekkitieto, hinta ja hukka. Näiden kolmen arvon avulla on mahdollista laskea panoksen hinta suoriteyksikköä kohden. Kun rakennusosan suoritteiden hintatiedot yhdistetään, saadaan lopputuloksena rakennusosan kustannus. (Rakennustieto 2018).

Suoritelaskennassa tulee aina tarkistaa panosten tietojen oikeellisuus, määrälaskennan peittävyys sekä tärkeimpien kustannuserien määrälaskenta ja hinnoittelu. Lisäksi suoritelaskenta tarkastetaan ja oikeellisuus todetaan vertailemalla pääryhmiä ja panoslajikohtaisia jakaumia aikaisempiin hankkeisiin. Vaihtoehtoisesti suoritelaskenta tarkastetaan tunnuslukujen perusteella esim. tth/brm2 ja €/brm2 ja suoritemäärien tunnuslukujen perusteella, kuten muotti-m2, betoni m3 jne. Määrät voidaan tarkistaa vertaamalla lasketun kohteen tietoja tilastoihin tai viitekohteisiin. (Rakennustieto 2018).



*Kuva 6 Teräsbetonipilarin suoritteet (betonointi, raudoitus ja muottityö) ja panokset (työ-, materiaali- ja muut kustannukset) (*Rakennustieto *2018)*

Panospohjainen laskenta perustuu rakenteiden kustannuksien laskemiseen panosten avulla. Panokset ovat materiaali-, työ-, hankinta-, tuote- ja esimerkiksi rahtihintoja. Laskennan tarkkuuden parantamiseksi voidaan käyttää myös erilaisia vakioita tai kertoimia, joilla varaudutaan kustannusten muutoksiin esimerkiksi sijainnin tai hankkeen vaikeustason osalta. Panoksien lähtötietoja löytyy julkisista ylläpidetyistä lähteistä kuten kirjallisuudesta sekä yritysten omista toimintaan ja hankintaan perustuvista lähteistä. Panokset saadaan muodostettua yhdistämällä toteutunutta ja testattua kustannus- ja menekkitietoa sekä laskennallista määrätietoa. (Rakennustieto 2018).



*Kuva 7 Teräsbetonipilarin suoritteet (betonointi, raudoitus ja muottityö) koostuvat panoksista (*Rakennustieto *2018)*

2.5 Käytössä olevat kustannuslaskentaprosessit

Tässä kappaleessa esitetään Suomessa nykyisin käytössä olevat infrahankkeiden kustannuslaskennan menetelmät sekä prosessit. Lisäksi kappaleessa käydään myös läpi ulkomailla käytössä olevia menetelmiä ja prosesseja. Kappaleessa esitetään Norjassa ja Australian kahdessa osavaltiossa käytössä olevat infrahankkeiden kustannuslaskennan menetelmät ja prosessit. Tarkasteltavat kohteet valikoituivat saatavilla olevan tiedon perusteella. Esimerkiksi myös Ruotsin Trafikverketiltä pyydettiin materiaalia heidän kustannuslaskennan prosessista mutta kirjallista materiaalia ei ollut saatavilla tarpeeksi prosessin tarkempaan kuvaukseen.

2.5.1 Suomessa käytössä oleva prosessi

Nykyiset Suomessa infrahankkeiden kustannuslaskentaan käytettävät menetelmät ja Forepalvelun käyttö on kuvattu Liikenneviraston ohjeessa Fore-palvelu väylähankkeiden kustannushallinnassa ja Väylähankkeiden kustannushallinta dokumenteissa. (Liikennevirasto 2011, Liikennevirasto 2013). Fore on ohjelmisto infrahankkeiden kustannusarvioiden laadintaan. Ohjelmisto sisältää eri osatuotteita, joita voidaan käyttää hankkeen eri vaiheissa. Hola osatuotetta voidaan käyttää alkuvaiheen kustannusarviointiin ja hankkeen tavoitteen hinnoitteluun. Hola perustuu 250 eri hankeosamalliin. Rola eli rakennusosalaskentaan sopiva osatuote käsittää yli 4000 panosta perustuen Infra2015 nimikkeistöön. Rolan avulla on mahdollista laskea yksityiskohtaisia kustannusarvioita ja vertailla eri suunnitteluratkaisuja. (Rapal oy nd).

Foresta löytyy lisäksi osatuotteet korjausvelan laskentaan, hankkeen seurantaan ja raportointiin, sekä hankeohjelman laadintaan (Rapal Oy nd.). Fore-palvelun väylähankkeiden kustannushallinnassa ohjeen periaatteita tulee noudattaa kaikissa liikenneviraston ja ELY keskuksien hankesuunnittelu ja toteutusprojekteissa, jotka ovat keskitetysti ohjattuja tai niihin rinnastettavia. Lisäksi Fore-palvelua on suotava käyttää myös muissa suunnittelu- ja toteutushankkeissa. Fore-palvelun käytöllä pyritään kustannustietoisempaan infrasuunnitteluun kehittämällä alalle yhteistä järjestelmää kaupunkien ja liikenneviraston yhteistyönä. (Liikennevirasto 2011).

Väylähankkeiden kustannushallinnassa suunnittelijat ja konsultit vastaavat kustannuslaskennasta ja kustannussuunnittelusta. Tilaajat, eli Liikennevirasto ja ELY-keskukset vastaavat kustannusohjauksesta ja hankkeiden koordinoinnista. (Liikennevirasto 2011).

Esisuunnitteluvaiheessa, joka on hankesuunnittelua edeltävä vaihe, päätetään hankkeen periaatteelliset ratkaisut ja vaihtoehdot, joita tarkennetaan hankesuunnittelussa. Esisuunnitteluvaiheen kustannuslaskennassa voidaan hyödyntää Fore-palvelun hankeosalaskentatyökalua, asiantuntija-arvioita tai näiden yhdistelmää. Ainakin osa laskennasta perustuu tässä vaiheessa asiantuntija-arvioihin suunnittelutarkkuuden takia. Esisuunnitteluvaiheessa laskenta on vielä hankeosatarkkuudella eli uuden tien tai radan rakentamiskustannukset lasketaan €/metri muodossa. Kustannusarviossa on huomioitava kaikki kustannuksiin vaikuttavat tekijät, kuten esimerkiksi meluesteiden, johtosiirtojen ja väliaikaisisten liikennejärjestelyiden aiheuttamat kustannukset. Nämä kustannukset voidaan arvioida prosentteina perustuen toteumatietoon aikaisemmista hankkeista. Vaihtoehtojen vertailukelpoisuuteen on myös kiinnitettävä huomiota ja laskelmat on laadittava siten että eri suunnitteluvaihtoehtojen kustannuksia on mahdollista vertailla. Tämä mahdollistaa kustannustehokkaimman vaihtoehdon valitsemisen päätöksenteossa. Lisäksi hankkeen jokaisessa vaiheessa on tärkeää tunnistaa kustannusriskit sekä niiden merkitys. (Liikennevirasto 2013).

Yleissuunnitteluvaiheessa hankkeen sisältö ja myös kustannusarvio tarkentuu. Yleissuunnitteluvaiheen kustannusarvio muodostaa perustan hankkeen kokonaiskustannuksille tienpidon investointien määrärahojen arvioimiseksi. Esisuunnitteluvaiheen kustannusarvio päivitetään suunnitteluajankohdan indeksillä ja se toimii pohjana yleissuunnitteluvaiheen kustannusarviolle. Kustannusarvion rakennetta muokataan palvelemaan yleissuunnitteluvaihetta mm. osittelulla. Kustannusarviota päivitetään erikseen sovitulla aikataululla riippuen hankkeen aikataulusta ja tilaajan tarpeista. Yleissuunnitteluvaiheen kustannusarviosta käytetään termiä alustava kustannusarvio. Kustannusarvio perustuu vielä pääsääntöisesti hankeosalaskelmaan, mutta suunnitelmien tarkkuuden mukaan myös rakennusosalaskentaa voidaan käyttää. Viimeistään tässä vaiheessa aloitetaan hankkeen määrätietojen kerääminen ja käyttäminen kustannuslaskennassa. Siltojen laskennassa käytetään yleissuunnitteluvaiheessa hankeosalaskentaa tai neliöhintaa, joka perustuu aikaisempaan kokemukseen ja toteumatietoon. Tunneleiden yleissuunnitteluvaiheessa käytetään hankeosalaskentaa ja asiantuntijoiden osaamista. Kustannusvaikutuksiltaan merkittävissä tunnelihankkeiden laskennassa on aina käytettävä erillistä asiantuntijan kustannusarviota. (Liikennevirasto 2013).

Tie- ja ratasuunnitteluvaiheen kustannusarvion tavoitteena on siirtyä hankeosatarkkuudesta rakennusosatarkkuudelle. Ne määrät, joita ei vielä ole laskettu dokumentoidaan erikseen kustannushallinnan muistioon. Rakennusosalaskennassa merkittäville rakennusosille on erihintaisia nimikkeitä riippuen työmäärästä ja olosuhteista. Käyttäjän on siis valittava nimike huolellisesti. Rakennusosat, jotka eivät löydy Fore-palvelusta lisätään muina rakennusosina. Lisätyt rakennusosat eivät saa sisältää hanketehtäviä, sillä hanketehtävät lasketaan erikseen

prosenttiosuutena hankkeen kokonaishinnasta. Hanketehtävien oletusprosentit perustuvat aikaisempiin testihankkeisiin ja Fore-järjestelmää varten kerättyihin referenssimateriaaleihin. Fore-palvelun käyttäjän on mahdollista itse muokata hanketehtäväprosenttia. Rakennusosalaskennassa on myös mahdollisuus lisätä kaikille massoille lisäkustannukset, kuten kuljetusmatka. (Liikennevirasto 2013).

Rakennussuunnitteluvaiheen kustannusarvion tulee ennakoida rakentamisen kustannuksia luotettavasti. Rakennussuunnitelman valmistuessa hankkeen kaikki määrät ovat rakennusosatarkkuudella. Kattava määräluettelo tukee myös hankkeen tarjouspyynnön laatimista. (Liikennevirasto 2013).

Kustannusarvioissa käytetään myös erilaisia kertoimia parantamaan kustannusarvion tarkkuutta. Käytettäviä kertoimia ovat aluekerroin, kokovaikutuskerroin ja toteutusympäristökerroin. Nämä kertoimet muodostavat kokonaisuuden ja niiden käyttö on suunniteltava yhtäaikaisesti. (Liikennevirasto 2013). Fore-palvelussa Suomi on jaettu alueellisiin kalleusluokkiin, jonka perusteella aluekerroin määräytyy. Aluekertoimen vaihteluväli on 0.9–1.1 (Liikennevirasto 2011). Hankkeen kokovaikutuskerroin perustuu hankkeen euromääräiseen kokoon. Väyläviraston ohjeistuksen mukaan kokovaikutuskerrointa käytetään, jos hankkeen koolla on odotettavissa vaikutuksia yksikkökustannuksiin. Kokovaikutuskerrointa käytetään seuraavasti:

- erittäin pieni hanke 1,10 (alle 0,3 milj. € hankkeet)
- pieni hanke 1,05 (alle 1 milj. € hankkeet)
- keskikokoinen hanke 1,00 (1–8 milj. € hankkeet)
- suuri hanke 0,95 (yli 8–20 milj. € hankkeet)
- erittäin suuret hankkeet 0,90 (yli 20 milj. € hankkeet).

Toteutusympäristön kerroin on tavallisesti 1.00. Toteutusympäristön kerrointa ei tule korottaa ilman kattavia perusteluja siitä, että hankkeen kaikkien kustannusten voidaan olettavan muuttuvan olosuhteiden takia. Mahdollisia syitä käyttää toteutusympäristön kerrointa on vilkkaasti liikennöity alue, ahdas toteutustila tai pohjaolosuhteet. Helpot toteutusympäristöt eivät myöskään laske kerrointa vaan helpossa ja normaalissa toteutusympäristössä käytetään 1.00 kerrointa. Vaikeassa toteutusympäristössä käytetään kerrointa 1.03 ja erittäin vaikeassa 1.06. (Liikennevirasto 2013).

2.5.2 Ulkomailla käytössä olevien prosessien kuvaus

2.5.2.1 Norja

Norjassa kustannuslaskennan prosessi on kuvattu kattavasti Norjan julkisista väylistä vastaavan Statens Vegvesen kirjassa Håndbok R764 Anslagsmetoden. Anslagsmetoden tarkoittaa suomeksi määrärahamenetelmää ja kirjassa kuvataan määrärahamenetelmän vaatimukset, teoria, työnkulku, valmistelut, määrärahaprosessi sekä dokumentointi. Norjassa kaikki yli 5 miljoonan kruunun hankkeet on käsiteltävä tämän Anslagmetoden prosessin mukaisesti. (Vegdirektoratet 2014).

Norjassa Anslagsmetoden ja siitä syntyvä kustannusarvio perustuu laajalti ryhmätyöhön. Hankkeen projektipäällikkö vastaa siitä, että kustannusarvio toteutetaan. Koko prosessia tulee johtaa sertifioitu prosessijohtaja, joka vastaa analyysistä. Prosessinjohtajan tulee olla

neutraali suhteessa projektiin eli hänen ei tule päivittäin työskennellä projektin parissa. Lisäksi hankkeelle perustetaan arviointiryhmä, joka koostuu eri alojen asiantuntijoista. (Vegdirektoratet 2014).

Arviointiryhmän koko ja koostumus riippuu hankkeesta. Tavoitteena on kuitenkin, että arviointiryhmä on hyvin moninainen, sukupuolen, iän ja osaamisen osalta. Arviointiryhmässä tulee kuitenkin olla eri osapuolien edustajia eli suunnittelijoita, urakoitsijoita, projektinjohtajia, sekä ylläpidon ammattilaisia. Osan ryhmän osallistujista on työskenneltävä projektin kanssa muutenkin mutta ei kaikkien. Osallistujien mahdollinen aikaisempi kokemus tai tietämys käsiteltävästä projektista nähdään kuitenkin etuna. (Vegdirektoratet 2014).

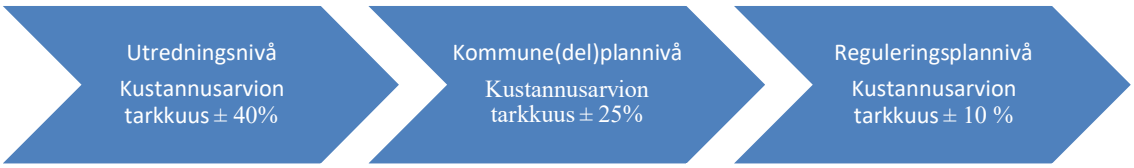
Arviointiryhmän tavoitteena on työskennellä yhdessä koko arviointiprosessin ajan ja varmistaa kustannusarvion hyvä laatu sekä erityisesti tunnistaa projektiin liittyvät epävarmuustekijät (Vegdirektoratet 2014). Ryhmän hinnoittelijat antavat hankkeen eri elementeille ja epävarmuustekijöille minimi-, todennäköisen ja maksimihinnan. Projektin sisäisiä ja ulkoisia tekijöitä ja niiden vaikutuksia selvitetään yhteisessä ideointitilaisuudessa. (Vister 2014). Ryhmätyössä ei tarkastella yksityiskohtia liian tarkasti vaan keskitytään pääpiirteisiin. On huomattava, että ryhmällä on harvoin päätöksentekovaltaa mutta ryhmän työskentelyn tulokset toimivat päätöksenteon tukena. (Vegdirektoratet 2014). Kun hankkeen olosuhteet ja epävarmuustekijät on selvitetty, luodaan varsinainen peruslaskenta. Ennen lopullisia päätöksiä, kun laskenta on laadittu, ryhmän jäsenet arvioivat onko lopputulos riittävän tasoinen ja linjassa aikaisempien hankkeiden kanssa. (Vister 2014)

Norjassa on yleisesti käytössä kaksi erilaista tapaa tehdä kustannuslaskenta, synteettinen eli top down arvio sekä analyyttinen eli bottom-up arvio. Synteettinen kustannusarviomenetelmä toimii periaatteeltaan samalla tavalla kuin viitekohdemenetelmä, jossa kustannusarvio perustuu aikaisempiin projekteihin tai objekteihin. Analyyttinen metodi perustuu tarkempiin määriin ja kaikkien rakennuselementtien sekä työmaan, projektinjohdon ja muiden yleisten kustannusten hinnoitteluun. Synteettisellä metodeilla tehdyt arviot soveltuvat parhaiten kokonaisvaltaisempiin päätöksiin, kun taas analyyttiset arviot soveltuvat perustaksi johtamiselle ja päätöksille rajoitetummissa asioissa. Menetelmän valintaan vaikuttaa siis arvion lopullinen käyttötarkoitus. Lisäksi esimerkiksi STATOIL käyttää myös usein synteettistä metodia varmistaakseen analyyttisen metodin kustannusarvion olevan linjassa aikaisempien toteutuneiden kustannusten kanssa. (Kostnadsestimering av veg- og jernbaneprosjekter 2016).

Kustannusarvion rakenteen on noudatettava määritettyä pääjakoa yleisellä tasolla. Alatasolla tämä jako vaihtelee projektin mukaisesti. On myös tärkeää, että projektia ei jaeta liian tarkkoihin elementteihin, sillä se tekee projektin hahmottamisesta hankalaa ja lisää työmäärää. Rakennejako on aluksi karkea ja tarkentuu tarpeiden mukaan. Kustannusarvion jokaisen elementin osan kustannuslaskentaan käytetään kolmipistemenetelmää. Jokaisella rakennuselementillä on siis jokin perushinta mutta myös mahdollinen alin ja ylin hinta. Tämän menetelmän avulla jokaiselle elementille voidaan perushinnan lisäksi arvioida mahdollinen lisäkustannus. Pohjana peruskustannuksille voidaan käyttää Kostnadsbankenia. Kostnadsbanken tietokantaan kerätään tietoa valmistuneista projekteista. Tietokannasta löytyy tietoa sekä arviointikustannuksista että toteutuneista kustannuksista. (Vegdirektoratet 2014).

Väylä- ja ratahankkeiden suunnittelu on Norjassa jaettu kolmeen eri vaiheeseen nimeltään utredningsnivå, kommune(del)plannivå ja reguleringsplannivå. Jokaisessa vaiheessa tulee laatia kustannusarvio. Huomattavaa on, että jokaisen suunnitteluvaiheen kohdalla laaditaan

aina uusi riippumaton kustannusarvio. Vanhan arvion päivittäminen tarkentuneiden suunnitelmien mukaan ei siis riitä. Jokaisella vaiheella on myös oma tavoitteensa kustannuslaskennan tarkkuudelle. (Vegdirektoratet 2014)



Kuva 8 Väylä- ja ratahankkeiden suunnittelun vaiheet ja tarkkuustasotavoitteet Norjassa (Muokattu lähteestä Vegdirektoratet 2014)

Utredningsnivå -taso vastaa suomen hankeselvitysvaihetta. Tässä vaiheessa on harvemmin tarkkoja suunnitelmia ja kustannusarvio laaditaan esimerkiksi aiempien hankkeiden hintojen perusteella. Esimerkiksi aiempien hankkeiden juoksumetrikustannukset ovat tässä vaiheessa riittäviä kustannusarvion laatimiseen. Tässä vaiheessa kustannusarvion tavoitetarkkuus on +/- 40 prosenttia lopullisista kustannuksista. (Vegdirektoratet 2014).

Kommune(del)plannivå tasolla suunnitelmat ovat jo huomattavasti tarkemmat ja hankkeelle tehdään standardin mukainen arviointi. Kustannusarvion tavoitetarkkuus on +/- 25 prosenttia hankkeen loppukustannuksista. (Vegdirektoratet 2014). Kustannusarvio perustuu kuitenkin vielä elementteihin (Vegdirektoriatet 2009). Kustannusarviossa käytettyjä elementtejä voidaan verrata Suomessa hankeosalaskennassa käytettyihin hankeosiin.

Reguleringplannivå tasolla kustannusarvio laaditaan hyväksytyn kaavoitussuunnitelman perusteella. Tässä vaiheessa laaditaan tarkimmat arviot, jotka perustuvat hankkeen määriin ja hankkeen kuvaukseen. (Vegdirektoratet 2014). Kustannusarvio ei enää perustu elementteihin, vaan sen on tarkennettu Håndbok R761 Prosesskode ja Håndbok R762 Prosesskode 2 kirjoissa esitettyjen prosesskode eli litteroiden mukaisesti. Norjan prosesskode jako muistuttaa hyvin paljon Suomessa käytössä olevaa infranimikkeistöä. Håndbok R761 Prosesskode ja Håndbok R762 Prosesskode 2 kirjoissa on esitetty nimikkeistön rakenne, sekä jokaisen litteran työsisältö ja sen yksikkö (Vegdirektoriatet 2009). Tason kustannusarvio toimii perustana hankkeen käynnistämiselle, projektin johtamiselle ja poikkeamaraportoinnille. Tällä tasolla kustannusarvion tarkkuuden tavoite on +/- 10 prosenttia lopullisista kustannuksista. (Vegdirektoratet 2014).

2.5.2.2 Australian osavaltiot Queensland ja South Australia

Australiassa eri osavaltioilla on kullakin omat prosessina kustannuslaskentaan. Tässä kappaleessa tarkastellaan kustannuslaskennan prosessia Queenslandin sekä South Australian osavaltioissa.

Projektin eri vaiheissa käytetään eri menetelmiä kustannusarvion laatimiseen. Sekä Queenslandissa että South Australian osavaltioissa projektin esisuunnitteluvaiheessa kustannusarvio perustuu aikaisempien samankaltaisten hankkeiden toteutuneisiin kustannuksiin, joko yksikköhintoihin tai hankeosiin perustuvana arviona. Kustannukset ilmoitetaan molemmissa osavaltioissa vaihteluvälillä sekä todennäköisimmällä vaihtoehdolla. Esimerkiksi niin että hankkeen odotetaan maksavan $15–25 miljoonaa ja sen todennäköisin hinta on $22 miljoonaa. (State of Queensland 2017, Government of South Australia 2018).

Queenslandin osavaltiossa concept phase, eli hankesuunnitteluvaihe on ajanjakso, jonka aikana harkitaan hankkeen priorisointia sekä sille myönnettävää rahoitusta. South Australian

osavaltiossa hankesuunnittelu ja suunnitteluvaihe kuuluu osittain samaan todistusvaiheeseen (proving phase). Queenslandissa hanke-ehdotusennuste laaditaan riittävillä tiedoilla ja sen avulla arvioidaan, onko esitetty ehdotus perusteltu tietyn ongelman ratkaisemiseksi. Hanke-ehdotussuunnitelma luo pohjan projektin laajuuden ja liiketoiminnan kehittämiselle. Hanke-ehdotuksen kustannusarvio lasketaan yksikköhinnoin. Tässä vaiheessa on tärkeää tunnistaa myös hankkeen riskit, jotta oikeankokoinen riskivaraus voidaan huomioida. Hankkeelle mallinnetaan myös eri vaihtoehtoja analyysiarvioiden perusteella ja näitä vaihtoehtoja vertaillaan keskenään. Vaihtoehdot voivat olla ratkaisuja koko projektille tai vain osittaisia ratkaisuja projektin eri osille. Jos vaihtoehtolaskelmia tehdään koko hankkeelle, laskelmissa voidaan käyttää samaa menetelmää kuin esisuunnitteluvaiheessa. Vaihtoehtojen kustannusarvio perustuu Queenslandissa suurissa hankkeissa 60-prosenttisesti yksikköhintoihin ja 40-prosenttisesti panospohjaiseen laskentaan. Hankesuunnitteluvaiheen lopussa laaditaan liiketaloudellinen kustannusarvio, johon kaikkia tulevia arvioita verrataan. Liiketoiminta-arvio perustuu jo täysin panospohjaiseen laskentaan, vaikka sen tarkkuustaso saattaa vaihdella. Arvion on tarkoitus määrittää projektin peruskustannukset, analysoida kilpailevia vaihtoehtoja, sekä avustaa johtoa budjetin asettamisessa. Hyväksytty liiketaloudellinen kustannusarvio toimii perustana projektille ja sen rahoitukselle sekä muille toteuttamiseen vaadittaville resursseille. On siis tärkeää, että kustannusarviossa on huomioitu kaikki saatavilla oleva tieto. Liiketaloudellisessa kustannusarviossa otetaan myös huomioon hankkeen todennäköisyys pysyä kustannusraamin sisällä P50 ja P90 arvioiden avulla. P50 tarkoittaa, että hankkeella on 50 %:n todennäköisyys pysyä kustannusarvion sisällä ja P90 että hankkeella on 90 %:n todennäköisyys pysyä vaihteluvälin sisällä. Hankkeelle tehdään myös HK-analyysi ja yli $100 miljoonan hankkeiden kestävyyttä tulee arvioida erikseen. HK-analyysi tulee aina sisältyä hanke-ehdotuksen kustannusarvioon sekä vaihtoehtojen kustannusarvioihin. HK-analyysin tulee sisältää arviot matka-ajan kustannuksista, ajoneuvojen käyttökustannuksista, onnettomuuskustannuksista sekä hankkeen toteuttamisen muista ulkoisista vaikutuksista. Queenslandissa on käytössä myös ohjelmisto HK-analyysin tekemiseen. (State of Queensland 2017). South Australian todistusvaiheessa tehdään kolme kustannusarviota, alustavien suunnitteluvaihtoehtojen arvio, alustavien konseptisuunnitelmien arvio sekä valitun konseptisuunnitelman arvio. Jokainen arvio ilmoitetaan P50 ja P90 arvojen mukaisesti. Alustavien suunnitteluvaihtoehtojen arviot perustuvat lähtökohtaisesti 80-prosenttisesti viitekohde- ja tilastomenettelyyn, jossa kustannukset ilmoitetaan hyvin karkealla tasolla, kuten tien kustannus per kilometri tai sillan kustannus per kansineliö. Loput 20 %:a kustannuksista lasketaan panospohjaisesti. Konseptisuunnitelmien vertailu toteutetaan myös yhdistelmänä viitekohde- ja tilastomenetelmää ja panospohjaista laskentaa panospohjaisen laskennan kasvaessa 60-prosenttiin. Valitun konseptisuunnitelman kustannusarvio perustuu 80-prosenttisesti panospohjaiseen laskentaan. (Government of South Australia 2018).

Queenslandissa voidaan suunnitteluvaiheessa luoda kolme kustannusarviota. Suunnitteluvaiheen ensimmäinen kustannusarvio, toinen kustannusarvio sekä tarjousten vertailuun käytettävä kustannusarvio. Ensimmäisen suunnitteluvaiheen arvion on tarkoitus vahvistaa, että valitun suunnitelmaratkaisu arvio on linjassa liiketaloudellisen arvion ja budjetin kanssa. Tämä tehdään, jotta siinä tapauksessa, että projektin tarvetta ei voida riittävästi perustella, ylimääräisiä kustannuksia ei synny toisessa suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaiheen toisessa vaiheessa oletuksena on, että kaikki rakentamiseen tarvittava tieto on saatavilla. Tässä vaiheessa arvio perustuu siis hyvin tarkkaan tietoon. Suunnittelun toisen vaiheen arvio toimitetaan vielä erilliselle kustannuslaskennan ammattilaiselle, joka varmistaa, että arviossa on huomioitu kaikki saatavilla oleva tieto. Kustannuslaskijan tulee myös poimia arviosta tarvittavat määrätiedot ja luoda niiden pohjalta sopimusaikataulu. (State of Queensland 2017). South Australiassa lasketaan tässä rakentamista edeltävässä vaiheessa tai hankinta-

vaiheessa kustannusarvio, joka perustuu tarkkoihin tietoihin projektin laajuudesta ja suunnitteluratkaisuista. Laskenta on tässä vaiheessa pääosin täysin panospohjaista. Arviota käytetään varmistamaan, että projektin budjetti on riittävä ennen tarjouspyyntöjen lähettämistä. Tarjouspyyntöjen analysointia varten lasketaan erillinen arvio, joka perustuu tarjouspyynnössä esitettyihin töihin. Tämä arvio toimii tukena ja perustana, kun varsinaisia tarjouksia analysoidaan. (Government of South Australia 2018). Queenslandissa tarjousanalyysivaihe on erillinen suunnitteluvaiheen sisäisen vaihe, jolloin luodaan tarjouspyyntöarvio verrattavaksi saatuihin tarjouksiin. Queenslandin osavaltiossa hyväksytty projektiarvio on tarkistettu budjetti, joka perustuu sopimuksen myöntämiseen. Budjetti perustuu urakoitsijan tarjoukseen, tilaajan kustannuksiin sekä riskivarauksiin. (State of Queensland 2017). Samanlainen toteuttamisen kustannusarvio laaditaan myös South Australian osavaltiossa ennen sopimuksen allekirjoittamista. Toteuttamisen kustannusarvio perustuu saatuihin tarjouksiin, huomioiden myös tarjouksen ulkopuolelle jätetyt tilaajan kustannukset kuten esimerkiksi maanhankinta. (Government of South Australia 2018). Queenslandissa rakentamisen aikaista kustannusarviota päivitetään säännöllisin väliajoin perustuen kustannusennusteisiin ja kustannusten vaihteluun. Hankkeen päätyttyä toteutuneet kustannukset kirjataan ja niitä verrataan budjettiin. (State of Queensland 2017). South Australian ohjeessa ei ole mainintaa rakentamisen aikaisesta kustannusarviosta vaan viimeinen kustannusarvio perustuu toteutuneisiin kustannuksiin. Toteutuneita kustannuksia voidaan hyödyntää tulevissa hankkeissa, ja vertailusta voidaan poimia parantamiskohteita. (Government of South Australia 2018).

Taulukko 1 Queenslandin ja South Australian osavaltioiden infrahankkeiden vaiheet ja niihin liittyvät kustannusarviot (Muokattu lähteistä Government of South Australia 2018 ja State of Queensland 2017)

Osavaltio ja vaiheet	
South Australia	Queensland
Esisuunnitteluvaihe	**Esisuunnitteluvaihe**
Strategisten vaihtoehtojen kustannusarviot	Strateginen kustannusarvio
Todistusvaihe	**Hankesuunnitteluvaihe**
Alustava vaihtoehtojen kustannusarvio	Ehdotetun hankkeen kustannusarvio
Alustava konseptisuunnitelma-arvio	Hankkeen vaihtoehtojen kustannusarvio
Konseptisuunnitelma-arvio	Liiketaloudellinen kustannusarvio
Hankintaa edeltävä vaihe	**Suunnitteluvaihe**
Yksityiskohtainen kustannusarvio	Suunnitteluvaiheen ensimmäisen tason kustannusarvio
	Suunnitteluvaiheen toisen tason kustannusarvio
	Tarjouspyynnön kustannusarvio
Hankintavaihe	**Toteutusvaihe**
(Yksityiskohtainen kustannusarvio)	Toteutuksen kustannusarvio
Tarjouspyynnön kustannusarvio	Kustannusarvion päivittäminen
Toteutuksen kustannusarvio	
Hyötyjen realisointivaihe	**Projektin viimeistelyvaihe**
Toteutuneet kustannukset sekä hankkeen opit kirjataan	Toteutuneet kustannukset sekä hankkeen opit kirjataan

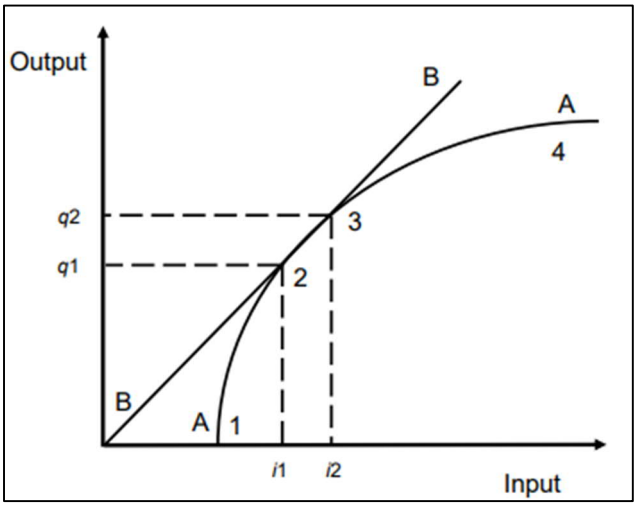
2.6 Mittakaava- ja yhteistuotantoedut

Tässä kappaleessa käsitellään mittakaava- ja yhteistuotantoetujen teoriaa sekä niiden esiintymistä rakennusalalla ja rakennushankkeissa. Tarkoitus on perehtyä teoriaan mittakaava- ja yhteistuotantoeduista sekä selvittää esiintyykö etuja rakennusalalla ja yksittäisissä rakennushankkeissa. Mittakaavaetujen teorian mukaan suurempi tuotantoyksikkö voi hyödyntää saatavilla olevia panoksia tehokkaammin. Yhteistuotantoetuja taas syntyy yhden organisaation tuottaessa laajalla skaalalla eri palveluita ja hyödykkeitä. Jos palveluiden ja hyödykkeiden tuotanto on edullisempaa yhdessä organisaatiossa, kuin useassa erillisessä organisaatiossa voidaan puhua yhteistuotantoeduista.

