

Huutokauppamekanismien arviointi infrastruktuurin korjausinvestointien hankinnassa

Toimeksiantaja: Pöyry Finland Oy
Yhteyshenkilö: Pekka Mild

Loppuraportti

Juha Kännö, Janne Junes, Sandra Törmä, Arjo Laukia

23.4.2010

Tiivistelmä

Julkisissa hankinnoissa liikkuu vuosittain paljon rahaa. Tämän työn taustalla ovat erityisesti investoinnit Suomen tieverkon ylläpitoon. Ylläpitotyöt kilpailutetaan alalla toimivien urakoitsijoiden kesken. Yksittäinen tarjouskilpailu voi koostua useasta erillisestä kohteesta, jotka esimerkiksi tieverkon kunnostushankkeessa voivat olla yksittäisiä tieosuuksia. Tässä tapauksessa on mahdollista pyytää tarjous, jossa jokaisesta kohteesta on annettava erillinen hinta, jolloin kilpailutettavat kohteet voidaan ostaa yhden sijaan useammalta urakoitsijalta. Nykyinen tapa on ostaa kaikki kohteet kattava urakka parhaan kokonaistarjouksen jättäneeltä urakoitsijalta. Alustavien laskelmien perusteella kilpailuttaja voi saada säästöjä jakamalla kilpailutettavat kohteet usean urakoitsijan kesken. Tämän projektin päämääränä oli selvittää, minkälaisia kustannussäästöjä voidaan saada jakamalla kilpailutettavat kohteet huutokauppamekanismien avulla.

Kutsumme kokonaisurakkamekanismiksi nykyistä tapaa hankkia tarjouskilpailun kaikki kohteet yhdeltä urakoitsijalta. Edullisin tapa hankkia urakat on ostaa jokainen kohde erikseen halvimman hinnan tarjonneelta urakoitsijalta. Todellisuudessa on kuitenkin toivottavaa rajoittaa muodostuvien urakoiden lukumäärää, koska urakoitsija eivät välttämättä halua tehdä liian pieniä urakoita, ja toisaalta urakoiden hallinnointi aiheuttaa kustannuksia tilaajalle. Projektissa tutkitaan toimeksiantajan pyynnöstä huutokauppamekanismeja, joissa muodostuvien urakoiden määrää voidaan rajoittaa urakoitsijoiden lukumäärärajoituksella, tai muodostuville urakoille voidaan asettaa minimihintaraja. Tutkittavat mekanismit ovat päätössääntöjä, joilla kohteet yritetään jakaa urakoitsijoille mahdollisimman tehokkaasti.

Projektissa kehitettiin Monte Carlo –simulointiin perustuva työkalu, jolla mekanismeja arvioitiin. Arvioinnissa käytetään tunnuslukuna *säästöpotentiaalia*, joka on tutkittavan mekanismin tuoma kustannussäästö verrattuna kokonaisurakkamekanismiin. Simulaatiossa tutkittiin eniten tapausta, jossa kaikkien urakoitsijoiden kaikista kohteista tarjoamat hinnat ovat normaalijakautuneet samalla odotusarvolla ja keskihajonnalla. Tämä on yksinkertaistettu malli tilanteesta, jossa kilpailevat urakoitsijat tasavahvoja ja heillä on samantyyppinen kustannusrakenne. Lisäksi tutkittiin tapauksia, joissa urakoitsijoilla on kilpailuetua tietyissä kohteissa, tai että kaikki kohteet eivät ole samanarvoisia.

Simulaatiot rajoittuivat tässä työssä vain yhden tarjouskilpailun tarkasteluun, kun ulkopuolisia tekijöitä oteta huomioon. Todellisuudessa urakoitsijoiden tekemiin tarjouksiin vaikuttavat lisäksi lukuisat hankalasti mallinnettavat tekijät, kuten urakoitsijan riskinottohalu, menneet ja tulevat tarjouskilpailut sekä epäsymmetrinen informaatio.

Simulointien keskeisin tulos on, että tiukoillakin rajoituksilla voidaan saada merkittävää säästöpotentiaalia. Urakoitsijoiden lukumäärärajoitusta tutkittaessa todettiin, että pienikin myönnytys, kuten siirtyminen nykyisestä yhden urakoitsijan mallista kahteen tai kolmeen urakoitsijaan, toisi säästöpotentiaalia. Vaikuttaa myös siltä, että mekanismien avulla saatava säästöpotentiaali lisääntyy selvästi huutokaupattavien kohteiden lukumäärän kasvaessa. Tämä johtuu siitä, että urakoitsijoiden väliset erot tasoittuvat, kun kohteita on enemmän. Kun kohteita on vähän, antaa kokonaisurakkamekanismi todennäköisemmin edullisimman ratkaisun. Sen sijaan tarjouskilpailuun osallistuvien urakoitsijoiden lukumäärän lisääminen ei näytä nostavan säästöpotentiaalia kovinkaan paljon.

Huutokauppamekanismien monimutkaisuutta rajoittaa se, että ne on voitava esittää yksinkertaisesti tarjouspyyntöasiakirjoissa. Tämä rajaa aidot optimointialgoritmit pois käypien mekanismien joukosta. Kilpailutettavat kohteet voitaisiin jakaa tässä työssä tutkittujen rajoitusehtojen mukaan optimaalisesti käyttämällä lineaarista ohjelmointia. Tutkittavilla mekanismeilla säästöpotentiaali on pienempi, tai parhaassa tapauksessa yhtä hyvä kuin optimi.

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
1.1	Taustat.....	1
1.2	Projektin päämäärä ja tavoitteet	1
1.3	Rajaukset	1
1.4	Raportin rakenne.....	1
2	Kirjallisuuskatsaus	2
3	Tutkittavat mekanismit	4
3.1	Asetetut vaatimukset	4
3.2	Kokonaisurakka	5
3.3	Rajoitukseton mekanismi	5
3.4	Urakoitsijoiden lukumäärärajoitus.....	6
3.5	Urakoiden hintarajoitus.....	6
3.6	Vertailumekanismi.....	7
3.7	Tasapelit	7
4	Simulaatiomalli.....	8
4.1	Säästöpotentiaali.....	8
4.2	Simulaatiomallin oletukset.....	8
4.2.1	Tarjousjakauma	8
4.2.2	Urakoitsijoiden käyttäytyminen	9
4.3	Pääasiallinen simulaatiomalli	9
4.4	Valintamekanismi lineaarisen ohjelmoinnin tehtävänä.....	9
4.5	Mallien verifiointi	10
5	Simuloinnin tulokset.....	10
5.1	Säästöpotentiaalın riippuvuus kohteiden ja urakoitsijoiden määrästä.....	10
5.1.1	Kohteiden lukumäärä	10
5.1.2	Urakoitsijoiden lukumäärä	11
5.2	Säästöpotentiaalın riippuvuus valintakriteereistä	12
5.2.1	Urakoitsijoiden lukumäärärajoitus.....	12
5.2.2	Urakoiden hintarajoitus.....	13
5.3	Herkkyysanalyysi odotusarvosta	15
5.4	Herkkyysanalyysi keskihajonnasta	16
5.5	Alueellinen kilpailuetu.....	16
5.6	Eriarvoiset kohteet	18

5.7	Tarjousjakauman validointi	19
6	Mekanismien analysointia.....	22
6.1	Urakoitsijoiden lukumäärärajoitus ja urakoiden hintarajoitus	22
6.2	Vertailumekanismi.....	25
7	Pelistrategioiden pohdinta	25
7.1	Huutokauppakierrosten riippumattomuus	25
7.2	Käytettävän mekanismin vaikutus säästöpotentiaaliin.....	26
7.3	Urakoitsijoiden ominaisuudet	27
7.4	Epäsymmetrinen informaatio	28
7.5	Pelistrategioista yleisesti	28
8	Yhteenvedo ja johtopäätökset	29
9	Lähteet.....	31
	Liite 1: Tarjouskilpailu ZOLP-tehtävänä.....	32
	Liite 2: Simulaatiomallin käyttöliittymä.....	33

Käytettäviä käsitteitä

huutokauppamekanismi, mekanismi	Päätössääntö, jolla tarjouskilpailun kohteet jaetaan tarjouskilpailuun osallistuneille urakoitsijoille
kohde	Tarjouskilpailussa kilpailutettava hyödyke. Urakoitsijoiden on annettava tarjouksessaan erillinen hinta jokaiselle mukana olevalle kohteella.
urakka	Yhden tai useamman kohteen muodostama joukko, joka tilataan yhdeltä urakoitsijalta
urakoitsija	Tarjouskilpailun osallistuja, joka pyrkii voittamaan itselleen kohteita
X/Y	Simulaatiotuloksissa käytetty notaatio urakoitsijoiden lukumäärärajoituksesta, esimerkiksi 3/5 tarkoittaa, että tarjouskilpailuun osallistuu 5 urakoitsijaa, joista enintään 3 valitaan.

1 Johdanto

1.1 Taustat

Julkisissa hankinnoissa liikkuu vuosittain paljon rahaa. Työn taustalla halu soveltaa huutokauppa-mekanismeja tarjouskilpailujen ratkaisemiseen kustannussäästöjen toivossa. Tämän työn taustalla ovat erityisesti julkishallinnon investoinnit Suomen tieverkon ylläpitoon. Yksi tarjouskilpailu voi koostua useasta erillisestä kohteesta, jotka esimerkiksi tieverkon kunnostushankkeessa voivat olla yksittäisiä tieosuuksia. Tässä tapauksessa on mahdollista pyytää tarjous, jossa jokaisesta kohteesta annetaan hinta erikseen, jolloin kilpailutettavat kohteet voidaan ostaa yhden sijaan useammalta urakoitsijalta. Nykyinen tapa on ostaa urakka parhaan kokonaistarjouksen jättäneeltä urakoitsijalta. Alustavien laskelmien perusteella kilpailuttaja voi saada säästöjä jakamalla kilpailutettavat kohteet usean urakoitsijan kesken. Hankintojen suuruusluokka huomioiden säästöt voivat olla huomattavia.

1.2 Projektin päämäärä ja tavoitteet

Tämän projektin päämääränä on selvittää, minkälaisia kustannussäästöjä voidaan saada huutokauppa-mekanismeilla, kun julkisia hankintoja kilpailutetaan.

Tavoitteet

- Toimeksiantajan hahmottelemien huutokauppa-mekanismien tuoman kustannussäästön arvioiminen simuloimalla
- Ryhmän oman huutokauppa-mekanismien suunnittelu ja sen tuoman kustannussäästön arvioiminen simuloimalla
- Tarjouskilpailuihin sovellettavien mallien etsiminen huutokauppa-teorian kirjallisuudesta
- Pelistrategioiden pohdinta tarjouskilpailussa
- Työkalun kehittäminen huutokauppa-mekanismien simulointia varten

1.3 Rajaukset

Simulaatiomallissa tarkastellaan yksittäistä tarjouskilpailua. Samalla oletetaan, että siihen eivät vaikuta mitkään ulkopuoliset tekijät. Urakoitsijoiden tekemien tarjouksien oletetaan olevan suoraan verrannollisia kohteesta koituviin kustannuksiin. Kohteiden hinnoittelulla ei siis vaikuttaa tarjouskilpailun lopputulokseen.

Luvussa 7 pohditaan peliteorian näkökulmasta tekijöitä, jotka todellisuudessa vaikuttaisivat tarjouskilpailuihin.

1.4 Raportin rakenne

Tässä raportissa esitetään projektin tulokset ja kerrotaan miten niihin päädyttiin. Luku 1 on johdanto, jossa esitetään projektin tausta ja tavoitteet. Luku 2 on huutokauppa-teorian kirjallisuuskatsaus. Luvussa 3 tarkennetaan vaatimukset projektissa käytettävällä mekanismille ja määritellään tutkittavat mekanismit. Luvussa 4 esitellään mekanismien tutkimista varten rakennettu simulaatiomalli. Luvussa 5 esitetään simulaatiomallilla saadut tulokset, joiden analyysia jatketaan luvussa 6. Simulaatiomallissa oletetaan tarjouskilpailun osallistujien käyttäytyvän varsin yksinkertaisella tavalla. Luvussa 7 pohditaan peliteorian lähtökohdista, kuinka tekijät, joita

simulaatiomallissa ei voitu ottaa huomioon, todellisuudessa vaikuttaisivat. Luvussa 8 esitetään projektin yhteenveto ja johtopäätökset.

2 Kirjallisuuskatsaus

Huutokauppa on myyntimekanismina erittäin vanha. Jo tuhansia vuosia sitten erilaiset tavarat ja palvelut vaihtoivat omistajaa huutokauppojen avulla. Näissä epätäydellisen informaation peleissä potentiaaliset ostajat tarjosivat myyjille omia hintojaan, joiden perusteella voittaja selvitettiin tietyn kaikille tiedossa olevan mekanismin avulla. Ajan kuluessa ja informaatioteknologian kehittyessä huutokauppamekanismit ovat kehittyneet ja niiden lukumäärä on moninkertaistunut. Perinteisten huutokauppamekanismien rinnalle on noussut monimutkaisempia mekanismeja, joiden joukosta myyjät voivat valita omaan tarkoitukseensa sopivan. Pohjimmiltaan huutokauppojen peruseriaate on kuitenkin pysynyt samana. Huutokauppoja on olemassa, koska myyjät harvoin tietävät potentiaalisten ostajien arvostuksia myytävän kohteen suhteen (Krishna, 2002). Huutokaupassa onkin kyse pelistä, jossa epävarmuuden vallitessa myyjät ja ostajat pyrkivät maksimoimaan saamansa hyödyn. Lopputuloksena myyjä saa maksimaalisen voiton ja huutokaupatun objektin se tarjoaja, jolle se on arvokkain.

Tämän tutkimuksen ymmärtämisen kannalta on tärkeätä esitellä pikaisesti erilaisia huutokauppamekanismeja lyhyen kirjallisuuskatsauksen avulla. Kirjallisuuskatsaus pyrkii valottamaan huutokauppojen peruseriaatteita ja muutamia tutkimuksen kannalta relevantteja mekanismeja. Se ei siis pyri olemaan kattava huutokauppamekanismien kuvaus vaan keskittyy antamaan lukijalle tutkimuksen kannalta tärkeää tietämystä huutokaupoista.

Vijay Krishnan (2002) kirja esittelee huutokauppojen peruseriaatteet, huutokauppojen suunnittelun ja toteutuksen, sekä käy läpi kattavasti yleisimmät huutokauppamekanismit. Hänen mukaansa huutokaupat voidaan jakaa karkeasti kahteen kategoriaan niiden avoimuuden tai huutokaupattavien kohteiden perusteella.

Avoimuuden perusteella huutokaupat voidaan jakaa *avoimiin* ja *suljettuihin* huutokauppoihin.

Avoimessa huutokaupassa tarjousten tekijöiden täytyy kerääntyä samaan paikkaan huutokauppaa varten, sillä tarjousten tekijät saavat informaatiota muiden tekemistä tarjouksista tai sillä hetkellä voittamassa olevasta tarjouksesta. Yleisin avoin huutokauppa on nousevan hinnan englantilainen huutokauppa, jossa tarjousten tekijät nostavat hintaa vuorotellen ja viimeisen, korkeimman, hinnan huutanut voittaa. (Krishna, 2002)

Suljetussa huutokaupassa kukin tarjoaja esittää suljetun tarjouksen myyjälle ja korkeimman hinnan tarjonnut taho voittaa. Käytetyn mekanismin perusteella voittaja maksaa tarjoamansa hinnan (ensimmäisen hinnan huutokauppa) tai toiseksi korkeimman tarjouksen mukaisen hinnan (toisen hinnan huutokauppa). (Krishna, 2002)

Lähes kaikki muut huutokauppamekanismit pohjautuvat näihin avoimen ja suljetun huutokaupan peruseriaatteisiin. Tarjouskierrosten määrän muuttaminen, aikarajoitteet, mahdollisuudet tarjouksentekijöiden yhteystyöhön ja monet muut ominaisuudet saattavat lisätä huutokauppojen monimutkaisuutta, mutta huutokaupat voidaan silti jakaa avoimiin tai suljettuihin. Tämän tutkimuksen kohdalla keskitymme suljettuihin huutokauppoihin, jotka soveltuvat julkishallinnon urakoiden jakamiseen parhaiten, koska ne mahdollistavat tarjousten tekemisen sitomatta tarjousten tekijöitä johonkin tiettyyn paikkaan tai aikaan.

Huutokaupat voidaan jakaa myös *yksittäisten kohteiden* ja *monien kohteiden* huutokauppoihin.

Yksittäisten kohteiden huutokaupassa myyjällä on yksi tuote tai palvelu, josta tarjoajat kilpailevat. Kohdetta ei voida jakaa ja huutokauppa päättyy, kun voittaja on selvillä. (Krishna, 2002)

Monen kohteen huutokaupassa tarjoajat kilpailevat enemmän kuin yhden kohteen saamisesta itselleen. Kohteet voidaan huutokaupata toisistaan riippumatta yksitellen tai yhtenä joukkona samanaikaisesti. Vaikka kohteet huutokaupattaisiinkin joukkona, ei voittaja, mekanismista riippuen, välttämättä saa kaikkia kohteita. (Krishna, 2002)

Tämän tutkimuksen kannalta mielenkiintoisimpia ovat monen kohteen huutokaupat, koska julkishallinnon tarjouskilpailuissa on lähes poikkeuksetta useita samankaltaisia kohteita, jotka täytyy jakaa jonkin tietyn mekanismin avulla niistä kilpaileville urakoitsijoille.