2.6.1 Skaalaedut ja -tuotot (economies of scale)

Skaalaetuja esiintyy, mikäli suhteellisesti pieni panosten lisääminen johtaa tuotosten suhteellisesti vielä suurempaan kasvuun (Panzar & Willig 1977). Skaalatuotot (englanniksi Returns to Scale) selittävät miten panosten yhteenlaskettu väheneminen tai lisääntyminen vaikuttaa tuotosyksikköön. Jos tuotosyksiköt lisääntyvät saman verran kuin panokset on kyseessä vakioskaalatuotto (constant return to scale). Tuotosyksiköiden lisääntymistä panoksiin verrattuna kutsutaan lisääntyväksi skaalatuotoksi. Vastaavasti tuotosyksiköiden kasvaessa vähemmän kuin panokset puhutaan vähenevistä skaalatuotoista. (Dollery ym. 2008).

Yleinen talousteoria esittää oletuksen siitä, että skaalatuotot ensin lisääntyvät tuotannon kasvaessa, jonka jälkeen ne muuttuvat vakioiksi ja alkavat lopulta kääntyä laskuun (Dollery & Fleming 2006). Kuvasta 9 voidaan nähdä miten funktio AA kasvaa osuudella 1–2, joka tarkoittaa skaalatuottojen kasvamista. Välillä 2–3 funktio AA näyttää, että skaalatuotot pysyvät vakiona ja kääntyvät laskuun välillä 3–4. (Dollery ym. 2008).



Kuva 9 Skaalatehokkuus (Dollery ym. 2008)

Mittakaavaedut viittaavat taloudellisiin etuihin, jotka seuraavat lisääntyvästä skaalatuotosta, kun prosesseja voidaan suorittaa suuremmalla mittakaavalla. Mittakaavaetuja esiintyy, kun suoritteen koko, lopputuote, tai prosessi skaalautuu niin että kiinteät kustannukset jakautuvat useampaa tuotosyksikköä kohden alentaen tuotoksen yksikköhintaa. (Euroopan Komissio 1997). Tuotantokustannukset muodostuvat muuttuvista ja kiinteistä kustannuksista, jossa muuttuvat kustannukset vaihtelevat panosten määrän mukaan ja kiinteät kustannukset pysyvät vakiona läpi tuotannon. Mitä suuremmalle määrälle tuotosyksiköitä kiinteät kustannukset voidaan jakaa, sitä enemmän marginaalikustannukset laskevat. Tuotantofunktiot vaihtelevat riippuen tuotettavasta hyödykkeestä tai palveluista, jolloin myös mittakaavaetujen

esiintyminen ja todennäköisyys vaihtelee riippuen tuotantofunktiosta ja -prosessista. Tuotannossa syntyy mittakaavaetuja, kun tuotannon kapasiteetin lisäämisen kokonaiskustannukset ovat pienempiä kuin tuotosyksiköiden kasvu. (Alan 2003, Dollery & Crase 2004).

Mittakaavaetuja käsiteltäessä on myös huomioitava oppimishyödyt, jotka seuraavat työntekijöiden lisääntyneestä kokemuksesta tuotteen tai palvelun tuottamisessa (Euroopan Komissio 1997). Besanko ym. (2000) ovat määritelleet oppimishyödyt palvelun keskimääräisten kustannusten alenemisena kumulatiivisen tuotannon kasvaessa. Kustannussäästöjä on havaittu, kun työntekijät ja käyttäjät keräävät kokemusta tekemällä oppimisen kautta. Yritysten ja organisaatioiden on kuitenkin tärkeä tunnistaa mistä tuotannon kasvu johtuu. On mahdollista, että kasvava tuottavuus tunnistetaan virheellisesti mittakaava- tai yhteistuotantoetujen ansioksi, vaikka se todellisuudessa johtuu jatkuvasta oppimisesta tuotannossa. Oppimishyödyt työvoiman tuottavuudessa tai organisaation tehokkuudessa voivat johtaa mittakaavaetuihin, mutta ne voivat olla merkittäviä myös ilman mittakaavaetuja esimerkiksi työvoimavaltaisessa toiminnassa. (Besanko ym. 2000). Oppimishyötyjä voi esiintyä myös vaikka tuotantomäärät laskisivat ajan kanssa. Organisaatiot voivat myös saavuttaa oppimishyötyjä laajentamalla tarjoamiansa palveluita mittakaavan kasvattamisen sijaan. (Miozzo ym. 2012).

Mittakaavaeduissa on useita eri ulottuvuuksia, jotka voivat olla tuotantolaitoksen, yrityksen, tai alan ulkoisia tai sisäisiä tekijöitä. Lisäksi skaalaedut voivat olla staattisia tai dynaamisia. Mittakaavaetuja esiintyy erityisesti tuotannossa, mutta mahdollisesti myös jakelussa, johtamisessa, markkinoinnissa ja tutkimuksessa. (Euroopan komissio 1997).

Yrityksen sisäiset mittakaavaedut ovat yrityskohtaisia ja antavat yritykselle edun muihin alan yrityksiin verrattuna. Sisäiset mittakaavaedut syntyvät yrityksen koon kasvusta, jolloin esimerkiksi hallinnointikulut jakautuvat suuremmalle määrälle henkilöstöä. Yrityksen sisäiset mittakaavaedut eroavat tuotantolaitoksen sisäisistä mittakaavaeduista, jotka syntyvät suurista tuotantomääristä ja pitkistä tuotantojaksoista. Sisäiset mittakaavaedut voidaan jakaa työvoimaetuihin ja teknisiin etuihin. Työvoimakustannuksia tuotosyksikköä kohden voidaan pienentää työnjakoa parantamalla. Työvoimaedut johtuvat työntekijöiden lisääntyvästä osaamisesta sekä ajasta, joka säästyy tehtäviä vaihdettaessa. Teoreettisesti parhaiten tunnetaan tekniset mittakaavaedut, jotka liittyvät tuotantoon ja joita voidaan arvioida MES:n (minimum efficient scale) ja kustannusgradienttien avulla. Minimum efficient scale eli MES tarkoittaa teoriassa laitoksen kokoa, jossa kaikki saavutettavat mittakaavaedut on saavutettu. Tässä tilanteessa pitkän aikavälin marginaalikustannus on pienempi kuin pitkän aikavälin keskimääräiskustannus. Teknisiä mittakaavaetuja voi syntyä paremmin kohdistetusta ja hyödynnettävästä työvoimasta, kiinteiden kustannusten jakamisesta useammalle tuotosyksikölle ja pidemmistä tuotantojaksoista. (Euroopan komissio 1997).

Yrityksen ulkoiset mittakaavaedut johtuvat yrityksen ulkopuolisista tekijöistä, kuten yrityksen teollisuusalasta ja sen koosta. Yrityksen keskimääräiset kustannukset riippuvat koko teollisuudenalan koosta. (Euroopan komissio 1997). Ulkoiset edut ovat kaikkien alan yrityksien saatavilla. Etuja voivat olla mm. keskeinen sijainti sekä sijainti muiden alan yritysten lähellä. Keskeinen sijainti vaikuttaa kustannusten alenemiseen, kun panosten toimittaminen yritysten välillä on halpaa. Ulkoisiin mittakaavaetuihin vaikuttavat siis myös julkiset tekijät kuten tieverkko. Lisäksi hyvä sijainti helpottaa koulutettujen työntekijöiden löytämistä. Kaupungeista löytyy myös helpommin yritystoimintaan tarvittavia palveluita, kuten tilintarkastus- ja asianajajatoimistoja sekä konsultteja. Hyötyjä on myös saatavilla yritysklustereista, joissa saman alan yritykset keskittyvät samaan sijaintiin. Tämä luo stabiileja markkinoita erikoistuneille asiantuntijoille. Lisäksi teollisuutta tukevien yritysten on helppo sijoittua lähistölle, jolloin syntyy kustannusetuja. Yritykset hyötyvät myös toistensa tarkkailusta

sekä parhaiden työntekijöiden ja toimintatapojen kopioimisesta toisiltaan. (Mittelstaedt ym. 2005). Yrityksen ulkoiset skaalaedut voivat olla alan sisäisiä ja ne riippuvat kansallisesta tai kansainvälisestä alan suuruudesta. Alan ulkopuolisia skaalaetuja voi syntyä alojen keskinäisistä riippuvuuksista, kuten ostajien ja raaka-aineiden tai välituotteiden toimittajien välisestä riippuvuudesta. (Euroopan komissio 1997).

Yritykset voivat myös saavuttaa muita kuin tuotannossa syntyviä teknisiä skaalaetuja, kuten etuja, jotka liittyvät ostovoiman hyödyntämiseen hankinnassa, tai tehokkaaseen vaikuttamiseen esimerkiksi lobbaamalla. (Euroopan komissio 1997).

2.6.2 Yhteistuotantoedut- ja tuotot (economies of scope)

Mittakaavaetuihin yleisesti liitetyt yhteistuotantoedut syntyvät tuotantolinjojen keskinäisistä riippuvuuksista, kun useamman tuotteen valmistaminen yhdessä on kustannustehokkaampaa kuin niiden valmistaminen erikseen (Dollery ym. 2008). Mittakaavaedut syntyvät resurssien jakamisesta tai hyödyntämisestä yhdessä tuotannossa, kun resurssit on kehitetty tai hankittu käytettäväksi yhtä tuotosta varten mutta ovat saatavilla ilmaiseksi tai alennettuun hintaan myös toisen tuotoksen toteuttamiseksi (Panzar & Willig 1981). Seurauksena on kustannusten alentuminen kiinteiden ja hallinnollisten kulujen pienentyessä ja jakautuessa useammalle yksikölle. Esimerkiksi juomavesi- ja viemärivesipalveluiden tuottaminen erikseen olisi Portugalissa Carvalhon & Marquesin (2016) tutkimuksen mukaan keskiarvoisesti 126,3 %:a kalliimpaa, kuin palveluiden tuottaminen yhdessä.

Kuten skaalaedut, myös yhteistuotantoedut voidaan jakaa lisääntyvään yhteistuotantotuottoon, yhteistuotannon vakiotuottoon sekä vähenevään yhteistuotantotuottoon. Lisääntynyt yhteistuotantotuotto tarkoittaa, että yksi yritys voi tuottaa useamman tuotosyksikön vähemmällä panoksella kuin kaksi erillistä yritystä. Yhteistuotannon vakiotuotto tarkoittaa, että yhden tuotosyksikön tuottaminen vaatii saman verran panoksia tuottaa yhdessä kuin erikseen. Jos yhteistuotantotuotto on vähenevää tarkoittaa se, että tuotosyksiköiden tuottaminen erikseen on kustannustehokkaampaa kuin yhdessä. Tuotosyksiköt voivat olla tuotteita tai palveluita ja tuottajat voivat olla yksityisiä yrityksiä, julkisia palveluntuottajia, virastoja tai voittoa tavoittelemattomia organisaatioita. (Dollery & Fleming 2006).

Dollery & Fleming (2006) korostavat kuitenkin että skaala- ja yhteistuotantoetujen välillä ei ole mitään teoreettista suhdetta. On siis mahdollista hyödyntää vain toista mekanismia ja olla hyödyntämättä toista. On myös mahdollista samanaikaisesti saavuttaa etuja toisella mekanismilla ja haittoja toisella. Mittakaavaetujen ja yhteistuotannon epätaloudellisuuden esiintyminen samanaikaisesti liittyy usein hyvin erikoistuneeseen tuotantoon. Tuotannon laajentaminen ilman yhteistuotantoetujen tavoittelemista voi johtaa tehokkaampaan erikoistuneiden resurssien käyttöön, joka johtaa mittakaavaetuihin. (Dollery & Fleming 2006).

2.6.3 Mittakaava- ja yhteistuotantoedut rakennusyrityksissä ja -alalla

Kuten tuotantoteollisuudessa myös rakennusteollisuudessa voidaan hyötyä mittakaava- ja yhteistuotantoeduista. Suuri osa rakentamisessa saavutettavista mittakaavaeduista perustuu työmaan ulkopuolella sijaitseviin tehtaisiin, joissa tuotetaan esivalmistettuja tuotteita. (Gruneberg 1997).

Ramachandra ym. (2017) tutki rakentamisen toimialan mittakaavaetuja eri rakennusaloilla haastattelujen avulla Sri Lankassa. Tulokset Ramachandran (2017) tutkimuksesta mittakaavaetujen merkittävimmistä hyödyntämisen kohteista on esitetty Taulukossa 2. 14:stä haasta-

tellusta henkilöstä 43 %:a oli hyödyntänyt mittakaavaetuja infrahankkeissa. 91 %:a vastaajista mukaan mittakaavaetuja infrarakentamisessa on saavutettu hyödyntämällä esivalmistettuja elementtejä. Lisäksi mittakaavaetuja esiintyy päällystystöissä, sillä päällystystöitä esiintyy rakennusosamäärällisesti paljon tie- ja katuhankkeissa. Mittakaavaetuja voidaan haastateltavien mukaan hyödyntää myös suunnittelussa sekä hankinnassa. Mittakaavaedut eivät siis rajoitu ainoastaan tiettyyn hankkeen vaiheeseen. (Ramachandra ym. 2017).

Taulukko 2 Mittakaavaetujen hyödyntäminen talon- ja infrarakentamisessa (Muokattu lähteestä Ramachandra ym. 2017)

Soveltuvat alat ja työt **Parhaiten soveltuvat alueet mittakaavaetujen hyödyntämiseen rakennusalalla**	**Lähteitä**	**Referenssejä**	**Prosentti**
Talonrakennusala	11	17	
Esivalmistetut betoni- ja teräselementit	7	7	64 %
Muottityö	5	5	46 %
Alumiinikomponentit	4	4	36 %
Betoni	1	1	9 %
Infrarakennusala	11	15	
Esivalmistetut betonielementit	10	10	91 %
Asfalttipäällystys	3	3	27 %
Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen	2	2	18 %

Vaikka rakennusalalla esiintyy Ramachandran haastattelemien henkilöiden mukaan mittakaavaetuja, haastateltavat olivat silti sitä mieltä, että muut teollisuudenalat hyödyntävät niitä rakennusalaa tehokkaammin. Yhden asiantuntijan mukaan suurin osa tuotantoteollisuuden yrityksistä päättää tuotteen kustannuksen tuotteen tuotantoprosessin seurauksena. Rakennusalalla kustannukset päätetään jo tarjousvaiheessa ennen välttämättä koko lopputuotteen tuntemista, joka vähentää mahdollisuutta ottaa mittakaavaetuja huomioon. Suurin osa haastateltavista (71 %:a) oli sitä mieltä, että mittakaavaetuja on vaikea saavuttaa sillä suunnittelijat eivät tiedosta tai ymmärrä mittakaavaetujen hyödyntämistä eivätkä suunnittele projekteja saavuttamaan mittakaavaetuja. (Ramachandra ym. 2017).

Ariffin ym. (2016) ovat myös tutkineet rakennusalalla esiintyviä mittakaavaetuja. Ryhmä tunnisti aikaisemmista tutkimuksista seuraavat seitsemän mittakaavaetuihin liitettävää tekijää rakennusalalla.

- *Yrityksen pääoma*
- *Rakennusmateriaalien tehokas hankinta*
- *Rakennusalan koko ja siihen liittyvät tukipalvelut*
- *Työnjako osaamisalueiden mukaan*
- *Yrityksen tutkimus ja kehitys*
- *Yrityksen hallinto*
- *Yrityksen lainan saanti*

Pääoma on liitetty mahdollisuuteen hankkia koneita tehokkaampaa työskentelyä varten. Työkoneiden hankkiminen tai vuokraaminen vaatii kuitenkin huomattavaa pääomaa (Smith 1955). Rakennusmateriaalit liittyvät käytettävien materiaalien ostamiseen ja myymiseen. Shuttin (1995) mukaan tehokas materiaalienhankinta lisää urakoitsijan tuottoa varsinkin silloin kun hankkeen koko kasvaa. Canback ym. (2006) ovat myös todenneet työnjaon tärkeäksi sillä rakentaminen vaatii paljon työvoimaa, joka korostaa työnjakoa osaamisalueiden mukaan. Arai & Morimoto (2019) havaitsivat myös, että erikoistuneet urakoitsijat pystyivät tarjoamaan hankkeita halvemmalla kuin monipuolisesti hankkeita toteuttavat urakoitsijat. Suurempi teollisuudenala tukee mittakaavaetuja tarjoamalla laajasti toteuttamiseen liittyviä palveluita. Rakennusalalla palvelut voivat liittyä mm. kuljetuksiin sekä pieniin erikoistuneiden yrityksien palveluiden saatavuuteen, jotka tukevat rakentamista. (Shutt 1995). Rakennusalan yritykset voivat myös hyödyntää tutkimusta ja kehitystä esimerkiksi uusien koneiden tai materiaalien uudelleenkäytön muodossa. Pienet yritykset voivat hyödyntää innovointia, kun taas suuremmat yritykset voivat tähdätä aggressiivisemmin mittakaavaetujen hyödyntämiseen. (Myers 1983). Suuret stabiilit yritykset saavat myös lainaa helpommin sekä paremmilla ehdoilla mikä tukee yrityksen kasvua. Lisäksi hyvä ja toimiva taloudellinen hallinto voi antaa etuja yritykselle. (Smith 1955).

Thuesen (2010) on tutkinut hankintoihin liittyviä mittakaavaetuja tarkoituksenaan kehittää ja tehdä tarkasteltavan yrityksen hankintatoiminnoista tehokkaampaa. Thuesenin perusidea on muuttaa pirstaloitunut arvoketju poistamalla tai ohittamalla kohdat, jotka eivät tuota lisäarvoa. Tämä laskee hankintojen hintaa, kun materiaalit ostetaan suoraan tuottajilta. Metodi vaatii kuitenkin alihankkijoiden toimintatapojen muuttamista. Urakoitsija ei siis muuta ainoastaan omaa hankintatapaansa vaan koko arvoketjua. Hankintojen koordinointi luo myös pohjaa kehittää arvoketjua ylävirtaan. Toimintaa ohjaa silloin vastauksen löytäminen ”mitä ostaa” kysymykseen, joka on yleisesti ollut arkkitehtien ja insinöörien ratkaistavana. Perusajatuksena on luoda teknisiä pohjia eli kokonaisuuksia tietyille aloille. Tämäntyyppiset kokonaisuudet ovat tuotantoteollisuudessa tunnettu strategia mittakaavaetujen kasvattamiseen yli tuoterajojen. (Thuesen 2010). Kokonaisuutta voidaan kuvata joukkona alijärjestelmiä ja rajapintoja, jotka muodostavat yhteisen rakenteen, josta voidaan tehokkaasti muodostaa ja kehittää johdannaistuotevirta (Meyer & Lehnerd 1997). Näitä kokonaisuuksia voisi kehittää joko rakennustasolla, esim. toimistokokonaisuus tai komponenttitasolla esim. asennusvarsi, joka koostuu useammasta pienemmästä osasta (Thuesen 2010).

Rakentaminen on hyvin projektikohtaista, joten alalla on yleisesti melko hankala hyödyntää mittakaavaetuja merkittävästi. Lisäksi tilaajat toivovat usein ainutkertaisia rakennuksia, joissa ei esiinny toistettavia ratkaisuja. Tämä johtaa siihen, ettei skaalaetuja saavuteta. (Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta 2020). Vaikka varsinaiselle talonrakennusalalle pääsy on suhteellisen helppoa suuret rakennuttajat nauttivat selkeistä mittakaavaeduista. Suurilla yrityksillä on paremmat mahdollisuudet omaan rakennusmateriaalituotantoon, jolla voidaan taata alhaisemmat kustannukset. Lisäksi suuret yritykset voivat hyötyä isoista materiaaliostoista, jolloin yksikkökustannukset laskevat. Usein markkinoille pääsyn esteinä olevat mittakaavaedut, pääomavaatimukset tai tuotedifferointi eivät kuitenkaan vaikuta rakennusalalla olevan suuressa roolissa. (Kilpailuvirasto 2008).

2.6.4 Mittakaavaedut rakennusprojekteissa

Mittakaavaedut eivät aina liity yritykseen tai alaan vaan myös yksitäisissä rakennusprojekteissa on mahdollista saavuttaa projektin sisäisiä mittakaavaetuja. Projektin sisäisten mitta-

kaavaetujen esiintymiseen voi ratkaisuillaan vaikuttaa monet hankkeeseen liittyvät osapuolet. Tilaaja voi esimerkiksi niputtaa useampia hankkeita yhteen ja suunnittelija voi pyrkiä töiden osalta mahdollisimman suureen toistuvuuteen.

Xiong ym. (2017) sekä Qiao ym. (2018) ovat tutkineet mittakaavaetujen saavuttamista erityisesti urakoiden niputtamisen avulla. Molemmissa tutkimuksissa havaittiin yksikkökustannusten laskua, kun useita pieniä silta- ja tieurakoita yhdistettiin suuremmaksi kokonaisuudeksi, vaikka määrät yksittäisessä projektissa ja yhdistetyssä projektissa vastasivat toisiaan. (Xiong ym. 2017, Qiao ym. 2018). Kustannusten alenemista esiintyi erityisesti holvirumpuelementteihin liittyvissä töissä, sillan maalaamisessa sekä päällystystöissä yleisesti (Qiao ym. 2018). Isommat yksittäiset hankkeet johtavat siis alhaisempiin yksikkökustannuksiin mutta niin johtavat myös useampien urakoiden yhdistäminen yhdeksi suuremmaksi sopimuskokonaisuudeksi. Suurimmat projektin kustannuksiin vaikuttavat tekijät ovat hankkeen laajuus (mittakaavaedut), projektien yhdistämisstrategiat (niputtamisen edut) sekä markkinan kilpailutilanne (kilpailutalous). Suuremmat hankkeet johtavat mittakaavaetuihin, mutta saattavat myös johtaa pienempään kilpailuun karsimalla pois mahdollisia toteuttajia. (Xiong ym. 2017).

Woldesenbet (2005) on asiantuntijakyselyn avulla todennut, että myös työmäärät vaikuttavat olennaisesti tuottavuuteen. Kahdeksankaistaisen moottoritien tuotantotahti on huomattavasti tehokkaampaa kuin kaksi- tai nelikaistaisen moottoritien rakentaminen. Woldesenbetin tutkimuksen mukaan kahdeksankaistaisella moottoriteillä asfaltinlevityksen tuotantotahti vaihteli 1900–3000 tonnin välillä per päivä, kun vastaava tuotantotahti kaksikaistaisella tiellä oli 800–1800 tonnia per päivä ja nelikaistaisella 1000–1900 tonnia per päivä. (Woldesenbet 2005).

Mittakaavaetujen esiintymisestä erityisesti tiehankkeissa on vahvaa näyttöä. Varsinkin uudet alle 50-kilometrin tiehankkeet maksavat huomattavasti enemmän kuin suuremmat hankkeet (Africon 2008). USDA Forest Service northern region engineering (2020) esittää myös omassa ohjeessaan kertoimia, joilla hankkeen koko voidaan huomioida kustannuslaskennassa. Esimerkiksi päällyste- ja kantavan kerroksen töissä, jotka ovat yli 25,000 kuutiojaardia (eli n. 19000 m3) ohjeen mukainen näkemys on, että hinta laskee töiden osalta n. 10 %:a. Vastaavasti alle 5,000 kuutiojaardin kokonaisuuksissa hinta nousee 20 %:a. Myös raudoitustöissä ohjeistetaan ottamaan töiden määrä huomioon, alle 1000 lbs, eli 450 kg raudoitustöissä ohjehinta on $2.00/lb, kun suuremmissa töissä hinta on $1.75/lb. (USDA Forest Service northern region engineering 2020).

Damnjanovic ym. (2008) ovat selvittäneet mittakaavaetujen hyödyntämiseen vaikuttavia tekijöitä rakennusprojekteissa. Suunnittelijat voivat ratkaisuillaan vaikuttaa mittakaavaetujen saavutettavuuteen mm. rakennusselitysten kautta. Jos suunnittelijat käyttävät useita työselityksiä ja materiaaleja hankkeen sisällä toistuville töille, urakoitsijat saattavat arvioida materiaalimenekit suuremmiksi. Lisäksi useilla materiaaleilla voidaan saavuttaa sama toiminto, joten useat materiaalimääritelmät vähentävät urakoitsijan mahdollisuuksia hyödyntää mittakaavaetuja. Urakoitsijoiden kiinteät kustannukset pienemmissä projekteissa ovat myös korkeammat, joten urakoitsijoiden skaalaedut vähenevät. Standardoitujen suunnitteluratkaisujen puute voi myös vaikuttaa mittakaavaetuihin. Uniikit suunnitteluratkaisut hankaloittavat hankintatoimia ja vaativat enemmän resursseja. Useasti toistuvat ratkaisut antavat urakoitsijoille mahdollisuuden hyödyntää skaalaetuja ja laskea rakentamiskustannuksia. (Damnjanovic ym. 2008). Projektin aikaisella oppimisella on myös vaikutusta projektin kestoon ja kustannuksiin. Mályusz & Varga (2016) ovat tutkineet oppimiskäyrän hyödyntämistä projektin aikataulusuunnittelussa algoritmin avulla ja todenneet että projektin aikainen oppiminen voi

lyhentää projektin läpimenoaikaa 1–5 %:a. Toisessa tutkimuksessa Mályusz & Varga (2017) arvioivat jatkuvan oppimisen lyhentävän projektin kestoa 1–3 %:a.

2.7 Muita rakentamisen tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä

Muita rakentamisen tuottavuuteen vaikuttava tekijöitä käsitellään kirjallisuuskatsauksessa, jotta tekijät on mahdollista erottaa mittakaavaeduista. Mengistu ym. (2016) mukaan rakentamisen tuottavuus on jo pitkään kiinnostanut tutkijoita. Jotta projektien mahdolliseen tuottotavoitteisiin on mahdollista päästä, on oltava kontrolli siitä mitkä tekijät vaikuttavat tuottavuuteen. Tunnistamalla tekijät, jotka vaikuttavat tuottavuuteen on niihin mahdollista vaikuttaa. (Mengistu ym. 2016).

Työvoimakustannuksien osuus rakennushankkeen kokonaiskustannuksista on 30–50 %:n välillä ja työn tuottavuudella on suuri vaikutus projektin taloudellisen onnistumisen kannalta (Guhathakurta & Yates 1993, Liu & Ballard 2008). Robles ym. (2014) tutkivat työn tuottavuuteen liittyviä tekijöitä ja niiden merkityksellisyyttä suhteellisen merkitysindeksin (relative importance index) avulla. Tutkimuksen perusteella viisi työn tuottavuuteen vaikuttavaa kokonaisuutta saatiin järjestettyä merkityksellisyyden mukaiseen järjestykseen.

1. Materiaalit ja työkalut kategoria
2. Projektin johto ja organisaatio kategoria
3. Ihminen kategoria
4. Projekti kategoria
5. Ympäristö kategoria

Suurimmat yksittäiset tuottavuuteen liittyvät tekijät ovat tutkimuksen mukaan materiaalien puute tai myöhästyminen, piirustusten ja projektiasiakirjojen selkeys, päivittäinen selkeä tehtävänanto, työkalujen ja laitteiden puute sekä työntekijöiden taitotaso ja kokemus. Projektin koko sijoittui 35 tekijästä sijalle 30. Myöskään ympäristötekijöitä kuten sääolosuhteita ei pidetty merkittävinä tuottavuuteen vaikuttavina tekijöinä. (Robles ym. 2014). Samantyylisiin tuloksiin on päätynyt myös Hasan ym. (2018) jotka kävivät läpi 46 tutkimusta tuottavuuteen vaikuttavista tekijöistä rakennusalalla. Hasanin tutkimuksen tulokset ovat esitetty Taulukossa 3. Hasanin tutkimuksessa tuottavuuteen vaikuttavat tekijät järjestettiin niiden esiintyvyyden perusteella muissa tutkimuksissa.

Taulukko 3 Tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä ja esiintyvyyksiä tutkimuksissa (Muokattu lähteestä Hasan ym. 2018)

Tutkimuksissa havaittuja tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä	**Havaintoja tutkimuksissa (kpl)**
Materiaalien puute	33
Valvonnan ja työnjohdon puutteet	29
Osaavan työvoiman puute	25
Työkalujen ja tarvikkeiden puute	24
Puutteelliset piirustukset ja suunnitelmat	21
Kommunikoinnin puute	20
Uudelleentekeminen	15
Huono työmaan aluesuunnittelu	13
Sääolosuhteet	12
Muutostyöt	10

Rakennusmateriaalien puute johtaa työn keskeytyksiin ja odotteluun sekä laskee työvoiman motivaatiota (Thomas & Sudhakumar 2014, Jarkas & Radosavljevic 2013). Materiaalin puute tietyssä työvaiheessa saattaa myös vaikuttaa muihin työvaiheisiin (Hughes & Thorpe 2014). Epäpätevä työnjohto laskee myös työntekijöiden motivaationa, sekä johtaa tuottamattomaan toimintaan tai heikkoon laatuun (Jarkas 2015). Epäpätevä työnjohto hidastaa töiden etenemistä, mikä osaltaan vaikuttaa työn tuottavuuteen (Thomas & Sudhakumar 2014).

Osaavien tekijöiden puute vaikuttaa projektin läpimenoaikaan, kustannuksiin ja laatuun (Alinaitwe ym. 2007). Työntekijöiden puutteellinen osaaminen johtaa työn tuottavuuden laskuun (Dai ym. 2007). Työkalujen ja työkoneiden puutteet johtavat myös odotteluun työmaalla ilman mahdollisuutta jatkaa töitä (Abdul Kadir ym. 2005). Puutteelliset työkalut ja koneet voivat laskea työntekijöiden tuntikohtaista tuottavuutta peräti 4,6 %:a per viikko (Zakeri ym. 1996). Lisäksi työkoneiden saatavuus materiaalien ja työkalujen siirtoon on työmailla suuri huolenaihe (Rivas ym. 2011).

Puutteelliset suunnitelmat ja piirustukset, joiden perusteella rakentaminen ei ole mahdollista johtaa jatkuviin tarkennuspyyntöihin ja sen myötä työn keskeytymiseen (Jarkas 2015). Ongelmat piirustusten detaljoinneissa, suunnitelmien toteutettavuudessa ja muissa niihin liittyvissä toimissa kuten revisioiden hyväksynnässä johtaa työn tuottavuuden laskuun työmailla (Hughes & Thorpe 2014). Hyvä kommunikointi vaikuttaa olennaisesti työntekijöiden kokemaan viihtyvyyteen työpaikalla (Choudhry 2017). Huono kommunikointi voi johtaa ohjeiden väärinymmärrykseen ja näin ollen virheisiin (Ibrahim 2013).

Virheet voivat johtaa useisiin muihin ongelmiin, kuten päätöksenteon viivästymiseen sekä useisiin suunnitelmamuutoksiin ja uudelleentekemiseen. Muutostyöt johtavat turhaan uudelleentekemiseen. Suurin osa muutostöistä johtuu alhaisesta ammattitaidosta, joka voi johtua huonosta ohjeistuksesta ja johtamisesta (Ibrahim 2013). Työntekijöiden mukaan suurin osa muutostöistä johtuu kuitenkin tilaajan pyynnöistä ja virheistä suunnitelmista (Rivas ym. 2011).

Huono työmaan aluesuunnittelu vaikuttaa myös projektin aikatauluun ja kustannuksiin (Kazaz ym. 2008). Avoin ja tilava työympäristö parantaa tuottavuutta mahdollistamalla vähentämällä töiden keskeytymistä (Choudhry 2017). Työmaan aluesuunnittelun virheet voivat johtaa ongelmiin materiaalien sijainnissa, varastotilojen puutteessa, väliaikaisten tilojen vajaudessa, ja muissa työmaan toimissa (Enshassi ym. 2010, Thomas & Sudhakumar 2014).

Sääolosuhteilla on myös suora vaikutus työntekijöiden tuottavuuteen (Jarkas ym. 2012). Suomessakin talvityöskentely on huomioitu työmenekeissä (Rakennustieto 2019). Ulkolämpötila alkaa vaikuttaa tarkkuuttaa vaativaan työskentelyyn jo 4°C kohdalla ja karkeampiin töihin -13°C kohdalla (Dozzi & AbouRizk 1993).