Keskitymme siis *suljettuihin monen kohteen huutokappoihin*, jonka mekanismeista *diskriminatoriset huutokaupat*, *Vickrey-huutokaupat* ja *kombinatoriset huutokaupat* sopivat parhaiten monen heterogeenisen kohteen, kuten julkishallinnon urakoiden, kauppaukseen.

Diskriminatorisessa huutokaupassa jokainen tarjoaja maksaa voittamiensa kohteiden mukaisen summan (Krishna, 2002). Tämä mekanismi on kohtalaisen yksinkertainen myyjän kannalta ja toimiikin pohjana tälle tutkimukselle. Tarjoajien kannalta tilanne on vaativa, sillä heidän tarvitsee ottaa huomioon voittamiensa kohteiden mahdolliset kombinaatiot ja arvostaa kukin yksittäinen kohde näiden perusteella (Leskelä, 2009). Rothkopf et al. (1998) kutsuvat tätä paljastusongelmaksi, jossa tarjoajat saattavat usein voittaa kohteita, joita eivät halunneet. Toisaalta tarjoaja saattaa maksaa ylihintaa tarjouksista, jotka tämä halusi voittaa. Tästä syystä diskriminatoriset huutokaupat ovat usein tehottomia (Leskelä, 2009). Tämä tehottomuus onkin yksi tämän tutkimuksen motiiveista; kuinka saada monen kohteen huutokaupamekanismi toimimaan tehokkaammin sekä myyjän että tarjoajan osalta?

Vickrey-huutokaupassa kunkin kohteen voittaja maksaa siitä kohteesta tehdyn korkeimman hävinneen eli toiseksi korkeimman tarjouksen. Vickrey-huutokauppa on siis toisen hinnan huutokauppa. Vickrey-huutokauppa jakaa kohteet tehokkaammin kuin diskriminatorinen huutokauppa, koska jokaisen tarjoajan kannattaa tarjota totuudenmukaisesti omien arvostustensa mukaan (todistus katso Krishna, 2002 s. 181–182). Toisaalta huutokauppa toimii joissain tilanteissa epäoikeudenmukaisesti siten, että se tarjoaja, joka on valmis maksamaan enemmän kohteista, joutuu loppujen lopuksi maksamaan vähemmän kuin muut. Vickrey-huutokaupan mekanismi on kohtalaisen yksinkertainen, joten se voisi tulla kysymykseen myös julkishallinnon huutokaupassa. (Krishna, 2002)

Kombinatorisissa huutokaupoissa tarjoajat eivät tee tarjouksia yksittäisistä kohteista vaan kohteiden kombinaatioista. Tällä tavoin tehty huutokauppa on teoriassa erittäin tehokas, sillä siinä tarjoajat voivat ottaa kuhunkin huutoon huomioon juuri sen kombinaation tuottaman hyödyn. Toisaalta voittajan selvittäminen on erittäin työlästä ja tarjousten määrä nousee kohteiden määrän noustessa eksponentiaalisesti. Mekanismina kombinatorinen huutokauppa olisi potentiaalisesti erittäin tehokas, mutta se ei täytä huutokaupamekanismin vaatimuksia yksinkertaisuuden osalta. Urakoitsijoiden täytyisi tehdä jokaisesta mahdollisesta kohteiden kombinaatiosta tarjous. Kohteiden määrän kasvaessa tarjousten määrä nousisi eksponentiaalisesti, mikä tulisi liian raskaaksi urakoitsijoille. Myös huutokaupan järjestäminen veisi suuret määrät resursseja ja se olisi laskennallisesti erittäin vaikea toteuttaa. Vaikka käytössä olisi Leskelän (2009) mainitsema QSM-järjestelmä (*Quantity Support Mechanism*), joka helpottaa urakoitsijoiden tarjousten tekemistä, olisi

kombinatorisen mekanismin implementointi silti liian raskasta. Tästä johtuen jätämme kombinatoriset huutokaupat tutkimuksen ulkopuolelle.

Yksi mahdollinen tapa etsiä mekanismeista olisi käyttää automaattista mekanismin suunnittelua (AMD), jossa mekanismi suunniteltaisiin niin että huutokaupan osapuolien, agenttien, ristiriitaiset päämäärät saataisiin tuottamaan parhaan mahdollisen sosiaalisen lopputuloksen eli suurimmat kokonaissäästöt (Sandholm, 2003). AMD on kuitenkin sen verran monimutkainen että sen toteutus veisi kohtuuttomasti resursseja verrattuna saavutettuihin säästöihin, vaikka se Sandholmin (2003) mukaan voisi hyvin soveltuakin julkisiin investointeihin.

3 Tutkittavat mekanismit

Tässä luvussa kuvaillaan työssä tarkasteltavat mekanismit. Ensiksi määritellään yleisiä vaatimuksia mekanismeille. Mekanismin toimintaperiaatteet kuvataan sanallisesti ja havainnollistetaan esimerkkitarjouksien avulla. Lopuksi pohditaan, miten tasapeliolosuhteet tulisi ottaa huomioon.

Kokonaisuutena, rajoitukseton mekanismi, urakoitsijoiden lukumäärärajoitus ja urakoiden hintarajoitus ovat toimeksiantajan ideoimia mekanismeja. Ryhmä kehitti lisäksi oman mekanismin, jota kutsutaan vertailumekanismissa.

Tavallisesti huutokauppateoria on kirjoitettu siitä näkökulmasta, että huutokaupassa ollaan myymässä kohteita huutajille, jolloin korkein tarjous voittaa. Tarjouskilpailuissa tilanne on käänteinen. Tarjouskilpailun eli huutokaupan järjestäjä ostaa kohteita, jolloin pienet tarjoukset ovat parhaita. Jatkossa oletetaan, että hinta on ainoa valintakriteeri.

3.1 Asetetut vaatimukset

Tarjouskilpailussa kilpailutetaan kerralla useita kohteita ja kohteista on kilpailemassa useita urakoitsijoita. Urakoitsijat jättävät tarjouksensa suljettuina, eli eri urakoitsijat eivät saa tietää toistensa tarjouksia. Tarjouskilpailuun osallistuvalla urakoitsijalla edellytetään tarjous jokaisesta kohteesta. Mikäli joukossa on kohde, jota urakoitsija ei halua voittaa missään tapauksessa, hän voi antaa kohteesta erittäin suuren tarjouksen. Tarjouskilpailun voittajat ratkaistaan yksikäsitteisesti annettujen tarjouksien perusteella ja urakoitsijoille maksetaan voitetuista kohteista pyydetty hinta.

Tarjouskilpailun ratkaisumekanismissa asetettiin väljät vaatimukset, jotka sen pitää toteuttaa. Tässä työssä ei tarkemmin oteta kantaa siihen, minkälaisia vaatimuksia hankintasäädökset asettavat.

Läpinäkyvyys. Ratkaisumekanismi on mahdollista täysin kuvata tarjouspyynnössä siten, että urakoitsijat voivat päätellä mihin lopputulokseen mekanismi johtaa annetuilla tarjouksilla. Toisin sanoen sekä tarjouskilpailun osallistujilla sekä järjestäjällä on molemmilla käytössään täydellinen informaatio mekanismin toiminnasta.

Riittävän yksinkertainen. Mekanismi on niin yksinkertainen, että sen toiminta on mahdollista ymmärtää pelkästään tarjouspyynnön ehtojen perusteella. Mekanismissa ei esimerkiksi kelpuuteta optimointitehtävää, jonka ratkaiseminen vaatii laajan teoreettisen taustan ymmärtämistä, koska kilpailun lopputuloksen oikeellisuuden osoittaminen vaatisi työläitä matemaattisia todistuksia.

Deterministisyys. Sattumalla ei ole vaikutusta lopputulokseen. Valintoja ei esimerkiksi tehdä arvalla. Mekanismi johtaa annetuilla tarjouksilla aina samaan lopputulokseen.

Ratkaisu löytyy aina. Mekanismilla saadaan aina ratkaistua tarjouskilpailu. Ei voi käydä niin, että yksi tai useampi kohde jäisi hankkimatta.

Ratkaisun yksikäsitteisyys. Mekanismin tuloksena saadaan vain ja ainoastaan yksi tapa jakaa kilpailutettavat kohteet urakoitsijoille.

3.2 Kokonaisurakka

Kun kohteet jaetaan yhtenä urakkana, saa yhteissummaltaan halvimman tarjouksen tehnyt urakoitsija kaikki kohteet. Tätä mekanismia käytetään nykyään muun muassa tieverkon ylläpitoon liittyvien tarjouskilpailuiden ratkaisemiseen. Tässä työssä muilla mekanismeilla saatuja hintoja verrataan tähän mekanismiin.

Taulukossa 1 on esitetty esimerkkitarjoukset. Esimerkissä on kolme urakoitsijaa ja neljä kohdetta. Urakoitsijan B tarjouksien summa on pienin, joten se voittaa koko urakan. Kokonaishinnaksi tulee siis 184.

Taulukko 1. Esimerkkitarjoukset ja huutokaupan ratkaiseminen

	Urakoitsija A	Urakoitsija B	Urakoitsija C
Kohde 1	48	50	55
Kohde 2	40	37	32
Kohde 3	10	12	15
Kohde 4	90	85	88
Summa	188	184	190

3.3 Rajoitukseton mekanismi

Jos kohteet jaetaan ilman rajoituksia, jaetaan jokainen kohde siitä halvimman tarjouksen tehneelle urakoitsijalle. Tällä mekanismilla saadaan pienin kokonaishinta. Kun kohteet jaetaan ilman rajoituksia, voi käydä hyvinkin niin, että jokainen tarjouskilpailuun osallistunut urakoitsija saa ainakin jonkin kohteista.

Taulukkoon 2 on merkitty vihreällä pienin tarjous jokaisesta kohteesta. Rajoituksettomalla mekanismilla urakoitsija A saa kohteet 1 ja 3, urakoitsija B saa kohteen 4 ja urakoitsija C kohteen 2. Kokonaishinnaksi tulee 175. Mikään mekanismi ei voi alittaa tätä hintaa.

Taulukko 2. Huutokaupan ratkaiseminen rajoituksettomalla mekanismilla.

	Urakoitsija A	Urakoitsija B	Urakoitsija C
Kohde 1	48	50	55
Kohde 2	40	37	32
Kohde 3	10	12	15
Kohde 4	90	85	88

3.4 Urakoitsijoiden lukumäärärajoitus

Tarjouskilpailun järjestäjä ilmoittaa tarjouspyynnössä maksimimäärän urakoitsijoita ($n \geq 2$), joiden kesken kohteet jaetaan. Aluksi esivalinnassa jokainen kohde merkitään siitä halvimman tarjouksen tehneelle urakoitsijalle. Seuraavaksi lasketaan jokaiselle urakoitsijalle tässä vaiheessa merkittyjen kohteiden tarjoukset yhteen. Jatkoon pääsevät ne n urakoitsijaa, joille on merkitty euromääräisesti eniten kohteita. Muille alun perin merkityt kohteet jaetaan näille n :lle urakoitsijalle katsomalla kenellä on halvin tarjous kustakin kohteesta. Jos esivalinnassa kohteita sai n tai alle n urakoitsijaa, ei muita toimia tarvita.

Esimerkissä halutaan maksimissaan kaksi urakoitsijaa. Taulukossa 3 on esitetty kohteiden jakaminen esivalinnassa. Vihreällä on merkitty halvin tarjous kustakin kohteesta. Urakoitsijoille A ja B on merkitty euromääräisesti eniten kohteita, joten ne pääsevät jatkoon.

Taulukko 3. Esivalinta käytettäessä urakoitsijoiden lukumäärärajoitusta

	Urakoitsija A	Urakoitsija B	Urakoitsija C
Kohde 1	48	50	55
Kohde 2	40	37	32
Kohde 3	10	12	15
Kohde 4	90	85	88
Merkittyjen tarjousten summa	58	85	32

Taulukossa 4 jakamatta jäänyt, alun perin C:lle merkitty kohde jaetaan B:lle, koska B:llä on siitä A:ta halvempi tarjous. Tämä on merkitty punaisella. Urakoitsija A saa siis kohteet 1 ja 3. Urakoitsija B saa kohteet 2 ja 4. Kokonaishinnaksi tulee 180.

Taulukko 4. Kohteiden jakautuminen käytettäessä urakoitsijoiden lukumäärärajoitusta

	Urakoitsija A	Urakoitsija B	Urakoitsija C
Kohde 1	48	50	55
Kohde 2	40	37	32
Kohde 3	10	12	15
Kohde 4	90	85	88
Voittaneiden tarjousten summa	58	122	0

3.5 Urakoiden hintarajoitus

Aluksi esivalinnassa jokainen kohde merkitään siitä halvimman tarjouksen tehneelle urakoitsijalle. Seuraavaksi lasketaan jokaiselle urakoitsijalle tässä vaiheessa merkittyjen kohteiden tarjoukset yhteen. Jatkoon pääsevät ne urakoitsijat, joilla kohteiden summa euroissa täyttää, eli on yhtä suuri

tai ylittää, määrätyn hintarajoituksen. Muille alun perin merkityt kohteet jaetaan näille urakoitsijoille, katsomalla kenellä on halvin tarjous kustakin kohteesta. Mekanismi siis estää euromääräisesti liian pienten urakoiden syntymisen.

Olkkoon hintaraja esimerkkitapauksessa 50. Tällöin mekanismin eteneminen voidaan katsoa edellisen kohdan taulukoista, sillä jatkoon pääsisivät urakoitsijat A ja B. Näille esivalinnassa merkittyjen kohteiden hintojen summa ylitti 50. Kokonaishinnaksi tulee sama 180.

3.6 Vertailumekanismi

Parivertailussa kohteet annetaan sille urakoitsijaparille tai yksittäiselle urakoitsijalle, jolla saadaan halvin hinta. Tämä tapahtuu käymällä kaikki urakoitsijoiden muodostamat parit läpi, siten että kohteet jaetaan parin sisällä halvemman tarjouksen tehneelle urakoitsijalle. Lisäksi lasketaan jokaisen urakoitsijan tarjousten summa. Näistä halvin urakoitsijapari tai yksittäinen urakoitsija valitaan. Valituksi tulee yksittäinen urakoitsija, vain jos sillä on halvin tarjous jokaisesta kohteesta.

Vastaavasti voidaan muodostaa kolmikkovertailu, nelikkovertailu ja niin edelleen. Esimerkiksi kolmikkovertailussa tutkitaan kaikki yksittäiset urakoitsijat, urakoitsijaparit ja urakoitsijakolmikot.

Taulukossa 5 on laskettu hinta kullekin urakoitsijaparille ja yksittäiselle urakoitsijalle. Urakoitsijapariksi valitaan A ja C. Urakoitsija A saa kohteet 1 ja 3. Urakoitsija B saa kohteet 2 ja 4. Kokonaishinnaksi tulee 178.

Taulukko 5. Huutokaupan ratkaiseminen parivertailulla

	A	B	C	A ja B	A ja C	B ja C
Kohde 1	48	50	55	48	48	50
Kohde 2	40	37	32	37	32	32
Kohde 3	10	12	15	10	10	12
Kohde 4	90	85	88	85	88	85
Summa	188	184	190	180	178	179

3.7 Tasapelit

Mekanismeja käytettäessä voi tulla erilaisia tasapelitilanteita. Mekanismin kuvauksissa tulisi kertoa, miten näissä tilanteissa toimitaan. Simuloinneissa tarjoukset arvotaan niin monen numeron tarkkuudella, että tasapeli on käytännössä mahdoton. Emme saaneet käyttöömmä todellista tarjousdataa, joten tasapelien todennäköisyyttä on vaikea arvioida.

Yksittäisen kohteen kohdalla tasapeli voi tulla seuraavissa tilanteissa:

- Rajoituksettomassa mekanismissa, urakoitsijoiden lukumäärärajoituksessa ja urakoiden hintarajoituksessa merkittäessä kohteita niistä halvimman tarjouksen tehneille
- Urakoitsijoiden lukumäärärajoituksessa ja urakoiden hintarajoituksessa jaettaessa kohteita jatkoon päässeiden urakoitsijoiden kesken
- Vertailumekanismilla jaettaessa kohteita urakoitsijakombinaation sisällä

Lisäksi tasapeli voi tulla:

- Kokonaisurakalla ja vertailumekanismeilla valittaessa voittajaa
- Urakoitsijoiden lukumäärärajoituksessa valittaessa jatkoon pääseviä urakoitsijoita

Tasapelit ovat todennäköisempiä yksittäisten kohteiden kohdalla kuin muissa tilanteissa. Yksittäisen kohteen kohdalla tasapeli voitaisiin ratkaista antamalla kohde sille urakoitsijalle, jolla muiden voitettujen kohteiden summa on suurempi. Toinen tapa olisi antaa kohde sille urakoitsijalle, jolla kaikkien tarjousten summa on pienempi (ts. urakoitsijalle, joka olisi parempi käytettäessä kokonaisurakkaa).

Parivertailussa valittaessa voittajaa voitaisiin tasapelin tullen valita se pari, jolla kohteet ovat jakautuneet euromääräisesti tasaisemmin parin kesken. Jos urakoitsijoiden lukumäärärajoituksessa valittaessa jatkoon pääseviä urakoitsijoita tulee tasatilanne, voidaan jatkoon valita urakoitsija, jolla kaikkien tarjousten summa on pienempi.

Näissäkin kriteereissä on mahdollista tulla tasapeli. Erilaisia tasapelinratkomiskriteerejä voi myös ketjuttaa, mutta silti on mahdollista päätyä edelleen tasapeliin. Tällaisen tasapelin tullen voidaan voittaja valita arvalla. Täytyy myös muistaa, että tasapeli voi tulla myös useamman kuin kahden urakoitsijan kesken.

4 Simulaatiomalli

Simulaatiomalli on työkalu, jotka kehitettiin mekanismien tutkimista varten. Tässä luvussa esitellään simulaation taustaoletukset ja kuvataan kehitetty työkalu. Lopuksi kerrotaan, miten on pyritty verifioimaan, että simulaatiomalli laskee oikein.

4.1 Säästöpotentiaali

Keskeinen tunnusluku mekanismien vertailussa on *säästöpotentiaali*, joka on tutkittavan mekanismin tuoma kustannussäästö verrattuna kokonaisurakkamekanismiin (eli tapaukseen, jossa yksi urakoitsija saa kaikki kohteet). Sekä tutkittavan mekanismin hinta että kokonaisurakkamekanismin hinta ovat satunnaismuuttujia.

4.2 Simulaatiomallin oletukset

4.2.1 Tarjousjakauma

Simulaatiomallissa oletetaan, että kohteista annettavat tarjoukset noudattavat normaalijakaumaa. Tarjousten absoluuttisilla arvoilla ei ole merkitystä tutkittavissa mekanismeissa, vaan kohteiden voittajat ratkeavat tarjousten keskinäisen suuruusjärjestyksen perusteella. Koska ainoastaan tarjousten erotukset merkitsevät, ei haittaa, että normaalijakaumasta voi teoriassa tulla negatiivisia arvoja. Jakauman odotusarvot voidaan valita mielivaltaisesti, koska ainoastaan odotusarvojen keskinäisillä suhteilla on merkitystä. Jakauman varianssia tarkastellaan aina suhteessa odotusarvoon.

Normaalijakauma ja sen ominaisuudet on yleisesti tunnettu, jonka vuoksi sen käyttäminen helpottaa simulaatiomallin ymmärtämistä. Vaihtoehtoisesti olisi voitu käyttää rajoittua jakaumaa kuten kolmio- tai PERT-jakaumaa, mutta silloin ongelmaksi olisi noussut ylä- ja alarajojen määrittäminen. Keskeisen raja-arvolauseen mukaan riippumattomien ja äärellisten satunnaismuuttujien keskiarvon jakauma lähestyy normaalijakaumaa, joten normaalijakauma kuvaa tarjousten erotuksia hyvin, kun tarjouksien lukumäärä on suuri.

4.2.2 Urakoitsijoiden käyttäytyminen

Kohteesta annettavien tarjousten oletetaan muodostuvan urakoitsijan omista kustannuksista sekä vakiokatteesta. Urakoitsijat eivät siis käytä mitään pelistrategioita, joilla he voisivat vaikuttaa tarjouskilpailun lopputulokseen.

4.3 Pääasiallinen simulaatiomalli

Työssä kehitettiin simulaatiomalliksi kutsuttu työkalu eri mekanismien tutkimista varten. Simulaatiomallin pohjana on Excel-laskentataulukko, johon syötetään tarjousjakaumat sekä muut parametrit. Taulukkoon on ohjelmoitu Excelin kaavoja käyttämällä luvussa 3 kuvattujen mallien toimintalogiikka. Logiikan ohjelmoinnissa ei käytetty VBA-koodia. Toteutus koostuu useasta välivaiheesta, jossa vertailujen ja loogisten operaattoreiden avulla päätellään, mitkä tarjouksista valitaan. Simulaatiomallin käyttöliittymä esitellään liitteessä 2. Simulointiin käytettiin Palisade Corporationin @RISK-ohjelmaa, joka on Exceliin integroitava, kaupallinen tuote. @RISK-ohjelmalla on helppo määrittellä tarjousjakaumat, ajaa Monte Carlo –simulaatioita sekä käsitellä tuloksia.

Simulaatiomalli ratkaisee tarjouskilpailun voittajat annettujen tarjousjakaumien (tai kiinteiden tarjousten) perusteella ja kertoo kokonaiskustannuksen jokaisella mekanismilla (Taulukko 6). Mekanismien tehokkuutta vertaillaan laskemalla *säästöpotentiaali*, joka prosentuaalinen säästö verrattuna kokonaisurakkamenetelmään.

Simulaatiomallissa voidaan valita, mitä rajoituksia tarjouksien jakamisessa käytetään. Siinä voi asettaa urakoitsijoiden lukumäärärajoituksen, urakoiden hintarajoituksen tai molemmat rajoitukset yhtäaikaisesti. Kokonaisurakan, rajoituksettoman mekanismin ja parivertailun kustannus lasketaan aina asetuksista riippumatta. Parivertailun laajentamista kolmikko-, nelikko- tai isompien kombinaatioiden vertailuksi ei voitu toteuttaa järkevästi Excelissä. Isompia vertailuja kombinaatioita on kuitenkin mahdollista simuloida seuraavassa kappaleessa esiteltävän lineaarisen ohjelmoinnin avulla.

Taulukko 6. Simuloidut mekanismit

1	Kokonaisurakka
2	Rajoitukseton mekanismi
3	Urakoitsijoiden lukumäärärajoitus
4	Urakoiden hintarajoitus
5	Parivertailu

4.4 Valintamekanismi lineaarisen ohjelmoinnin tehtävänä

Kappaleessa 3 kuvatuilla vaiheittaisilla mekanismeilla menetetään säästöpotentiaalia verrattuna siihen, että ratkaistaisiin tarjouskilpailu optimointitehtävänä ja jaettaisiin kohteet globaalim optimiratkaisun mukaisesti. Vaikka optimointitehtävää ei voisi käyttää kappaleessa 3.1 määriteltyjen vaatimusten takia tarjouskilpailun ratkaisumekanismina, on kuitenkin kiinnostavaa tietää, kuinka paljon säästöpotentiaalia menetetään. Mekanismit on mahdollista formuloida ZOLP-tehtäväksi (Zero-One Linear Programming), joka voidaan ratkaista esimerkiksi Branch and Bound -algoritmeilla.

Globaalin optimiratkaisun etsimistä varten ohjelmoitiin Matlab-rutiini, joka käyttää vapaan lähdekoodin Ip_solve –kirjastoa ZOLP-tehtävän ratkaisuun. Tehtävän formulointi on liitteessä 1.

4.5 Mallien verifiointi

Sekä Excel- että Matlab-simulaatiomallia testattiin skenaarioilla, joissa on pieni määrä urakoitsijoita ja kohteita, esimerkiksi 5x3. Lopputulos voitiin ratkaista kynällä ja paperilla, ja sitä verrattiin simulaatiomallin laskemaan tulokseen.

Excelissä laskuvaiheiden välissä on tarkistuslaskuja, joilla varmistetaan, että simulaatiomallin välitulokset ovat järkeviä: esimerkiksi kohteiden ja urakoitsijoiden määrät täsmäävät ja solujen arvot ovat sallittujen rajojen sisällä. Tarkistuslaskujen avulla pystyttiin ohjelmointivaiheessa helposti paikantamaan virheet kaavoissa. Niiden avulla tiedetään myös, jos simulaatio ajautuu poikkeuksellisten syötteiden takia virheelliseen tilaan.

5 Simuloinnin tulokset

Tässä luvussa esitellään simulaatioiden tulokset. Simulaation perustapauksessa kaikki tarjoukset noudattavat normaalijakaumaa odotusarvolla 100 ja keskihajonnalla 5. Käytetyt parametrien arvot mainitaan vielä erikseen jokaisen kuvaajan yhteydessä.

Säästöpotentiaalın lukuarvolla sinänsä ei ole suurta merkitystä, koska riippuu jakauman vapaasti valituista parametreista. Hyödyllisempää on tutkia miten säästöpotentiaali riippuu kohteiden ja urakoitsijoiden lukumäärästä sekä mekanismin rajoitusehdoista. Mikä kasvattaa/pienentää säästöpotentiaalia? Onko kasvu esimerkiksi lineaarista, vai muodostuuko konvekksi tai konkaavi käyrä?

Tässä luvussa ilmoitetaan simulaation parametrit kuvaajien yhteydessä seuraavin merkinnöin:

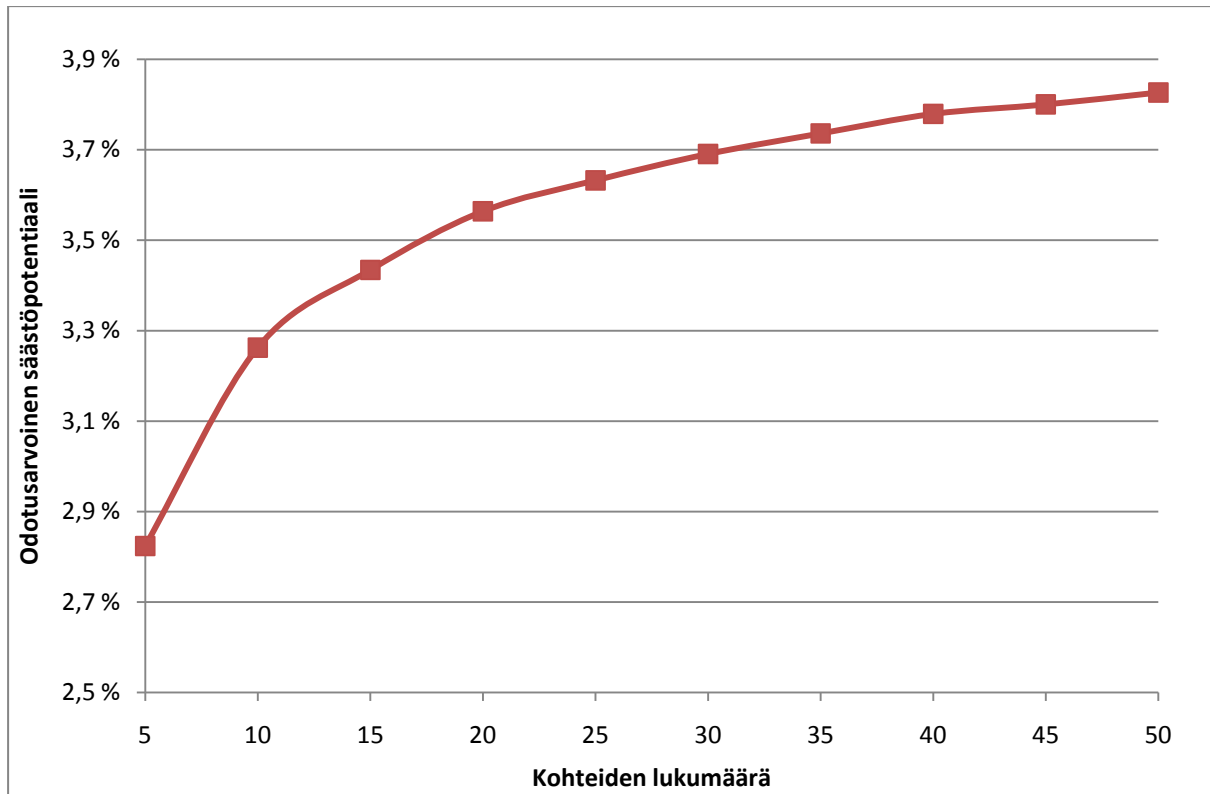
Taulukko 7. Simulaation parametreista käytettäviä merkintöjä

$\mu=100, \sigma=5\%$	Simulaatiossa käytetyn tarjousjakauman odotusarvo ja keskihajonta. Jos keskihajonta on prosenttiluku, sillä tarkoitetaan osuutta keskihajonnasta.
X/Y	Simulaatitulosissa käytetty notaatio urakoitsijoiden lukumäärärajoituksesta. Esimerkiksi 3/5 tarkoittaa, että tarjouskilpailuun osallistuu 5 urakoitsijaa, joista enintään 3 valitaan. X/10 tarkoittaa, että tarjouskilpailuun osallistuu 10 urakoitsijaa, ja valittavien urakoitsijoiden määrä on kuvaajan akselilla oleva muuttuja.

5.1 Säästöpotentiaalın riippuvuus kohteiden ja urakoitsijoiden määrästä

5.1.1 Kohteiden lukumäärä

Tutkitaan kohteiden lukumäärän vaikutusta säästöpotentiaaliin, kun urakoitsijoiden sekä valittavien urakoitsijoiden lukumäärät ovat vakioita.

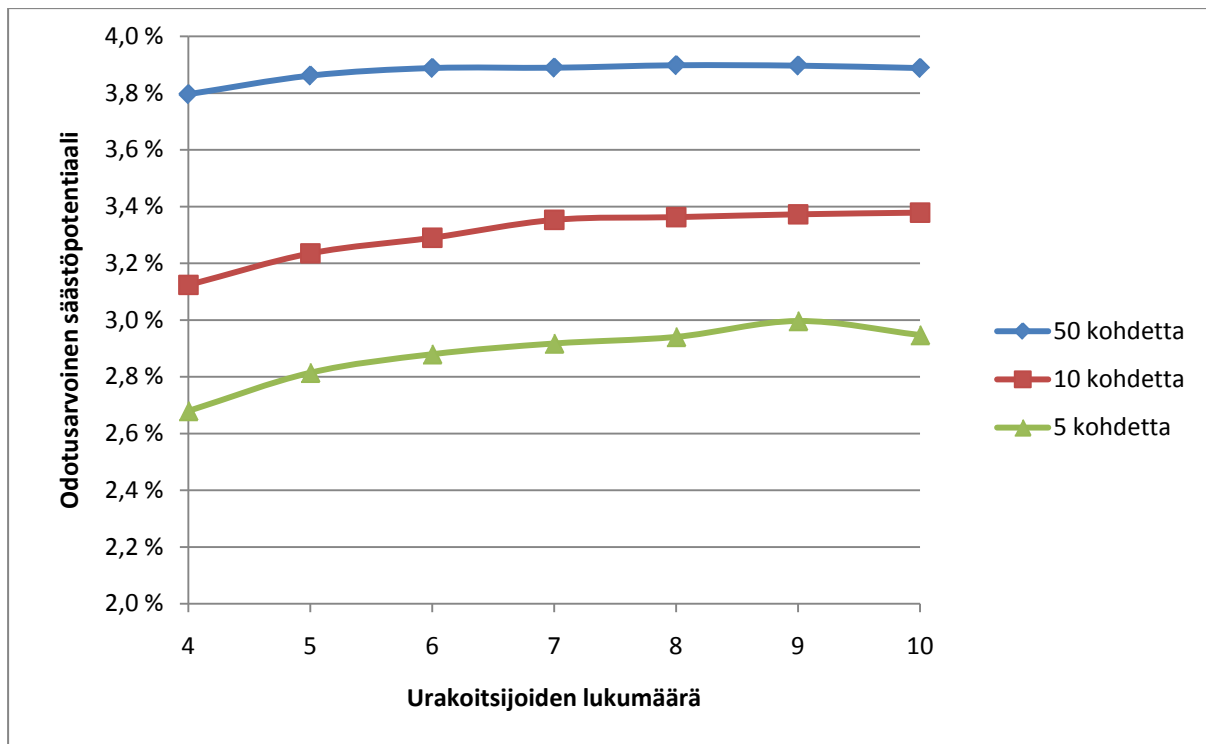


Kuva 1. Odotusarvoinen säästöpotentiali valittavien kohteiden lukumäärän funktiona ($\mu=100$, $\sigma=5\%$, $3/5$). Huomaa, että pystyakselin asteikko ei ala nolasta.

Säästöpotentiali kasvaa kohteiden lukumäärän kasvaessa. Kasvu tasaantuu kohteiden lukumäärän kasvaessa. Syy voisi olla ennemminkin vertailukohtana olevan mekanismin huonontuminen, kuin tutkittavan mekanismin parantuminen kohteiden lukumäärän kasvaessa. Vertailukohtanahan on mekanismi, jossa kaikki kohteet menevät yhdelle urakoitsijalle. Kun kohteiden lukumäärä kasvaa, lähestyvät eri tarjoajien tarjousten summat odotusarvoa, joka on kohteiden lukumäärä $\times 100$. Pienemmällä kohteiden lukumäärällä löytyy todennäköisemmin joku tarjoaja, jolla tarjousten summa on odotusarvoa selvästi pienempi (vrt. suurten lukujen laki).

5.1.2 Urakoitsijoiden lukumäärä

Tarkastellaan seuraavaksi, miten tarjouksen tehneiden urakoitsijoiden lukumäärä vaikuttaa säästöpotentialiin.