Muutostyöt ovat tutkimuksissa vähiten esiintyvä tuottavuuteen vaikuttava tekijä. Muutostyöt johtuvat usein tilaajan pyynnöistä eivätkä urakoitsijan virheistä. Muutostöitä pyydetään usein, kun sopimus on jo tehty sekä työt aloitettu, joka johtaa töiden keskeytymiseen ja tuottavuuden laskuun. (Jarkas & Radosavljevic 2013).

2.8 Kirjallisuustutkimuksen johtopäätökset

Kirjallisuuden perusteella Suomessa yleisesti käytetyt kustannuslaskentamenetelmät vastaavat muita vastaavia maailmalla käytettyjä menetelmiä. Eroja hankkeiden kustannuslaskennassa on lähinnä kustannuslaskennan prosessissa, eikä niinkään menetelmissä. Esimerkiksi Norjassa prosessi perustuu yhteiseen ryhmätyöhön, jossa useat hinnoittelijat antavat hankkeen elementeille minimi, maksimi ja todennäköisimmän hinnan, josta muodostuu rakennusosan lopullinen yksikköhinta. Australiassa kustannusarvio taas toimitetaan erilliselle kustannuslaskennan ammattilaiselle, joka varmistaa, että arviossa on huomioitu kaikki sillä hetkellä saatavilla oleva tieto. Suomessa ei ole erillisiä kustannuslaskijoita kuten muualla maailmassa, vaan infrahankkeissa kustannusarvion laatii suunnittelija, usein kustannusarvion luomiseen tarkoitetulla tietokonepohjaisella järjestelmällä.

Kirjallisuudesta selviää myös, että rakennusalalla ja rakennushankkeissa esiintyy mittakaava- ja yhteistuotantoetuja. Yksi suosituimmista tavoista hyödyntää mittakaavaetuja on esivalmistettujen elementtien käyttö rakentamisessa. Lisäksi mittakaavaetuja esiintyy paljon päällystystöissä, sillä mittakaavaetuja esiintyy suurissa määrin tie- ja katuhankkeissa. Mittakaavaetuihin liitettyjä mekanismeja rakennusalalla ovat rakennusyrityksen pääoma, rakennusmateriaalien hankintavolyymit, rakennusalan koko ja sen myötä lisääntyvät tukipalvelut, työnsuunnittelu ja työnjako, alan tutkimus ja kehitystyö, yrityksen toimiva hallinto sekä yrityksen mahdollisuus lainansaantiin. Rakentamisen projektikohtaisuuden takia mittakaavaetujen esiintyminen on kuitenkin harvinaisempaa kuin muilla aloilla. Rakennusala on hyvin pirstaloitunut helpon markkinoille pääsyn ja kansallisten markkinoiden takia. Rakennusalalla on myös paljon pieniä toimijoita, joiden on hankala saavuttaa mittakaavaetuja.

Rakennusprojekteissa mittakaavaetuja on kuitenkin mahdollistaa saavuttaa esimerkiksi pienempien urakoiden yhdistämisellä suuremmiksi kokonaiskustannuksiin. Rakennushankkeissa myös suunnittelijat voivat vaikuttaa mittakaavaetujen mahdolliseen hyödyntämiseen. Välttämällä erilaisia variaatioita materiaaleissa, joilla voidaan saavuttaa sama toiminto, on rakentamista mahdollista tehostaa. Uniikit suunnitteluratkaisut hankaloittavat myös hankintatoimia ja rakentamista, kun taas useasti toistuvat ratkaisut antavat urakoitsijalle mahdollisuuden hyödyntää mittakaavaetuja. Myös projektin aikaisella oppimisella on vaikutusta projektin kestoon ja kustannuksiin.

Muita rakentamisen tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat tutkimusten mukaan materiaalien puute tai myöhästyminen, projektiasiakirjojen ja piirustusten selkeys, päivittäisten työtehtävien selkeys, työkalujen ja laitteiden saatavuus sekä työntekijöiden taitotaso ja kokemus. Projektin kokoa tai ympäristötekijöitä kuten sääolosuhteita ei pidetä merkittävinä tuottavuuteen vaikuttavina tekijöinä.

3 Tutkimusmenetelmät ja – aineisto

Tässä luvussa esitetään tämän työn tutkimusmenetelmät ja – aineisto. Luvussa esitellään työssä hyödynnettyjä aineistonkeruumenetelmiä sekä käydään läpi aineiston analysointitavat. Diplomityön tutkimusongelmana on infrahankkeen koon vaikutukset hankkeen kustannuksiin ja vaikutusten huomioiminen Ihku-laskentapalvelun kustannuslaskennassa. Infrahankkeen koon huomioimista varten on tarkoitus kehittää laskentamalleja, jotka vaikuttavat Ihku-laskentapalvelun tapaan laskea urakoitsijan hanketehtävien kustannuksia. Laskentamallien avulla on tarkoitus parantaa Ihku-laskentapalvelun kustannusarvioiden tarkkuutta huomioimalla hankkeen koko.

3.1 Asiantuntijahaastattelut

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tutkimusaineiston keräämiseen käytettiin asiantuntijahaastatteluita. Asiantuntijahaastatteluilla pyrittiin selvittämään miten hankkeen laajuus vaikuttaa projektin kustannuksiin sekä miksi. Haastatteluissa pyrittiin erityisesti saamaan tietoa mittakaavaeduista yleisesti rakennushankkeissa sekä tarkemmin rakennusosatasolla. Miten esimerkiksi suuri määrä paalutusta vaikuttaa paalutuksen yksikköhintaan tai miten työmaan ympäröivät olosuhteet vaikuttavat koko projektin kustannuksiin. Haastattelumuotona toimii puolistrukturoitu haastattelu. Puolistrukturoidussa haastattelussa haastattelukysymykset ovat samat kaikille haastateltaville ja he vastaavat kysymyksiin omin sanoin (Eskola & Suoranta 1998). Puolistrukturoidussa haastattelussa haastattelurungosta voidaan myös poiketa. Kysymykset ja niiden järjestys on etukäteen mietitty mutta kysymysten sanamuotoja tai järjestystä voi muuttaa haastattelun aikana. Valmiiksi laadituilla kysymyksillä varmistetaan, että haastattelu pysyy aiheessa, jonka ansiosta haluttua tietoa saadaan kerättyä. Puolistrukturoitu haastattelu asettuu teemahaastattelun ja strukturoidun haastattelun välimaastoon. (Puusniekka & Saaranen-Kauppinen 2006).

Haastateltavia asiantuntijoita kontaktoitiin yhteensä 11:tä kappaletta, joista yhdeksän suostui haastatteluun. Kahdeksalla haastatelluista henkilöistä on urakoitsijatausta ja yhdellä suunnittelu- ja tilaajapuolen tausta. Haastattelujen tavoitteena oli saada erityisesti urakoitsijoiden näkemystä hankkeen laajuuden vaikutuksista kustannuksiin, sillä heillä uskottiin olevan paras tieto eri töihin vaikuttavista muuttujista. Haastattelut toteutettiin pääosin erillisinä henkilökohtaisina haastatteluina yhtä poikkeusta lukuun ottamatta, jossa kahta samaan organisaatioon kuuluvaa henkilöä haastateltiin samanaikaisesti. Kaikissa haastatteluissa hyödynnettiin videoyhteyttä. Haastattelukysymykset toimitettiin haastateltaville etukäteen ja ne jaettiin myös videoyhteyden aikana näyttöpäätteeltä osallistujille. Kaikille haastateltaville esitettiin likipitäen samat kysymykset vaikkakin kysymyksien ulkomuotoa muokattiin varsinkin kahden ensimmäisen haastattelun jälkeen. Kysymysten välissä esitettiin myös täsmentäviä kysymyksiä, mikäli niille oli tarve.

Kukin haastattelu jakautui neljään eri osaan: 1) Yleinen osuus hankkeen laajuuden vaikutuksesta kustannuksiin 2) Suoritemäärän vaikutus tiettyihin rakennusosiin 3) Kertoimen käyttäminen laajuuden huomioimisessa 4) Hankkeen laajuuden vaikutus urakoitsijan hanketehtäviin. Ensimmäisessä osassa pyrittiin selvittämään haastateltavien käsitystä siitä, miten hankkeet voidaan jakaa eri kokoluokkiin sekä miten hankkeen koko vaikuttaa kustannuksiin. Haastattelun toisessa osassa pyrittiin selvittämään mihin rakennusosien yksikkökustannuksiin suoritemäärät saattavat vaikuttaa niiden muuttuessa. Kolmannessa vaiheessa selvitettiin haastateltavien mielipidettä korjauskertoimen käytöstä kustannusarvioissa. Viimeisessä vai-

heessa haastateltaville esitettiin miten Ihku-laskentapalvelu muodostaa urakoitsijan hanketehtävien laskentaan käytetyn prosentin sekä pyrittiin saamaan tarkempia vastauksia laajuuden ja muiden tekijöiden vaikutuksista urakoitsijoiden hanketehtäviin.

3.1.1 Asiantuntijahaastatteluiden aineiston ja menetelmän arviointi

Kaikkien haastateltavien aikaisempi kokemus ja osaaminen vastasi hyvin sitä minkälaisia asiantuntijoita työssä haluttiin haastatella. Kaikki haastateltavat pystyivät kommentoimaan mittakaavaetuja rakentamisessa ja kertomaan niiden taustalla vaikuttavista syistä. Tutkimuksen alkuperäisenä tavoitteena oli haastatella n. 10 henkilöä, joten tavoite voidaan yhdeksällä haastattelulla tulkita saavutetuksi. Suurin osa haastatelluista asiantuntijoista edusti suuria rakennusliikkeitä, joten haastattelemalla useampia pienempien yritysten edustajia, olisivat tulokset saattaneet muuttua. Yleisesti eri haastatteluissa nousi kuitenkin esille samoja mittakaavaetuihin tai hankkeen kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä, joten tuloksia voidaan pitää melko hyvin yleistettävinä. Koska haastatteluissa nousi kuitenkin jatkuvasti esille uusia ja erilaisia mittakaavaetuihin vaikuttavia tekijöitä, olisi useampaa henkilöä haastattelemalla varmasti voitu tunnistaa vielä lisää mittakaavaetuihin vaikuttavia tekijöitä.

Haastattelukysymykset valmisteltiin huolellisesti ja ne toimitettiin myös haastateltaville etukäteen. Haastattelukysymykset pyrittiin valmistelemaan niin, että vastauksissa saattoi laajaalaisesti nostaa esille rakennushankkeessa esiintyviä mittakaavaetuja ja niihin vaikuttavia tekijöitä. Tietyissä tapauksissa haastatteluiden loppupuolella tuli hieman kiire, mikä saattoi vaikuttaa haastateltavien vastauksiin osuudessa, joka käsitteli urakoitsijoiden hanketehtäviä erikokoisissa hankkeissa. Videohaastatteluiden tallenteet kirjoitettiin puhtaaksi eli litteroitiin. Litteroinnin avulla haastatteluja oli helppo verrata keskenään. Litterointitarkkuudella ei koettu olevan suurta merkitystä, joten tarpeettomia sanoja saatettiin jättää pois haastattelujen muistioista. Samoilla haastattelukysymyksillä ja samoilla haastateltavilla asiantuntijoilla on oletettavaa, että myös toinen tutkija olisi päässyt samoihin lopputuloksiin.

3.2 Määrällisen aineiston analyysi ja laskentamallin käytännön kokeilu

Tutkimuksen toisessa vaiheessa käytettiin määrällisen aineiston analyysiä. Tutkimuksessa käytetty määrällinen aineisto koostui Ihku-allianssin keräämästä aineistosta, joka sisälsi mm. urakoitsijoiden tarjouksia, hankkeiden kustannusarvioita sekä hankekuvauksista. Ihku-laskentapalvelun hanketestauksen ohjeiden mukaisesti analysoitavasta hankkeesta oli oltava saatavilla ainakin seuraava aineisto: urakoitsijoiden tarjoukset, suunnittelijan kustannusarvio tai yksikköhintaurakan vertailu määrätietoineen sekä hankekuvaus, josta saadaan lisätietoa hankkeen olosuhteista. Määrällisen aineiston analyysin avulla pyrittiin havaitsemaan mittakaavaetujen esiintymistä erikokoisissa hankkeissa urakoitsijan hanketehtävien osuutta muokkaamalla.

Lopuksi tutkimuksen perusteella kehitettyä konstruktiota testattiin käytännössä Ihku-laskentapalvelun avulla. Kasasen ym. (1993) mukaan konstruktiivisessa tutkimuksessa on tärkeää testata tutkimuksen perusteella luotua mallia ja yksi konstruktiivisen tutkimusotteen ominaispiirteitä on, että lopputuloksen toimivuutta voidaan demonstroida käytännön implementoinnin avulla. Myös Lukka (2001) toteaa testausvaiheen tärkeäksi vaiheeksi, joka arvioi myös koko tutkimusprosessin toimivuutta.

Konstruktion käytännön kokeilussa aikaisemmin Ihku-laskentapalvelulla laskettuja hankkeiden kustannusarvioita verrattiin uusin kustannusarvioihin, joissa oli hyödynnetty tutki-

muksen avulla luotuja laskentamalleja. Näin oli mahdollista selvittää parantavatko laskentamallit kustannusarvioiden tarkkuutta, kun uusia sekä aikaisempia kustannusarvioita verrattiin hankkeiden urakoitsijoiden tarjouksien keskiarvoihin. Tavoitteena oli, että kustannusarviot, joissa hyödynnettiin tutkimuksen avulla luotuja laskentamalleja, olisivat lähempänä urakoitsijoiden tarjoushintoja, kun aikaisemmat kustannusarviot, joissa laskentamalleja ei ollut hyödynnetty. Konstruktion testaamiseen käytettiin Ihku-laskentapalvelun kokeiluajankohtaa vastaavaa versiota ja sen sisältämiä rakennusosia ja hintoja.

3.2.1 Määrällisen aineiston ja konstruktion käytännön kokeilun arviointi

Koska tutkimuksen määrällinen aineisto perustuu tietoihin oikeista hankkeista, voidaan sen tuloksia yleisesti pitää luotettavina. Määrälliseen aineistoon liittyy kuitenkin tiettyjä epävarmuustekijöitä, joita esiintyy aina kustannusarvioiden ja urakoitsijoiden tarjousten välillä. Ihku-laskentapalvelulla lasketut kustannusarviot perustuvat hankkeiden määräluetteloihin mutta jos hankkeeseen tarjoutuva urakoitsija on itse laskenut määrät tai tehnyt niihin muutoksia eivät määrätiedot kustannusarvion ja urakoitsijan tarjouksen välillä välttämättä täsmää. On kuitenkin syytä huomioida, että infrahankkeen kustannuksiin vaikuttavat useat tekijät ja infrahankkeet kuten myös muut rakennushankkeet ovat usein ominaisuuksiltaan ainakin osittain ainutlaatuisia. Pelkän hankkeen koon perusteella on siis hankala tehdä johtopäätöksiä hankkeen kustannuksista. Ihku-laskentapalvelu huomioi kuitenkin myös hankkeen toteutusympäristön, hanketyypin sekä kokoluokan.

Määrällisessä aineistossa on tunnistettavissa tiettyjä johtopäätöksien tekemistä vaikuttavia tekijöitä, kuten esimerkiksi erittäin pienien ja erittäin suurien hankkeiden alhainen määrä. Esimerkiksi rakennusosiltaan alle 100 000 €:n hankkeita on analysoitavassa aineistossa ainoastaan kaksi kappaletta. Myös rakennusosiltaan yli 20 miljoonan euron hankkeita on aineistossa vain 2. Suuremmalla viiteaineistolla erityisesti pienistä ja hyvin suurista hankkeista tuloksista voisi saada luotettavampia. Määrällisen aineiston analyysin tulosten ole odotettavissa muuttuvan olennaisesti, vaikka tekijä olisi toinen. Tuloksia voidaan pitää yleistettävinä erityisesti kokoluokissa, joissa on paljon viiteaineistoa ja, jotka koostuvat monipuolisesti erityyppisistä hankkeista. Analysoitavan aineiston määrän perusteella alle miljoonan euron hankkeiden mittakaavaeduista voidaan kuitenkin tehdä hyvin alustavia johtopäätöksiä.

4 Konstruktion kehittäminen hankkeen laajuuden huomioimiseksi

Haastattelujen avulla pyrittiin selvittämään, onko suuri hanke suhteellisesti halvempaa rakentaa kuin vastaava pienempi hanke. Eri kokoluokkien määrittelyä varten haastateltavia pyydettiin kertomaan, miten he jakaisivat hankkeet pieniin, keskisuuriin ja suuriin hankkeisiin, joko euromääräisesti tai muulla laajuuden mitalla. Haastateltavilta kysyttiin myös, miten laajuus vaikuttaa kustannuksiin ja miten laajuuden vaikutukset voidaan huomioida kustannusarviota tehdessä. Lisäksi haastateltavilta kysyttiin mihin hankkeen kokonaisuuksiin laajuus vaikuttaa, kuten esimerkiksi. materiaalihintoihin, työmaatehtäviin ja työsaavutuksiin.

4.1 Hankkeiden kokoluokkien jako

Kaikki haastateltavat, jotka vastasivat kysymykseen hankkeiden kokoluokkien raja-arvoista antoivat vastauksensa euromääräisinä arvoina. Suurin osa haastateltavista jakoivat hankkeet kolmeen tai neljään eri kokoluokkaan. Taulukossa 5 on esitetty vastaajien erikokoisille hankeluokille antamat euromääräiset rajat.

Taulukko 5 Haastateltavien asiantuntijoiden näkemykset erikokoisten hankkeiden rajoista

Vastaaja	Eri kokoluokkinen rajat (€)						
	Erittäin pieni hanke ≤	*Pieni hanke*	*Keskisuuri hanke*	*Keskisuuri + hanke*	*Suuri hanke*	*Erittäin suuri hanke*	*Mega hanke*
H1	1,000,000	1,000,000–5,000,000	5,000,000–15,000,000			15,000,000–20,000,000	> 20,000,000
H2		1,000,000–5,000,000	5,000,000–15,000,000			15,000,000–50,000,000	> 50,000,000
H3		1,000,000–5,000,000	5,000,000–20,000,000			> 20,000,000	
H4	1,000,000	1,000,000–5,000,000	5,000,000–30,000,000			30,000,000–100,000,000	> 100,000,000
H5		≤ 1,000,000	5,000,000–10,000,000			> 10,000,000	
H6	100,000	100,000–300,000	300,000–900,000	900,000–3,000,000	3,000,000–5,000,000	5,000,000–15,000,000	> 15,000,000
H7						> 20,000,000	
H8 ja H9			5,000,000–10,000,000			> 10,000,000	

Usea haastateltava oli siis sitä mieltä, että alle viiden miljoonan euron hankkeet ovat pieniä tai erittäin pieniä hankkeita. Keskisuurena hankkeena pidetään noin 5–15 miljoonan euron hankkeita ja sitä suurempia hankkeita suurina. Megahankkeen raja vaihtelee suuresti vastaajien kesken. Lisäksi haastateltavan H6 raja-arvot eroavat muista haastateltavista selkeästi alhaisempina euromääräisinä arvoina eri hankekoille. Vastausten eroa saattaa selittää

haasteltavan tausta sekä yrityksen koko ja sitä kautta toteutettavien hankkeiden suuruus verrattuna muihin yrityksiin. Suurin osa haastateltavista asiantuntijoista työskentelivät haastatteluhetkellä suomen suurimmissa rakennusliikkeissä, jotka toteuttavat pääosin suuria hankkeita. On siis tärkeää tiedostaa, että suuremmalla otannalla pienempien urakoitsijoiden edustajia raja-arvot voisivat näyttää erilaiselta.

4.2 Hankkeen laajuuden vaikutukset kustannuksiin

Kappaleessa esitetään haastateltavien vastauksia kysymyksiin, jotka liittyvät hankkeen laajuuden vaikutuksiin projektin kustannuksiin. Haastateltavat olivat pääsääntöisesti sitä mieltä, että suuri hanke voi olla suhteellisesti halvempaa rakentaa kuin pieni hanke. Asiantuntijoiden mukaan hankkeen laajuus vaikuttaa moneen eri kustannuslajiin kuten materiaalien hintoihin, työsaavutuksiin, hanketehtäviin sekä alihankintojen hintoihin. (H2, H3, H4, H8 & H9 haastattelut 2021) Kustannusvaikutukset riippuvat kuitenkin hankkeen toteutusolosuhteista, vallitsevasta markkinatilanteesta sekä hankkeen riskeistä ja tarjouspyyntöasiakirjojen sisällöstä (H7, H8 & H9 haastattelut 2021).

Usean vastaajaan mukaan olosuhteet vaikuttavat merkittävästi hankkeen kustannuksiin. Esimerkiksi suuressa raitiotiehankkeessa raidemetrin hinta voi vaihdella viidestä tuhannesta eurosta 30 tuhanteen euroon työmaan olosuhteista riippuen. Pienissä hankkeissa olosuhteiden lisäksi pakolliset kertakorvaukset kuten mobilisaatiot, liittymät ja liikennejärjestelyt saattavat näkyä korostetusti hankkeen kustannuksissa. (H1 & H6 haastattelut 2021). Haastattelujen perusteella tunnistettiin useita tekijöitä, jotka hankkeen kokoluokasta ja olosuhteista riippuen saattavat vaikuttaa alentavasti tai nostavasti kustannuksiin. Suuren hankkeen kustannuksiin mahdollisesti alentavasti vaikuttavat tekijät ja mekanismit niiden taustalla ovat esitetty Taulukossa 6.

Taulukko 6 Suuren hankkeen kustannuksiin mahdollisesti alentavasti vaikuttavat tekijät

Kustannuksiin vaikuttava tekijä	Mekanismi vaikutuksen takana
Hankkeen työsuoritteiden määrä	Kustannusten jyvittäminen useammalle yksikölle
Hankkeen materiaalimäärät	Tehokkaampi hankinta Ulkomaalaisten toimittajien hyödyntäminen
Hankkeen kesto	Mahdollisuus kehittää tai jopa vaihtaa työtapoja Mahdollisuus rytmittää ja kilpailuttaa materiaalitoimittajat ja aliurakoitsijat
Hankkeen työalueen koko	Suurempi osa hankkeesta on suljetulla alueella Varamestojen olemassaolo
Hankkeen maamassat	Maamassojen hyödyntäminen hankkeen sisällä Maamassojen myyminen

Rakennushankkeissa on aina jyvitettäviä kustannuksia, joita jaetaan työsuoritteille. Kun jyvitettäviä kustannuksia voidaan jakaa useammalle työsuoritteelle, se näkyy alentuneina yksikköhintoina (H2 haastattelu, 2021). Suuret volyymit voivat myös mahdollistaa tehokkaamman hankinnan verrattuna pienen volyymin hankkeeseen (H5 haastattelu, 2021). Volyymien ollessa suuria pitäisi myös työnsuunnittelun avulla pystyä tehostamaan rakentamista (H7 haastattelu, 2021). Suuressa hankkeessa mahdollisuudet muutoksien tekemiseen työn sujuvoittamiseksi ovat myös paremmat. Pitkään kestävässä hankkeessa työmenetelmiä voidaan kehittää jatkuvasti hankkeen aikana tai jopa vaihtaa menetelmää, jos sillä päästään parempaan työsaavutukseen. Vaihtoehtoisia ratkaisuja ja muutossuunnitelmia on myös helpompi esittää suuressa hankkeessa, joka voi pudottaa koko hankkeen kustannuksia. Pidempään kestävässä hankkeessa on myös mahdollista rytmittää ja kilpailuttaa materiaalintoimittajia ja

alihankkijoita, jolle ei pienessä tai lyhyessä hankkeessa välttämättä ole aikaa tai sen hyöty jää merkityksettömäksi. Kun työalue on laajempi, lisääntyy myös todennäköisyys, että se sijaitsee suljetulla alueella, joka vaikuttaa nostavasti työsaavutuksiin esimerkiksi tehokkaamman kaluston käytön myötä. Suuressa hankkeessa on myös usein mahdollisuus tehdä töitä toisessa mestassa, joka vähentää hukka-aikaa. Isommassa hankkeessa työvaiheiden kestojen ja materiaalimäärien ollessa suuria on myös mahdollista saada kustannussäästöjä ulkomaalaisia toimijoita hyödyntämällä. (H3 haastattelu 2021)

Maamassojen hyödyntäminen on osaltaan suuressa roolissa infrahankkeissa. Suuri hanke parantaa mahdollisuuksia hyödyntää maamassoja hankkeen sisällä (H3, H5 & H6 haastattelut 2021). Niputtamalla useita pieniä hankkeita suuremmiksi kokonaisuuksiksi voidaan myös parantaa massojen käytettävyyttä hankkeen sisällä (H3 haastattelu 2021). Massoja on hankala hyödyntää, jos hanke on aikataulultaan tai alueiltaan pirstaloitunut. Jos työkohde ja hankkeen aikataulu on selkeä saattaa maamassojen sisäinen hyödyntäminen olla merkittävässä roolissa hankkeen kustannusten kannalta. (H4 haastattelu 2021). Maamassojen hyödyntämisen mahdollisuus korostuu tietyissä hanketyypeissä, kuten väylä- aluerakentamisessa (H2, H3, H5 & H6 haastattelut 2021). Pääkaupunkiseudulla voi myös ajatella, että jollain hankkeella on jatkuvasti ylimääräisiä maamassoja ja toisella hankkeella tarvetta maamassoille. Yleisesti kiviainesten hyödynnettävyys on parempi kuin esimerkiksi saven. (H5 haastattelu 2021). Suurissa väylähankkeissa pyritään lähtökohtaisesti hankkeen sisäiseen massatasapainoon jo tien linjaa suunnitellessa (H6 haastattelu 2021).

Haastateltavat liittivät suuriin hankkeisiin myös useita kustannuksia mahdollisesti nostavia tekijöitä, jotka on esitetty Taulukossa 7. Taulukossa on myös kuvattu tekijän taustalla vaikuttavat syyt. Taulukon jälkeisessä kappaleessa käydään vielä tarkemmin läpi taulukon sisältöä.

Taulukko 7 Suuren hankkeen kustannuksiin mahdollisesti nostavasti vaikuttavat tekijät

Kustannuksiin vaikuttava tekijä	Mekanismi vaikutuksen takana
Hankkeen tekninen vaativuus	Suuret hankkeet ovat usein myös teknisesti vaativampia
Hankkeen aliurakoiden ja materiaalintoimittajien hallinta	Useiden toimittajien hallinta vaatii merkittävää panosta
Hankkeen teknisten henkilöiden määrän kasvaminen	Erityisosaamisen tarve. Suurissa hankkeissa tarvitaan usein esimerkiksi erillisiä, turvallisuus-, laatu ja viestintäasiantuntijoita.
Hankkeen suurempi riski	Suuremmassa hankkeessa kokonaisriskit rakennusyritykselle ovat suuremmat
Allianssimallilla toteutetun hankkeen kehitysvaihe	Suuret hankkeet toteutetaan yleensä allianssimallilla, joka jo kehitysvaiheessa sitoo paljon henkilökuntaa.

Suuri hanke on usein teknisesti vaativampi kuin pieni hanke mikä vaikuttaa taas osaltaan nostavasti hankkeen kokonaiskustannuksiin (H4 haastattelu, 2021). Suuren hankkeen monimutkaisuuden takia siinä esiintyy myös enemmän riskejä kuin pienessä hankkeessa. Aliurakoiden ja materiaalintoimittajien määrän hallintaa vaatii suurta panosta. Suurempi hanke vaatii myös enemmän teknistä henkilökuntaa kuten erilaisia osa-alueista vastaavia ammattilaisia, jotka voivat olla esimerkiksi työturvallisuusvastaavia, laatuvastaavia ja viestintävastaavia. Erityisesti allianssihankkeissa kehitysvaihe sitoo myös suuren määrän teknistä henkilökuntaa. Suuren hankkeen kokonaisriskit rakennusyritykselle ovat myös suuremmat. Riskien arvioimiseksi oikein tulisi jokaiselle työlle aina laskea oma riskikertoimensa. Riskipotti kohdistuu siis tietyille työlajeille ja rakennusosille eikä niinkään yleisesti koko hankkeelle tietyn prosentin perusteella. Riskit saattavat myös olla plusmerkkisiä mikä on myös huomioitava. Riskien jakoon vaikuttaa urakkamuoto mutta ne sisältyvät silti aina hankkeelle. Eroksi tulee lähinnä se vastaako tilaaja vai urakoitsija riskeistä. (H3 haastattelu 2021).

4.3 Suoritemäärän vaikutukset rakennusosien yksikkökustannuksiin

Haastateltavia asiantuntijoita pyydettiin myös kommentoimaan Ihku-laskentapalvelussa ennalta tunnistettuja rakennusosia, joissa suoritemäärän uskottiin vaikuttavan rakennusosan yksikkökustannuksiin. Haastateltaville näytettiin lista etukäteen tunnistetuista rakennusosista, joissa suoritemäärän ajateltiin vaikuttavan merkittävästi rakennusosan yksikköhintaan. Haastateltavat saivat valita listasta rakennusosat, joita halusivat kommentoida. Näin asiantuntijat saivat kommentoida heidän oman erikoisosaamiseensa mukaisia rakennusosia. Alla on listattu rakennusosat, joita haastateltavat kommentoivat ja heidän kommenttinsa rakennusosaan liittyen. Kaikkiin ennalta listattuihin rakennusosiin ei saatu kommentteja, sillä asiantuntijat eivät kokeneet, että suoritemäärä vaikuttaisi kaikissa rakennusosissa kustannuksiin. Rakennusosat ovat listattu niitä kommentoiden asiantuntijoiden määrän perusteella, koska sen on ajateltu osittain korreloivan rakennusosissa mahdollisesti saavutettavien mittakaavaetujen merkityksellisyyden kanssa.

- 1710 Kallioavoleikkaukset
  Kallioavoleikkauksia kommentoi neljä eri haastateltavaa. Kommenteissa nousi esille kaluston mobilisaatio ja työmenetelmä. Erään haastateltavan mukaan kallioavoleikkauksissa voidaan monesti saavuttaa skaalaetuja. Lisäksi irtilouhittu materiaali saatetaan pilkkoa työmaalla pienemmäksi ja hyödyntää sitä hankkeessa. Silloin materiaalista ei tule kuljetus- tai vastaanottokustannuksia. Ihku-laskentapalvelussa on kallioavoleikkausten rakennusosassa huomioitu määrä mutta pienin määritelty määrä on alle 1000 m3. Kaksi haastateltavaa mainitsi, että usein suoritemäärä on huomattavasti pienempi. Molemmat haastateltavat sanoivat, että rakennusosalla voisi olla jokin minimikustannus kuten päivähinta pienille töille. Toisaalta pieni työ ei erityisesti erotu kustannusarviossa tai se jää niin pieniin osaan kokonaiskustannuksista, että asia ei välttämättä ole kriittinen. Kallioavoleikkauksissa on yhden haastateltavan mukaan tärkeä huomioida louhinnan riskianalyysi kustannusarviota tehdessä. Louhinnan riskianalyysi määrittelee käytettävät työmenetelmät ja kustannuksiin vaikuttaa merkittävästi se voidaanko työssä käyttää räjähteitä vai onko työ tehtävä kiilaamalla.

- 1321 Paalut (Teräsbetonipaalut, Teräsputkipaalut, Porapaalut)
  Paalutuksia kommentoi kolme asiantuntijaa, jotka olivat kaikki sitä mieltä, että suoritemäärä vaikuttaa yksikkökustannuksiin. Taustalla on ajatus siitä, että suurempi suoritemäärä mahdollistaa suuremman määrän työn toteutusta ilman keskeytyksiä. Yhden haastateltavan näkemyksen mukaisesti yksikkökustannuksia voidaan alentaa sekä hankinnan että työnsuunnittelun avulla. Tahdistavaksi tekijäksi voi paalutuksessa muodostua koneen tankkaaminen ja tankkiaseman sijainti. Tähän voidaan vaikuttaa työmaan tiloilla, jotka ovat yleensä paremmat suuressa hankkeessa. Myös lyhyt paalupituus saattaa nostaa yksikkökustannusta. Yksikkökustannuksiin vaikuttaa myös olosuhteet kuten esimerkiksi rajoitukset herkkien mittauslaitteiden lähistöllä paaluttaessa. Tämäntyyppiset erikoistapaukset on muistettava huomioida erikseen kustannusarviossa. Lisäksi paalutuksen yksikkökustannukseen vaikuttaa tarvittavien koneiden mobilisaatio. Haastattelujen avulla tunnistettiin tarve huomioida paalutuksen määrä ja vaikeusaste Ihku-laskentapalvelussa. Ihku-laskentapalveluun lisätään vaihtoehdot pienelle sekä suurelle määrälle paalutusta helpoissa sekä vaikeissa olosuhteissa.