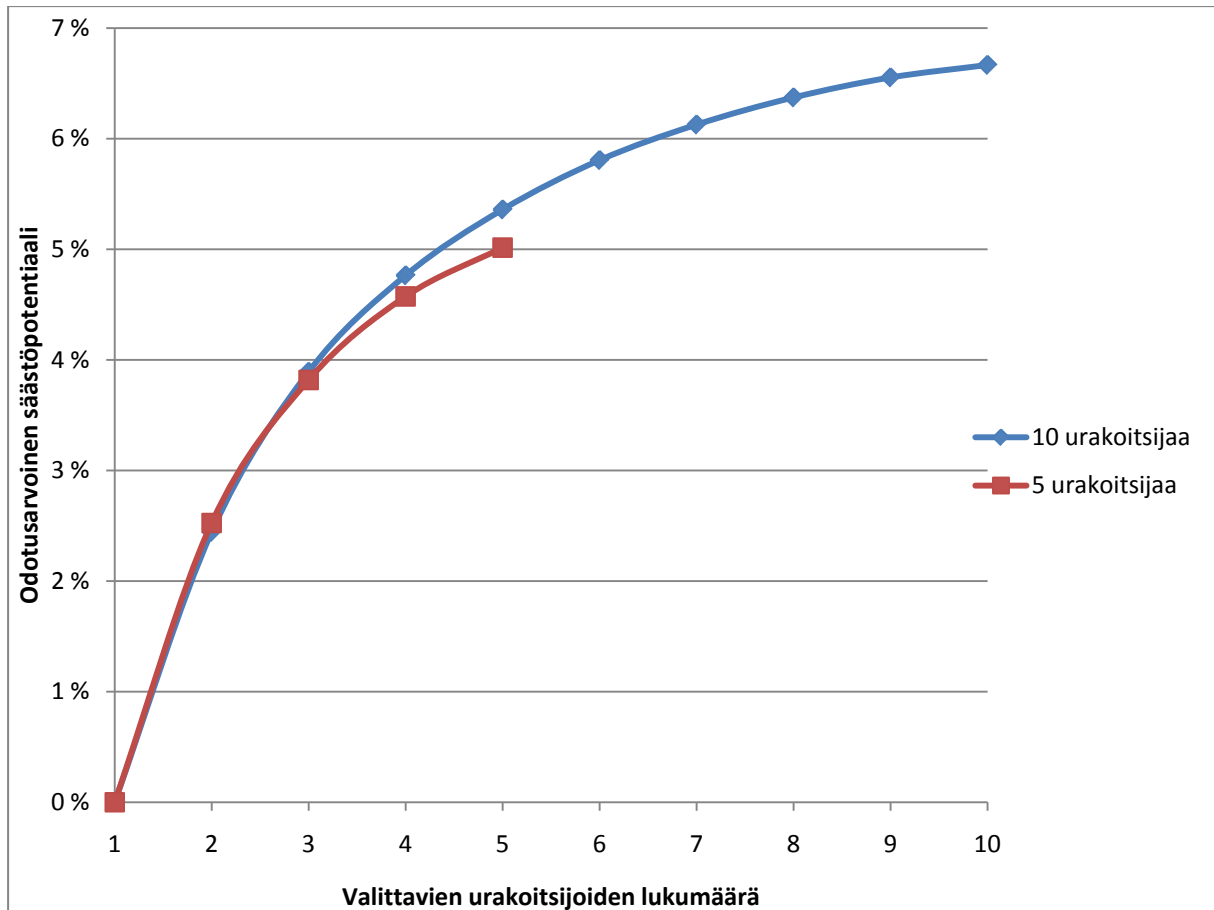
Kuva 2. Säästöpotentiaali valittavien urakoitsijoiden lukumäärän funktiona. Kohteita on 5, 10 tai 50 ($\mu=100$, $\sigma=5\%$, $3/X$). Huomaa, että pystyakselin asteikko ei ala nolasta.

Havaitaan, että säästöpotentiaali kasvaa heikosti urakoitsijoiden lukumäärän kasvaessa (Kuva 2). Urakoitsijoiden lukumäärää merkittävämpi vaikuttaja säästöpotentiaaliin on kuitenkin kohteiden lukumäärä, kuten kyseisestä kuvasta nähdään: mitä enemmän kohteita, sitä enemmän säästöpotentiaalia. Lisäksi voidaan todeta, että kun kohteita on enemmän, urakoitsijoiden lukumäärän vaikutus säästöpotentiaaliin on heikompi. Tämä johtuu siitä, että kun kohteita on enemmän, urakoitsijoiden väliset erot tasoittuvat. Toisin sanoen, kun sekä kohteita on vähän että urakoitsijoita on vähän, niin on pienempi todennäköisyys, että joku urakoitsijoista tarjoaa odotusarvoa merkittävästi alemman tarjouksen. Kun urakoitsijoiden ja kohteiden lukumäärä kasvaa, kasvaa myös todennäköisyys, että joku tarjoaa odotusarvoa selvästi alempia tarjouksia.

5.2 Säästöpotentiaalin riippuvuus valintakriteereistä

5.2.1 Urakoitsijoiden lukumäärärajoitus

Tutkitaan valittavien urakoitsijoiden lukumäärän vaikutusta säästöpotentiaaliin, kun kohteiden lukumäärä pidetään vakiona.

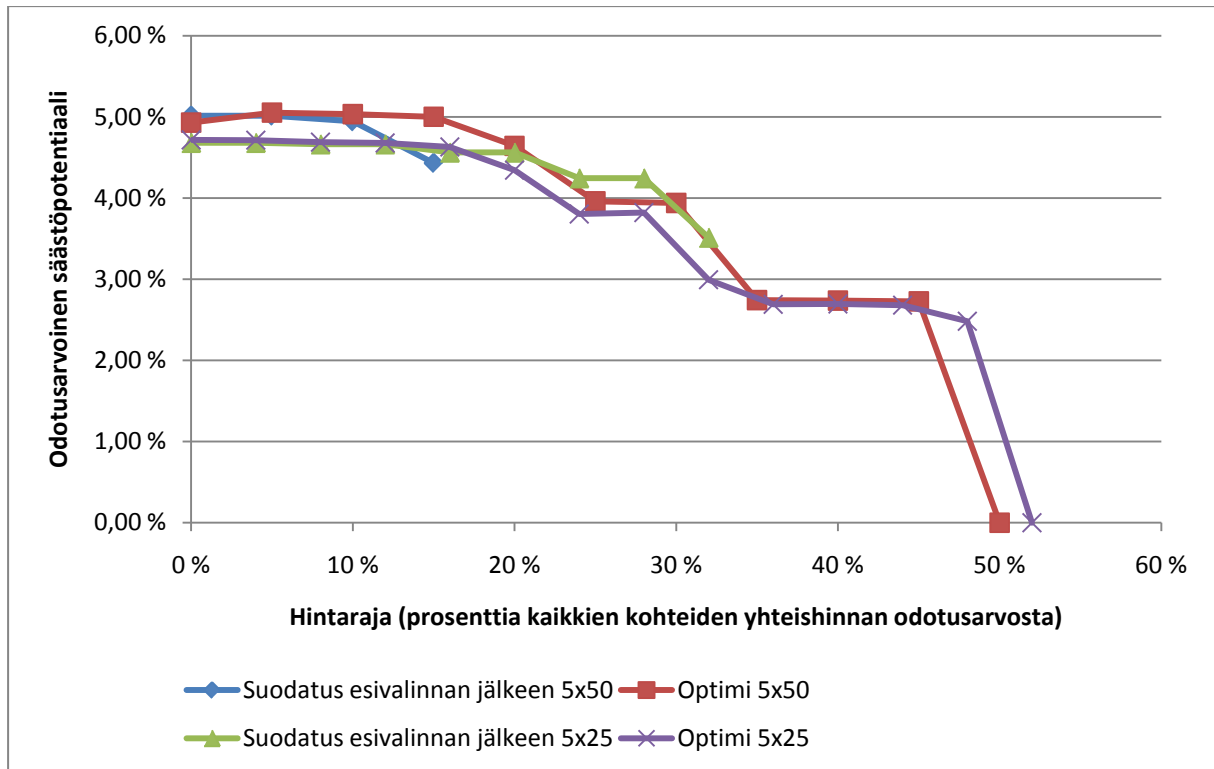


Kuva 3. Odotusarvoinen säästöpotentiaali valittavien urakoitsijoiden lukumäärän funktiona. Kohteita on 50 ($\mu=100$, $\sigma=5\%$, $X/5$ ja $X/10$).

Säästöpotentiaali kasvaa valittavien urakoitsijoiden lukumäärän funktiona (Kuva 3). Kasvu ei ole lineaarista, vaan aluksi se on nopeaa ja tasoittuu valittavien urakoitsijoiden lukumäärän kasvaessa. Kun urakoitsijoita on tarjolla vähemmän, kasvu tasaantuu nopeammin. Säästöpotentiaali kasvaa, kun urakoitsijoita valitaan enemmän, päästään lopullinen valinta muodostamaan useamman tarjoajan parhaista tarjouksista. Mitä enemmän urakoitsijoita on valittu, sitä varmemmin jokaiseen kohteeseen löytyy odotusarvon alle menevä tarjous. Käyrien viimeisissä pisteissä kohteet jaetaan kaikkien urakoitsijoiden kesken. Tällöin ollaan rajoituksettomassa mekaniisissa, joka optimaalisin tapa jakaa kohteet.

5.2.2 Urakoiden hintarajoitus

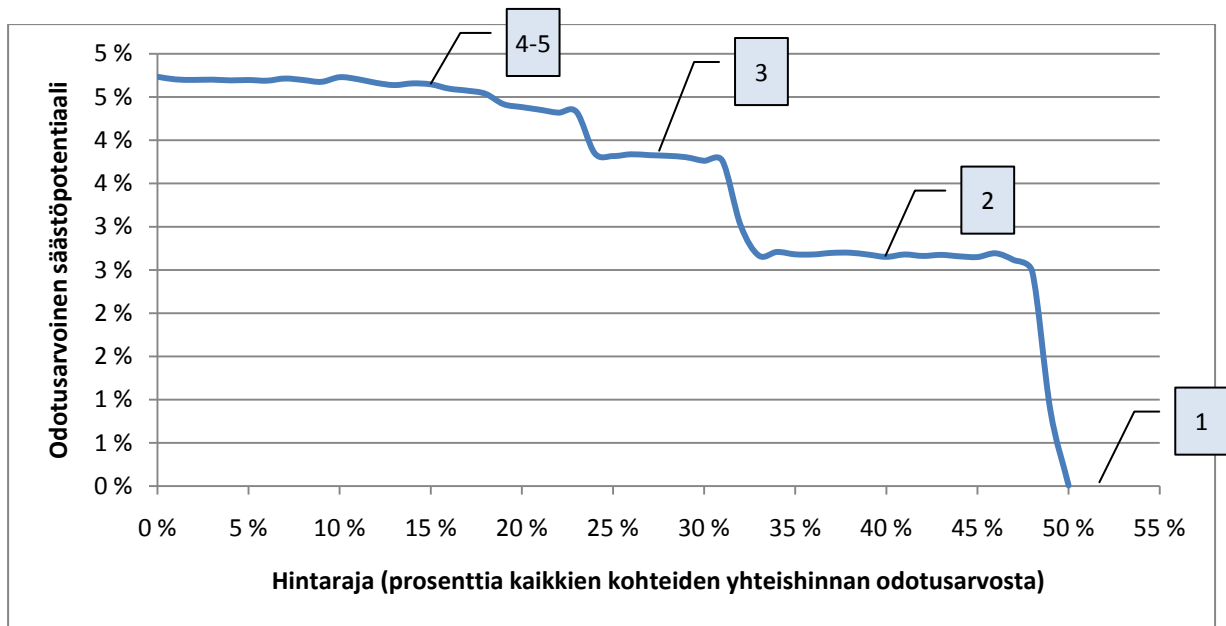
Simulaatiomallilla tutkittiin säästöpotentiaalin riippuvuutta urakan hintarajasta. Tuloksien perusteella säästöpotentiaali pienenee, kun hintarajaa nostetaan (Kuva 4). Hintarajoitusmekanismi on määritelty siten, että urakoitsijoiden karsinta tehdään esivalinnassa voitettujen kohteiden yhteishinnan perusteella. Hintarajan täytyy olla pienempi kuin keskimäärin yhden urakoitsijan esivalinnassa voittamien kohteiden yhteishinta, tai yksikään urakoitsija ei välttämättä läpäise karsintaa. Kun mekaniismitä tarkastellaan optimointitehtävänä, hintarajoitus voi olla korkeampi, koska kaikki kohteet jaetaan yhdessä vaiheessa. Hintaraja on esitetty tämän luvun kuvaajissa suhteessa kaikkien kilpailutettavien kohteiden yhteishinnan odotusarvoon. Absoluuttinen hintaraja itsessään on huono muuttuja, koska hintarajan vaikutus riippuu tarjouksien jakaumasta.



Kuva 4. Urakan hintarajoituksen vertailu, kun 5 urakoitsijaa ja 25 tai 50 kohdetta ($\mu=100$, $\sigma=5\%$).

Säästöpotentiaalia esittävässä käyrässä on portaita, jotka näkyvät selkeästi kuvassa 5. Edellisessä kappaleessa havaittiin, että säästöpotentiaali kasvaa, kun kohteita jaetaan useamman urakoitsijan kesken. Hintarajoitusmekanismi pyrkii myös jakamaan kohteet mahdollisimman monelle urakoitsijalle annetun hintarajan puitteissa. Portaat muodostuvat kohtiin, joissa hintarajoituksen takia joudutaan jakamaan kohteet pienemmälle määrälle urakoitsijoita. Esimerkiksi noin välillä 24 %-33 % kohteet voidaan jakaa kolmelle ja välillä 33 %-50 % kahdelle urakoitsijalle. Lopussa hintarajoitus on 50 %, ja kaikki kohteet menevät yhdelle urakoitsijalle, jolloin mekanismi vastaa kokonaisuutena säästöpotentiaali menee nolliin.

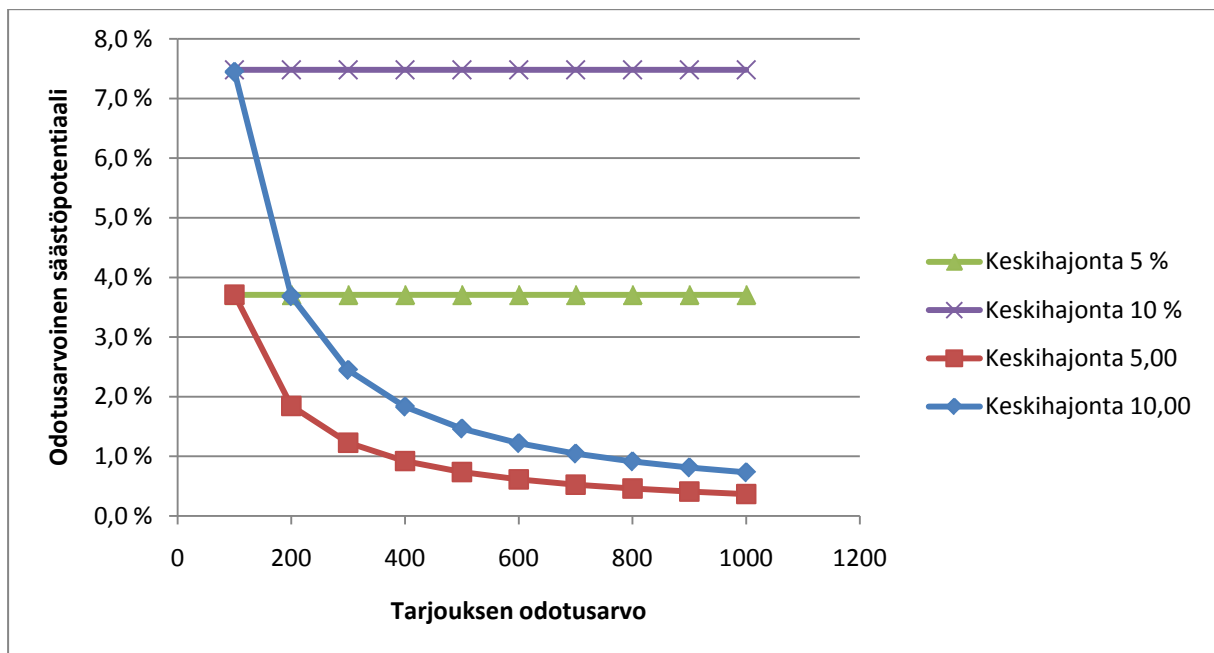
Käytännössä kilpailuttaja ei pääse asettamaan hintarajaa vapaasti, vaan se määräytyy tarjouskilpailun olosuhteiden pakosta. Putoaminen "alemmalle" portaalle säästöpotentiaalissa ei haittaa kilpailuttajaa, koska hänelle on tärkeämpää pitää kiinni vallitsevasta hintarajasta.



Kuva 5. Odotesarvoinen säästöpotentiaali urakoiden minimihintarajoituksella ratkaistuna LP-tehtävänä, kun 5 urakoitsijaa ja 25 kohdetta. Simulaatio on ajettu kasvattamalla hintarajaa 25 yksikön askelin ($\mu=100, \sigma=5\%$). Laatikossa olevat numerot 1-5 kuvaavat kullakin portaalla valittavien urakoitsijoiden lukumäärää.

5.3 Herkkyysanalyysi odotesarvosta

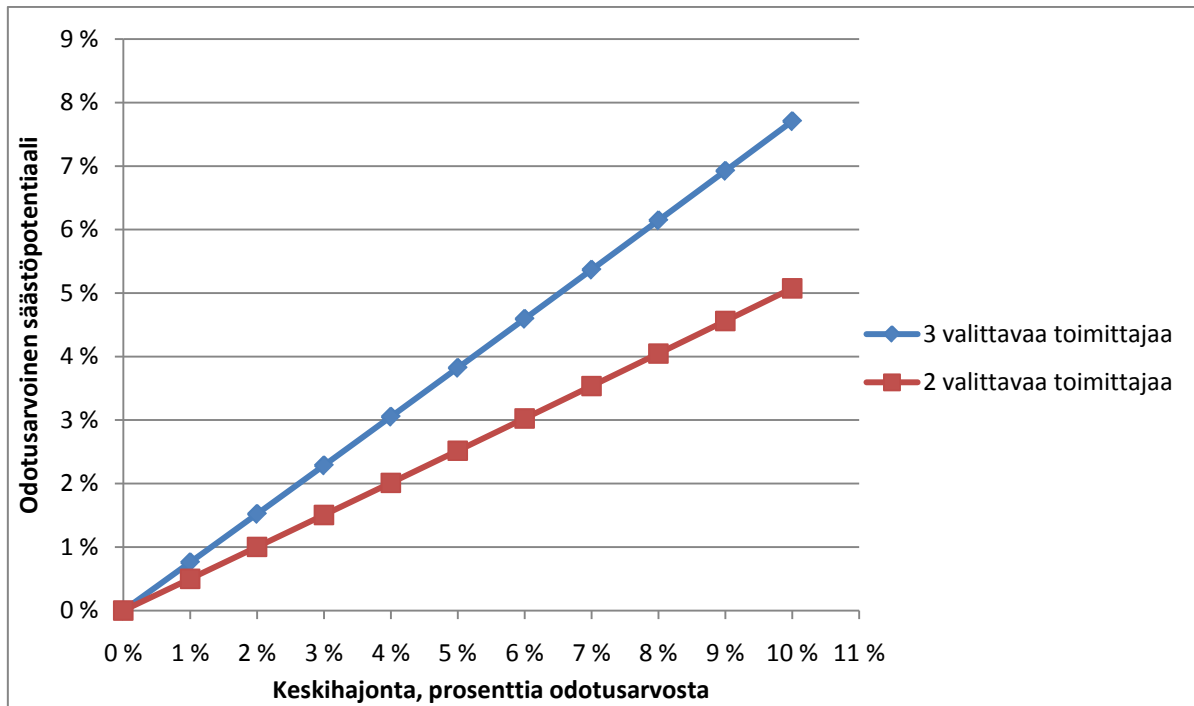
Kappaleessa 4.2.1 todettiin, että tarjouksen odotesarvo voidaan valita vapaasti, koska ainoastaan tarjouksien keskinäisellä suuruusjärjestyksellä on merkitystä simulaatiomallissa. Lukumäärärajoitusta simuloitiin eri odotesarvoilla. Havaitaan, että säästöpotentiaali ei muutu, kun keskihajonnan ja odotesarvon suhde ei muutu (suhteellinen keskihajonta). Kun keskihajonnalla on absoluuttinen arvo, säästöpotentiaali pienenee odotesarvon kasvaessa, koska saatavat säästöt suhteessa kokonaishintaa pienenevät.



Kuva 6. Odotesarvoisen säästöpotentiaalin riippuvuus tarjouksien odotesarvosta, kun keskihajonta on prosenttiosuus odotesarvosta ja absoluuttinen luku. Simulaatiossa valittiin lukumäärärajoituksella kolme urakoitsijaa viidestä, kun kohteiden lukumäärä oli 30 ($\mu=(100, 200, \dots, 1000), \sigma=(5\%, 10\%, 5, 10), 3/5$).

5.4 Herkkyysanalyysi keskihajonnasta

Pidetään edelleen tarjousten odotusarvona 100, mutta vaihdellaan tarjousten keskihajontaa ja tutkitaan miten tämä vaikuttaa säästöpotentiaaliin.



Kuva 7. Odotusarvoinen säästöpotentiaali tarjousjakauman keskihajonnan funktiona, kun mukaan valitaan kaksi tai kolme urakoitsijaa viidestä ja kohteita on 50 ($\mu=100$, $\sigma=5\%$, $2/5$ ja $3/5$).

Säästöpotentiaali riippuu lineaarisesti jakauman keskihajonnan ja odotusarvon suhteesta. Kun urakoitsijoita valitaan mukaan enemmän, on kulmakerroin jyrkempi. Sinänsä on selvää, että keskihajonnan kasvaminen nostaa säästöprosenttia, sillä suuremmalla keskihajonnalla tulee enemmän poikkeuksellisen hyviä tarjouksia. Näin selvä lineaarinen riippuvuus ei ole perusteltavissa yhtä intuitiivisesti.

5.5 Alueellinen kilpailuetu

Tarkastellaan tarjouskilpailua, jossa kullakin urakoitsijalla on niin sanottu alueellinen kilpailuetu, jonka ansiosta heidän kustannuksensa tietyssä kohteiden osajoukossa ovat alhaisemmat kuin muilla kohteilla. Olkoon tarjouskilpailussa 30 kohdetta ja 5 urakoitsijaa, joiden ominaispiirteet on kuvattu taulukossa 3.

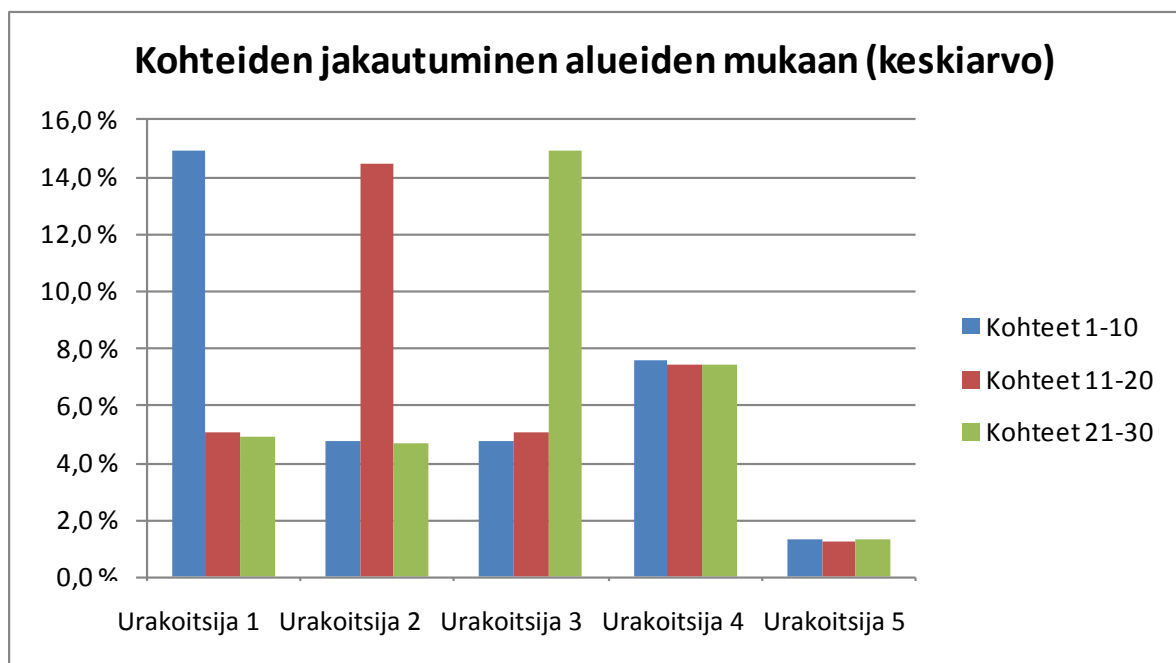
Taulukko 8. Urakoitsijoiden ominaisuudet

Urakoitsija 1	Kilpailuetu kohteissa 1–10, etukohteiden odotusarvo 95, muut 100
Urakoitsija 2	Kilpailuetu kohteissa 11–20, etukohteiden odotusarvo 95, muut 100
Urakoitsija 3	Kilpailuetu kohteissa 21–30, etukohteiden odotusarvo 95, muut 100
Urakoitsija 4	Tasaisesti tehokas, kaikkien kohteiden odotusarvo 98
Urakoitsija 5	Tasaisesti tehoton, kaikkien kohteiden odotusarvo 100

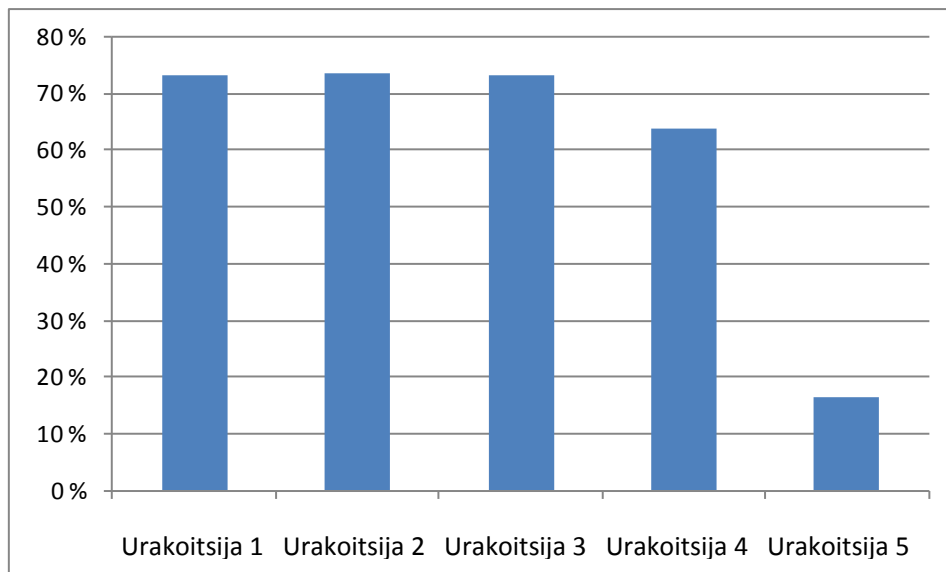
Tässä tilanteessa säästöpotentiaaliin vaikuttaa kolme vapaata odotusarvoparametria. Säästöpotentiaalia kiinnostavampia johtopäätöksiä voidaan tehdä tutkimalla kohteiden jakautumista urakoitsijoiden kesken. Nähdään, että urakoitsijat 1, 2 ja 3 voittavat suurella todennäköisyydellä kohteet, joihin heillä on kilpailuetu. Ei-edullisissa kohteissa he ovat yhtä tehokkaita kuin urakoitsija 5, mutta menestyvät ei-edullisissakin kohteissa paremmin, mikä johtuu siitä että edullisten kohteiden ansiosta he tulevat esivalituksi suuremmalla todennäköisyydellä kuin urakoitsija 5. Tasaisesti tehokas urakoitsija 4 voittaa eri alueiden kohteita yhtä suurilla todennäköisyyksillä ja hänen menestyksensä riippuu odotusarvojen keskinäisistä suhteista.

Alueellinen kilpailuetu auttaa urakoitsijaa voittamaan ensimmäisellä valintakerroksella enemmän kohteita. Tämä puolestaan johtaa siihen, että urakoitsija todennäköisesti esivalituksi ja voittaa toisella kierroksella myös kohteita, joihin hänellä ei ole alueellista kilpailuetua. Esimerkiksi urakoitsijalla 1 on alueellista kilpailuetua kohteissa 1–10, joten hän voittaa niistä suurimman osan (Kuva 8). Kuvaajassa esitetään suhteelliset frekvenssit sille, kuinka monta kohdetta urakoitsijat voittavat kultakin alueelta. Esimerkiksi urakoitsija 1 voittaa keskimäärin 15 %, eli 4,5 kohdetta alueelta 1–10 per iteraatio.

Koska tulee kilpailuedun takia todennäköisesti esivalituksia, hän pääsee myös kilpailemaan kohteista 11–30, joihin hänellä ei ole kilpailuetua. Tasaisesti tehoton urakoitsija 5 saisi vain muutamia kohteita, koska tulee vain harvoin esivalituksi. Tasaisesti tehokas urakoitsija 4 voittaa tasaisesti kohteita, ei kuitenkaan aivan yhtä hyvin kuin esimerkiksi urakoitsija 1. Alla olevasta kuvaajasta (Kuva 9) nähdään, että todennäköisyys tulla valituksi on tasaisesti tehokkaalle urakoitsijalle 4 alhaisempi kuin alueellista kilpailuetua nauttiville urakoitsijoille 1,2 ja 3.



Kuva 8. Kohteiden jakautumisen suhteelliset frekvenssit, kun urakoitsijalla on alueellisia kilpailuetuja. Kohteita yhteensä 30 ($\mu=95/98/100$, $\sigma=5\%$, $3/5$).



Kuva 9. Todennäköisyys, että urakoitsija tulee esivalituksi (eli saa kohteita) edellä kuvatussa simulaatiossa.

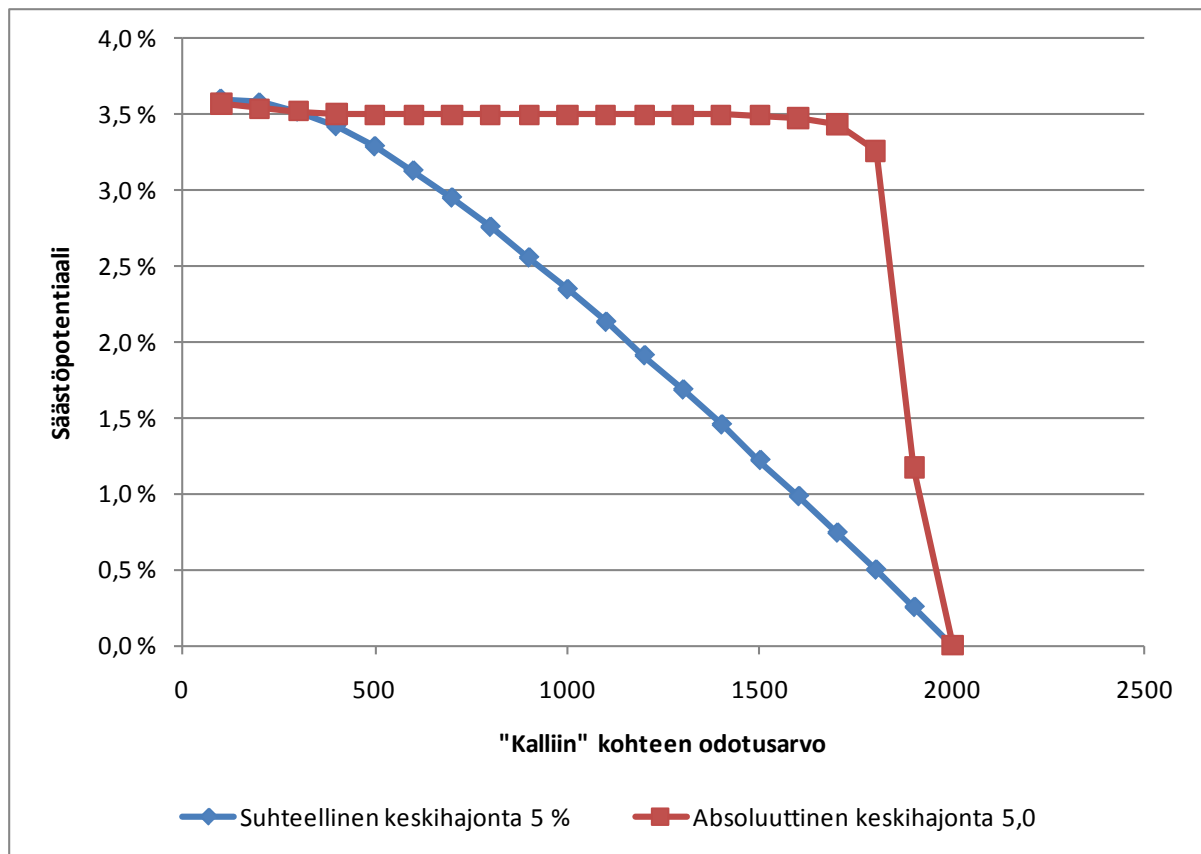
5.6 Eriarvoiset kohteet

Tarkastellaan seuraavaksi tarjouskilpailua, jossa on mukana erikokoisia kohteita. Näin voi käydä, jos kohteita ei voida järkevästi pilkkoa samankokoisiin yksiköihin. Oletetaan tilanne, että tarjouskilpailussa on mukana yksi kohde, jonka kustannus on suurempi kuin muiden kohteiden. Oletetaan lisäksi, että kohteen kustannus on sama kaikille urakoitsijoille. Simulaatiomallin oletusten mukaan urakoitsijat tarjoavat kohteesta hinnan, joka vastaa kustannusta ja kiinteää katetta

Pidetään tarkastelussa kohteiden lukumäärä ja yhteishinnan odotusarvo vakioina. Tutkitaan säästöpotentiaalia, kun joukossa on yksi odotusarvoltaan ”kallis” kohde, ja loppu yhteishinnan odotusarvosta jakautuu tasaisesti muille kohteille. Olkoon esimerkiksi 20 kohdetta, joiden yhteishinnan odotusarvo on 2000. Esimerkiksi, jos ”kalliin” kohteen odotusarvo on 300, niin muiden kohteiden odotusarvo on $(2000 - 300)/19$.