- 1610 Maaleikkaukset
  Maaleikkaukset rakennusosaa kommentoi kolme haastateltavaa. Erään haastateltavan mukaan maaleikkauksien suoritemäärä vaikuttaa rakennusosan yksikkökustannuksiin merkittävästi. Tämä johtuu siitä, että suuremmat määrät tarkoittavat yleensä suurempaa aluetta, jolloin on mahdollista käyttää tehokkaampaa kalustoa. Suuri hanke on myös todennäköisemmin suljetulla alueella, jolloin yleisen liikenteen aiheuttamia häiriöitä ei esiinny. Työhön vaikuttavat myös aloitus- ja lopetustehtävät, joiden vaikutus vähenee työn jatkuessa pidempään. Pienessä työssä ryhmä ei välttämättä ehdi löytää työrytmiä ja päästä parhaaseen mahdolliseen työsaavutukseen. Suoritemäärä saattaa vaikuttaa myös alihankintojen hintoihin. Ihku-laskentapalvelussa on tällä hetkellä huomioitu olosuhteet erillisen hankkeen olosuhdematriisin mukaan. Käyttäjän syöttämien olosuhdetietojen perusteella rakennusosan panokset vaihtuvat suurempaan tai pienempään kalustoon, jolloin esimerkiksi harvaan rakennetussa ympäristössä työsaavutus on korkeampi kuin tiiviisti rakennetussa ympäristössä. Maaleikkausten rakennusosassa ei ole tällä hetkellä huomioitu erityisesti suoritemäärää sillä olosuhteet ovat merkittävämpi työsaavutukseen vaikuttava tekijä. Kaksi haastateltavaa kommentoi, että Ihku-laskentapalvelun helpoimman olosuhteen työsaavutukset ovat arvioitu melko suuriksi.

- 4212.11 Sillan välitukien teline- ja muottityöt
  Kolme asiantuntijaa kommentoi rakennusosaa ollen yhtä mieltä siitä, että muotin muoto määrittää työsaavutuksen rakennusosan suoritemäärän sijaan. Vesistösilloissa saattaa yhden haastateltavan mukaan olla hyvinkin vaativia muottitöitä.

- 4212.14 Sillan välitukien betonointityöt
  Sillan välitukien betonointityöhön vaikuttaa kolmen haastateltavan mukaan eniten rakennettava kohde ja sen ympäristö. Työsaavutus vaihtelee, riippuen tehdäänkö työ vapaalla kentällä vai liikennöidyn tien kaistojen välissä. Lisäksi betonointitöissä laadunvalvonta saattaa vaikuttaa merkittävästi yksikkökustannuksiin. Tehostetun laadunvalvontaohjeen mukaan jokaisesta pilarista on otettava koekappale. Lisäksi jokaisesta maanpainetuesta pitää ottaa kuusi koekappaletta. Tämä nostaa yksikkökustannusta erityisesti pilarimaisissa rakenteissa, joissa betonia on määrällisesti vähän. Välitukien betonointitöiden kustannuksiin vaikuttaa myös samanaikaisesti valettavien kohteiden määrä sillä betonivalun nopeus toimii työsaavutuksen osalta rajoittavana tekijänä.

- 1413 Stabiloidut maarakenteet
  Stabilointeja kommentoi kaksi asiantuntijaa, jotka olivat yhtä mieltä siitä, että myös stabiloinneissa suoritemäärä vaikuttaa stabiloinnin yksikkökustannukseen. Taustalla on sama mekanismi kuin paalutuksissa, eli työsaavutus paranee, kun työtä voidaan tehdä keskeytyksettä. Suuressa hankkeessa tahdistavaksi tekijäksi stabiloinneissa voi myös muodostua paalutuskoneen tankkaaminen. Toisen haastateltavan mukaan skaalaetuja ei esiinny stabiloinnissa yhtä suurissa määrin kuin paalutuksissa. Stabilointi on kuitenkin huomattavasti edullisempaa kuin paalutus, joten on tärkeää, että suunnittelija selvittää geoteknikon kanssa voidaanko pohjanvahvistus tehdä stabiloimalla paaluttamisen sijaan. Lisäksi molemmat haastateltavat mainitsivat, että mobilisaatiokustannukset on huomioitava myös tässä rakennusosassa.

- 1423 Pohjavedensuojaukset
  Kaksi haastateltavaa kommentoi pohjavedensuojauksia. Toinen asiantuntija kommentoi, että työsaavutus riippuu siitä, voidaanko työtä tehdä yhtäjaksoisesti. Toinen asiantuntija näki, että olosuhteet määrittelevät pitkälti työtehon. Myös käytettävällä materiaalilla on vaikutusta työsaavutukseen.

- 2141 Sidotut päällysrakenteet
  Sidottuja päällysrakenteita kommentoi kaksi haastateltavaa. Molemmat näkivät, että päällysrakenteissa suoritemäärä vaikuttaa yksikkökustannuksiin. Yksi haastateltava sanoi, että päällystystyöt ovat todennäköisesti selkein kokonaisuus johon määrä vaikuttaa. Päällystystöissä laajuus pudottaa yksikön sisällä olevia yhteiskustannuksia niiden jakautuessa suuremmalle määrälle. Työtehoon vaikuttavat kuitenkin myös olosuhteet. Toinen haastateltava nosti esille myös tämän työlajin toteutukseen vaadittavien koneiden mobilisaatiokustannukset ja aloitus- ja lopetustehtävien vaikutuksen. Mikäli työtä voidaan tehdä keskeytyksettä pidempään, aloitus- ja lopetustehtävien vaikutus vähenee. Pienessä työssä ryhmä ei välttämättä ehdi löytää työrytmiä ja päästä parhaaseen mahdolliseen työsaavutukseen.

- 3120 Hulevesiviemärit
  Rakennusosaa kommentoi kaksi asiantuntijaa, joista toinen esitti kysymyksen, josko tässä rakennusosassa olosuhteilla voidaan todeta olevan vaikutusta. Ihku-laskentapalvelussa olosuhteet vaikuttavat rakennusosan ympäröiviin töihin, eli olosuhteet on huomioitu työhön liittyvillä litteroilla kuten maaleikkauksella ja tuetuilla kaivannoilla. Tämä hulevesiviemärit littera sisältää ainoastaan putken asennuksen. Toisen haastateltavan mukaan työsaavutukseen vaikuttaa huomattavasti se onko kaivanto tuettu vai ei. Tuetussa kaivannossa asentaminen on hitaampaa koska putket on ujutettava tukien läpi. Toinen asiantuntija kommentoi, että betonisia hulevesiviemäreitä asennettaessa saatetaan usein tarvita myös nosturiautoa. Nosturiautolle saattaa olla tarve, jos työmaalla ei ole tilaa varastoida viemäriputkia vaan putket nostetaan suoraan auton lavalta kaivantoon.

- 4221 Laattasilta: Raudoitus, betonirakenteet päällysrakenteessa
  Kaksi asiantuntijaa kommentoi, että rakennusosan sisältö vaikuttaa realistiselta. Raudoittajan tuntihinta saattaa olla hieman korkeampi, jos kyseessä on urakka. Lisäksi raudoitusten hukka ei välttämättä ole 10 %:a vaan todennäköisesti hieman vähemmän.

- 4219 Kannen alateline
  Kahden haastateltavan mukaan rakennusosan kustannus riippuu paalupituudesta sekä siitä tehdäänkö alateline maalla vai vedessä. Syvässä vedessä rakentamisen kustannukset voivat olla korkeammat kuin rakennusosan nykyiset kustannukset ja vastaavasti maalla rakennettaessa hieman alhaisemmat. Kahden muun haastateltavan näkemykset yleisesti siltoihin liittyen, oli että siltoihin liittyvät rakennusosat ovat vähemmän olosuhdeherkkiä, kun sillan pohjarakenteet ovat tehty.

- 2131 Sitomattomat kantavat kerrokset
  Kyseisen rakennusosan sisältöä kommentoi yksi haastateltava, joka koki, että nykyiset Ihku-laskentapalvelun työsaavutukset ovat hieman liian korkeat ja käytettävät koneet osaltaan ehkä hieman liian alhaisesti hinnoiteltu.

- 3130 Vesijohdot
  Yksi asiantuntija kommentoi vesihuollon materiaalien hankintahintoja yleisesti. Asiantuntijan mukaan vesihuollon materiaalihintoihin vaikuttavat hankintamäärät ja erityisesti tarkka tieto määristä. Kun toimittajalle voidaan suuressa hankkeessa antaa selkeät toimitusmäärät hinnat muuttuvat huomattavasti.

- 1760 Maanalaiset kalliotilat
  Maanalaisia kalliotiloja kommentoi yksi haastateltava toteamalla, että yleisesti maanalainen rakentaminen on Suomessa suhteellisen edullista hyvän kallioperän ansiosta. Markkinatilanteen vaihtelut saattavat kuitenkin nostaa hintoja.

- 1620 Maakaivannot
  Rakennusosaa kommentoi yksi haastateltava, joka näki, että Ihku-laskentapalvelun nykyiset työsaavutukset ovat liian suuret. Työsaavutukset tulee siis 1620 maakaivannot rakennusosassa tarkastaa uudestaan.

Lisäksi haastatteluista nousi esille myös muita kehitysideoita Ihku-laskentapalvelun rakennusosiin, joita työstetään eteenpäin diplomityön ulkopuolella Ihku-allianssissa. Esimerkiksi rakennusosan mallintaminen sillan kannen alatelineen rakentamisesta maalla otettiin työn alle asiantuntijahaastattelussa saadun kommentin perusteella.

4.3.1 Suoritemäärän vaikutukset materiaalihintoihin

Suoritemäärien vaikutus materiaalihintoihin jakoi haastateltavien mielipiteitä. H3 (2021) mielestä materiaalihankinoilla voidaan saada merkittäviä säästöjä esimerkiksi tilaamalla materiaalit ulkomailta. Tämä vaatii kuitenkin huomattavan suuria määriä, jotta ulkomailta tilaaminen on kannattavaa mutta se voi johtaa myös merkittäviin säästöihin. H7 (2021) mukaan vesihuollon materiaaleissa ja ratahankkeissa kiskojen hankinnassa määrät voivat vaikuttaa materiaalihintoihin. H6 sekä H4 (2021) näkivät, että markkinahinnat ovat melko vakiot. H4 mukaan kilpailutilanne vaikuttaa kuitenkin materiaalihintoihin. Lisäksi toimittajat pyrkivät saamaan suurempia tilauksia sillä se vaikuttaa heidän tuotantokustannuksiinsa. Kotimaan markkinoilla hinnat ovat kuitenkin H4 (2021) mielestä melko samat kaikille, eikä Ihku-laskentapalvelussa ole tarvetta korjata materiaalihintoja määrän mukaan. H1 ja H4 (2021) sanoivat että rahdit vaikuttavat suuresti materiaalihintoihin varsinkin kiviaineksessa. Lisäksi H4 (2021) totesi että kustannuksissa on suuri ero riippuen siitä, miten materiaalit tuodaan työmaalle. Onko materiaalit mahdollista tuoda esimerkiksi käyttäen kasettiautoa, vai pitääkö työmaalle tuoda pienempiä määriä kerralla.

4.4 Yhteenveto panospohjaisista rakennusosista ja niihin vaikuttavien tekijöiden huomioimisesta Ihku-laskentapalvelussa

Taulukossa 8 on esitetty missä rakennusosissa ja missä määrin Ihku-laskentapalvelun (versio 03/2021) panospohjaisissa rakennusosissa on huomioitu asiantuntijoiden näkemykset rakennusosien yksikkökustannuksiin vaikuttavista tekijöistä. Eri rakennusosia, joissa kaikkia asiantuntijoiden mainitsemia tekijöitä ei ole vielä työn kirjoittamishetkellä huomioitu pyritään huomioimaan Ihku-laskentapalvelun tulevaisuuden kehityksessä

Taulukko 8 Yhteenveto haastateltavien kommenteista rakennusosien kustannuksiin vaikuttavista tekijöistä ja niiden huomioinnista Ihku-laskentapalvelussa (versio 03/2021)

Infra 2015 nimikkeistön mukainen rakennusosa	Asiantuntijoiden tunnistamat rakennusosan yksikkökustannuksiin vaikuttavat tekijät	Huomioitu Ihku-laskentapalvelussa
1321 Paalutus	Mobilisaatio	**X**
	Paalupituus	**X**
	Olosuhteet	**X** (porapaalu ja teräsputkipaalu)
	Suoritemäärä	
	Työn jatkuvuus	**X** (porapaalu ja teräsputkipaalu)
1413 Stabiloidut maarakenteet	Suoritemäärä	**X**
	Mobilisaatio	**X**
1423 Pohjavedensuojaus	Olosuhteet	
	Työn jatkuvuus	
1610 Maaleikkaus	Suoritemäärä	**X**
	Työn jatkuvuus	
	Olosuhteet	**X**
1710 Kallioavoleikkaukset	Mobilisaatio	**X**
	Työmenetelmä	**X**
	Vastaanottomaksu	
	Suoritemäärä	**X**
1760 Maanalaiset kalliotilat	Markkinatilanne	
2141 Sidotut päällysrakenteet	Suoritemäärä	**X**
	Olosuhteet	**X** (liikennöity / ei liikennöity)
	Mobilisaatio	**X**
	Työn jatkuvuus	
3120 Hulevesiviemärit	Kaivannon tuenta	
	Nosturiauto	
3130 Vesijohdot	Materiaalimäärä vaikuttaa hankintahintoihin	
4212.1 Sillan välitukien teline- ja muottityöt	Muotin haastavuus	
4212.14 Sillan välitukien betonointityö	Olosuhteet	
	Laadunvalvonta	**X** (osittain, vaatii tarkennusta)
4219 Kannen alateline	Paalupituus	**X** (oletus 12 m)
	Maalla vai vedessä rakennettava	
	Materiaalien käyttökerrat	**X**
4221 Laattasilta: Raudoitus, betonirakenteet päällysrakenteissa	Hukka	**X**

Lisäksi erityisolosuhteita tai suoritemääriä on huomioitu myös muissa rakennusosissa. Lähtökohtaisesti olosuhteet on aina huomioitu hankkeelle valittavan hanketyypin ja toteutusympäristön avulla, jotka muuttavat esimerkiksi konepanoksia riippuen miten tiiviisti rakennetussa ympäristössä työ toteutetaan. Rakennusosat, joissa suoritemäärän vaikutus on huomioitu työsaavutuksen tai materiaalihinnan tai molempien muutoksella:

- 1151 Poistettatvat päällysrakenteet
- 1415.2 Kankaalla lujitetut maarakenteet
- 1415.3 Kalvolla lujitetut maarakenteet
- 1712 Kalliokanaalit
- 17131 Rakennuskaivannot kalliossa
- 1732 Siltakaivannot kalliossa
- 2132.11 Bitumistabilointi
- 2132.12 Sementtistabilointi
- 2132.14 Masuunihiekkastabilointi
- 2145.1 Hiekkapäällysteet
- 2145.2 Sorapäällysteet
- 2145.6 Tekonurmet
- 2146.3 Synteettiset turva-alustat
- 2312 Katteet
- 2332 Metsitykset
- 2334 Kuntta

4.5 Urakoitsijan hanketehtävien kustannuksiin vaikuttavat tekijät

Hanketehtävien huomioimisen parantamiseen saatiin asiantuntijahaastatteluista useita ehdotuksia. Nykyisessä kirjoitushetkellä käytössä olevassa hanketehtävien laskentamallissa huomioidaan hanketyyppi, toteutusympäristö sekä kokovaikutus alle 0.5 miljoonan euron hankkeissa. Taulukossa 10 on esitetty hanketehtävien määrittelemiseen käytetty matriisi ja sen mukaiset hanketehtäväprosentit riippuen hanketyypistä, toteutusympäristöstä ja hankkeen koosta. Esimeriksi erittäin tiiviissä ympäristössä rakennettava katuhanke saa Hanketyyppi ja Toteutusympäristö osasta arvon 15 %:a. Mikäli kyseessä on alle 0.5 miljoonan euron hanke 15-prosenttiin lisätään vielä 2 %:a pienestä hankekoosta johtuen. Lopuksi hanketehtäviin lisätään kiinteä 10 prosentin kate. Kaikki prosentit summataan, josta saadaan lopullinen hanketehtävien laskentaan käytettävä prosenttiarvo. Hanketehtävien euromääräinen kustannus lasketaan prosenttimääräisenä osuutena rakennusosien kustannuksista, ja lisätään hankkeen kustannuksiin. Esimerkiksi miljoonan euron katuhankkeessa rakennetussa ympäristössä hanketehtävien osuudeksi muodostuu 20 %:a rakennusosien kustannuksista. Rakennusosien ja urakoitsijoiden hanketehtävien yhteenlasketuksi summaksi muodostuu silloin 1 200 000 €. Alhaisin mahdollinen arvo hanketehtäville on 20 %:a ja korkein 32 %:a.

Taulukko 10 Ihku-laskentapalvelussa (versio 03/2021) käytössä oleva hanketehtävämatriisi

	Toteutusympäristö %			Kokoluokka %				
Hanketyyppi %	Erittäin tiivis/tiivis	Rakennettu	Harvaan/rakentamaton	<0,5M	0,5-2M	2-5M	5-20M	>20M
Katu	15	10	10	0,02	0	0	0	0
Puisto	10	10	10	0,02	0	0	0	0
Silta	15	13	10	0,02	0	0	0	0
Tie	15	10	10	0,02	0	0	0	0
Moottoritie	15	10	10	0,02	0	0	0	0
Jk+pp tie	15	10	10	0,02	0	0	0	0
Rata	20	15	10	0,02	0	0	0	0
+ kate 10 %								

Neljä haastateltavaa nosti esille työmaan keston merkittävänä hanketehtäviin vaikuttavana tekijänä. Kirjoitushetkellä Ihku-laskentapalvelussa ei ole toiminnallisuuksia arvioida hankkeen kestoa. Suuressa useamman työmaan hankkeessa, jossa jokaisella työmaalla on oma henkilökuntansa aikataulusäästöt ja aikataulupidennykset vaikuttavat huomattavasti urakoitsijan hanketehtäviin. (H8 haastattelu 2021). Lisäksi talvityöskentely nostaa hanketehtävistäjohtuvia kustannuksia (H5, haastattelu 2021). Urakoitsijan hanketehtäviin vaikuttaa myös erilaiset alihankintakokonaisuudet, sillä jos valmiiden elementtien käyttö on mahdollista se vaikuttaa esimerkiksi suoraan työnjohtajien määrään työmaalla (H8 & H9 haastattelu 2021).

H3, H4 ja H7 (2021) mainitsivat myös kaikki työmaan liikennejärjestelyiden huomioimisen tarpeen kustannusarvioissa. Tällä hetkellä Ihku-laskentapalvelu ei huomioi työmaan liikenteenohjausta erikseen vaan se sisältyy hanketehtäviin, joiden suuruus määräytyy matriisin mukaisesti. Ongelmaksi muodostuu silloin tilanne, jossa työmaan liikennejärjestelyjen osuus on Ihku-laskentapalvelun laskemista hanketehtävistä esimerkiksi 7 %:a, jolloin loppusumma ei riitä kattamaan työnjohtoa ja muita kuluja. H4 (2021) mukaan hanketehtävien liika yksinkertaistaminen johtaa liian tiukkoihin arvioihin hanketehtävien määrästä. Lisäksi useat haastateltavat mainitsivat jälleen hankkeen olosuhteet. Olosuhteet ja ympäristö vaikuttavat hanketehtäviin enemmän kuin hankkeen laajuus (H2 & H6 haastattelut 2021). H3 toi haastattelussa esille myös, että suurempi hanke johtaa suurempaan näkyvyyteen, jolloin hankkeessa saatetaan tarvita esimerkiksi viestinnän ja vuorovaikutuksen asiantuntijoita perinteisten rakentamisen ammattilaisten lisäksi (H3 haastattelu 2021).

Haastatteluiden kautta saatiin myös kaksi konkreettisia ehdotusta, hankkeen laajuuden huomioimiseen Ihku-laskentapalvelussa. Molempia ehdotuksia kokeiltiin käytännössä. Ehdotusten kokeilu toimi pohjana myös oman laskentakaavan kehittämiselle hankkeen laajuuden huomioimiseen. Tarkoituksena oli, että kokeilemalla asiantuntijoiden ehdotuksia olisi niiden pohjalta mahdollista määritellä vielä paremmin toimiva tapa huomioida hankkeen laajuus kustannusarviossa.

Yksi haastatteluissa ehdotettu ratkaisutapa oli jakaa hankkeet kahdeksaan kokoluokkaan. Jokaisella kokoluokalla on oma prosenttiarvo, jonka mukaan hankkeen hanketehtävien kokonaiskustannukset nousevat. Euromääräisesti pienimmällä hankkeella on suurin kustannuksia nostava prosentti. Jako ja prosentit ovat tehty seuraavasti:

- Erittäin pieni hanke, alle 100 000 € 15 %
- Pieni hanke, 100 000–300 000 € 9 %
- Keskikokoinen hanke, 300 000–900 000 € 6 %
- Keskikokoa suurempi hanke, 1 000 000–3 000 000 € 4 %
- Iso hanke, 3,500 000–5 000 000 € 1 %
- Suuri hanke, 5 000 000–15 000 000 € 0,5 %
- Megahanke yli, 15 000 000 € 0 tai 0,1 %

Toinen ehdotettu ratkaisu perustuu Liikenneviraston ja Vantaan kaupungin kustannuslaskentaohjeiden kertoimien soveltamiseen urakoitsijoiden hanketehtävien laskennassa. Ratkaisussa Ihku-laskentapalvelun hanketehtävien laskentamatriisista poistuu hanketyypit ja niiden tilalle tulevat kertoimet toteutusympäristölle ja kokovaikutukselle. Toteutusympäristö jaetaan neljään eri luokkaan ja kokovaikutus viiteen eri kokoluokkaan. Lisäksi toteutusympäristön ja hanketyypin mukaisesti muuttuvat hanketehtävät korvataan kiinteällä 21 prosentilla kaikille hanketyypeille ja toteutusympäristöille.

Kokovaikutuskertoimet ovat seuraavat Liikenneviraston väylähankkeiden kustannushallinta ohjeen mukaisesti:

- Erittäin pieni hanke, alle 0,3M € kerroin 1,1
- Pieni hanke, alle 1M € kerroin 1,05
- Keskikokoinen hanke, 1-8M € kerroin 1,0
- Suuri hanke, 8-20M € kerroin 0,95
- Erittäin suuri hanke, yli 20M € kerroin 0,90

(Liikennevirasto, 2013)

Toteutusympäristökertoimet perustuvat Vantaan kaupungin kustannushallintaohjeeseen, jonka lisäksi lisätään ohjeesta esiintymätön helppo toteutusympäristö. Toteutusympäristön kertoimet ovat:

- Helppo kerroin 0,98
- Normaali kerroin 1
- Vaikea kerroin 1,02
- Erittäin vaikea kerroin 1,08

(Rapal Oy, 2012)

Liikenneviraston ja Vantaan kaupungin kustannushallintaohjeiden mukaisesti kertoimia käytetään koko hankkeen kustannuksille. Ihku-laskentapalvelussa niistä kriittisistä rakennusosista, joihin määrät tai olosuhteet vaikuttavat tehdään useampia vaihtoehtoja, joissa määrä ja olosuhteet huomioidaan rakennusosassa käytettävissä panoksissa ja työsaavutuksissa. Näin ollen kertoimia ehdotettiin kokeiltavaksi hanketehtävien kustannusten laskemiseen, sen sijaan että niitä käytettäisiin koko hankkeelle.

4.6 Rakennusyrityksen koon vaikutus yksikkökustannuksiin

Osa haastateltavista esitti, että rakennusyrityksen koko vaikuttaa mittakaavaetujen saavuttamiseen, kun taas osa koki, ettei yrityksen koko johda merkittäviin etuihin. Suurissa yrityksissä hankintaa on mahdollista tehdä tehokkaammin ja hyödyntää kansainvälisiä hankintoja (H2 & H5 haastattelut 2021). Suurilla yrityksillä on myös usein vuosisopimuksia, joiden ansiosta on mahdollista saada muita yrityksiä edullisempia hintoja hankintoja tehdessä (H3

haastattelu 2021). Suuret ja pienet yritykset eivät kuitenkaan kilpaile keskenään vaan suuret yritykset keskittyvät suuriin hankkeisiin, ja pienet yritykset pienempiin hankkeisiin. Suuret yritykset eivät ole kilpailukykyisiä pienissä urakoissa, mutta sen sijaan heillä on tarpeeksi resursseja toteuttaa suuria hankkeita. (H4 & H6 haastattelut 2021).

4.7 Hankkeen laajuuden huomioiminen kustannusarviossa

Pääosa haastateltavista oli urakoitsijoiden edustajia, joten he kertoivat laskevansa hankkeensa resurssipohjaisesti. Hankkeen laajuuden vaikutusten ja huomioimisen kustannusarviota laatiessa vaatii töiden tarkkaa läpikäymistä. H3 mukaan hankkeen suuruus tai vaikeus on helppo nähdä mutta sen kustannusvaikutusten huomioiminen oikein on vaikeampaa. Hanke on analysoitava rivi riviltä ja miettiä mitkä ovat sellaisia työsuoritteita, jotka kyseisessä tapauksessa poikkeavat normaalihinnasta. Ei ole mahdollista sanoa, että suuri hanke on joka kohdassa halvempi kuin pieni hanke vaan jokainen työtehtävä on analysoitava erikseen ja mietittävä miten työ käytännössä toteutetaan. (H3 haastattelu, 2021). H4 mukaan hankkeen laajuuden voi huomioida suoritemääriä tarkastelemalla. Esimerkiksi kaivannon kaivaminen saattaa tietyn suoritemäärän jälkeen muuttua yksikkökustannuksiltaan edullisemmaksi työtehojen kasvaessa. Näissä tapauksissa on kuitenkin mietittävä työn käytännön toteutusta sillä pelkän suoritemäärän perusteella ei voi päätellä tarkkaa työsaavutusta. Hankkeen alueellinen laajuus vaikuttaa myös työmaan kustannuksiin logistiikkajärjestelyjen kautta. Suuri työmaa-alue, jossa materiaalien välivarastointi on mahdollista saattaa alentaa kustannuksia. (H4 haastattelu, 2021). Työn keskeytykset vaikuttavat myös kustannuksiin sillä suurien volyymien tekeminen keskeytyksettä johtaa parempaan työsaavutukseen. Urakoitsijat saattavat myös ajatella, että suuressa hankkeessa voidaan säästää, kun työmaata ei tarvitse vaihtaa (H5 haastattelu, 2021). Kustannuslaskennassa voidaan pitää nyrkkisääntönä 80/20 sääntöä, joka tarkoittaa että 20 %:a hankkeen työsuoritteista muodostaa 80 %:a hankkeen kustannuksista. Säännön mukaan 100 työlajin urakassa pitäisi keskittyä 20 olennaisimpaan työsuoritteeseen ja niiden kustannusten määrittämiseen oikein. (H3, 2021).

Haastateltavien mukaan myös jatkuvaan oppimiseen projektin aikana olisi kiinnitettävä huomiota. Suurissa hankkeissa projektin aikaista oppimista voi yrittää huomioida etukäteen tekemällä koeasennuksia ja miettimällä niiden avulla paljonko realistinen keskimääräinen työsaavutus voi projektin aikana olla (H7 haastattelu 2021). Tavallisempaa on kuitenkin, että kustannuslaskennassa ajatellaan keskimääräistä työsaavutusta, jossa on jo huomioitu projektin aikana tapahtuva kehitys (H5 haastattelu 2021).

4.8 Esteitä mittakaavaetujen saavuttamiseen infrarakentamisessa

Esteitä skaalaetujen saavuttamiselle haastateltavat näkivät mm. uniikeissa suunnitteluratkaisuissa ja vaihtelevissa materiaaleissa. Infrarakentamisessa olisi mahdollista tyyppiratkaisujen avulla hyödyntää esimerkiksi valmiita tai uudelleenkäytettäviä muotteja huomattavasti nykyistä enemmän. Nyt esimerkiksi siltojen pilarit ja muut rakenteet ovat melkein aina erikokoisia, joka ei mahdollista muottimateriaalien jälleenkäyttöä (H3 haastattelu 2021). Uniikeille ratkaisuille on kuitenkin rakentamisessa yleensä pätevä syy, kuten pitkäjänteisyyden tavoitteleminen (H6 haastattelu 2021). Liian nopea suunnittelu ja vaihtoehtojen puuttuminen aiheuttaa myös ongelmia skaalaetujen saavuttamiselle. Jos työt suunnitellaan niin, että erilaisia työmenetelmiä ei voida hyödyntää se saattaa nostaa kustannuksia. Joustavuus materiaaleissa ja rakentamistavoissa johtaa kustannustehokkuuteen. (H2 haastattelu 2021). Liika optimointi saattaa myös aiheuttaa ongelmia, jos se johtaa työmenetelmien tai hankintojen monimutkaistumiseen. Materiaalimenekin optimoinnin lisäksi on mietittävä miten optimointi vaikuttaa lopulta työn toteuttamiseen käytännössä. (H3 haastattelu 2021). Kaksi haastateltavaa nosti esiin erityisesti paalutuksen, jos samalla alueella on erikokoisia tai -tyyppisiä

paaluja. Tämä saattaa johtaa siihen, että kalustoa on vaihdettava kesken työn tai työmaalle pitää tuoda kaksi konetta. (H1 & H3 haastattelut 2021). Lisäksi työtä saattaa rajoittaa tekijät kuten yleinen liikenne tai sopimukselliset rajoitteet kuten toteutus tiettynä vuoden- tai kellonaikana (H4 haastattelu 2021).

5 Laskentamallien testaus

Ennen omien laskentamallien kehittämistä ja testausta Ihku-laskentapalvelulla asiantuntijoiden ehdottamia laskentamalleja kokeiltiin käytännössä. Tässä kappaleessa esitetään ehdotettujen laskentamallien ja lopullisen Ihku-laskentapalvelulle tehdyn ehdotuksen mallit ja tulokset. Kaikkia ehdotettuja konstruktioita on testattu Ihku-laskentapalvelulla maaliskuussa ja huhtikuussa 2021. Tämä tarkoittaa panoshinnaston osalta versiota 10.0.1-H ja rakennusosakirjaston osalta versiota 10.0.1-R, jotka ovat molemmat julkaistu 4.3.2021. Hankkeiden kokoluokan määrittelyssä on käytetty Ihku-laskentapalvelun kustannusarvion rakennusosien hintaa, sillä Ihku-laskentapalvelussa hanketehtävät lasketaan prosenttiosuutena rakennusosien kustannuksista. Tästä syystä joissain kokoluokissa urakoitsijoiden tarjousten keskiarvo saattaa ylittää kyseisen kokoluokan raja-arvon, vaikka se lasketaan mukaan kokoluokkaan.

5.1 Hankkeiden jako seitsemään suurusluokkaan

Ensimmäinen kokeiltava ehdotus on hankkeiden jakaminen seitsemään eri suurusluokkaan, joilla jokaisella on oma urakoitsijoiden hanketehtävien laskentaan käytettävää prosenttiosuutta nostava arvo. Ihku-laskentapalvelussa käytettävä hanketehtävien laskentamatriisi pysyy ennallaan, mutta toteutusympäristön ja hanketyypin lisäksi yhtälöön lisätään kokoluokasta riippuva prosentti. Prosentti lisätään suoraan toteutusympäristöstä ja hanketyypistä riippuvan prosentin päälle. Näin tehden laskentamalli paransi Ihku-laskentapalveluiden kustannusarvioita sekä pienissä että suurissa hankkeissa. Keskikokoisissa hankkeissa laskentamalli johti suurempiin eroihin Ihku-laskentapalvelun ja urakoitsijoiden tarjousten keskiarvojen välillä.

Taulukko 11 Ehdotuksessa esitetyt hankkeiden kokoluokkien jaot ja kokoluokkien mukaiset hanketehtävien prosenttikorotukset

Hankkeiden kokoluokkien jako		Prosenttikorotus
Erittäin pieni hanke	Alle 100 000 €	15.00 %
Pieni hanke	100 000–300 000 €	9.00 %
Keskikokoinen hanke	300 000–900 000 €	6.00 %
Keskikokoa suurempi hanke	900 000–3 000 000 €	4.00 %
Suuri hanke	3 000 000–5 000 000 €	1.00 %
Erittäin suuri hanke	5 000 000–15 000 000 €	0.50 %
Megahanke	Yli 15 000 000 €	0.00 %

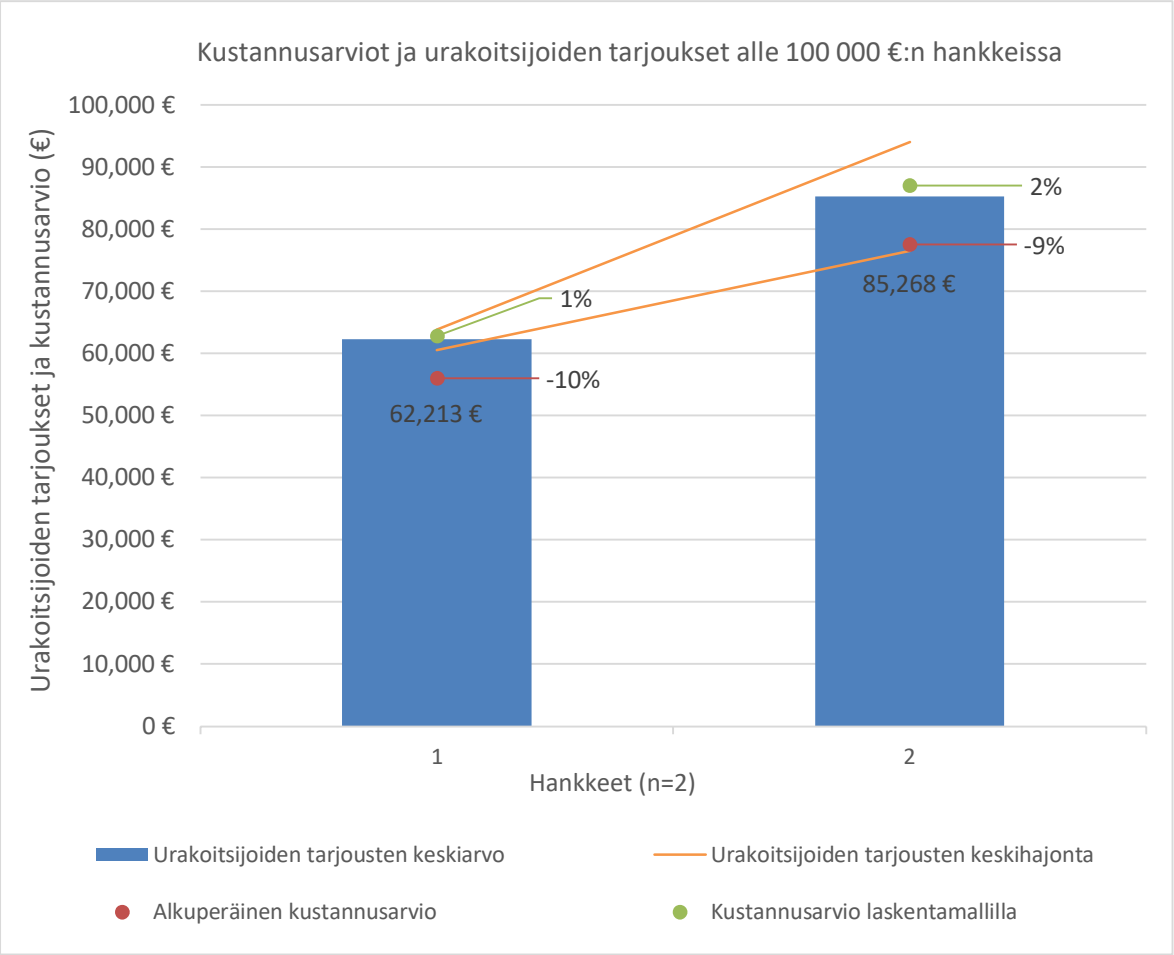
Ehdotuksen mukaisesti hanketehtävien laskentamatriisista tulee siis Taulukon 12 mukainen. Laskentalogiikka pysyy ennallaan alkuperäiseen aikaisemmin esitettyyn matriisin verrattuna. Eli hanketyypin ja toteutusympäristön matriisista saadaan hanketehtävien pohjaksi prosentti riippuen hankkeen sijainnista ja rakennettavan kohteen hanketyypistä. Tämän jälkeen prosenttiin summataan kokovaikutuksen mukainen prosentti (15–0,5 %:a) ja 10 %:n kate. Kaikki prosentit summataan siis yhteen, josta muodostuu lopullinen kustannusarviossa käytettävä hanketehtävien osuus. Korkeimmillaan hanketehtävien laskentaan saatetaan siis käyttää 45 %:n osuutta rakennusosien kustannuksista (alle 0,1M €:n ratahanke erittäin tiiviissä ympäristössä) ja alimmillaan 20 %:a.

Taulukko 12 Ehdotuksen mukainen hanketehtävien laskentaan käytettävä matriisi

	Toteutusympäristö %			Kokoluokka ja vaikutus %						
Hanketyyppi %	**Erittäin tii-vis/tiivis**	**Rakennettu**	**Harvaan/ra-kentamaton**	**<0,1M**	**0,1–0,3M**	**0,3–0,9M**	**0,9-3M**	**3-5M**	**5-15M**	**>15M**
Katu	15	10	10	15	9	6	4	1	0,5	0
Puisto	10	10	10	15	9	6	4	1	0,5	0
Silta	15	13	10	15	9	6	4	1	0,5	0
Tie	15	10	10	15	9	6	4	1	0,5	0
Moottoritie	15	10	10	15	9	6	4	1	0,5	0
Jk+pp tie	15	10	10	15	9	6	4	1	0,5	0
Rata	20	15	10	15	9	6	4	1	0,5	0
+ kate 10 %										

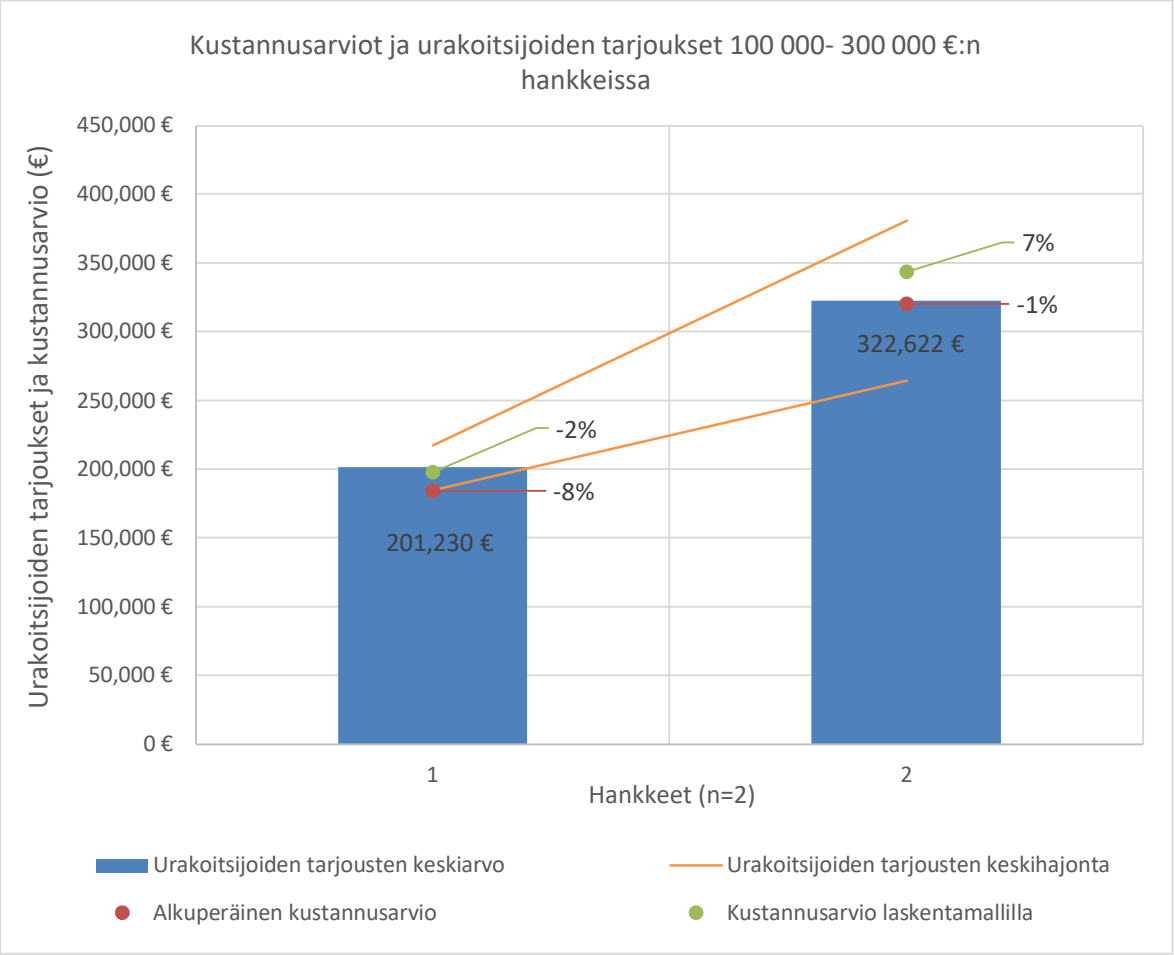
Laskentamallin tulokset ovat esitetty tämän kappaleen kuvissa. Kuvissa on esitetty urakoitsijoiden tarjousten keskiarvoinen hinta, alkuperäiset kustannusarviot ilman laskentamallia, kustannusarviot laskentamallilla sekä hankkeen urakoitsijoiden tarjousten keskihajonta. Urakoitsijoiden tarjoushinnat ovat muutettu MAKU-indeksin avulla vastaamaan vuoden 2020 loppuvuoden hintoja (MAKU-indeksi 12/2020). Urakoitsijoiden keskiarvoiset tarjoushinnat ovat keskiarvo hankkeen kahden tai kolmen halvimpien tarjousten hinnoista. Mikäli hankkeen halvin tarjous on selvästi muita hankkeen tarjouksia halvempi ja on syytä epäillä virhettä, on siinä tapauksessa laskentaan käytetty toisen ja kolmanneksi halvimpien tarjousten keskiarvoja. Urakoitsijoiden tarjousten keskihajonta on laskettu samojen tarjoushintojen perusteella kuin keskiarvoinen tarjoushinta.

Laskentamallin vaikutus alle 100 00 €:n hankkeissa on esitetty Kuvassa 10. Erittäin pienien hankkeiden kokoluokassa alkuperäiset kustannusarviot ovat keskimääräisesti 9,56 %:a alhaisemmat kuin urakoitsijoiden keskimääräiset tarjoushinnat. Kyseisessä kokoluokassa hanketehtävien laskentaan lisätään 15 %:ia. Tämä tarkoittaa, että hanketehtävien laskennassa käytettävä prosentti voi nousta jopa 40 %:in jos hanketyypistä ja toteutusympäristön kautta saadaan hankkeen hanketehtävien laskennan pohjaksi maksimiarvo 25 %:a. Alle 100 000 €:n hankkeiden kokoluokassa on vain kaksi hanketta. Molempien hankkeiden Ihku-laskentapalvelulla tehty kustannusarvio on kuitenkin n. 10 %:a alhaisempi kuin hankkeen urakoitsijoiden tarjousten keskiarvo. Molempien hankkeiden hanketehtävien laskentaan on Ihku-laskentapalvelun laskentamatriisista saatu lopulliseksi arvoksi 22 %:a. Laskentamallia käyttämällä prosentti nousee siis 37:ään. Hanketehtäväprosentin ollessa 37:än molempien hankkeiden kustannusarvio nousee ylittämään urakoitsijoiden keskiarvoisen tarjoushinnan. Tarjoushinnat ylittyvät 1,02 %:la ja 2,06 %:la, jota voi kuitenkin pitää hyvänä tuloksena verrattuna aikaisempaan. Molempien hankkeiden kustannusarvioissa on kuitenkin jouduttu käyttämään paljon yksikköhintaisia rakennusosia, joten hankkeiden perusteella on haastavaa arvioida Ihku-laskentapalvelun panospohjaisten rakennusosien toimivuutta.



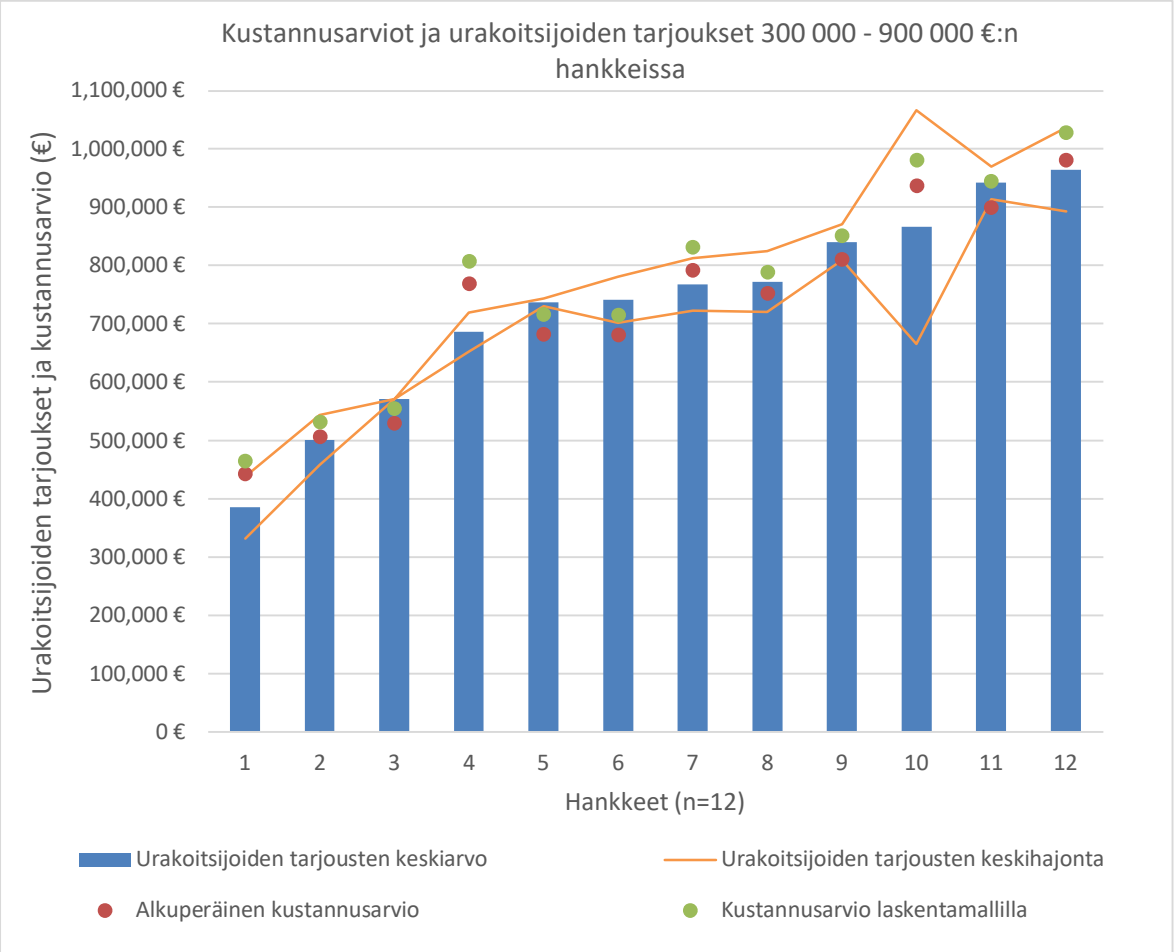
Kuva 10 Ehdotuksen vaikutukset alle 100 000 €:n hankkeiden kustannusarvioissa (n=2)

Laskentamallin tulokset pienten hankkeiden kokoluokassa on esitetty Kuvassa 11. Pienissä eli 100 0000–300 000 €:n hankkeissa laskentamalli paransi kahdesta hankkeesta toisen kustannusarviota ja heikensi toisen. Pienessä kokoluokassa Ihku-laskentapalvelun hanke-tehtävämatriisista saatavan prosentin päälle lisätään 9 %:a. Ihku-laskentapalvelun kustannusarviot alittavat tässä kokoluokassa urakoitsijoiden tarjoushinnat keskimääräisesti -4,56-prosentilla. Laskentamallin prosenttilisäyksellä kustannusarviot muuttuvat ylittämään urakoitsijoiden keskiarvoiset tarjoushinnat 2,39-prosentilla. Kokoluokassa on vain kaksi hanketta, joiden molempien alkuperäiset kustannusarviot ovat alhaisemmat kuin urakoitsijoiden tarjousten keskiarvot hankkeille. Toisessa hankkeessa kustannusarvion tulos on -1 %:in alhaisempi kuin tarjousten keskiarvo ja toisessa hankkeessa -8 %:a alhaisempi. Laskentamallia käyttämällä -1 %:in alitus muuttuu 6,50 %:in ylitykseksi, ja -8 %:in alitus muuttuu -1,71 %:in alitukseksi. Toisen hankkeen alkuperäisessä kustannusarviossa on ollut paljon suunnittelijan itse syöttämiä rakennusosia ja hintoja, joten Ihku-laskentapalvelun panospohjaisten rakennusosien toimivuutta hankkeessa on vaikea todeta.

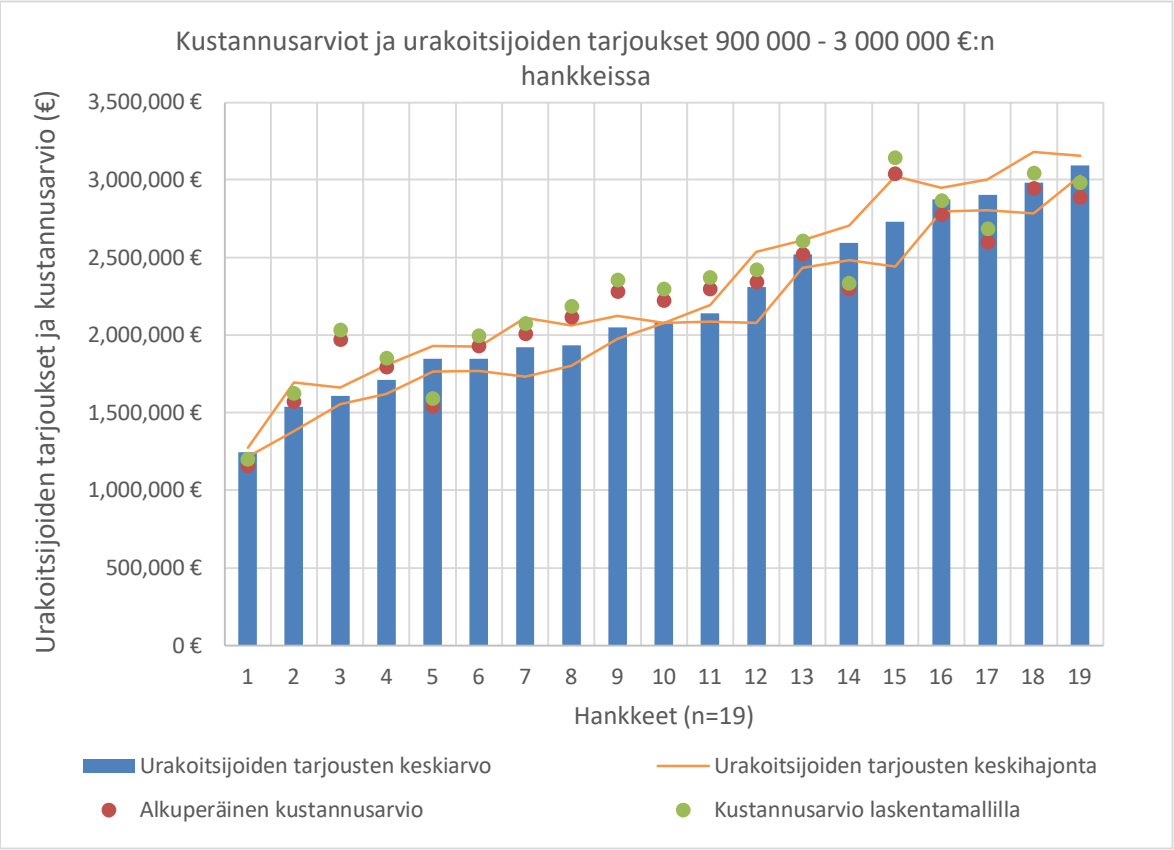


Kuva 11 Ehdotuksen vaikutukset 100 000–300 000 €:n hankkeiden kustannusarvioissa (n=2)

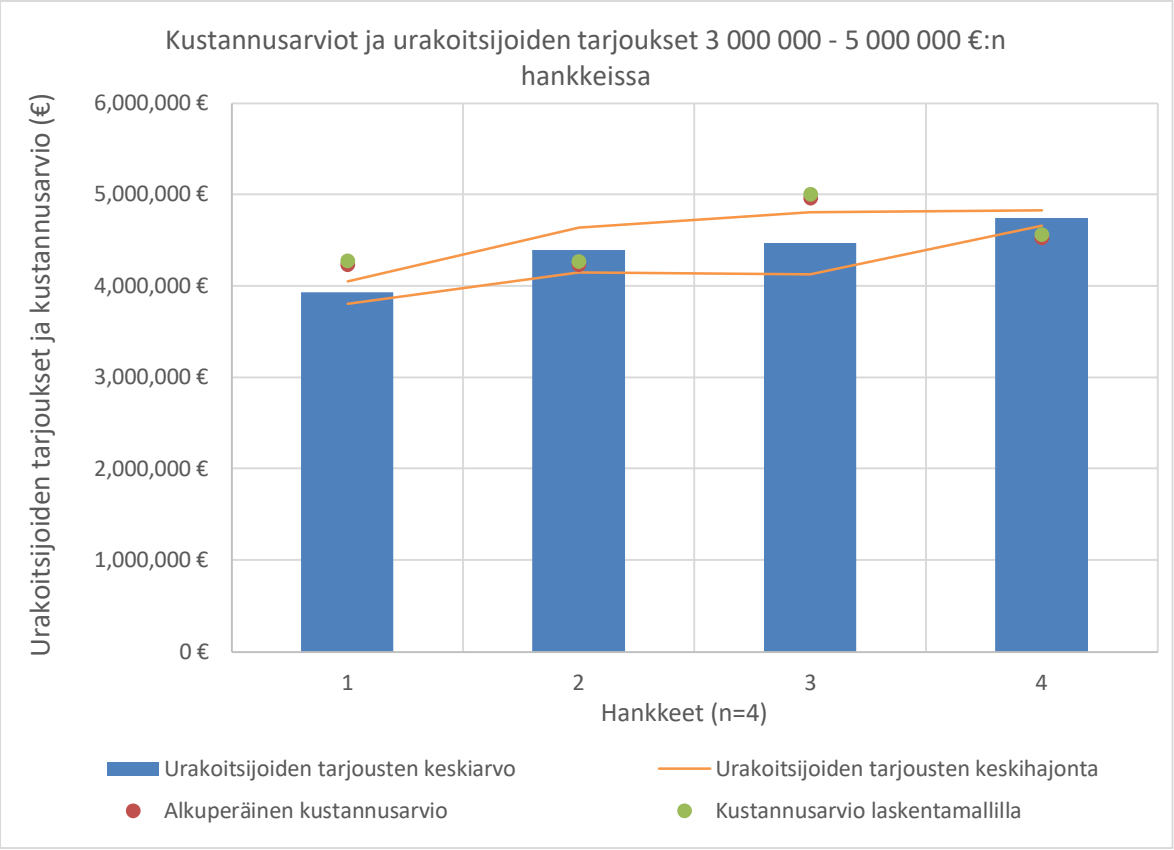
Laskentamallin tulokset kokoluokissa välillä 300 000–5 000 000 €:a on esitetty Kuvissa 12, 13 ja 14. Hankkeiden kustannusarvioille kokoluokissa 300 000–5 000 000 €:a laskentamalli toimi vaihtelevasti. Kokonaisuudessaan 35:tä hankkeesta laskentamalli paransi 12 hankkeen kustannusarviota. Laskentamallissa käytetyt prosentit hanketehtävien osuuden korotukselle saavat yleensä kustannukset nousemaan yli urakoitsijoiden tarjousten keskiarvon. Eniten prosenttikorjaukset vaikuttivat 300 000–900 000 €:n luokassa, jossa alkuperäiset kustannusarviot olivat keskimääräisesti 0,45 %:a urakoitsijoiden tarjouksia korkeammat. Laskentamalli nosti tässä kokoluokassa keskimääräisen eron 5,39 %:iin, nostaen Ihkulaskentapalvelun kustannusarvioiden kustannukset selvästi urakoitsijoiden keskiarvoisia tarjoushintoja korkeammiksi. Laskentamalli perustuu ainoastaan kustannusten nostamiseen, joten laskentamallilla parantuneet kustannusarviot liittyvät hankkeisiin, joiden Ihkulaskentapalvelulla laskettu kustannusarvio alittaa urakoitsijoiden tarjoukset.



Kuva 12 Ehdotuksen vaikutukset 300 000– 900 000 €:n hankkeiden kustannusarvioissa (n=12)

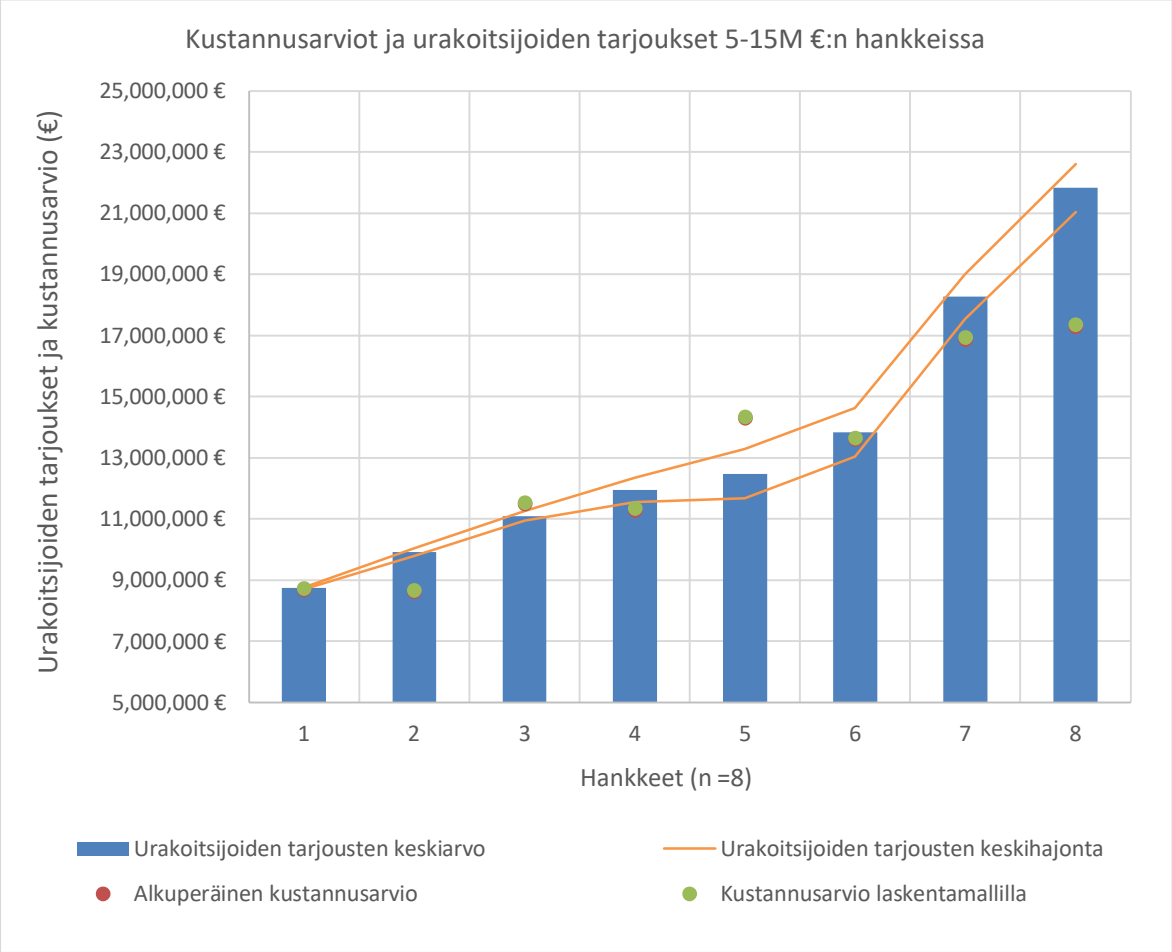


Kuva 13 Ehdotuksen vaikutukset 900 000–3 000 000 €:n hankkeiden kustannusarvioissa (n=19)



Kuva 14 Ehdotuksen vaikutukset 3 000 000–5 000 000 €:n hankkeiden kustannusarvioissa (n=4)

Laskentamallin vaikutukset suurten hankkeiden kokoluokassa on esitetty Kuvassa 15. Laskentamallin käyttö 5 000 000–15 000 000 €:n hankkeiden kustannusarvioissa paransi kustannusarvioita hieman. Prosenttilisänä suurten kokoluokan hankkeiden hanketehtävien laskentaan käytetään 0,50 %:a, joten ero alkuperäiseen Ihku-laskentapalvelun tuottamiin kustannusarvioihin on melko pieni. Kokoluokassa on kahdeksan tarkasteltavaa hanketta, joista viiden hankkeen kustannusarvio parani. Keskiarvoisesti laskentamalli johtaa 2,11 %:in ylitykseen tarjoushintoihin verrattuna, kun vastaava luku ilman laskentamallia on 1,70 %:a.



Kuva 15 Ehdotuksen vaikutukset alle 5 000 000–15 000 000 €:n hankkeiden kustannusarvioissa (n=8)

Megahankkeissa, eli yli 15 miljoonan euron hankkeissa laskentamallilla ei ole vaikutusta hanketehtäviin, joten tuloksia ei tästä kokoluokasta esitellä.

5.2 Hankkeiden jako suuruusluokan ja toteutusympäristön mukaisesti

Toinen kokeiltava ehdotus perustuu Väylän ja Vantaan kaupungin kustannushallintaohjeista löytyvien kertoimien hyödyntämiseen urakoitsijan hanketehtävien laskentaan Ihku-laskentapalvelulla. Myös hankkeiden kokoluokkien jako perustuu Väylän kustannushallinnan ohjeen mukaisiin rajoihin. Lisäksi hanketehtävien perusprosentti lasketaan mallissa kiinteällä 21 %:n arvolla rakennusosien kokonaiskustannuksista. Kiinteään hanketehtävien osaan käytetään sitten korjauskerrointa, joka koostuu kokoluokkaosuudesta ja ympäristöosuudesta. Taulukossa 13 on esitetty kertoimet toteutusympäristön ja hankkeen kokoluokan vaikutuksille hanketehtävien laskentaan käytettävän prosentin määrittämiseen.