Tuloksista ja alla olevasta kuvaajasta (Kuva 10) havaitaan, että säästöpotentiaali riippuu ratkaisevasti tarjousjakauman keskihajonnasta. Mikäli kaikkien kohteiden keskihajonta on vakio, säästöpotentiaali ei riipu yhteishinnan jakautumisesta kohteiden välillä (punainen käyrä). ”Kalliin” kohteen odotusarvon kasvaessa muiden kohteiden odotusarvot pienevät, mutta niiden keskihajonta pysyy ennallaan. Kun esimerkiksi ”kalliin” kohteen odotusarvo on 1900, muiden kohteiden odotusarvo on noin 5,3 ja keskihajonta edelleen 5. Vasta sitten, kun ”kallis” kohde vastaa käytännössä koko tarjouskilpailua, kokonaisurakkamekanismin hinta on sama kuin tutkittavan mekanismin hinta, ja säästöpotentiaali menee nolleen.

Jos keskihajonta on suhteessa kohteen odotusarvoon, niin säästöpotentiaali vähenee tasaisesti ”kalliin” kohteen hinnan kasvaessa. Kun ”kalliin” kohteen odotusarvo kasvaa, niin muiden kohteiden hinta ja keskihajonta pienenevät. Kokonaisurakkamekanismilla voittaa todennäköisimmin se urakoitsija, jolla ”kalliin” kohteen tarjous on alhaisin. Koska muiden kohteiden odotusarvot ja keskihajonnat pienenevät ”kalliin” kohteen odotusarvon kasvaessa, säästöpotentiaali pienenee tasaisesti.



Kuva 10. Säästöpotentiaalin käyttäytyminen, kun tarjouskilpailussa on kohteita, joilla on erilaiset odotusarvot. Kohteita yhteensä 20 ($\mu=X$, $\sigma=5\%$ ja $5, 3/5$).

5.7 Tarjousjakauman validointi

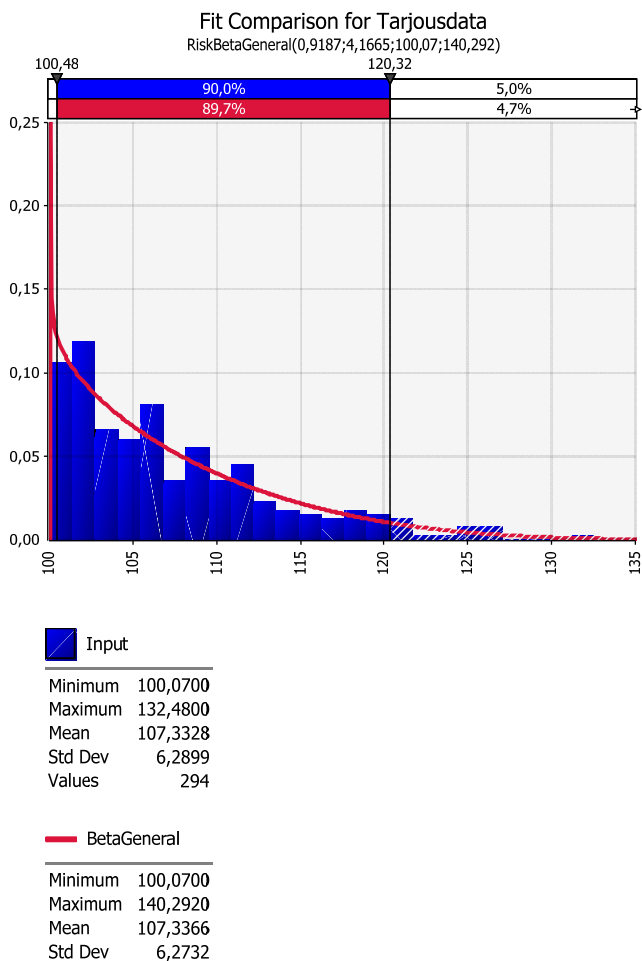
Tarjousjakauman tulisi kuvata todenmukaisesti urakoitsijoiden käyttäytymistä, jotta simulointituloksista voidaan vetää oikeassa maailmassa päteviä johtopäätöksiä. Toimeksiantaja ei ole ollut osallisena kohdekohtaisin tarjouksin käydyssä tarjouskilpailussa, joten aitoa aineistoa urakoitsijoiden käyttäytymisestä ei ollut saatavilla. Sen sijaan toimeksiantajalta saatiin aineistoa kokonaisurakkana myydyistä kohteista. Alkuperäiset tarjoukset olivat salaista tietoa eikä toimeksiantaja voinut luovuttaa niitä projektiryhmän käyttöön, mutta saimme validointia varten aineiston voittaneiden tarjouksien ja toiseksi parhaiden tarjouksien välisestä eroista. Kussakin tarjouskilpailussa tarjoukset on skaalattu siten, että voittava tarjous saa arvon 100. Aineistossa on kunkin toiseksi parhaan tarjouksen skaalatut arvot 294 tarjouskilpailusta.

Säästöpotentiaali muodostuu käytetyllä mekanismilla voittaneiden tarjouksien ja kokonaisurakka-mekanismilla voittavien tarjouksien erotuksista. Käytetyllä mekanismilla voittanut tarjous ei ole aina paras (alin) tarjous, kuten esimerkin kohteessa 2 (Taulukko 9). Säästöpotentiaali ei välttämättä riipu parhaasta ja toiseksi parhaasta tarjouksesta. Haluttiin kuitenkin selvittää, mikä on toiseksi parhaan tarjouksen jakauma, kun tarjoukset arvotaan normaalijakaumasta. Mikäli tulos poikkeaisi aineistoon sovitetusta jakaumasta, normaalijakauman käyttö pitäisi kyseenalaistaa.

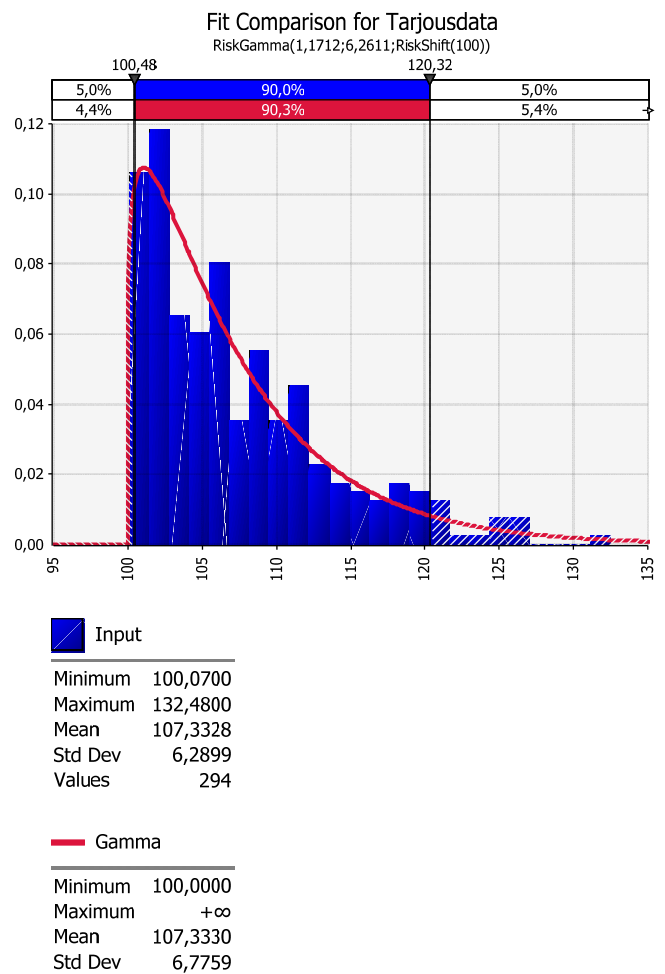
Taulukko 9. Esimerkki kohteiden jakamisesta. A voitaisi kaikki kohteet kokonaisurakkamekanismilla

	Urakoitsija A	Urakoitsija B	Urakoitsija C
Kohde 1	40	50	55
Kohde 2	40	37	32
Kohde 3	10	12	15
Kohde 4	90	85	88
Voittaneiden tarjousten summa	50	122	0

Aineistoon sovitettiin tilastollisia jakaumia kahdella tavalla: ilman oletuksia aineiston ylä-/alarajasta (Kuva 11) sekä oletuksella, että jakauman alaraja on 100 (Kuva 12). Jakaumien sopivuutta vertailtiin χ^2 -testisuuren avulla, ja kuvissa on esitetty kullakin oletuksella parhaiten sopinut jakauma.

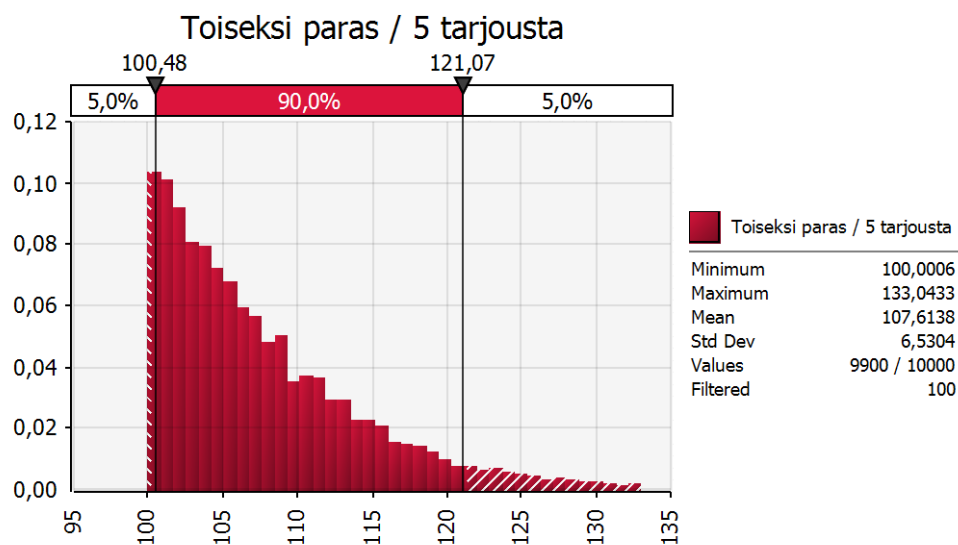


Kuva 11. Jakauman sovitus aineistoon (ei oletuksia ylä-/alarajasta)

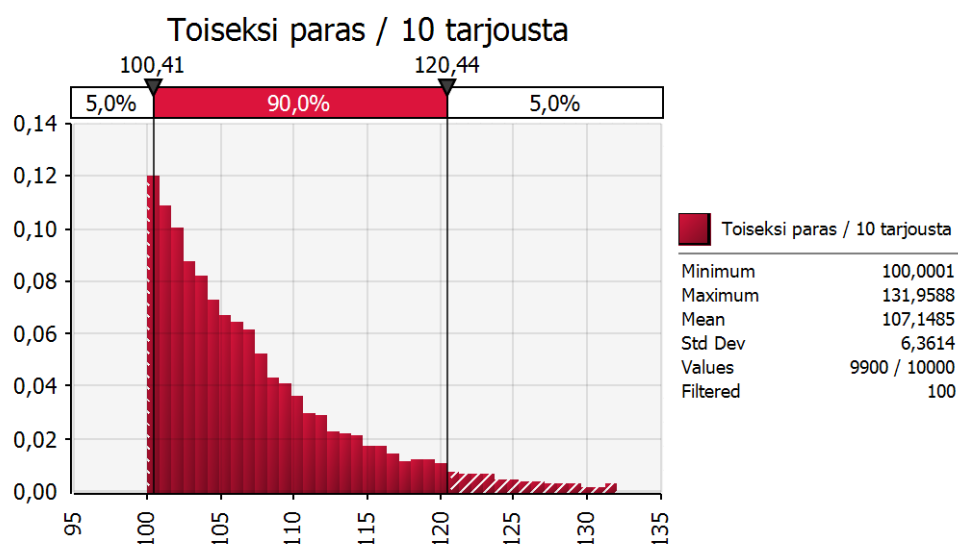


Kuva 12. Jakauman sovitus aineistoon (oletetaan, että jakauman alaraja = 100)

Saadulla aineistoilla voidaan testata hypoteesia, jonka mukaan tarjoukset voidaan arpoa normaalijakaumasta. Tutkitaan simuloinnilla toiseksi parhaan tarjouksen jakaumaa ja etsitään keskihajonta, jolla simuloidut arvot vastaavat parhaiten saatua aineistoa. Tarkastellaan tilanteita, joissa on 5 tai 10 tarjoajaa. Simulointitulosten lopusta on leikattu pois ylin 1 % tuloksista, koska muuten histogrammiin jäisi huomattavan pitkä häntä, jota saadussa aineistossa ei ole. Havaittiin, että 5 tarjouksella simuloitu jakauma muistuttaa aineistoa, kun keskihajonta on 10 % odotusarvosta (Kuva 13). Vastaavasti 10 tarjouksella saatiin hyvä vastaavuus, kun keskihajonta on 11 % odotusarvosta (Kuva 14). Simulointituloksien keskiarvo ja -hajonta vastaavat toisiaan melko hyvin, ja 95 % fraktiili on jakaumissa suunnilleen 120:n kohdalla. Vertailun perusteella hypoteesia normaalijakauman käyttämisestä ei voida hylätä. Laajempaa validointia varten tarvittaisiin enemmän dataa todellisista tarjouskilpailuista.



Kuva 13. Toiseksi paras 5 tarjouksesta ($\mu=100$, $\sigma=10$)



Kuva 14. Toiseksi paras 10 tarjouksesta ($\mu=100$, $\sigma=11$)

6 Mekanismien analysointia

Tässä luvussa tarkastellaan erikoisia tapauksia, joihin mekanismeilla voidaan päätyä tietyillä tarjousasetelmilla.

6.1 Urakoitsijoiden lukumäärärajoitus ja urakoiden hintarajoitus

Urakoitsijoiden lukumäärärajoitusta tai urakoiden hintarajoitusta käytettäessä voidaan päätyä kokonaisurakkaa kalliimpaan hintaan. Näin käy, jos kohteissa on mukana erikokoisia kohteita, ja urakoitsijoiden tarjoukset eroavat pienissä kohteissa euromääräisesti enemmän kuin suurissa. Tällöin suurin säästö saataisiin valitsemalla pienten kohteiden urakoitsijat huolellisesti. Koska mekanismit painottavat suuria kohteita, voidaan päätyä huonompaan tulokseen kuin perinteisellä mekanismilla.

Esitetään asia esimerkin avulla. Taulukossa 10 on esitetty esimerkin tarjoukset. Jokaisen kohteen pienin tarjous on merkitty vihreällä. Taulukkoon on laskettu kunkin urakoitsijan tarjousten summa.

Taulukko 10. Esimerkin tarjoukset

	Urakoitsija A	Urakoitsija B	Urakoitsija C
Kohde 1	52	50	45
Kohde 2	40	42	35
Kohde 3	100	102	104
Kohde 4	102	100	104
Summa	294	294	288

Esimerkissä on kolme urakoitsijaa ja neljä kohdetta. Kaksi ensimmäistä kohdetta ovat arvoltaan pienempiä, mutta urakoitsijoiden tarjoukset vaihtelevat niissä melko paljon. Kaksi jälkimmäistä kohdetta ovat suurempia, mutta urakoitsijat ovat tarjonneet niistä melko yhteneväiset tarjoukset. Urakoitsija C on pienissä kohteissa A:ta ja B:tä selvästi parempi, mutta suurissa kohteissa A ja B ovat hieman parempia. Kokonaisurakkaa käytettäessä urakan saisi urakoitsija C, ja hinnaksi tulisi 288.

Taulukko 11. Esimerkkihuutokaupan ratkaiseminen käyttäen urakoitsijoiden lukumäärärajoitusta tai urakoiden hintarajoitusta

	Urakoitsija A	Urakoitsija B	Urakoitsija C
Kohde 1	52	50	45
Kohde 2	40	42	35
Kohde 3	100	102	104
Kohde 4	102	100	104
Voitettujen kohteiden summa	140	150	0

Taulukossa 11 on esitetty huutokaupan ratkaisu. Sama ratkaisu pätee sekä urakoitsijoiden lukumäärärajoitukselle että urakoiden hintarajoitukselle sopivilla rajoituksilla. Kun urakoita halutaan

maksimissaan kaksi tai hintarajoitukseksi on asetettu yli 80, päädytään samaan lopputulokseen. Esivalinnasta jatkoon pääsevät urakoitsijat A ja B, koska ne voittivat euromääräisesti eniten kohteita. Hintarajoituksessa perustelu on, että ne ylittivät asetetun hintarajan, mutta C ei. C:lle alun perin merkityt kohteet jaetaan A:n ja B:n kesken, jolloin yhteishinnaksi tulee 290, joka ylittää kokonaisurakan kustannuksen 288.

Huomattavaa on myös, että hintarajoituksen asettaminen ei ole aivan helppoa. Jos hintarajoitukseksi olisi asetettu yli 100, ei huutokauppaa olisi saatu ratkaistua. Toisaalta, jos hintarajoitus olisi asetettu vaikka arvoon 60, olisi C päässyt mukaan peliin.