Taulukko 13 Toisen ehdotuksen mukaiset kertoimet käytettävälle hanketehtäväprosentille riippuen hankkeen toteutusympäristöstä ja kokoluokasta

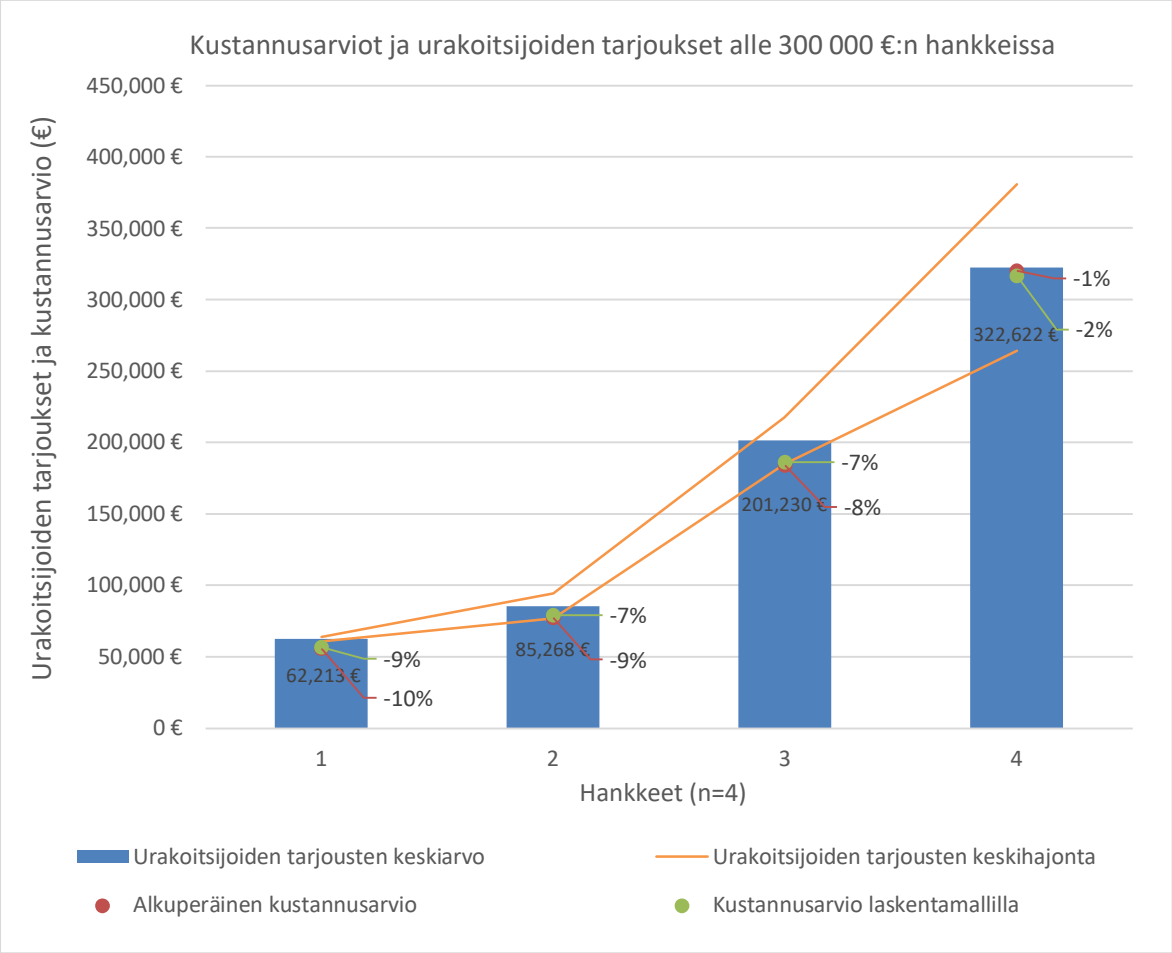
Kertoimet			
Toteutusympäristö		Hankkeen kokoluokka	
Rakentamaton	0.98	Alle 300 000 €	1.10
Harvaan rakennettu	1.00	Alle 1 000 000 €	1.05
Rakennettu	1.02	1 000 000–8 000 000 €	1.00
Tiivis	1.08	8 000 000–20 000 000 €	0.95
		Yli 20 000 000 €	0.90

Hanketehtävien prosenttimääräisen arvon laskenta on esitetty Taulukossa 14. Kokoluokkaosuus ja ympäristöosuus muodostavat kokonaiskertoimen, jolla kerrotaan hanketehtävien kiinteää 21 %:n osaa. Kokoluokkakerroin ja toteutusympäristökerroin summataan siis yhteen yhdeksi kertoimeksi. Suurimmillaan hanketehtävien laskentaan käytettävä prosentti on 24.78 %:a ja alimmillaan hanketehtäväprosentti voi laskea 18.48 %:iin.

Taulukko 14 Toisen ehdotuksen mukainen hanketehtävien laskentaan käytettävä matriisi

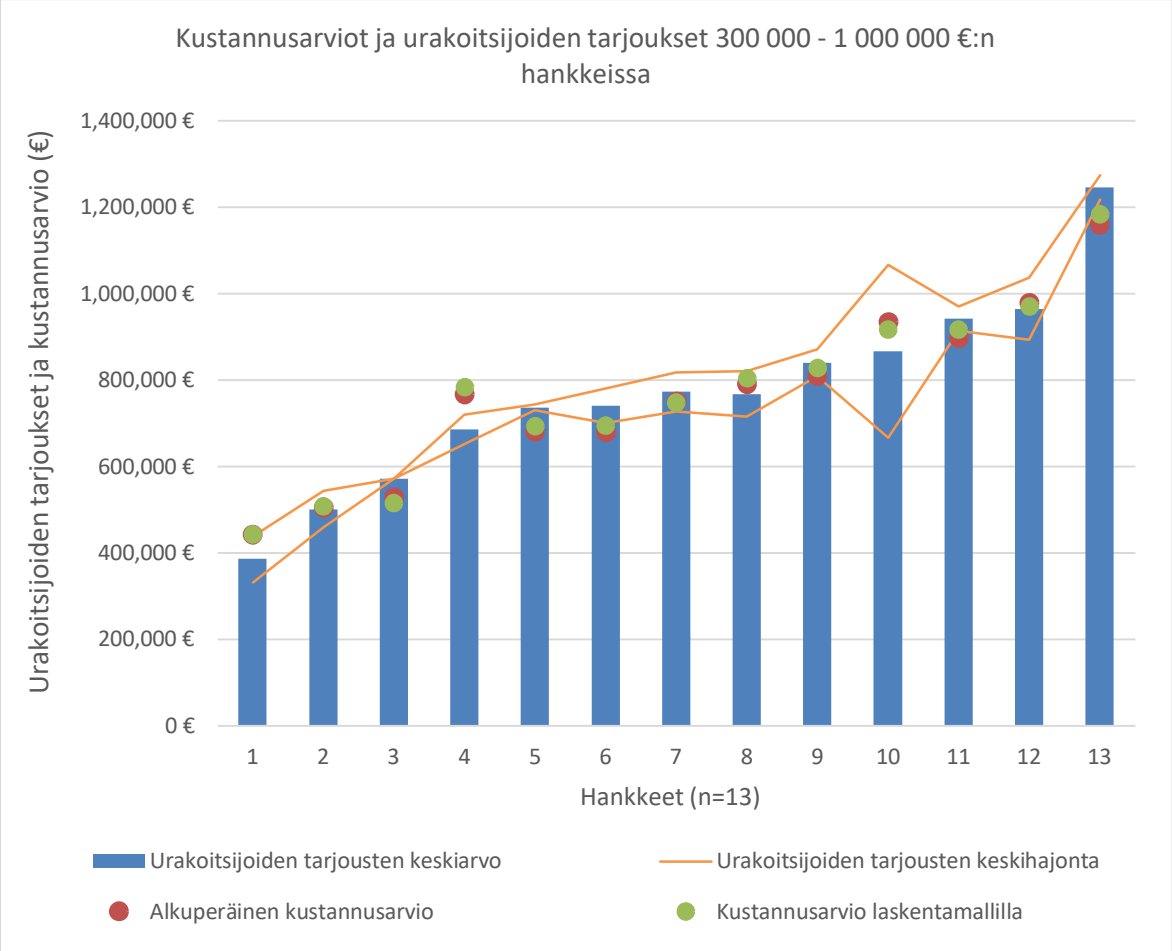
	Toteutusympäristökerroin ja toteutusympäristö				Kokovaikutuskerroin ja kokoluokka				
Hanketehtävät kiinteä %	Erittäin tiivis/tiivis	Rakennettu	Harvaan rakennettu	Rakentamaton	<0,3M	0,3-1M	1-8M	8-20M	>20M
21 %	1.08	1.02	1	0.98	1.1	1.05	1	0.95	0.90

Laskentamallin vaikutukset alle 300 000 €:n hankkeiden kustannusarvioihin on esitetty Kuvassa 16. Erittäin pienien eli alle 300 000 €:n hankkeiden suuruusluokassa, käytetään kokoluokkakertoimen arvona 1.10. Toteutusympäristön vaikutuksen arvo määräytyy toteutusympäristön mukaisesti riippuen hankkeesta. Laskentamallin avulla ero urakoitsijoiden tarjouksiin kapeni keskimääräisesti -7,07 %:in alituksesta -6,28 %:in alitukseen. Laskentamallin hyöty jää siis tässä kokoluokassa melko pieneksi. Hanketehtävät nousevat laskentamallin käytön myötä pääosin hyvin maltillisesti, joka näkyy pienissä hankkeissa hyvin vähäisenä vaikutuksena kustannuksiin. Yhdessä tarkasteltavassa hankkeessa hanketehtävät kuitenkin laskevat, joka johtaa suurempaan kustannusten alitukseen kuin alkuperäisellä kustannusarviolla. Hankkeen hanketehtävät ovat alkuperäisellä laskentatavalla 25 %:a mutta laskentamallin myötä hanketehtäväprosentti laskee 23,52 %:iin. Tarkasteltavassa kokoluokassa kaikkien hankkeiden alkuperäiset kustannusarviot alittavat urakoitsijoiden keskimääräiset hankkeiden tarjoushinnat.



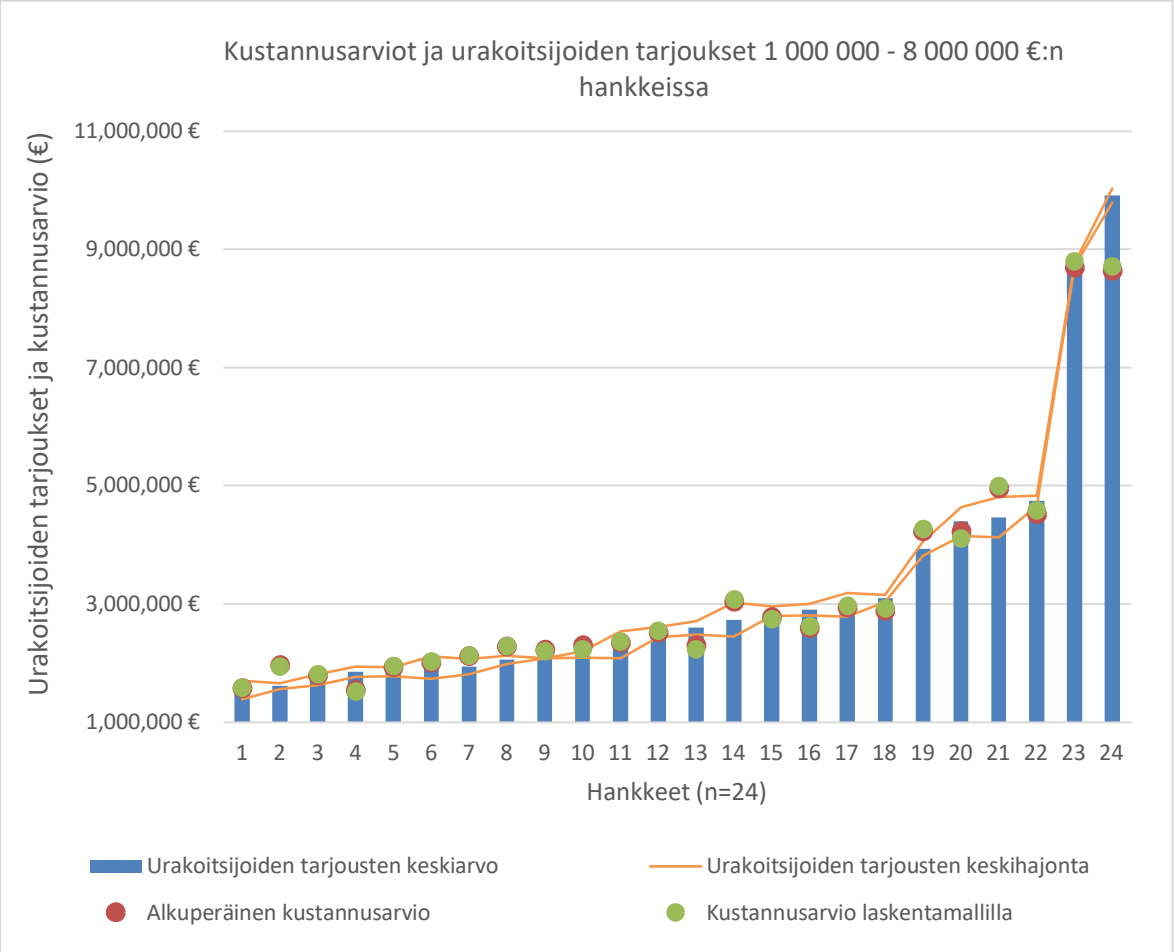
Kuva 16 Toisen ehdotuksen vaikutukset alle 300 000 €:n hankkeiden kustannusarvioissa (n=4)

Laskentamallin käytön tulokset kokoluokassa 300 000–1 000 000 €:a on esitetty Kuvassa 17. Kyseisessä kokoluokassa kokoluokkakertoimen arvona käytetään 1.05. Euromääräinen ero kustannusarvioiden ja urakoitsijoiden tarjousten välillä pienentyi kokoluokassa laskentamallia käyttämällä. Kokoluokassa on 13 hanketta, ja kertoimet toimivat korjaavasti 7 hankkeen kustannusarvioon. Laskentamalli nostaa 9 hankkeen kustannusarvion kustannuksia sillä yksikään hanke ei sijoitu rakentamattomaan ympäristöön. Laskentamalli laskee kustannuksia erityisesti siltahankkeissa, joissa hanketehtävät olisivat Ihku-laskentapalvelun hanketehtävämatriisin mukaisesti korkeammat. Hanketehtävät siltahankkeissa saisivat tarkasteltavissa hankkeissa vähintään arvon 23 %:a. Laskentamallilla kaikki kokoluokan siltahankkeet saavat hanketehtävien prosenttiosuudeksi 22,47 %:a. Lisäksi tässä kokoluokassa on yksi katuhanke, jonka hanketehtäväprosentti laskee 25:stä 23,73:en. Hanketehtävien alentaminen toimii korjaavasti kahdella hankkeella. Keskiarvoisesti tarkasteltavat hankkeet tässä luokassa ovat ilman laskentamallia alittaneet urakoitsijoiden tarjoukset -0,11 %:lla. Laskentamallia hyödyntämällä vastaava luku muuttuu 0,48 %:in ylitykseksi. Tämä selittyy pääosin kahdella kokoluokasta löytyvällä hankkeella, joiden alkuperäiset kustannusarviot ylittävät urakoitsijoiden tarjoukset yli kymmenellä prosentilla. Laskentamallia käyttämällä kyseisten hankkeiden tarjousten ylitys kasvaa.



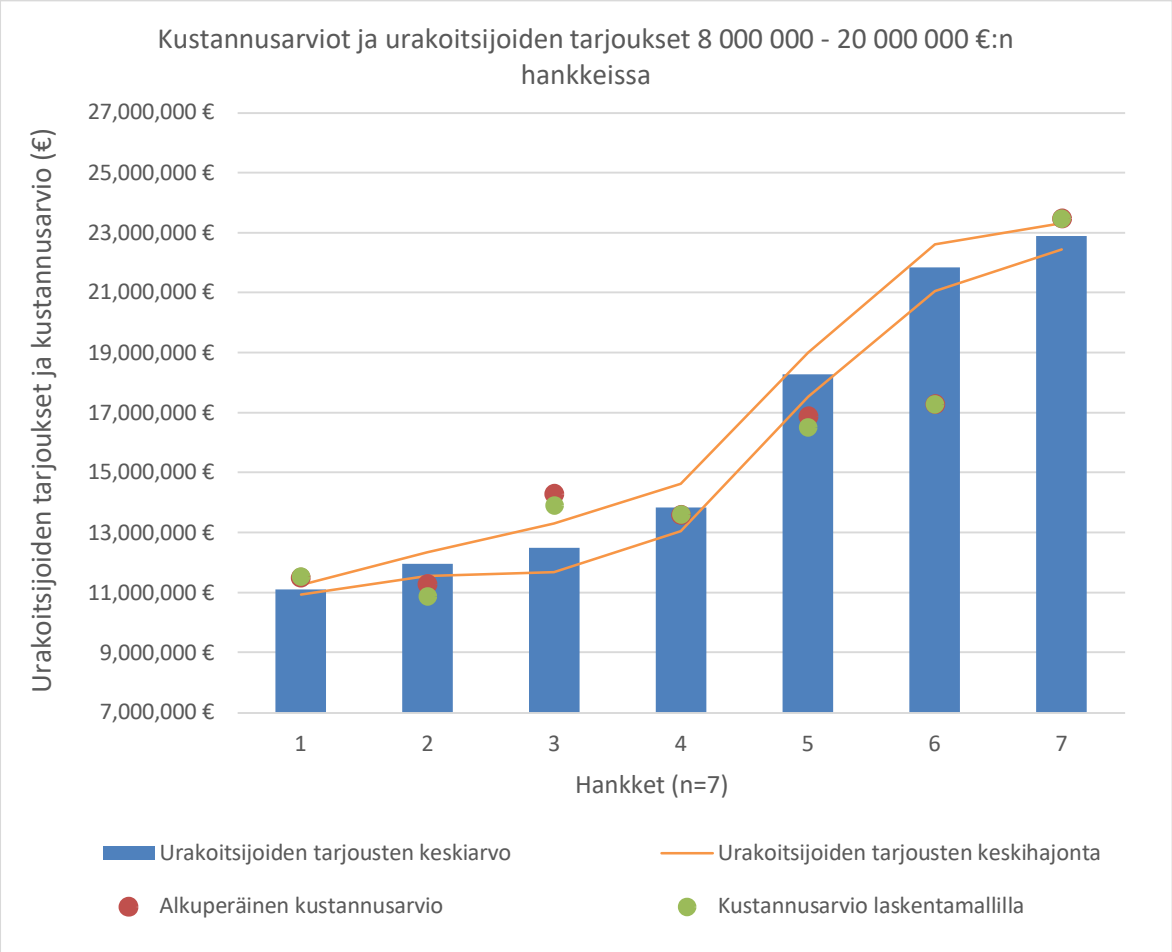
Kuva 17. Toisen ehdotuksen vaikutukset 300 000–1 000 000 €:n hankkeiden kustannusarvioissa (n=13)

Keskikokoisten hankkeiden kokoluokassa laskentamallin vaikutukset on esitetty Kuvassa 18. Keskikokoinen hanke on kokoluokkajaottelun mukaisesti 1 000 000–8 000 000 €:n hanke. Keskikokoisten hankkeiden kokoluokassa kokoluokkakertoimen arvo on 1.0. Tässä kokoluokassa hanketehtävien lopulliseen prosenttiin vaikuttaa siis vain toteutusympäristö. Laskentamalli toi Ihku-laskentapalvelun kustannusarviot euromääräisesti lähemmäs urakoitsijoiden tarjouksia. Kokoluokassa on 24 hanketta ja laskentamalli paransi 8 hankkeen kustannusarviota. Kokoluokassa on muutamia hankkeita, joissa kustannusarviot ovat huomattavasti urakoitsijoiden tarjouksia alhaisemmat. Suurin osa keskikokoisisien hankkeiden kustannusarvioista kuitenkin ylittävät urakoitsijoiden tarjoukset. Laskentamalli korottaa pääosin juuri näitä tarjousintoja ylittäviä kustannusarvioita entisestään. Pelkkää euromääräistä eroa tarkastelemalla voi siis saada virheellisen kuvan siitä, että laskentamalli toimii tässä kokoluokassa.



Kuva 18 Toisen ehdotuksen vaikutukset 1 000 000–8 000 000 €:n hankkeiden kustannusarvioissa (n=24)

Laskentamallin vaikutukset suurten hankkeiden kustannusarvioiden tuloksiin on esitetty Kuvassa 19. Suurissa 8 000 000–20 000 000 €:n hankkeissa Ihku-laskentapalvelun kustannusarviot jäävät ilman laskentamallia keskiarvoisesti -2,10 %:n päähän urakoitsijoiden tarjoushinnoista. 8–20 miljoonan euron kokoluokan hankkeissa hanketehtävien kokoluokkakerroin on 0.95, joten hanketehtävät pääosin alenevat, jos niitä verrataan alkuperäisestä hanketehtävämatriisista saataviin prosentteihin. Kyseisessä kokoluokassa on 7 hanketta, josta 3 hankkeen hanketehtävät laskevat kertoimen käytön myötä alle 20 %:iin rakennusosien kustannuksista. Useat haastateltavat esittivät, että urakoitsijan hanketehtäviä ei tulisi koskaan laskea alle 20 %:in prosentilla. Laskentamalli parantaa tässä kokoluokassa kahden hankkeen kustannusarviota. Kuudessa kokoluokan seitsemästä hankkeesta laskentamalilla päädytään alkuperäistä kustannusarviota alhaisempiin kustannuksiin. Neljässä hankkeessa laskentamalli johtaa entistä suurempiin eroihin kustannusarvioiden ja tarjousten välillä. Laskentamalli ei siis tuo erityistä parannusta Ihku-laskentapalvelun kustannusarvioihin tässä kokoluokassa.



Kuva 19 Toisen ehdotuksen vaikutukset 8 000 000–20 000 000 €:n hankkeiden kustannusarvioissa (n=7)

Erittäin suuressa, eli yli 20 miljoonan euron hankkeiden kokoluokassa on ainoastaan kaksi hanketta. Hankkeiden hanketehtävien laskentaan käytetään kokoluokkakertoimena arvoa 0.90. Erittäin suurten hankkeiden kokoluokassa toisen hankkeen alkuperäinen kustannusarvio alittaa tarjoushinnan -4,23 prosentilla ja toisen ylittää tarjoushinnan 5,54 prosentilla. Laskentamallin käyttö tässä kokoluokassa laskee hankkeiden kustannusarvioiden kustannuksia, joten toisen hankkeen kustannusarvioon se toimii korjaavasti ja toiseen ei. Laskentamallin käytön soveltuvuudesta kokoluokan hankkeiden kustannusarvoihin ei kyseisistä tuloksista voi päätellä.

5.2.1 Laskentamallin optimointi

Koska alkuperäisessä laskentamallissa on useita kertoimia ja muutoksia alkuperäiseen Ihku-laskentapalvelun tapaan laskea hanketehtäviä testattiin näistä myös eri kombinaatioita. Paras tulos saatiin vaihtoehdolla, jossa hanketehtävien laskentaan käytettävä prosentti muodostuu Ihku-laskentapalvelun hanketehtävämatriisista ja toteutusympäristökertoimesta. Ihku-laskentapalvelun matriisin perusteella saadaan siis hankkeelle hanketehtävien laskentaan käytettävä prosentti, jota kerrotaan toteutusympäristökertoimella riippuen hankkeen toteutusympäristöstä. Matriisista lasketaan siis yhteen hanketyypin ja toteutusympäristön mukainen prosentti, kokovaikutusprosentti sekä kate ja lopputulos kerrotaan toteutusympäristökertoimella. Käytettävät kertoimet eri ympäristöille olivat seuraavanlaiset:

- Tiiviisti ja erittäin tiiviisti rakennettu ympäristö 1.08
- Rakennettu ympäristö 1.02
- Harvaan rakennettu ympäristö 1.00
- Rakentamaton ympäristö 0.98

Mallissa ei siis ole alkuperäisen laskentamallin ehdotuksen mukaista kiinteää 21 %:n alkuarvoa hanketehtäville eikä siinä käytetä myöskään aikaisemman ehdotuksen mukaista kokoluokkakerrointa. Tämä vaihtoehto parantaa euromääräisiä tuloksia kaikissa kokoluokissa. Hanketehtävien laskentaan käytettävän prosentin vaihteluväli on ehdotuksen mukaisilla kertoimilla 19,60–32,40. Alhaisimpaan 19,60 %:iin päädytään esimerkiksi tiehankkeissa rakentamattomassa ympäristössä. Vastaavasti 32,40 %:iin päädytään alle 0.5 miljoonan euron ratahankkeissa tiiviisti tai erittäin tiiviisti rakennetussa ympäristössä.

Erittäin pienissä hankkeissa kustannusarviot korjaantuivat laskentamallin avulla lähemmäs urakoitsijoiden tarjouksia. Laskentamallin vaikutukset kustannusarvioiden tarkkuuteen on esitetty Taulukossa 16. Kaikissa alle 300 000 €:n hankkeissa, kustannusarviot alittavat urakoitsijoiden hankkeiden tarjoukset. Kaikki alle 300 000 €:n hankkeiden toteutusympäristöt ovat joko rakennettu ympäristö tai tiiviisti rakennettu ympäristö, joten toteutusympäristön huomioiva kerroin toimii kustannuksia nostavasti kaikille hankkeille. Kustannusarvioiden alkuperäinen tarjousten alitus paranee hieman, vähentämällä kustannusarvioiden ja tarjousten välistä eroa -0,59 %:sta, -0,36 %:iin.

Taulukko 16 Prosenttimääräinen muutos alle 300 000 €:n hankkeissa

Prosenttimääräinen ero	Kertoimilla		Ilman kertoimia	Ero (prosenttiyksikkö)
Ero tarjoushintoihin erittäin pieni hanke alle 300 000 € kertoimella	-0.36 %	Ero tarjoushintoihin erittäin pieni hanke alle 300 000 € ilman kerrointa	-0.59 %	0.23 %

Pienissä, 300 000–1 000 000 €:n hankkeissa, kustannusarvioiden ja urakoitsijoiden tarjousten välinen ero pienenee. Laskentamallin käytön vaikutukset kokoluokan kustannusarvioi-

den tuloksiin on esitetty Taulukossa 17. Laskentamalli parantaa kuuden hankkeen kustannusarviota, ja laskee viiden. Kolmessa hankkeessa laskentamalli ei vaikuta alkuperäiseen kustannusarvioon, sillä toteutusympäristökerroin on näissä 1. Koska yhdessäkään hankkeessa toteutusympäristökerroin ei laske hanketehtäviä, kaikki hankkeet, jossa laskentamalli toimii korjaavasti ovat hankkeita, jotka alittavat urakoitsijoiden tarjoukset.

Taulukko 17 Prosenttimääräinen 300 000–1 000 000 €:n hankkeissa

Prosenttimääräinen ero	Kertoimilla		Ilman kertoimia	Ero (prosent-tiyksikkö
Ero tarjoushintoihin pieni hanke 300 000-1M € kertoimella	3.19 %	Ero tarjoushintoihin pieni hanke 300 000-1M € ilman kerrointa	2.80 %	-0.38 %

Keskikokoisissa, eli 1–8 miljoonan euron hankkeissa laskentamalli kaventaa kustannusarvioiden ja tarjousten välistä eroa. Kyseisessä kokoluokassa laskentamallin vaikutus kustannusarvioiden tarkkuuteen on esitetty Taulukossa 18. Alkuperäiset kustannusarviot jäävät keskimäärin -1,10 %:a urakoitsijoiden tarjouksista. Laskentamallia hyödyntämällä ero pienenee -0,81 %:iin. Laskentamalli parantaa kolmasosaa kokoluokan kustannusarvioista eli se toimii kahdeksalla hankkeella 24:stä. Kymmenessä hankkeessa toteutusympäristökerroin on 1 eli se ei vaikuta kustannusarvioon. Kuudessa hankkeessa toteutusympäristökerroin vaikuttaa heikentävästi kustannusarvion tulokseen verrattuna urakoitsijoiden tarjouksiin. Huomattavaa on myös, että laskentamalli parantaa kahden hankkeen kustannusarvioita, jotka ylittävät urakoitsijoiden tarjoukset. Tällöin hanketehtävien laskentaan käytettävä prosentti kuitenkin laskee alle 20 %:in rakennusosien kustannuksista. Ehdotuksen antaneen haastateltavan mukaan hanketehtävien laskentaprosentin tulisi olla 20 ja 30 prosentin välillä.

Taulukko 18 Prosenttimääräinen muutos 1 000 000–8 000 000 €:n hankkeissa

Prosenttimääräinen ero	Kertoimilla		Ilman kertoimia	Ero (prosent-tiyksikkö
Ero tarjoushintoihin keskikokoinen hanke 1-8M € kertoimella	-0.81 %	Ero tarjoushintoihin keskikokoinen hanke 1-8M € ilman kerrointa	-1.10 %	0.29 %

Suurten hankkeiden kokoluokassa laskentamallin vaikutukset on esitetty Taulukossa 19. Suurissa hankkeissa, joiden rakennusosien kustannukset ovat 8 ja 20 miljoonan euron välillä laskentamalli vähentää kustannusarvioiden ja urakoitsijoiden välisten tarjousten eroa. Kokonaisuudessaan vaikutus on kuitenkin melko pieni ja johtuu pääosin kahdesta hankkeesta, jotka alittavat urakoitsijoiden keskiarvoiset tarjoukset reilusti. Pienikin muutos näissä hankkeissa aiheuttaa melko suuren parannuksen sillä erot urakoitsijoiden tarjouksiin ovat jo lähtökohtaisesti suuret. Kokoluokassa on myös enemmän kustannusarvioita, jotka alittavat urakoitsijoiden tarjousten hinnat kuin ylittävät. Keskiarvoisesti laskentamalli parantaa kustannusarvioiden tarkkuutta kokoluokassa 0,30 %:a.

Taulukko 19 Prosenttimääräinen 8 000 000–20 000 000 €:n hankkeissa

Prosenttimääräinen ero	Kertoimilla		Ilman kertoimia	Ero (prosent-tiyksikkö
Ero tarjoushintoihin suuri hanke 8-20M € kertoimella	-0.41 %	Ero tarjoushintoihin suuri hanke 8-20M € ilman kerrointa	-0.71 %	0.30 %

Yli 20 miljoonan euron hankkeiden kokoluokassa toteutusympäristökerroin vaikuttaa yhteen hankkeeseen. Toteutusympäristökerroin vaikuttaa parantavasti kyseisen hankkeen kustannusarvioon pienentäen kustannusylitystä 0,18 %: a. Laskentamallia käyttämällä hanketehtä-

vien laskentaan käyttämä prosentti muuttuu 0,40 %:a. Alkuperäinen hanketehtävien laskentaan käytettävä prosenttiosuus rakennusosien kustannuksista on 20:tä ja laskentamallin myötä osuudeksi saadaan 19,60 prosenttia. Tämä korjaus on vastoin ehdotuksen antaneen haastateltavan näkemystä, jonka mukaan hanketehtävien laskentaan käytettävän prosentin tulisi aina olla vähintään 20. Toisessa yli 20 miljoonan euron hankkeessa toteutusympäristökerroin on 1, joten se ei vaikuta hankkeen kustannusarvioon.

5.3 Ihku-laskentapalvelulle ehdotettu laskentamalli

Kahden eri ehdotuksen ja niiden kokeilujen pohjalta oli mahdollista luoda laskentamalli, jossa sovelletaan kokeiltujen mallien parhaita ominaisuuksia. Molemmissa testatuissa ehdotuksissa on hyvät ja huonot puolensa, joten Ihku-laskentapalvelulle ehdotetussa mallissa pyrittiin hyödyntämään molempien laskentamallien parhaita puolia.

Ennen varsinaisten kokoluokasta riippuvien hanketehtäviä laskevien tai nostavien arvojen tai kertoimien määrittelyä oli määriteltävä euromääräiset rajat hankkeiden kokoluokille. Euromääräisiä rajoja tutkittiin vertaamalla ehdotuksien mukaisten laskentamallien rajojen toimivuutta sekä analysoimalla eri raja-arvo vaihtoehtoja. Kahta aikaisempaa ehdotusta ja niiden tuloksia analysoimalla oli mahdollista todeta, että jako viiteen luokkaan toimii paremmin kuin jako vielä useampaan luokkaan. Liian tarkka kokoluokkajako ei palvele käyttäjää ja saattaa johtaa myös tutkijan puolesta ylisovittamiseen, kun rajoja ja korjausarvoja mietitään liian tarkasti. Kokoluokkien raja-arvojen määrittämistä varten muodostettiin erilaisia kokoluokkia ja tutkittiin niiden sisältämiä hankkeita. Erittäin pienen hankkeen raja-arvoa määritellessä oli mahdollista huomata, että kaikki alle 300 000 euron hankkeiden kustannusarviot jäävät alle urakoitsijoiden tarjousten keskiarvon. Tässä huomattiin siis selvä ongelma alle 300 000 euron hankkeiden kustannusarviossa, jota voisi selvittää hanketehtävien laskennan avulla. Samalla tavalla tutkittiin myös muiden kokoluokkien rajoja. Muissa kokoluokissa ei tosin löytynyt yhtä selkeitä tarjousten ylityksiä tai alituksia. Tästä syystä päädyttiin myös osin hyödyntämään Väylän jo olemassa olevan luokituksen mukaisia kokoluokkia. Koska analysoitavassa materiaalissa oli ainoastaan kaksi yli 20 miljoonan hanketta megahankkeen rajaksi asetettiin 15 miljoonaa euroa. Lisäksi kokoluokkia määritellessä pidettiin mielessä haastateltavien asiantuntijoiden näkemykset eri kokoluokkien euromääräisestä jaottelusta.

Kokoluokat muodostuivat lopulta seuraavanlaisiksi;

- Erittäin pieni hanke — alle 300 000 €
- Pieni hanke — 300 000–1 000 000 €
- Keskisuuri hanke — 1 000 000–8 000 000 €
- Suuri hanke — 8 000 000–15 000 000 €
- Erittäin suuri hanke — Yli 15 000 000 €

Kahden aikaisemman ehdotuksen testauksen pohjalta päädyttiin myös olla käyttämättä kerrointa hanketehtävien korotukseen tai laskemiseen ja sen sijaan käyttää suoraan hanketehtäviä nostavaa prosenttimääräistä arvoa. Tämä johtuu pääosin siitä, että kertoimien pitäisi olla hyvin korkeat tai alhaiset, jotta hanketehtävissä nähtäisiin kunnollista muutosta. Hanketehtäviä suoraan nostavaa arvoa on myös helpompi kontrolloida Ihku-laskentapalvelun hanketehtävämatriisissa, jotta vältytään hanketehtävien nousulta tai laskulta yli 30:en tai alle 20:en prosenttiin.

Laskentamallien kokeilun aikana päätettiin myös rajata ratahankkeet pois tutkimuksesta. Tästä syystä ehdotetussa laskentamallissa ei huomioida tai yritetä soveltaa tuloksia ratahankkeisiin. Tutkimusta varten haastatelluilla henkilöillä ei myöskään ollut ratapuolen taustaa, joten ratahankkeisiin ei saatu haastattelujen kautta näkemystä. Tutkimuksen alussa pohdittiin myös tutkimuksen rajaamista tiettyihin hanketyyppeihin ja ratahankkeet olivat silloin selkeä kokonaisuus, jonka poisjättämistä mietittiin. Taulukossa 20 on esitetty Ihku-laskentapalvelun kustannusarvioiden ja urakoitsijoiden tarjousten keskiarvoiset prosentuaaliset erot ilman laskentamallia.

Taulukko 20 Ihku-laskentapalvelun (versio 03/2021) ja urakoitsijoiden tarjousten väliset keskiarvoiset prosenttimääräiset erot ilman ratahankkeita ja hanketehtävien laskentaan vaikuttavaa laskentamallia

Keskiarvoinen prosenttimääräinen ero kustannusarviot vs. tarjoukset ei sis. ratahankkeita	Ilman korjauksia
Ero erittäin pieni hanke alle 300 000 € ilman kertoimia (n=4)	-7.07 %
Ero pieni hanke 300 000–1 000 000 ilman kertoimia (n=12)	-0.80 %
Ero keskisuuri hanke 1 000 000–8 000 000 ilman kertoimia (n=19)	2.88 %
Ero suuri hanke 8 000 000–15 000 000 ilman kertoimia (n=4)	2.23 %
Ero mega hanke yli 15 000 000 ilman kertoimia (n=2)	4.07 %
Kaikki hankkeet (n=41)	**0,83 %**

Alle 300 000 €:n hankkeissa kaikki neljä kappaletta Ihku-laskentapalvelulla laskettua kustannusarviota jäävät urakoitsijoiden tarjoushintoja alhaisemmaksi. Tässä kokoluokassa on siis syytä miettiä hanketehtävien laskentaan käytettävän prosentin nostamista. Tätä tukee myös asiantuntijahaastattelut, joissa yleinen mielipide oli, että pienissä hankkeissa hanketehtävien osuus saattaa olla suurempi kuin suurissa hankkeissa. Pienissä hankkeissa on useasti vähemmän tilaa, joten logistiikka on hankalampi järjestää. Lisäksi pienissä hankkeissa työtä ei välttämättä saada suunniteltua niin, että maksimaalinen työteho saavutetaan. Pienemmissä hankkeissa toimittajien kilpailuttamiseen jää usein myös vähemmän aikaa eikä siitä saada yhtä merkittäviä hyötyjä kuin suuremmissa hankkeissa. Hankkeiden liikennejärjestelyt saattavat myös nousta suureksi osaksi hankkeiden kustannuksia, jos rakennustyöt ovat pieniä, mutta vaativat paljon liikennejärjestelyjä. Yksi haastateltavista sanoi, että hän on ollut mukana hankkeessa, jossa liikennejärjestelyt maksoivat lähes yhtä paljon kuin rakennusosat, ellei enemmänkin. Alle 300 000 euron hankkeissa ehdotetaan hanketehtävien laskentaan käytettävän prosentin korottamista viidellä prosentilla. Viiden prosentin korotuksella, maksimiarvo hanketehtäville nousee 30 %:iin. Alle 300 000 €:n hankkeissa on yksi hanke, jonka alkuperäinen Ihku-laskentapalvelun kustannusarvio alittaa urakoitsijoiden tarjoukset vain -0,66 %:lla. Hanketehtävien nostaminen johtaa siis siihen, että kustannusarvio ylittää urakoitsijoiden keskiarvoiset tarjoukset. Kolmessa muussa alle 300 000 €:n hankkeessa kustannusarviot ovat kuitenkin selkeästi urakoitsijoiden tarjoushintoja alhaisemmat, joten niissä hanketehtävien korotus johtaa kustannusarvion paranemiseen. Tarkempaa tarkastelua ja vertailua varten tarvittaisiin kuitenkin reilusti lisää vertailtavia hankkeita. Rakennushankkeessa on aina monia eri kustannuksia nostavia tai laskevia elementtejä, joita ei voi havaita pelkkien kustannusarvioiden tai tarjouksien perusteella.

Pienten eli rakennusosiltaan 300 000–1 000 000 miljoonan euron hankkeiden kokoluokassa Ihku-laskentapalvelun kustannusarvioit jäävät myöskin pääosin alle urakoitsijoiden tarjousten. Kokoluokassa on 12 hanketta, joissa seitsemän hankkeen kustannusarvio jää alle urakoitsijoiden tarjoushintojen. Lisäksi kokoluokassa on kaksi hanketta, joiden kustannusarviot ylittävät urakoitsijoiden tarjoushinnat selvästi. Kyseisten hankkeiden ero urakoitsijoiden tarjouksiin on 14,95 %:a ja 12,13 %:a. Kummankaan tarjoushintojen ylittävien hankkeiden aineistosta ei löydy selviä eroja selittävää tekijää. Koko kokoluokkaa tarkastelemalla selviää

myös, että hankkeiden kustannusarviot jäävät keskiarvoisesti -0,83 %:a alle urakoitsijoiden tarjoushintojen. Haastatteluissa myös useampi asiantuntija asetti pienen hankkeen kokoluokan alle viiteen miljoonaan euroon. Tarkasteltavaa kokoluokkaa voidaan siis vielä pitää pienenä hankkeena, joten hankkeissa saattaa esiintyä samoja kustannuksia nostavia elementtejä kuin erittäin pienissä hankkeissa. Myös pienten hankkeiden kokoluokassa voidaan siis pitää perusteltuna nostaa hanketehtävien laskemiseen käytettävää prosenttia sillä se parantaa valtaosaa kokoluokan kustannusarvioista ja sitä tukee myös asiantuntijoiden näkemykset. Hanketehtävien laskentaan käytettävään prosenttiin voi tässä kokoluokassa testien perusteella ehdottaa kahden prosenttiyksikön korotusta.

Keskikokoisten 1–8 miljoonan euron hankkeissa suurin osa hankkeiden kustannusarvioista ylittää urakoitsijoiden tarjoukset. Kokoluokassa on 19 hanketta ja ainoastaan viidellä hankkeella hanketehtävien laskentaan käytettävä prosentti on muu kuin 20 %:a. Näitä neljää hanketta tarkastellessa voidaan huomata, että kolme kustannusarviota ylittävät urakoitsijoiden tarjoushinnat ja kaksi alittavat ne. Suurimmassa osassa hankkeista lasketaan siis hanketehtävät 20 %:n osuudella ja ne ylittävät silti urakoitsijoiden tarjoushinnat. Usean haastatellun asiantuntijan mukaan 20 %:n osuus hanketehtäville on hieman liian alhainen mutta tässä kokoluokassa arvon korottaminen johtaisi heikompiin tuloksiin. 1–8 miljoonan euron kokoluokassa ehdotuksena on, että toistaiseksi hanketehtävien laskentatapaan ei tehdä muutoksia. Perusteltu muutosehdotus vaatisi lisätutkimuksia hanketehtävien laskennasta kyseisessä kokoluokassa tai suurempaa viiteaineistoa määrällisen aineiston analyysiä varten.

Myöskään 8–15 miljoonan euron tai yli 15 miljoonan euron hankkeiden kokoluokissa ei voida analysoidun aineiston perusteella ei voida tehdä suoria johtopäätöksiä ehdotuksista hanketehtävien laskentaan käytettävän prosentin muuttamisesta. Yhteensä yli 8 000 000 €:n hankkeita on vain kuusi ja niistä kahden kustannusarviot alittavat urakoitsijoiden tarjoushinnat. Ainoastaan kahdessa hankkeessa urakoitsijoiden hanketehtävien laskentaan käytettävä prosentti on muu kuin 20. Toisen hankkeen kustannusarvio ylittää urakoitsijoiden keskiarvoiset tarjoushinnat ja toisen alittaa tarjoushinnat. Hankkeita, joissa käytetään 20 %:a hanketehtävien laskentaan kolme hanketta ylittävät ja yksi alittaa urakoitsijoiden keskiarvoiset hankkeiden tarjoukset. Kustannusarvion hanketehtävien laskentaan käytettävää prosenttia pitäisi siis laskea, jotta kustannusarviot vastaisivat paremmin urakoitsijoiden tarjouksia. Tämä olisi kuitenkin vastoin asiantuntijoiden näkemystä urakoitsijoiden hanketehtävien osuudesta hankkeen kustannuksista. Lisäksi analysoitavaa aineistoa tarvittaisiin enemmän, jotta mahdollinen toistuva virhe olisi huomattavissa.

Lopullinen Ihku-laskentapalveluun käyttöön ehdotettu hanketehtävien laskentamatriisi näyttää siis ehdotettujen muutoksien myötä Taulukon 21 mukaiselta.

Taulukko 21 Työn perusteella luotu ehdotus Ihku-laskentapalvelun hanketehtävämatriisista

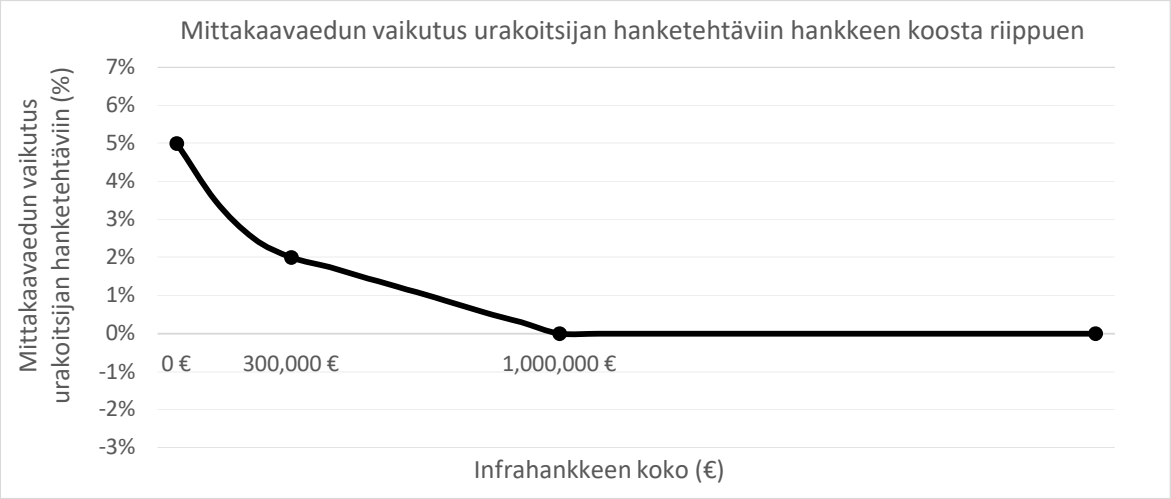
	Toteutusympäristö %			Kokovaikutus %				
Hanketyyppi %	**Erittäin tiivis/tiivis**	**Rakennettu**	**Harvaan/rakentamaton**	**<0,3M€**	**0,3-1M€**	**1-8M€**	**8-15M€**	**>15M€**
Katu	15	10	10	5	2	0	0	0
Puisto	10	10	10	5	2	0	0	0
Silta	15	13	10	5	2	0	0	0
Tie	15	10	10	5	2	0	0	0
Moottoritie	15	10	10	5	2	0	0	0
Jk+pp tie	15	10	10	5	2	0	0	0
Rata	20	15	10	0	0	0	0	0
+ kate 10 %								

6 Johtopäätökset ja yhteenveto

6.1 Tutkimustulokset

Diplomityön kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin kustannuslaskennan metodeja ja prosesseja sekä Suomessa että ulkomailla. Kirjallisuustutkimuksen perusteella selvisi, että esimerkiksi Norjassa kustannusarvion tehdään eräänlaisena ryhmätyönä. Australiassa taas hyödynnetään erityisiä kustannuslaskennan ja -arvioiden asiantuntijoita, jotka käyvät kustannusarvion vielä erikseen läpi. Lisäksi kirjallisuustutkimuksessa käsiteltiin skaala- ja yhteistuotantoetuja yleisesti sekä niiden esiintyvyyttä rakennusalalla ja rakennusprojekteissa. Myös muihin rakentamisen tuottavuuteen vaikuttaviin tekijöihin perehdyttiin, jotta tekijät olisi mahdollista erottaa mittakaavaeduista. Esimerkiksi hyvin laadittu työmaasuunnitelma saattaa tutkimusten mukaan parantaa työmaan tuottavuutta mutta se ei suoraan liity projektissa esiintyviin mittakaavaetuihin. Lisäksi tutkimuksessa hyödynnettiin haastatteluja ja määrällisen aineiston analyysiä. Haastattelemalla kustannus- ja tarjouslaskennan asiantuntijoita pyrittiin muodostamaan käsitys siitä, miten hankkeen koko vaikuttaa kustannuksiin ja erityisesti mihin kustannusten osa-alueisiin. Haastatteluiden tulokset toimivat pohjana määrälliselle analyysille, jossa keskityttiin erityisesti urakoitsijoiden hanketehtäviin erikokoisissa hankkeissa.

Työn tulosten perusteella voidaan sanoa, että infrahankkeissa on mahdollista saavuttaa kustannuksia laskevia mittakaavaetuja. Tutkimuksen tuloksia mittakaavaetujen esiintymisestä on esitetty Kuvassa 20. Mittakaavaetujen esiintyminen on kuitenkin hyvin hankekohtaista ja siihen vaikuttaa useampi tekijä. Euromääräisesti suuri hanke voi esimerkiksi olosuhteiden takia olla hyvin hankalasti toteutettava, jolloin rakennusosien työsaavutukset saattavat laskea huomattavasti. Tämä on yleistä erityisesti kaupunkien keskustoissa, jossa maanalainen tekniikka ja yleinen liikenne työmaan läheisyydessä hidastaa työtä. Hankalalla maapohjalla tai pilaantuneella maalla on käytännössä aina kustannusvaikutuksia sijainnista riippumatta. Tutkimuksen mittakaavaetuja esiintyy kuitenkin erityisesti alle 1 miljoonan euron hankkeissa. Yli yhden miljoonan euron hankkeissa hankkeen koolla ei tutkimuksen perusteella ole enää vaikutusta hanketehtävien suhteellisiin kustannuksiin. Hankkeen kokoa euromääräisesti kuvaamalla on siis tutkimuksen perusteella havaittu mittakaavaetujen stagnaatiolle raja-arvoksi n. miljoonaa euroa. Yli miljoonan euron hankkeissa voi myös varmasti esiintyä mittakaavaetuja, mutta ne saattavat olla hanke- tai rakennusosiakohtaisia eikä niinkään yhdistettävissä tiettyyn euromääräisesti määriteltyyn hankkeen kokoluokkaan.



Kuva 20 Mittakaavaedun vaikutus urakoitsijan hanketehtäviin hankkeen euromääräisestä koosta riippuen

Tärkeimpinä projektin ja rakennusosien mittakaavaetuihin vaikuttavina tekijöinä voidaan tutkimuksen perusteella pitää työn jatkuvuutta, työn toistettavuutta sekä rakennusosien suoritemäärää. Tästä syystä mittakaavaetujen vaikutukset korostuvat erityisesti tietyillä rakennusosilla ja tietyn tyyppisissä töissä. Useammassa rakennusosassa nousee työn jatkuvuuden kannalta esille erityisesti työn toteuttamiseen tarvittavien koneiden mobilisaatio ja siirrot. Koneiden mobilisaatio ja siirtäminen vie aina aikaa pois varsinaisesta tuottavasta työstä. Lisäksi koneiden mobilisaatiokulut laskevat suhteellisesti, kun kustannukset jaetaan useammalle toteutusyksikölle. Työn toistettavuus tarkoittaa usein mahdollisuutta oppia ja optimoida työtä jatkuvasti sen edetessä. Esimerkiksi valettaessa toistuvasti samankokoisia pilareita on muottimateriaalia mahdollista käyttää uudelleen, joka johtaa säästöihin.

Suuriin hankkeisiin sisältyy usein suuria materiaalimääriä tai pitkään jatkuvaa työtä, jolloin urakoitsija voi hyödyntää niihin liittyviä mahdollisuuksia säästää kustannuksissa. Suuret materiaali- tai työmäärät voivat mahdollistaa tehokkaamman hankinnan olettaen, että toimittajien kilpailuttamiselle on tarpeeksi aikaa. Toimittajille pitkäkestoiset projektit tarjoavat turvaa, kun he tietävät kassavirran varmaksi pidemmäksi ajaksi. Suuret materiaalitoimitukset mahdollistavat myös materiaalitoimittajien tuotannon optimoimista, joka ei välttämättä ole kannattavaa pienillä määrillä.

Infrahankkeissa voi myös saada merkittäviä kustannushyötyjä, mikäli hankkeesta syntyvää maa-aineista voi käyttää hankkeen sisällä tai myydä eteenpäin. Lähtökohtaisesti suuremmat hankkeet tarjoavat paremmat edellytykset hyödyntää maa-aineksia hankkeen sisällä. Suuremmissa pidempään jatkuvissa hankkeissa on myös paremmin aikaa järjestellä maa-aineksien myyntiä.

Myös muita etuja esiintyy todennäköisemmin suurissa hankkeissa. Suurissa hankkeissa alueiden ollessa suurempia on myös todennäköisempää, että ne sijaitsevat suljetuilla alueilla, jossa ei esiinny liikennehäiriöitä. Lisäksi suurissa hankkeissa logistiikan järjestäminen voi olla helpompaa, kun materiaalien välivarastoinnille on tilaa. Suurissa hankkeissa löytyy myös useammin varamesta työntekoa varten, jos ensisijaisen työn tekeminen jostain syystä estyy.

Suoritemäärän vaikutuksesta rakennusosiin saatiin haastatteluissa paljon tietoa. Haastattelut vahvistivat käsitystä siitä, että Ihku-laskentapalvelussa on huomioitu suoritemäärät oikeissa rakennusosissa. Vaikka Ihku-laskentapalvelussa on jo huomioitu suoritemäärän vaikutus usealla eri rakennusosalla, saatiin haastattelujen kautta useita parannusehdotuksia. Esimerkiksi paalutus rakennusosalle lisättiin vaihtoehdot, jotka huomioivat olosuhteet sekä rakennusosan suoritemäärän. Myös sillan kannen alatelineelle luotiin vaihtoehto, joka huomioi olosuhdevaihtelun veden ja pehmeikön välillä.

Esteinä mittakaavaetujen saavuttamiselle havaittiin sekä kirjallisuuskatsauksen, että haastattelujen pohjalta. Kirjallisuuskatsauksessa nousi esiin tekijöitä kuten toistuvien töiden vaihtelevat työselitykset ja rakennusmateriaalit sekä uniikit suunnitteluratkaisut. Haastatteluissa yhdyttiin pääosin kirjallisuustutkimuksen havaintoihin ja peräänkuulutettiin erilaisia tyyppiratkaisuja. Uniikeilla suunnitteluratkaisuilla todettiin kuitenkin usein haettavan hyötyjä, joita ei muuten saavutettaisi. Mikäli ratkaisut eivät anna mahdollisuutta erilaisten työmenetelmien hyödyntämiselle se saattaa estää urakoitsijoiden skaalaetujen saavuttamisen. Paalutuksessa koettiin myös, että suunnitelmissa esiintyy välillä erikokoisia paaluja samalla kentällä. Paalukokojen välinen kustannusero on kuitenkin yleensä niin pieni, että mahdollisen koneen

vaihtaminen kesken työn tulee kalliimmaksi kuin paalukokojen optimointi. Lisäksi työtä voi rajoittaa muut työmaan ulkopuoliset tekijät kuten yleinen liikenne, tai sopimukselliset rajoitteet kuten toteutus tiettynä vuoden- tai kellonaikana.

Haastatteluissa nousi hankkeiden kustannusten kannalta tärkeäksi teemaksi myös urakoitsijan hanketehtävät ja niiden suhteellisen suuruuden muuttuminen hankkeen koosta riippuen. Perinteisesti tilaajien kustannusarvioissa hanketehtävät lasketaan kiinteällä prosentilla rakennusosien kustannuksista. Urakoitsijat laskevat hanketehtävät resurssipohjaisesti mm. hankkeen keston ja erityispiirteet huomioiden. Hanketehtävät sisällytetään tyypillisesti tarjouksessa esitettyihin yksikköhintoihin. Haastateltavat näkivät, että hanketehtävien osuus ei olennaisesti laske suuremmissa hankkeissa mutta osuus saattaa kasvaa pienissä hankkeissa. Väitettä tukee myös kirjallisuustutkimuksen havainnot.

Haastateltavien mielipiteiden ja kirjallisuusselvityksen lisäksi hanketehtäviä tutkittiin määrällisen analyysin avulla. Analyysin perusteella Ihku-laskentapalvelulla lasketut pienet hankkeet alittavat pääosin urakoitsijoiden tarjoukset. Alitus voi johtua siitä, että todellisuudessa pienessä hankkeessa hanketehtävät ovat suuremmat kuin mihin Ihku-laskentapalvelulla tällä hetkellä varaudutaan. Suurissa hankkeissa ei ollut mahdollista huomata samanlaista kuviota tarjoushintojen ylittämiselle tai alittamiselle. Käytetyn aineiston perusteella ei ole mahdollista vetää johtopäätöksiä urakoitsijoiden hanketehtävien kustannusten osuuden pienentymisestä suurissa hankkeissa. Hankkeen urakoitsijoiden tarjousten keskihajonnassa ei myöskään vaikuta olevan erityistä korrelaatiota hanketyypin tai hankekoon mukaan. Merkittävää on ehkä, että keskihajonta on suurissa hankkeissa melko pientä. Yli 10 miljoonan euron hankkeissa, korkein keskihajonta on n. 790 000 €:a, joka vastaa 5,81 %:a hankkeen alkuperäisen Ihku-laskentapalvelun kustannusarviosta. Suurimmat keskihajonnat esiintyvät alle 400 000 euron hankkeissa, jossa keskihajonta on korkeimmillaan 18,21 %:a hankkeen Ihku-laskentapalvelulla arvioiduista kustannuksista. Muuten keskihajonnan mediaani verrattuna Ihku-laskentapalvelun kustannusarvioihin ilman laskentamallia on 4,37-prosenttia ja keskiarvo 5,02-prosenttia.

6.2 Laskentamallin arviointi

Ihku-laskentapalvelulle ehdotetun laskentamallin luotettavuutta voidaan pitää hyvänä. Laskentamallin ehdotettuja muutoksia aikaisempaan laskentamalliin verrattuna tukevat kaikkien eri tutkimusvaiheiden havainnot. Suuremmalla otannalla sekä haastatteluissa, että määrällisessä analyysissä ehdotusta olisi varmasti voinut tarkentaa vielä entisestään. Erityisesti kokoluokkien määrittämistä voisi olla mahdollista tarkentaa selvittämällä eri tilaajien hankkeiden keskimääräisiä kokoluokkia. Ehdotuksen hankkeiden kokoluokkien määrittelemisen apuna on käytetty nykyistä Väyläviraston ohjeistusta, asiantuntijahaastatteluita sekä tutkimuksen määrällisessä analyysissä käytettyä aineistoa. Laskentamallia ei myöskään ole yritetty soveltaa sellaisille kokoluokille, joille ei ole saatu tutkimuksen perusteella tarpeeksi näyttöä muutosehdotusten tekemiseksi. Suurissa kokoluokissa hanketehtävien osuuden laskemisesta hankkeen kokonaiskustannuksista ei saatu tarpeeksi viitteitä muutosehdotusten tekemiseksi kyseisissä kokoluokissa.

6.3 Tulosten luotettavuuden arvioiminen

Tutkimustuloksia voidaan arvioida validiteetin ja reliabiliteetin avulla. Validiteetilla arvioidaan miten hyvin käytetty tutkimusmenetelmä mittaa tutkittavaa ilmiötä ja sen ominaisuuksia. Reliabiliteetin avulla puolestaan arvioidaan mittaustulosten toistettavuutta ja ei-sattumanvaraisuutta.

Tutkimus on rakenteelliselta validiteetiltaan yleisesti hyvä. Kirjallisuustutkimuksessa on hyödynnetty laajasti sekä kansallisia että kansainvälisiä lähteitä. Haastattelujen validiteettia heikentää hieman asiantuntijoiden organisaatioiden erilaiset kokoluokat. Pienemmistä yrityksistä ei juurikaan tavoitettu haastateltavia henkilöitä. Arvioinnissa auttaisi myös tilastollinen tieto Suomessa yleisesti toteutettavien infrahankkeiden kokoluokista. Kirjallisuustutkimuksen ja haastattelujen lisäksi on hyödynnetty myös määrällisen aineiston analyysiä. Eri tutkimusmetodien havaintojen välillä ei juurikaan löytynyt ristiriitoja, joka parantaa tulosten luotettavuutta. Haastattelujen tuloksien perusteella päätettiin keskittyä enemmän hanketehtävien analysointiin kuin mittakaavaetujen vaikutukseen yksittäisiin rakennusosiin. Jälkikäteen voidaan sanoa, että kirjallisuuskatsaukseen olisi ollut hyvä sisällyttää enemmän urakoitsijan hanketehtäviä koskevaa tutkimusta. Toisaalta kirjallisuuskatsauksessa käsitellyt mittakaavaedut ja niiden esiintyminen rakennushankkeissa koskevat myös hanketehtäviä. Tutkimusaineiston keruu oli tarkasti suunniteltu ja suunnitelmassa pysyttiin koko tutkimuksen ajan.

Tutkimuksen reliabiliteettia voidaan pitää hyvänä. Tuloksia voidaan pitää luotettavina ja toistettavina sillä eri tutkimusmetodien havainnot tukevat toisiaan. Lisäksi aikaisempi aihepiirin yhdenmukainen tutkimus tukee tämän työn tuloksia. On kuitenkin syytä huomioida, että infrahankkeen kustannuksiin vaikuttavat useat tekijät kuten myös tässä työssä on havaittu. Haastatteluissa todettiin, että infrahankkeet kuten myös muut rakennushankkeet ovat usein ominaisuuksiltaan ainakin osittain ainutlaatuisia ja pelkän hankkeen koon perusteella on hyvin hankala tehdä johtopäätöksiä hankkeen kustannuksista. Tästä syystä Ihku-laskentapalvelussa pyritäänkin huomioimaan eri kustannuksiin vaikuttavat tekijät esim. toteutusympäristön, hanketyypin ja kokoluokan sekä yksittäisten rakennusosien vaihtoehtojen avulla.

6.4 Ehdotetut jatkotutkimukset ja loppupohdinta

Mittakaavaetuja esiintyy selkeästi sekä koko rakennusalalla, että yksittäisissä rakennushankkeissa. Mittakaavaetujen saavuttamiseen vaikuttaa kuitenkin moni tekijä kuten työmaan olosuhteet, työmenetelmät ja materiaalit sekä suunnitteluratkaisut. Monesta vaikuttavasta tekijästä johtuen yleistä kaavaa mittakaavaetujen huomioimiseen hankkeen koon perusteella on todella haastavaa. Parhaaseen mahdolliseen tulokseen päästään varmasti Ihku-laskentapalvelun tavalla huomioida määrät, olosuhteet ja mahdollisesti muut työsaavutuksiin ja kustannuksiin vaikuttavat tekijät rakennusosatasolla. Koska infrapuolella ei ole olemassa samankaltaista kirjallisuutta työsaavutuksista kuin talonrakennuspuolella eri muuttujien vaikutuksia rakennusosien kustannuksiin olisi hyvä tutkia ainakin kustannusvaikutuksiltaan merkittävimpien rakennusosien osalta vielä tarkemmin. Julkista ajantasaista kirjallisuustietoa ei ole saatavilla, joten nykyiset työsaavutukset perustuvat asiantuntija-arvioihin. Lisäksi työsaavutuksissa pitäisi huomioida suoritemäärän ja olosuhteiden vaikutukset. Infra-alalla olisi varmasti käyttöä samantyyliselle kirjallisuudelle kuin talopuolella vuosittain päivitettävälle Rakentamisen tuotantotiedosto RATU:lle, joka sisältää esimerkiksi työmenekkitietoa.

Lisäksi myös tässä tutkimuksessa käsiteltyä aihetta urakoitsijan hanketehtävistä olisi syytä tutkia tarkemmin. Ihku-allianssissa on toteutettu aiheesta ammattikorkeakoulun opinnäytetyö mutta aihe vaatisi edelleen lisätutkimusta. Tutkimusta tarvittaisiin erityisesti siitä mitkä tekijät vaikuttavat urakoitsijoiden hanketehtäviin ja miten urakoitsijoiden hanketehtävien sisältö muuttuu esimerkiksi hankkeen sijainnin, keston ja koon perusteella. Erityisesti tarkempi tieto väliaikaisten liikennejärjestelyjen huomioimisesta kustannuslaskennassa olisi tärkeää. Joissain tapauksissa hanketehtävien jaottelua saattaisi olla tarvetta tarkentaa esimerkiksi väliaikaisten liikennejärjestelyjen osalta. Lisäksi haastatteluissa nousi esille työmaan

logistiikan huomioiminen kustannusarviota tehdessä, jota voisi myös tutkia tarkemmin. Yleisesti Ihku-laskentapalvelulla tulisi laskea lisää kaikenkokoisia hankkeita laskentalogiikan testaamista ja jatkokehittämistä varten.

Yleisesti koko infra-alalla olisi tärkeä tarkentaa mittakaavaetujen hyödyntämisen mahdollistamista hankkeissa tuottavuuden parantamiseksi. Tällä hetkellä mittakaavaetujen hyödyntämistä edistetään vauhdilla talopuolella erilaisten esivalmisteisten moduulien, elementtien ja muottijärjestelmien avulla. Täysin samaa intoa ei ole infrapuolella havaittavissa, mikä näkyy esimerkiksi siltatöissä, joissa muotit tehdään vielä pääosin paikan päällä työmaalla puutavarasta. Hyödyntämällä tehokkaasti esivalmisteisia komponentteja olisi mahdollista lyhentää varsinaista hankkeen rakentamiseen kuluvaa aikaa. Aikasidonnaisuus on yksi merkittävimpiä urakoitsijan hanketehtäviin vaikuttavia tekijöitä. Työvoimakustannusten on arvioitu olevan jopa 30–50 %:a koko hankkeen rakentamiskustannuksista. Rakentamiseen käytettävää aikaa lyhentämällä on siis mahdollista saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä.

Mittakaavaetujen hyödyntämistä on mahdollista edistää ainakin erilaisilla tyyppiratkaisuilla ja urakoitsijoiden sekä suunnittelijoiden välisellä kommunikaatiolla. Erilaisia tyyppiratkaisujen mahdollisuuksia tulisi tutkia edelleen. Tehokkaan työskentelyn mahdollistamiseksi myös suunnitelmaratkaisujen rakennettavuuteen olisi panostettava. Lisäksi uskon, että urakoitsijoilla olisi mahdollista parantaa työn sujuvuutta monella eri tapaa kuten esimerkiksi tehokkaammalla työmaasuunnittelulla, jolla vähennetään turhaa siirtymiin käytettävää aikaa ja työn keskeytyksiä työkaluja ja materiaaleja haettaessa.

Jo osittain käynnissä oleva jatkotutkimusaihe liittyy hankkeen koko- ja olosuhdetekijöiden vaikutuksen huomioimiseen rakennusosien kustannuksissa. Hankkeen koko- ja olosuhdetekijöiden vaikutusta ja vaikutusten huomioimista rakennusosien kustannuksiin työstetään eteenpäin Ihku-allianssissa diplomityön tutkimuksen ulkopuolella.