Samantapainen ilmiö on itse asiassa mahdollinen, vaikka kohteet olisivat suunnilleen yhtä arvokkaita. Tämä vaatii, että suurin säästö on saatavissa valitsemalla muutaman avainkohteen urakoitsijat sopivasti. Tarkastellaan asiaa esimerkin avulla. Tarjoukset ja kunkin kohteen merkitseminen halvimmalle urakoitsijalle on esitetty taulukossa 12. Kaikki urakoitsijat ovat joissakin kohteissa muita halvempia. Urakoitsija A on tavallaan B:tä ja C:tä parempi, sillä se on kahdessa kohteessa selvästi muita halvempi ja lisäksi kilpailukykyinen kaikissa muissa kohteissa. Urakoitsija A voittaisikin kokonaisurakan ja kokonaiskustannus olisi 690. Tässä esimerkissä äsken mainitut avainkohteet ovat kohteet kolme ja kuusi, ja ainakin ne kannattaisi antaa urakoitsijalle A.

Taulukko 12. Esimerkin tarjoukset ja esivalinta

	Urakoitsija A	Urakoitsija B	Urakoitsija C
Kohde 1	100	99	100
Kohde 2	100	105	98
Kohde 3	95	100	105
Kohde 4	100	98	105
Kohde 5	100	105	99
Kohde 6	95	105	101
Kohde 7	100	105	98
Summa	690	717	706

Huutokauppa on ratkaistu taulukossa 13 käyttäen urakoitsijoiden lukumäärärajoitusta, siten että valitaan maksimissaan kaksi urakoitsijaa. B:lle ja C:lle on merkitty euromääräisesti eniten kohteita, joten ne pääsevät jatkoon.

Taulukko 13. Esimerkkihuutokaupan ratkaiseminen käyttäen urakoitsijoiden lukumäärärajoitusta

	Urakoitsija A	Urakoitsija B	Urakoitsija C
Kohde 1	100	99	100
Kohde 2	100	105	98
Kohde 3	95	100	105
Kohde 4	100	98	105
Kohde 5	100	105	99
Kohde 6	95	105	101
Kohde 7	100	105	98
Voitettujen kohteiden summa	0	297	396

A:lle merkityt kohteet jaetaan B:n ja C:n kesken. Yhteishinnaksi tulee 693, joka on kalliimpi kuin käytettäessä kokonaisurakkaa. Jos esimerkki olisi ratkottu hintarajoituksella käyttäen vaikka hintarajaa 200, olisi C saanut kaikki kohteet ja hinnaksi olisi tullut 706. Väärin valittu hintarajoitus voi siis aiheuttaa erittäin huonon tuloksen.

Esimerkissä näkyy hyvin toinenkin kiinnostava seikka. Jos A olisi tarjonnut kohteista kolme ja kuusi 95 sijasta vaikka 99, olisi se päässyt B:n sijasta jatkoon, sillä sen voittamien kohteiden summa olisi ollut suurempi kuin B:llä. Myös hintarajoitus voi aiheuttaa samanlaisen ilmiön. Urakoitsija voi tippua kilpailusta, koska on tehnyt liian halvat tarjoukset voittamistaan kohteista ja alittaa siksi hintarajan.

Yhteenvedon voidaan sanoa, että urakoitsijoiden lukumäärärajoitus ja urakoiden hintarajoitus voivat tuottaa kokonaisurakkaa kalliimman hinnan, jos suurin mahdollisuus säästöihin on hinnaltaan pienissä kohteissa. Hinta voi tulla kokonaisurakkaa kalliimmaksi myös, jos mahdollisuus suuriin säästöihin piilee vain muutamassa avainkohteessa. Lisäksi mekanismeihin sisältyy mahdollisuus, että urakoitsija putoaa jatkosta tarjottuaan voittamistaan kohteista liian halvat tarjoukset. Koska todellista tarjousdataa ei ole käytettävissä, on edellä tarkasteltujen ongelmien vaikutuksista vaikea sanoa mitään. Simuloinnissa tällaiset tapahtumat ovat melko harvinaisia, mutta simuloinnissa käytetyn normaalijakauman parametrit ovat vain valistunut arvaus. Siksi tällaisten erikoistapausten mahdollisuutta on vaikea arvioida simuloinnin pohjalta. Voidaan kuitenkin todeta, että kohteiden lukumäärän kasvaessa erikoistapausten todennäköisyys pienenee.

Kokonaisurakkaa kalliimmat hinnat voidaan välttää seuraavasti. Huutokauppa ratkaistaan periaatteessa käyttäen urakoitsijoiden lukumäärärajoitusta tai urakoiden hintarajoitusta. Lisäksi määritellään, että jos kuitenkin jokin yksittäinen urakoitsija on halvempi kuin mekanismeilla saatu hinta, saa kyseinen urakoitsija kaikki kohteet.

Jos käytetään urakoitsijoiden lukumäärärajoituksena suurempaa lukua kuin kaksi, edellä esitetyllä tavallakin muotoiluna tulla vastaavia ongelmia, vaikka hinta ei luonnollisesti nousekaan kokonaisurakkaa kalliimmaksi. Voi nimittäin olla, että jokin urakoitsijapari olisi yhdessä tehokas, mutta kumpikaan tai toinen urakoitsijoista ei saa esivalinnassa tarpeeksi urakoita päästäkseen jatkoon. Muun muassa tällaisissa tarjouskilpailuissa vertailumeکانimit toimivat tehokkaasti.

6.2 Vertailumekanismi

Vertailumekanismin hyvä puoli on se, että se löytää aina halvimman mahdollisen urakoitsijakombinaation. Jos kuitenkin joku urakoitsija on kaikissa kohteissa paras, saa kyseinen urakoitsija koko urakan. Vertailumekanismi asettaa aina alarajan vastaavalle urakoitsijoiden lukumäärärajoituksella saatavalle hinnalle. Siis parivertailu asettaa alarajan lukumäärärajoituksella saatavalle hinnalle, kun lukumäärärajoitus on kaksi, jne.

Vertailumekanismien huono puoli on, että ne voivat jakaa urakat hyvinkin epätasaisesti. Jos yksi urakoitsija on erittäin hyvä, parivertailussa sen pari saa mahdollisesti vaikka vain yhden kohteen. Urakoitsijoiden lukumäärärajoituksessa ja urakoiden hintarajoituksessa jatkokon pääsyn kriteerinä on esivalinnassa urakoitsijoille merkittyjen kohteiden arvo. Siksi nämä mekanismit edistävät kohteiden tasaista jakautumista, toisin kilpailuttajan saaman hyödyn kustannuksella.

Vertailumekanismien toinen huono puoli on, että mahdollisia urakoitsijakombinaatioita muodostuu melko paljon. Jos esimerkiksi halutaan maksimissaan neljä urakoitsijaa kymmenestä, täytyy käydä läpi kaikki urakoitsijanelikot, kolmikot, parit ja yksittäiset urakoitsijat. Mahdollisia kombinaatioita on tällöin

$$\binom{10}{4} + \binom{10}{3} + \binom{10}{2} + \binom{10}{1} = 385$$

Tietokoneelle tehtävän ratkaiseminen ei ole suurikaan tehtävä. Sen sijaan, kun huutokaupan ratkaiseminen halutaan esittää kirjallisesti, täytyy asiakirjaan laittaa kaikki tehdyt vertailut esille. Esimerkiksi hävinneet urakoitsijat haluavat varmasti nähdä, miten ratkaisu syntyi. Urakoitsijoiden lukumäärärajoituksella ja urakoiden hintarajoituksella suurtenkin tehtävien ratkaisu voidaan esittää kahdella taulukolla. Vertailumekanismien tulosten esittäminen on kuitenkin helpompaa, kuin esimerkiksi optimointialgoritmeja käyttävän mekanismin. (Teknisesti ottaen vertailumekanismi ratkaisee lineaarisen ohjelmoinnin tehtävän, mutta se tapahtuu käymällä kaikki käyvät pisteet läpi.)

7 Pelistrategioiden pohdinta

Tätä tutkimusta varten tehty simulaatiomalli tekee urakoitsijoiden käyttäytymisestä oletuksia, jotka eivät ole täysin realistisia. Todellisuudessa urakoitsijoiden tekemiin tarjouksiin vaikuttavat sekä sisäiset tekijät, kuten urakoitsijoiden omat preferenssit, että ulkoiset tekijät kuten ympäristö ja erilaiset peliteoreettiset oletukset muiden urakoitsijoiden toiminnasta. Tässä osiossa käydään läpi joitakin mallin rajoituksia ja pohditaan miten urakoitsijat toimisivat todellisuudessa. Pelistrategioiden analysointi pohjautuu peliteoriaan, huutokauppadynamiikan havaintoihin ja ryhmän omiin näkemyksiin.

7.1 Huutokauppakierrosten riippumattomuus

Tehty simulaatiomalli olettaa että huutokauppa, jossa kohteet jaetaan, on yksittäinen tapahtuma, johon eivät vaikuta edellisten huutokauppojen tulokset tai urakoitsijoiden spekuloinnit tulevista huutokaupoista. Tällaiset urakoitsijoiden näkemyksiin ja oletuksiin liittyvät tekijät on jätetty mallista pois, koska niiden mallintaminen olisi erittäin hankalaa tai jopa mahdotonta. Todellisuudessa huutokauppa ei kuitenkaan ole eristyksissä historiasta ja tulevaisuudesta, joten kumpikin saattaa hyvinkin vaikuttaa huutokaupan dynamiikkaan, erityisesti urakoitsijoiden kohteista tarjoamiin

hintoihin. Näin ollen mallin oletus siitä, että urakoitsijoiden tarjoukset ovat homogeenisiä ja normaalijakautuneita, ei täysin vastaa todellisuutta.

Edellisillä huutokaupoilla saattaa olla vaikutusta urakoitsijoiden eri kohteista tekemiin tarjouksiin. Mikäli jokin tietty urakoitsija ei ole saanut edellisessä huutokaupassa urakkaa tehtäväkseen, voi tämä olla valmis tinkimään katteistaan ja tarjota halvempaa hintaa nykyisessä huutokaupassa varmistaakseen jonkinlaista liikevaihtoa tulevalle kaudelle. Toisaalta yritys, joka on voittanut paljon urakoita lähihistoriassa ja on näin ollen hyvässä taloudellisessa asemassa, voi ottaa riskin ja tarjota kohteista tavallista korkeampaa hintaa, koska häviö tarjouskilpailussa ei olisi katastrofi.

Urakoitsijoiden spekuloinnit tulevista huutokaupoista saattavat myös vaikuttaa heidän nykyisiin tarjouksiinsa. Mikäli urakoitsija olettaa että seuraavassa huutokaupassa on vähemmän kohteita ja kilpailu täten kovempaa, voi tämä alentaa tarjouksiaan nykyisessä huutokaupassa varmistaakseen töiden jatkuvuuden. Samoin epävarmuus tulevien huutokauppojen ajankohdista esimerkiksi laman johdosta tai valtiovallan politiikan muutosten takia saattaa vaikuttaa urakoitsijoiden käyttäytymiseen. Epävarmuus tulevasta korostaa nykyisen huutokaupan merkitystä, mikä saattaa johtaa tavallista alempiin tarjouksiin.

Sekä menneet että tulevat huutokaupat vaikuttavat siis urakoitsijoiden näkemyksiin nykyisen huutokaupan merkityksestä, mikä tarkoittaa että yksittäinen huutokauppa on harvoin riippumaton. Oman käyttäytymisensä lisäksi urakoitsijat voivat myös spekuloida menneisyyden ja tulevaisuuden vaikutusta kilpailijoihinsa. Urakoitsija A voi esimerkiksi ajatella että urakoitsija B tarjoaa tulevassa huutokaupassa halpaa hintaa, koska B ei ole saanut urakoita vähään aikaan. Tällaisen oletuksen pohjalta A voi myös alentaa hintaa. Aikaisemmat ja tulevien huutokaupat vaikuttavat urakoitsijoiden näkemyksiin siis monella tasolla, mikä tekee niiden mallintamisesta erittäin vaikeaa. Olisi kuitenkin mielenkiintoista mallintaa urakoitsijoiden käyttäytymistä huutokaupassa aikasarja-analyysin kautta, jossa muuttujana voisi olla edellisten huutokauppojen menestys. Aikasarja-analyysi on kuitenkin tämän tutkimuksen laajuuden ulkopuolella.

7.2 Käytettävän mekanismin vaikutus säästöpotentiaaliin

Huutokaupan peruseräiteiden ja julkishallinnon velvoitteiden johdosta täytyy käytettävän huutokaupamekanismin olla läpinäkyvä ja tarkasti tiedossa kaikille urakoitsijoille. Näin ollen urakoitsijoiden käyttäytyminen voi olla erilaista riippuen käytettävästä mekanismista. Tämä johtaa siihen, että eri mekanismien todellinen säästöpotentiaali saattaa poiketa simuloinnin avulla saaduista, sillä simulointimalli olettaa urakoitsijoiden käyttäytymisen samaksi riippumatta mekanismista.

Kuten aikaisemmin on mainittu, on usein urakoitsijan kannalta toivottavaa, että tämä saa jatkuvaa kassavirtaa toimintojensa jatkamiseksi. Kokonaisurakkamekanismilla yksi urakoitsija saa kaikki kohteet, mikä johtaa siihen että kilpailu on erittäin kovaa ja urakoitsijat voivat olla valmiita leikkaamaan katevaatimuksiaan parantaakseen voittomahdollisuuksiaan ja turvatakseen kassavirran muodostumisen. Toisaalta sellaisissa huutokaupoissa, joissa tarjoukset pitää tehdä kohteista erikseen ja useampi urakoitsija saa urakoita tehdäksään, voivat urakoitsijat olettaa että hieman korkeimmillakin hinnoilla olisi mahdollista voittaa joitakin kohteita ja saada kassavirtaa. Tällainen käyttäytyminen johtaisi pienempään säästöpotentiaaliin sellaisilla mekanismeilla, joissa useampi urakoitsija voittaa kohteita. Mikäli kuitenkin oletamme että urakoitsijoiden lukumäärä on suuri verrattuna huutokaupan pitäjän asettamaan lukumäärärajoitukseen, ei tämäntyyppisen spekuloinnin vaikutuksen pitäisi olla suuri. Urakoitsijoiden määrän kasvaessa riski jäädä ilman urakkaa lisääntyy,

minkä pitäisi ajaa tarjouksien hintoja alas, jolloin säästöpotentiaali ei merkittävästi poikkea simulointimallin antamista tuloksista.

Jos kohteet jaetaan kokonaisurakkamekanismilla, voivat urakoitsijat lisäksi saada kustannustasoan laskettua suurtuotannon etujen kautta. Lisäksi on urakoitsijan kannalta toivottavampaa saada pitkäkestoisia ja laajoja projekteja hoidettavaksi, jolloin urakoitsijaan kohdistuva kuormitus on tasaisempaa ja ennustettavampaa. Nämä seikat saattavat myös alentaa urakoitsijoiden tekemien tarjousten hintaa verrattuna sellaisiin mekanismeihin, joissa kohteista tehdään tarjoukset erikseen ja useampi urakoitsija voittaa kohteita. Toisaalta mekanismeissa, joissa tarjoukset tehdään kohteista erikseen, alueelliset edut saattavat tehostaa urakoitsijoiden toimintaa, näin ollen alentaen tarjousten hintatasoa. Valitun mekanismin vaikutusta urakoitsijoiden tarjoustasoon ja sitä kautta säästöpotentiaaliin on siis todellisuudessa vaikea arvioida tarkasti.

7.3 Urakoitsijoiden ominaisuudet

Oletus urakoitsijoiden homogeenisyydestä on tarpeellinen mallin yksinkertaistamisen kannalta, mutta todellisuudessa urakoitsijat saattavat olla ominaisuuksiltaan hyvinkin erilaisia. Nämä erilaisuudet vaikuttavat urakoitsijoiden todelliseen käyttäytymiseen monella tavalla.

Urakoitsijan koko ja toimintojen laajuus saattavat vaikuttaa niiden käyttäytymiseen. Suuret urakoitsijat voivat saada suurtuotannon etuja joillakin tietyillä alueilla tai tietyntyyppisissä töissä, mikä saattaa vähentää niiden kustannuksia ja näin ollen mahdollistaa kilpailukykyisempien tarjousten tekemisen. Toisaalta pienillä, tiettyyn alueeseen keskittyneillä yrityksillä saattaa olla paikallisia kilpailuetuja esimerkiksi paremman informaation muodossa, mikä saattaa vaikuttaa työn laatuun tai tehokkuuteen. Nämä ominaisuudet saattavat johtaa siihen että urakoitsijoiden kilpailukyky eri kohteiden välillä saattaa vaihdella huomattavasti. Huutokauppa ei jokaisen kohteen kohdalla olekaan välttämättä paras vaihtoehto, koska se ei anna subjektiiviselle valinnalle tilaa. Joskus pieni paikallinen toimija ei pysty vastaamaan suuren ja resursseiltaan ylivoimaisen urakoitsijan tarjoukseen jostain tietystä kohteesta, vaikka pienen toimijan työ saattaisikin olla laadultaan parempaa. Tämä onkin yksi huutokaupamekanismien yksi heikkouksista: kohteet pitää jakaa yksiselitteisten ja yksinkertaisten objektiivisten kriteereiden, yleensä hinnan, perusteella.