Lähdeluettelo

Aaltola, J. & Valli, R. 2010. Ikkunoita tutkimusmetodeihin I. 3. painos, Juva, Suomi: PS-kustannus. 261 s. ISBN 978-952-451-457-6

AASHTO 2013. Practical Guide to Cost Estimating. First edition. Washington, DC, USA: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 215 s. ISBN 978-1-68015-226-5 (sähköinen)

Abdul Kadir, M., Lee, W., Jaafar, M., Sapuan, S. & Ali, A.A.A. 2005. Factors affecting construction labour productivity for Malaysian residential projects. Structural Survey. [Verkkolehti] Vol. 23:1. S. 42–54. [Viitattu 18.12.2020]. Saatavissa https://www.researchgate.net/publication/235321865_Factors_affecting_construction_labour_productivity_for_Malaysian_residential_projects

Africon 2008. Unit Costs of Infrastructure Projects in Sub-Saharan Africa. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 19.12.2020]. Saatavissa: https://www.eu-africa-infrastructure-tf.net/attachments/library/aicd-background-paper-11-unit-costs-summary-en.pdf

Ahonen, A., Ali-Yrkkö, J., Avela, A., Junnonen, J-M., Kulvik, M., Kuusi, T., Mäkäräinen, K. & Puhto, J. 2020. Rakennusalan kilpailukyky ja rakentamisen laatu Suomessa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:24. ISBN 978-952-287-926-4 (sähköinen)

Ahonen, A., Pöyry, L., Pääkkönen, J. & Ryhänen, R. (2008). Rakennusalan markkinoiden toimivuus – Ongelma-alueita ja edistämisen mahdollisuuksia. Kilpailuviraston selvityksiä 1/2008. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 11.4.2021]. Saatavissa: https://www.kkv.fi/globalassets/kkv-suomi/julkaisut/selvitykset/2008/kivi-selvityksia-1-2008-rakennusalan-markkinoiden-toimivuus.pdf

Alinaitwe, H.M., Mwakali, J.A. and Hansson, B. 2007. Factors affecting the productivity of building craftsmen-studies of Uganda. Journal of Civil Engineering and Management. [Verkkolehti]. Vol: 13:3 S. 169-176. [Viitattu 18.12.2020]. Saatavissa: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13923730.2007.9636434

Anderson, S., Damnjanovic, I., Nejat, A., & Ramesh, S. (2009). Synthesis on construction unit cost development: technical report. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 7.11.2020]. Saatavissa: https://www.semanticscholar.org/paper/Synthesis-on-construction-unit-cost-development-%3A-Anderson-Damnjanovic/83496a9da43a8fb51ef5f53ba91d74b49cb89b7e

Arai, K. & Morimoto, E. 2019. The Construction Industry and (Dis)Economies of Scope: Empirical Research in the Hokkaido Procurement Auction. J Ind Compet Trade. [Verkkolehti] Vol: 19. S. 281–292. [Viitattu 29.11.2020]. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/s10842-018-0285-4.

Ariffin, S., Sulaiman, S., Mohammad, H., Siti Khalijah, Y & Yunus, R. 2016. Factors of economies of scale for construction contractors. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 4.12.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/303658044_FACTORS_OF_ECONOMIES_OF_SCALE_FOR_CONSTRUCTION_CONTRACTORS

Bledsoe, J.D. 1992. Successful Estimating Methods: From concept to bid. R.S. Means Construction Consultants & Publishers, Kingston. 300s. ISBN 0876292163

Canback, S., Samouel, P. & Price, D. 2006. Do Diseconomies of Scale Impact Firm Size and Performance? A Theoretical and Empirical Overview. Icfai Journal of Managerial Economics. [Verkkolehti] Vol: 4:1. S. 27–70. [Viitattu 4.12.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/5105675_Do_Diseconomies_of_Scale_Impact_Firm_Size_and_Performance_A_Theoretical_and_Empirical_Overview

Carvalho, P & R, C, Marques. (2016) Estimating size and scope economies in the Portuguese water sector using the Bayesian stochastic frontier analysis. Science of The Total Environment. [Verkkolehti]. Vol: 544. S. 574-586. ISSN 0048-9697. [Viitattu 11.4.2021]. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.169.

Chandler, Jr., Alfred D., and Alfred D., Jr. Chandler. 1994. Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism. USA: Harvard University Press. 760s. ISBN 0674029380

Choudhry, R. 2017. Achieving safety and productivity in construction projects. Journal of Civil Engineering and Management [Verkkolehti]. Vol: 23:2. S. 311-318. [Viitattu 13.12.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/284750481_Achieving_safety_and_productivity_in_construction_projects

Dai, J., Goodrum, P.M. & Maloney, W.F. 2007. Analysis of craft workers' and foremen's perceptions of the factors affecting construction labour productivity. Construction Management and Economics. [Verkkolehti] Vol: 25:11. S. 1139-1152. [Viitattu 19.12.2020]. Saatavissa https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01446190701598681

Damnjanovic, I., Anderson, S., Wimsatt, A., Reinschmidt, K.F., & Pandit, D. 2009. Evaluation of Ways and Procedures to Reduce Construction Cost and Increase Competition. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 20.12.2020]. Saatavissa: https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-Ways-and-Procedures-to-Reduce-Cost-Damnjanovic-Anderson/2c7ae501819fdfffbf12889ce999c03bd4989e44

Dollery, B., Byrnes, J., & Crase, L. 2008. Local government amalgamation: A conceptual analysis population size and scale economies in municipal service provision 1. Australasian Journal of Regional Studies. [Verkkolehti]. Vol: 14:2. S. 167-175. ISSN: 1324-0935. [Viitattu 21.11.2020]. Saatavissa: https://www.semanticscholar.org/paper/LOCAL-GOVERNMENT-AMALGAMATION%3A-A-CONCEPTUAL-SIZE-IN-Dollery-Byrnes/b9f499cc5d9b5e719e5d2bfceaa2bbea0860f32f

Dollery, B. & Fleming, E. 2006. A Conceptual Note on Scale Economies, Size Economies and Scope Economies in Australian Local Government, Urban Policy and Research. [Verkkolehti] Vol: 24:2. S. 271–282. [Viitattu 22.11.2020]. Saatavissa: DOI: 10.1080/08111140600704111

Dozzi, S. P. & AbouRizk, S. M. 1993. Productivity in construction, Institute for Research in Construction, National Research Council, Ottawa, ON, Canada. 44s. ISBN 0-662-21134-0

Enshassi, A., Mohamed, S., Mustafa, Z.A. & Mayer, P.E. 2007. Factors affecting labour productivity in building projects in the Gaza Strip. Journal of Civil Engineering and Management. [Verkkolehti]. Vol: 13:4. S. 245-254. [Viitattu 13.12.2020]. Saatavissa:

https://www.researchgate.net/publication/330404232_Factors_affecting_labour_productivity_in_building_projects_in_the_Gaza_strip

European Comission. 1997. Economies of Scale: Impact on competition and scale effects. Luxembourg. ISBN 92-827-8804-0.

Government of South Australia, Department of Planning, Transport and Infrastructure. Estimating Manual Transport Infrastructure Projects EST 600. Version B. [Verkkojulkaisu] [Viitattu. 18.12.2020]. Saatavissa: https://www.dpti.sa.gov.au/__data/assets/pdf_file/0003/173532/Estimating_Manual.pdf

Gruneberg S.L. (1997) Introduction to the Economics of Construction. In: Construction Economics. Macmillan Building and Surveying Series. Lontoo, Iso-Britannia. https://doi.org/10.1007/978-1-349-13998-9_1

Guhathakurta, S. & Yates, J. 1993 International labour productivity. Cost Engineering Journal. [Verkkolehti]. Vol: 35:1. S. 15–25. [Viitattu 13.12.2020]. Saatavissa: https://search.proquest.com/docview/220414697/ED443049C40F4BFDPQ/1

Hasan, A., Baroudi, B., Elmualim, A. & Rameezdeen, R. 2018. Factors affecting construction productivity: a 30-year systematic review. Engineering, Construction and Architectural Management. [Verkkolehti]. Vol: 25:7. S. 916–937. [Viitattu 13.12.2020]. https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2017-0035

Hirsijärvi, S. & Hurme, H. 2008. Tutkimushaastattelu Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki, Suomi: Gaudeamus Helsinki University Press. 213 s. ISBN 978-952-495-073-2

Hughes, R. & Thorpe, D. 2014. A review of enabling factors in construction industry productivity in an Australian environment. Construction Innovation. [Verkkolehti]. Vol: 14:2. S. 210-228. [Viitattu 18.12.2020]. Saatavissa: https://www.semanticscholar.org/paper/A-review-of-enabling-factors-in-construction-in-an-Hughes-Thorpe/2f8517321c50b0904aeed1f6296f2cacd0e8ed61

Ibrahim, M. 2013. Contractors perspective toward factors affecting labor productivity in building construction. Engineering, Construction and Architectural Management. [Verkkolehti]. Vol: 20:5. S. 446-460. [Viitattu 18.12.2020]. Saatavissa: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ECAM-08-2011-0074/full/html

Jarkas, A.M. 2015. Factors influencing labour productivity in Bahrain's construction industry. International Journal of Construction Management. [Verkkolehti]. Vol: 15:1. S. 94–108. [Viitattu 18.12.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/277656107_Factors_influencing_labour_productivity_in_Bahrain's_construction_industry

Jarkas, A.M. & Bitar, C.G. 2012. Factors affecting construction labor productivity in Kuwait. Journal of Construction Engineering and Management. [Verkkolehti]. Vol: 13:7. S. 811–820. [Viitattu 19.12.2020]. Saatavissa: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000501

Jarkas, A.M. & Radosavljevic, M. 2013. Motivational factors impacting the productivity of construction master craftsmen in Kuwait. Journal of Management in Engineering. [Verkkolehti]. Vol: 29:4. S. 446–454. [Viitattu 19.12.2020]. Saatavissa: https://www.semanticscholar.org/paper/Motivational-Factors-Impacting-the-Productivity-of-Jarkas-Radosavljevic/8d7795531eedf8e8ac97be6601e77ec6b7f69897

Kankainen, J. & Junnonen, J. 2001. Rakennuttaminen. Helsinki, Suomi: Rakennustieto. 100 + 52 s. ISBN 978-952-267-097-7.

Kasanen, E., Lukka, K. & Siitonen, A. 1993 The Constructive Approach in Management Accounting Research. Journal of Management Accounting Research. [Verkkolehti]. Vol: 5. S. 243–264. ISSN 1049-2127. [Viitattu 30.9.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/305387423_The_constructive_approach_in_management_accounting_research

Kazaz, A., Manisali, E. & Ulubeyli, S. 2008. Effect of basic motivational factors on construction workforce productivity in Turkey. Journal of Civil Engineering and Management. [Verkkolehti]. Vol: 14:2. S. 95–106. [Viitattu 20.12.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/228673439_Effect_of_basic_motivational_factors_on_construction_workforce_productivity_in_Turkey

Kostnadsestimering av veg- og jernbaneprosjekter, Rapport fra arbeidsgruppen. 2016. [Verkkojulkaisu] [Viitattu 14.11.2020]. Saatavissa https://www.regjeringen.no/contentassets/3717bb5a66ac4a8fb8fcbbfed5658a77/kostnadsestimering-av-veg--og-jernbaneprosjekter.pdf

Kivilä, J., Martinsuo, M. & Vuorinen, L. Sustainable project management through project control in infrastructure projects. 2017. International Journal of Project Management. [Verkkolehti]. Vol: 35:6. S. 1167–1183. ISSN 0263-7863. [Viitattu 29.10.2020]. Saatavissa: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263786317301886

Liikennevirasto. 2011. Fore-palvelu väylähankkeiden kustannushallinnassa, versio 1.0. Liikenneviraston ohjeita 26/2011. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.10.2020]. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-26_fore-palvelu_vaylahankkeiden_web.pdf ISBN 978-952-255-082-8 (sähköinen)

Liikennevirasto. 2013. Väylähankkeiden kustannushallinta. Liikenneviraston ohjeita 46/2013. 40 + 8 s. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2020]. Saatavissa https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-46_vaylahankkeiden_kustannushallinta_web.pdf ISBN 978-952-255-398-0 (sähköinen)

Lindholm, M. 2009. Kustannushallinta rakennushankkeessa. Helsinki, Suomi: Suomen Rakennusmedia oy. 56 s. ISBN 978-952-5785-00-5.

Lindholm, M. & Junnonen, J-M. 2012. Infrahankkeen tuotannonhallinta. Tampere, Suomi: Suomen Rakennusmedia Oy. 156 s. ISBN 978-952-269-065-4.

Liu, M. & Ballard, G. 2008. Improving labor productivity through production control. Proceedings of the 6 th Annual Conference of International Group for Lean Construction, Manchester, United Kingdom. [Verkkojulkaisu]. S. 657–666. [Viitattu 4.12.2020]. Saatavissa:

https://www.researchgate.net/publication/290098363_Improving_labor_productivity_through_production_control

Lukka, K. 2000. The Key Issues of Applying the Constructive Approach to Field Research. Management Expertise for the New Millenium. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration. [Verkkolehti]. Vol: A-1. S. 113–128. [Viitattu 30.9.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Kari-Lukka/publication/281549256_The_key_issues_of_applying_the_constructive_approach_to_field_research/links/5c99c7a992851cf0ae981da0/The-key-issues-of-applying-the-constructive-approach-to-field-research.pdf

Malyusz, L & Varga, A. 2016. An Estimation of the Learning Curve Effect on Project Scheduling with Working Days Calculation. Periodica Polytechnica Architecture. [Verkkolehti]. Vol: 47. S. 104–109. [Viitattu 6.12.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/313228520_An_Estimation_of_the_Learning_Curve_Effect_on_Project_Scheduling_with_Working_Days_Calculation

Malyusz, L & Varga, A. 2017. An Estimation of the Learning Curve Effect on Project Scheduling with Calendar Days Calculation, Procedia Engineering. [Verkkolehti]. Vol: 196. S. 730–737. [Viitattu 6.12.2020]. Saatavissa: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817331211

Mengistu, M., & Quezon, E. & Kebede, G. (2016). Assessment of Factors Affecting Labor Productivity on Road Construction Projects in Oromia Region, Bale Zone. International Journal of Scientific and Engineering Research. [Verkkolehti]. Vol: 7. S. 899–910. [Viitattu 13.12.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/317661502_Assessment_of_Factors_Affecting_Labor_Productivity_on_Road_Construction_Projects_in_Oromia_Region_Bale_Zone

Meyer, M. & Lerhnerd, A. 1997 The Power of Product Platforms - Building Value and Cost Leadership, The Free Press, ISBN 0-684-82580-5

Mittelstaedt, J., Ward, W. & Nowlin, E. 2006. Location, industrial concentration and the propensity of small US firms to export: Entrepreneurship in the international marketplace, International Marketing Review. [Verkkolehti]. Vol: 23:5. S. 486–503. [Viitattu 22.11.2020]. Saatavissa: https://doi.org/10.1108/02651330610703418

Newman, D., Eschenbach, T. & Lavelle, J. 2004. Engineering economic analysis. Ninth edition New York, USA: Oxford University Press. ISBN 0-19-516807-0.

Nijkamp, P. & Ubbels, B. 1998. How reliable are estimates of infrastructure costs? A comparative analysis. 1999. International Journal of Transport Economics. [Verkkolehti] Vol: 26:1. S. 23–53. [Viitattu 14.11.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/4874062_How_reliable_are_estimates_of_infrastructure_costs_A_comparative_analysis

Panzar, J., & Willig, R. 1977. Economies of Scale in Multi-Output Production. The Quarterly Journal of Economics. [Verkkolehti]. Vol: 9:3. S. 481–493. [Viitattu 17.4.2021]. Saatavissa: https://doi.org/10.2307/1885979

Panzar, J. & Willig, R. 1981. Economies of Scope. The American Economic Review. [Verkkolehti]. Vol: 71:2. S. 268–272. [Viitattu 22.11.2020]. Saatavissa: https://www.jstor.org/stable/1815729

Project Management Institute. 2017. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). Sixth edition Newtown Square, PA, USA: Project Management Institute. ISBN 978-1-5231-1232-6 (sähköinen)

Proverbs, D., Holt, G., & Olomolaiye, P. 1998. A method for estimating labour requirements and costs for international construction projects at inception. Building and Environment. [Verkkolehti]. Vol: 34. S. 43–48. [Viitattu 26.12.2020]. Saatavissa: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132397000644

Qiao, Y., Fricker, J., Labi, S. & Mills, T. 2018. Bundling Bridge and Other Highway Projects: Patterns and Policies. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. [Verkkolehti]. Vol: 2672. S. 167–178. [Viitattu 4.12.2020]. Saatavissa: https://doi.org/10.1177/0361198118797804

Rakennusteollisuus. Nd. 1. Urakka-asiakirjat ja sopimukset. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2020]. Saatavissa: https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/jasenpalvelu/sahkoiset-julkaisut/tyomaakansio/tyomaakansio-1.pdf

Rakennustieto. 2015. Infra 2015 Rakennusosa- ja hankenimikkeistö määrämittausohje. Tampere, Suomi: Rakennustieto. 168 s. ISBN 978-952-267-082-3

Rakennustieto. 2018. Ratu KI-6033 Rakennushankkeen kustannushallinta. Talonrakennusteollisuus ry, Rakennustietosäätiö RTS. 117 s. ISBN 978-952-267-291-9

Rakennustieto. 2019. Ratu KI-6035 Rakennustöiden menekit 2020 e-kirja. Talonrakennusteollisuus ry, Rakennustietosäätiö RTS. 162 s. ISBN 978-952-267-326-8

Ramachandra, T., Geekiyanage, D. & Perera, S. (2017). Study on the application of economies of scale in the construction industry: The Sri Lankan perspective. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 29.11.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/320714931_STUDY_ON_THE_APPLICATION_OF_ECONOMIES_OF_SCALE_IN_THE_CONSTRUCTION_INDUSTRY_THE_SRI_LANKAN_PERSPECTIVE

Rapal Oy. N.d. Fore-kustannuslaskentaohjelmisto. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.11.2020]. Saatavissa: https://www.rapal.com/fi/infran-kustannuslaskentaohjelmisto

RIL 231-1-2006. 2006. Infrarakentamisen kustannushallinta tekstiosa. Helsinki, Suomi: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 63 s. ISBN 951-758-462-8.

Rivas, R., Borcherding, J., González, V. & Alarcón, L.F. 2011. Analysis of factors influencing productivity using craftsmen questionnaires: case study in a Chilean construction company. Journal of Construction Engineering and Management. [Verkkolehti]. Vol: 137:4. S. 312–320. [Viitattu 13.12.2020]. Saatavissa: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000274

Robles, G., Stifi, A., Ponz-Tienda, J. & Gentes, S. (2014). Labor Productivity in the Construction Industry -Factors Influencing the Spanish Construction Labor Productivity. International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering. [Verkkolehti]. Vol: 8. S. 999–1008. [Viitattu 12.10.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/267393245_Labor_Productivity_in_the_Construction_Industry_-Factors_Influencing_the_Spanish_Construction_Labor_Productivity-

Shutt, R. 1995. Economics for the Construction Industry. Pearson Education Limited. ISBN: 9780582229129

Siipo, J. Infrahankkeen hallinta – politiikkaa ja tekniikkaa. 2004. Helsinki: Tiehallinto, Tiehallinnon selvityksiä 16/2004, 82 s. ISSN 1457-9871. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2020]. Saatavissa https://julkaisut.vayla.fi/pdf/3200866nfrahankkeenhall.pdf

Smith, C. 1955. Survey of the Empirical Evidence on Economies of Scale. Business Concentration and Price Policy. [Verkkolehti]. S. 213–238. [Viitattu 20.11.2020]. Saatavissa: https://econpapers.repec.org/bookchap/nbrnberch/0961.htm

State of Queensland, Department of Transport and Main Roads. 2017. Project Cost Estimating Manual. Seventh Edition. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 4.12.2020]. Saatavissa: https://www.tmr.qld.gov.au/-/media/businf/techstdpubs/Project-delivery-and-maintenance/Project-Cost-Estimating-Manual/July-2017/PCEM7.pdf?la=en

Thomas, A.V. and Sudhakumar, J. 2013. Critical analysis of the key factors affecting construction labour productivity – an Indian perspective. International Journal of Construction Management. [Verkkolehti]. Vol: 13:4. S. 103–125. [Viitattu 13.12.2020]. Saatavissa: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15623599.2013.10878231

Thuesen, C. L. (2010). Leveraging Economy of Scale across Construction Projects by Implementing Coordinated Purchasing. In CIB Proceeding. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 29.11.2020]. Saatavissa: https://orbit.dtu.dk/en/publications/leveraging-economy-of-scale-across-construction-projects-by-imple

USDA Forest Service Northern Region Engineering. Cost Estimating Guide for Road Construction. 2020. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 19.12.2020]. Saatavissa: https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5279284.pdf

Vainio, T. & Nippala, E. 2013. Infrarakentaminen muutoksessa. Osa 1. Infrarakentamisen rakenne. 36 s. [Viitattu 14.11.2020]. Saatavissa https://projectsites.vtt.fi/sites/infra2030/www.vtt.fi/sites/infra2030/Documents/1_Infrarakentamisen_rakenne.pdf

Vegdirektoriatet. 2009. NPBM2009-Tema 5-Kostnadsestimering – Novapoint. [Verkkodojulkaisu]. [Viitattu 15.11.2020]. Saatavissa: http://ftp.novapoint.com/Webfiles/Documents/UserMeeting/2009/Tema5%20Kostnadsestimering.pdf

Vegdirektoratet, 2014. Håndbok R764 Anslagsmetoden. 57 s. ISBN: 978-82-7207-671-8 (sähköinen)

Virtanen, A. 2006. Konstruktiivinen tutkimusote: Miten koulutus ja elinkeinoelämän odotukset kohtaavat ammattikorkeakoulun opinnäytetöissä. Ammattikasvatuksen aikakauskirja.

OKKA-säätiö, Vol. 8:1. S. 46–52. [Viitattu 14.11.2020]. Saatavissa: https://akakk.fi/wp-content/uploads/Aikak_2006_1_lehti.pdf

Vister, M. 2014. Kalkylanalys av vägprojekt. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.11.2020]. Saatavilla http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:739728/FULLTEXT01.pdf

Väylävirasto. Nd. Liikenneväylien hankearviointi. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.11.2020]. Saatavissa: https://vayla.fi/suunnittelu/hankkeiden-suunnittelu/vaikutusten-arviointi/liikenne-vaylat

Väylävirasto. Nd. Ympäristövaikutusten arviointi. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.11.2020]. Saatavissa: https://vayla.fi/suunnittelu/hankkeiden-suunnittelu/vaikutusten-arviointi/ymparisto-vaikutukset

Woldesenbet, A., Jeong, H. & Oberlender, Garold. 2012. Daily Work Reports–Based Production Rate Estimation for Highway Projects. Journal of Construction Engineering and Management. [Verkkolehti]. Vol: 138. S. 481–490. [Viitattu 5.12.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/276174574_Estimating_Highway_Construction_Production_Rates_during_Design_Elements_of_a_Useful_Estimation_Tool

Xiong, Y., Fricker, J.D., & Labi, S. (2017). Bundling or Grouping Pavement and Bridge Projects: Analysis and Strategies. Transportation Research Record. [Verkkolehti]. Vol: 2613. S. 37–44. [Viitattu 4.12.2020]. Saatavissa: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2613-05

Zakeri, M., Olomolaiye, P., Holt, G. & Harris, F. 1996. A survey of constraints on Iranian construction operatives' productivity. Construction Management and Economics [Verkkolehti]. Vol: 14:5. S. 417–426. [Viitattu 13.12.2020]. Saatavissa: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/014461996373287

Haastattelut

Peisa, A. 2021. Partner. Vison Oy. Lapinrinne 3, 00100 Helsinki. Haastattelu 20.1.2021.

Kotala, T. 2021. Projektipäällikkö. Helsingin kaupungin liikennelaitos. Hämeentie 86, 00550 Helsinki. Haastattelu 27.1.2021.

Kurteshi, A. 2021. Tarjouspäällikkö. Destia Oy. Neilikkatie 17, PL 206 01301 Vantaa. Haastattelu 8.2.2021.

Korhonen, M. 2021. Tarjouslaskentapäällikkö. YIT Oy. Panuntie 11, PL 36 00620 Helsinki. Haastattelu 8.2.2021.

Sipiläinen, M. Yksikönjohtaja. YIT Oy. Panuntie 11, PL 36 00620 Helsinki. Haastattelu 8.2.2021.

Karjalainen, J. Johtaja. Destia Oy. Neilikkatie 17, PL 206 01301 Vantaa. Haastattelu 11.2.2021.

Suni, T. Laskentapäällikkö. Hyvinkään Tieluiska Oy. Harkkokatu 6, 05800 Hyvinkää. Haastattelu 18.2.2021.

Mäkinen, A. Laskentapäällikkö. YIT Oy. Panuntie 11, PL 36 00620 Helsinki. Haastattelu 22.2.2021.

Kari, A. Yrittäjä. AJR-Infra Oy. Ajulantie 32, 37800 Akaa. Haastattelut 24.2.2021 & 25.2.2021.

Liiteluettelo

Liite 1. Asiantuntijahaastatteluiden kysymykset. 4 sivua.
Liite 2. Haastateltavien henkilöiden viitteet tutkimuksessa. 1 sivu.

Liite 1. Haastattelukysymykset

Haastattelukysymykset
Diplomityö: Infrahankkeen koon vaikutus kustannuksiin.

Ensimmäinen osuus: Esittely ja hankkeen koon yleiset vaikutukset kustannuksiin

1. Kuka olet ja mikä on työasemasi ja taustasi?

2. Miten laajuus vaikuttaa kustannuksiin mielestäsi?
    a. Onko "pieni hanke" suhteessa kalliimpaa rakentaa?
    b. Onko "suuri hanke" suhteessa edullisempaa rakentaa?

3. Mihin hankkeen laajuus vaikuttaa erikokoisissa hankkeissa?

4. Miten hankkeen laajuuden voisi huomioida kustannusarviota laadittaessa?

5. Miten jakaisit infrahankkeet kustannushallinnan kannalta pieniin, keskikokoisiin ja suuriin hankkeisiin?

6. Mitkä ovat mielestäsi suurimmat osa-alueet, jonka kustannuksiin hankkeen koko tai rakennusosan suoritemäärät voivat vaikuttaa?

Toinen osuus: Hankkeen koon vaikutus rakennusosiin

1. Ihkussa on tunnistettu tiettyjä rakennusosia, joissa hankekoko vaikuttaa erityisesti, käydään lista nopeasti läpi ja katsotaan sieltä mitkä ovat sinun mielestäsi olennaisimmat rakennusosat.

Rakennusosia, joiden työsaavutukseen määrät vaikuttavat erityisesti

1321 Paalut (Teräsbetonipaalut, Teräsputkipaalut, porapaalut)
1413 Stabiloidut maarakenteet
1415 Lujitetut maarakenteet
1423 Pohjavedensuojaukset
1434.1 Sivu- ja niskaojat
1610 Maaleikkaukset
1620 Maakaivannot (putki, rumpu, silta, rakennus, massanvaihto)
1710 Kallioavoleikkaukset

1717 Irtilouhittu rakenne
1730 Kallioon louhittavat rakennus- ja siltakaivannot
1760 Maanalaiset kalliotilat
1810 Penkereet
2111 Suodatinkerrokset
2121 Jakavat kerrokset
2122 Eristyskerrokset ratarakenteissa
2123 Välikerrokset ratarakenteissa
2131 Sitomattomat kantavat kerrokset
2141 Sidotut päällysteet
2143 Ladottavat pintarakenteet
3110 Jätevesiviemärit
3120 Hulevesiviemärit
3130 Vesijohdot
4212.11 sillan välitukien teline- ja muottityöt
4212.12 Sillan välitukien raudoitustyöt
4212.14 Sillan välitukien betonointityöt

2. Vaikuttaako rakennusosan hintaan vain työsaavutuksen muuttuminen suoritemäärän mukaan, vai myös rakennusmateriaalin hinta?

3. Miten työsaavutus muuttuu?

4. Miten materiaalin hinta muuttuu?

5. Mikä on suoritemäärän raja-arvo, jonka jälkeen kustannukset alkavat muuttua?

6. Onko vielä jotain muita tapoja millä hankkeen koko voi vaikuttaa kustannuksiin, jotka tulisi huomioida?

7. Vaikuttaako rakennusyrityksen koko mittakaavaetujen saavuttamiseen?

8. Onko realistista huomioida jatkuva oppiminen projektien aikana kustannuslaskennassa?

9. Onko suuremmassa hankkeessa helpompi hyödyntää hankkeen sisäisiä maamassoja?

10. Minkäkokoisia tai tyyppisissä hankkeissa tämä olisi mahdollista?

11. Mitä esteitä näet rakennusallala skaalaetujen saavuttamisessa?
    a. Uniikit suunnitteluratkaisut?
    b. Useiden eri rakennusmateriaalien käyttö, jotka ajavat saman asian?

12. Muuta lisättävää?

Kolmas osuus: Projektin kustannusten korjauskertoimen käyttö

1. Oletko käyttänyt hankkeiden laskemiseen omia korjauskertoimia hankkeen koon tai rakennusosien määrien perusteella, vai onko yrityksessäsi jonkinlaiset ennalta määritellyt kertoimet?

2. Mihin kertoimet voisivat vaikuttaa?

3. Jos koko hankkeelle käytettäisiin samaa korjauskerrointa, minkä kertoimen antaisit suurelle ja pienelle hankkeelle (jos keskikokoinen hanke on 1,00)

Neljäs osuus: Urakoitsijan hanketehtävät

1. Vaikuttaako hankkeen koko myös urakoitsijan hanketehtäviin? Miten?
    a. Ihkussa huomioidaan hankekoon vaikutus urakoitsijoiden hanketehtävien suuruuteen

Urakoitsijan hanketehtävien laskenta Ihkussa tällä hetkellä:

	Toteutusympäristö			Kokovaikutus				
Hanketyyppi	Erittäin tiivis/tiivis	Rakennettu	Harvaan/rakentamaton	<0,5M	0,5-2M	2-5M	5-20M	>20M
Katu	0,15	0,1	0,1	0,02	0	0	0	0
Puisto	0,1	0,1	0,1	0,02	0	0	0	0
Silta	0,15	0,13	0,1	0,02	0	0	0	0
Tie	0,15	0,1	0,1	0,02	0	0	0	0
Moottoritie	0,15	0,1	0,1	0,02	0	0	0	0
Jk+pp tie	0,15	0,1	0,1	0,02	0	0	0	0
Rata	0,2	0,15	0,1	0,02	0	0	0	0
	plus	kate 10%						

- Toistaiseksi vain pienillä hankkeilla (<0,5 miljoonaa €) asetettu hanketehtävien suuruus 0,02 eli 2 prosenttiyksikköä suuremmiksi
- esimerkki
    - hanketyyppi katu ja rakennettu ympäristö

-
    - toteutusympäristön vaikutus → 0,10
- rakennusosien kustannukset 1 milj €
    - kokovaikutus → 0
- kate ja yleiskulut 10 % eli 0,10
- urakoitsijan hanketehtävät yhteensä
    - 0,10 + 0 + 0,10 = 0,20 = 20 %
    - eli 20 % * 1 milj € = 200 000 €
- urakoitsijan työmaatehtävät yhteensä
    - rakennusosien kustannukset + urakoitsijan hanketehtävät = 1,2 milj €

1. Jos urakoitsijan hanketehtäville (ns. käyttö- ja yhteiskustannukset (8,9) sekä yleiskulut ja kate) olisi erillinen kerroin, mikä se olisi suurelle ja pienelle hankkeelle?

2. Tässä tapauksessa omat kertoimet hanketehtäville, sekä omat kertoimet rakennusosittain

Liite 2. Haastateltavien henkilöiden viitteet tutkimuksessa

Nimi	Viite tutkimuksessa	Yritys	Tehtävänimike
Annina Peisa	H1	Vison Oy	Partner
Agim Kurteshi	H2	Destia Oy	Tarjouspäällikkö
Arto Kari	H3	AJR-Infra Oy	Yrittäjä
Arto Mäkinen	H4	YIT Oy	Laskentapäällikkö
Jouni Karjalainen	H5	Destia Oy	Johtaja
Timo Suni	H6	Hyvinkään tieluiska Oy	Laskentapäällikkö
Tomi Kotala	H7	Helsingin Kaupungin liikennelaitos	Projektipäällikkö
Miko Sipiläinen	H8	YIT Oy	Yksikönjohtaja
Markku Korhonen	H9	YIT Oy	Tarjouslaskentapäällikkö