Urakoitsijan koko saattaa vaikuttaa myös niiden peliteoreettiseen käyttäytymiseen. Koska huutokaupat eivät ole riippumattomia, voi urakoitsija käyttää hyväkseen kokoaan nykyisessä huutokaupassa parantaakseen asemiaan ja voittojaan seuraavaan huutokauppaan. Suuret urakoitsijat voivat esimerkiksi tarjota erittäin alhaisia hintoja saadakseen kaikki urakat nykyisessä huutokaupassa ja samalla toivoa että tämä strategia ajaa pienemmät toimijat konkurssiin. Näin kilpailu seuraavassa huutokaupassa olisi vähäisempää ja urakat voitaisiin voittaa korkeammilla hinnoilla. Pienten toimijoiden poistuminen alalta johtaisi myös oligopoliseen kilpailuun, jossa toisten pelaajien toiminnan ennustaminen helpottuisi. Valtiovallan ja yleisen tehokkuuden kannalta tällainen suurten toimijoiden dominointi ei kuitenkaan olisi suotavaa, koska se saattaisi nostaa urakoiden kustannuksia. Olisikin hyvä jos huutokauppaan tai kilpailulakiin voitaisiin saada tällaista hintojen polkemista estävä mekanismi.

Urakoitsijoiden tehokkuudessa saattaa olla eroja riippuen huutokaupattavien kohteiden luonteesta ja maantieteellisestä sijoittumisesta. Jokin urakoitsija saattaa olla erikoistunut tietyntyyppisiin kohteisiin, mikä voi mahdollistaa alemman kustannustason ja näin ollen edullisemman tarjouksen katteen pysyessä samana.

Simulaatiomalli muodostaa urakoitsijoiden tarjouksen todennäköisyysjakaumasta, joka luo satunnaisia eroja urakoitsijoiden tarjouksiin. Nämä erot osittain kuvastavat urakoitsijoiden heterogeenisyyttä, mutta todellisuudessa jotkin urakoitsijat voivat saada systemaattista etua ominaisuuksiensa perusteella. Jotta nämä systemaattiset edut saataisiin mukaan malliin, olisi tiettyjen urakoitsijoiden jakaumia muutettava heidän ja kohteiden ominaisuuksien perusteella. Tämä on kuitenkin käytännössä erittäin vaikeaa kohteiden ja urakoitsijoiden kombinaatioiden suuren lukumäärän sekä kilpailuetujen kvantifioinnin mahdottomuuden takia.

7.4 Epäsymmetrinen informaatio

Vaikka urakoiden allokointimetodina huutokauppa onkin erittäin läpinäkyvä, saattavat urakoitsijat lähteä tekemään tarjouksiaan erilaisista lähtökohdista epäsymmetrisen informaation takia. Tämä realiteetti on mahdoton lisätä mukaan simulaatiomalliin, mutta sen olemassaolo on hyvä tiedostaa, koska se saattaa vaikuttaa urakoitsijoiden tekemiin tarjouksiin.

Mikäli jollain urakoitsijalla on aikaisempaa kokemusta tiettyntyyppisistä kohteista, on mahdollista että tämä voi suorittaa näistä kohteista muodostuvan urakan huomattavasti tehokkaammin kuin uusi urakoitsija. Tätä ilmiötä kutsutaan oppimiskäyräksi ja se voi mahdollistaa kokeneen urakoitsijan tekemään halvemmän tarjouksen.

Kaikilla urakoitsijoilla ei välttämättä ole myöskään samaa informaatiota huutokaupan kohteiden luonteesta. Huutokauppaa edeltävässä selvitystyössä urakoitsijat voivat kerätä eri määriä informaatiota, jotka saattavat vaikuttaa heidän tekemiinsä tarjouksiin. Mikäli esimerkiksi jokin huutokauppa vaikuttaa houkuttelevalta, mutta siihen sisältyy piileviä kustannuksia, joita kaikki eivät huomaa, voi urakoitsijoiden tekemiin tarjouksiin muodostua tavallista suurempaa heittoa.

7.5 Pelistrategioista yleisesti

Huutokauppa on erittäin läpinäkyvä ja usein suoraviivainen tapa allokoida urakoita urakoitsijoille. Silti urakoitsijat joutuvat erittäin monimutkaisten peliteoreettisten ongelmien ääreen miettiessään omia tarjouksiaan (peliteorian esimerkkejä: Gibbons, 1992). Näitä pelistrategioita ei ole voitu sisällyttää simulaatiomalliin, mikä on hyvä pitää mielessä, kun simulaation tuottamia tuloksia sovelletaan todellisuuteen. Vaikka urakoitsijat olisivat ominaisuuksiltaan (esimerkiksi koko, tehokkuus, kulurakenne, maantieteellinen sijoittuminen) samanlaisia ja kullakin olisi sama informaatio käytettävissä, saattaisi heidän kohteista tekemissä tarjouksissa olla silti huomattavia keskinäisiä heittoa. Nämä erilaisuudet johtuvat pitkälti urakoitsijoiden tekemistä oletuksista ja spekulatioista liittyen edellisiin ja tuleviin huutokauppoihin sekä kilpailijoiden toimintaan. Vastaavasti huutokaupan järjestäjän on erittäin vaikeaa arvioida urakoitsijoiden saavuttama kokonaishyöty kustakin kohteesta, mikä vaikeuttaa urakoitsijoiden käyttäytymisen ennustamista esimerkiksi Nashin tasapainon kautta (Gibbons, 1992).

Huutokaupan järjestäjän ja yleisen tehokkuuden kannalta olisi toivottavaa että urakoitsija, joka pystyy tekemään tietyn urakan alhaisimmalla kustannuksella ja tarpeeksi hyvällä laadulla, voittaisi aina kyseisen urakan. Huutokaupan järjestäjän intresseissä on saada urakat tehtyä mahdollisimman halvalla, mutta mikäli alhainen hintataso ei ole kestäväällä pohjalla, voi siitä seurata huomattavia ongelmia. Liiallinen pelistrategioiden hiominen ja kireä kilpailu saattavat alentaa urakoitsijoiden tekemiä tarjouksia keinotekoisesti alhaisiksi, mikä pitkällä tähtäimellä johtaa helposti konkurssiin ja tehottomaan urakoiden allokointiin. Tästä johtuen jonkinlainen mekanismi epärealistisen alhaisten hintojen karsimiselle voisi olla paikallaan.

8 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän työn simulaatioissa urakoitsijoiden käyttäytyminen on hyvin ennustettavaa. Urakoitsijoiden tarjoukset noudattavat normaalijakaumaa ennalta määrätyillä parametreilla. Tämä pohjautuu oletukseen, että urakoitsijat tarjoavat todelliset kulunsa lisättynä vakiokatteella. Mitä vähemmän urakoitsijoita osallistuu tarjouskilpailuun, sitä vaikeampaa urakoitsijoiden käyttäytymistä on todellisuudessa ennakoida. Jos urakoitsijoita on vähän, on niiden helpompaa taktikoida toisiaan vastaan. Jos urakoitsijoita on paljon, kannattaa urakoitsijoiden mieluummin tyytyä tekemään oman yrityksen kannalta hyviä tarjouksia, kuin yrittää esimerkiksi pelata muita pois markkinoilta. Siksi simulointien tulokset pätevät todennäköisesti paremmin, kun urakoitsijoita on paljon. Todellisista huutokaupoista saatu aineisto ei ole ristiriidassa normaalijakaumaoletuksen kanssa. Sen avulla ei kuitenkaan pystytä vahvistamaan normaalijakaumaoletusta päteväksi.

Simuloinneissa lasketaan säästöpotentiaali, joka tarkoittaa käytetyllä mekanismilla saatavaa suhteellista säästöä verrattuna kokonaisurakkaan. Simuloinneissa oletetaan, että käytettävä mekanismi ei vaikuta urakoitsijoiden tekemiin tarjouksiin. Säästöpotentiaalia laskettaessa oletetaan kokonaisurakkamekanismin hinnan olevan kohteiden hintojen summa. Todellisuudessa urakoitsija saattaisi tarjota kokonaisurakasta alemmaa hintaa, koska tietäisi varmuudella joko voittavansa kaikki kohteet tai yhtäkään. Jos urakoitsijat tekevät kohteista suurempia tarjouksia käytetyn mekanismin takia, säästöpotentiaali pienenee. Jos tiedettäisiin, paljonko mekanismi nostaa urakoitsijoiden tarjouksia, voitaisiin arvioida jääkö säästöpotentiaali positiiviseksi, vai päädytäänkö kokonaisurakkaa kalliimpaan hintaan. Useamman urakoitsijan käyttäminen lisää todennäköisesti kilpailuttajan hallinnollisia kustannuksia. Myös tästä aiheutuvia kuluja voidaan verrata säästöpotentiaaliin ja arvioida kannattaako mekanismin vaihtaminen todellisuudessa.

Simulaatiossa tutkittiin eniten tilannetta, jossa kaikkien urakoitsijoiden kaikista kohteista tarjoamat hinnat noudattavat normaalijakaumaa samalla odotusarvolla ja keskihajonnalla. Tällöin satunnaisten tarjouksien keskinäiset erot riippuvat ainoastaan jakauman keskihajonnasta. Mitä suurempia eroja kohteesta annettujen tarjouksien välillä on, sitä suurempi säästöpotentiaali voidaan saavuttaa jakamalla kohteita usealle urakoitsijalle.

Simulointien ehkä tärkein tulos on, että tiukoillakin rajoituksilla voidaan saada huomattavia säästöpotentiaaleja. Urakoitsijoiden lukumäärärajoitusta tutkittaessa todettiin, että urakoiden lukumäärän kasvaessa säästöpotentiaali kasvaa aluksi rajusti, mutta sitten kasvu tasaantuu. Toisin sanoen pienikin myönnytys, kuten siirtyminen nykyisestä yhden urakoitsijan mallista kahteen tai kolmeen urakoitsijaan, toisi merkittävästi säästöpotentiaalia.

Simulointien perusteella näyttäisi, että mekanismien avulla saatava säästöpotentiaali lisääntyy selvästi huutokaupattavien kohteiden lukumäärän kasvaessa. Tämä johtuu siitä, että urakoitsijoiden väliset erot tasoittuvat, kun kohteita on enemmän. Kun kohteita on vähän, löytyy todennäköisemmin urakoitsija, jonka tarjoama kokonaisurakka on suhteellisen edullinen. Sen sijaan tarjouskilpailuun osallistuvien urakoitsijoiden lukumäärän kasvu ei nosta säästöpotentiaalia kovinkaan paljon.

Erittäin mielenkiintoista on myös se, että esivalintakierroksen sisältävissä menetelmissä (urakoitsijoiden lukumäärärajoitus ja urakoiden hintarajoitus) alueellinen kilpailuetu joissakin kohteissa parantaa urakoitsijan asemia koko huutokaupassa. Tämä johtuu siitä, että urakoitsijalla on hyvät mahdollisuudet voittaa kohteet, joihin sillä on alueellista kilpailuetua. Tämä parantaa urakoitsijan mahdollisuuksia päästä jatkoon ja jakamaan muitakin kohteita.

Työssä tarkasteltiin pääasiassa urakoitsijoiden lukumäärärajoitusta ja urakoiden hintarajoitusta toteutettuina esivalinnan avulla, eli kuten ne on luvussa 3 määritelty. Vastaavat rajoitukset voidaan toteuttaa myös lineaarisen ohjelmoinnin tehtävänä, jolloin saadaan rajoitusten puitteissa suurin mahdollinen säästöpotentiaali. Riippuen tarjouksista, päästään esivalinnan sisältävillä mekanismeilla korkeintaan yhtä hyvään säästöpotentiaaliin kuin lineaarisella ohjelmoinnilla. Lineaarisen ohjelmoinnin tehtävän ratkaiseminen ei myöskään johda koskaan kokonaisurakkaa kalliimpaan hintaan, kuten esivalinnan sisältävillä mekanismeilla voi käydä. Lineaarista ohjelmointia käyttävät mekanismit ovat kuitenkin liian monimutkaisia käytettäväksi tarjouspyynnössä. Tällaiset mekanismit vaatisivat sekä tilaajalta että urakoitsijoilta huomattavaa panostusta ja optimointiin liittyvää asiantuntemusta. Kombinatorisiin huutokauppamekanismeihin liittyy samanlainen ongelma – nekin vaatisivat kaikilta osapuolilta liikaa aikaa ja peliteoreettista asiantuntemusta.

Esivalinnan sisältävien mekanismien päätyminen kokonaisurakkaa kalliimpaan hintaan voidaan estää määrittelemällä huutokauppamekanismit hieman eri tavalla. Esivalinnan sisältävien mekanismien hyvä puoli on, että ne jakavat kohteet niitä ylipäätään saavien urakoitsijoiden kesken melko tasaisesti.

Vertailumekanismi ratkaisee urakoitsijoiden lukumäärään liittyvän optimointitehtävän käymällä läpi kaikki sallitut urakoitsijakombinaatiot. Tulos on siis sama kuin lineaarisella ohjelmoinnilla, mutta huutokaupan ratkaiseminen on mahdollista esittää ja ymmärtää puuttumatta lineaarisen ohjelmoinnin teoriaan. Huutokaupan ratkaiseminen ei ole kuitenkaan esitettävissä aivan yhtä helposti kuin esivalintamekanismeilla.

Tarjouspyynnöissä on määriteltävä huolellisesti ja aukottomasti mekanismin toiminta tasapelitilanteissa. Urakoiden hintarajoitusta käytettäessä oikean hintarajan valitseminen voi olla vaikeaa. Liian suurella hintarajalla on mahdollista päätyä rajoituksetonta mekanisme kalliimpaan hintaan, ja pahimmillaan huutokauppa ei ratkea ollenkaan.

Alueellisia kilpailuetuasetelmia tarkasteltiin lyhyesti. Jatkotutkimuksissa voisi tarkastella kilpailuedun suuruuden vaikutusta säästöpotentiaaliin.

9 Lähteet

Gibbons, R. (1992) *A Primer in Game Theory*. Prentice Hall.

Krishna, V. (2002) *Auction Theory*. Academic Press. London, UK.

Leskelä, R-L. (2009) *Bidder Support in Iterative, Multiple-Unit Combinatorial Auctions*. Doctoral Dissertation series 2009/12. Helsinki University of Technology, Espoo.

Rothkopf, M., Pekeč, A. & Harstad, R. (1998) Computationally Manageable Combinatorial Auctions, *Management Science* **44**(8): 1131-1147.

Sandholm, T. (2003) *Automated mechanism design: A New Application Area for Search Algorithms*. In Proceedings of the International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP).

Liite 1: Tarjouskilpailu ZOLP-tehtävänä

Olkoon kohteita N kappaletta ja urakoitsijoita M kappaletta. Olkoon urakoitsijoiden lukumäärärajoitus U ja urakoiden minimihintarajoitus H . Merkitään kohteen indeksiä kirjaimella i ja urakoitsijan indeksiä kirjaimella j .

Merkitään $x_{ij} = 1$, jos kohde i tilataan urakoitsijalta j . Muuten $x_{ij} = 0$.

Apumuuttujan t_j arvoksi pakotetaan 1, jos urakoitsijalta j tilataan yksi tai useampia kohteita. Muuten $t_j = 0$.

Olkoon $c_{ij} > 0$ kohteen x_{ij} hinta.

Olkoon B iso vakio, jolle pätee $B > N$ & $B > H$.

Ratkaistaan tehtävä:

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{ij} x_{ij}$$

Kokonaiskustannus

s. e.

$$\sum_{j=1}^M x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, N$$

Jokainen kohde tulee valituksi vain kerran

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} \leq B t_j \quad \forall j = 1, \dots, M$$

Pakotetaan apumuuttujan t_j arvoksi 1, jos urakoitsijalta j tilataan yksi tai useampia kohteita. Muuten $t_j = 0$

lisärajoitukset:

$$\sum_{j=1}^M t_j \leq U$$

Urakoitsijoiden lukumäärärajoitus

$$\sum_{i=1}^N c_{ij} x_{ij} + B(1 - t_j) > H \quad \forall j = 1, \dots, M$$

Urakoiden minimihintarajoitus

muuttujien tyypit:

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

$$t_{ij} \in \{0,1\}$$

Simuloinnissa huomattiin, että ZOLP-tehtävän ratkaisuaika riippuu huomattavasti hintarajan H arvosta. Kun H lähestyy kaikkien kohteiden yhteishinnan odotusarvoa, algoritmi joutuu ilmeisesti käymään läpi huomattavasti useampia haaroja tehtävästä. Ratkaisu nopeutui huomattavasti, kun relakoitiin muuttujat $x_{ij} \in [0,1]$. Tehtävä päättyi edelleen kokonaislukuratkaisuun. Simuloinneissa havaittiin, että enintään yhden kohteen päätösmuuttujat saattoivat saada ei-kokonaislukuarvon. Tällöin on helppo valita parempi kahdesta vaihtoehdosta lopulliseksi ratkaisuksi.

Liite 2: Simulaatiomallin käyttöliittymä

