

Alihankintayhteistyön kustannusmallitarkastelu

Alihankinnan välillisten kustannusten minimointiin perustuva varaston sijaintipäätös toistuvassa erätuotannossa

Julkinen tutkimusraportti	
Raportin nimi Alihankintayhteistyön kustannusmallitarkastelu	
Toimeksiantaja/rahoittaja ja tilaus pvm/nro 11 yritystä, Tekes, Työelämän kehittämisohjelma	Raportin numero BTUO64-021059
Projektin nimi Koneali	Suoritteen numero G1SU00823
Laatija(t) Jyri Pötry	Sivujen/ liitesivujen lukumäärä 80 /
Avainsanat Tuplavarasto, alihankinta, kustannusmalli, tilaus-toimitusprosessi, välilliset kustannukset	
Tiivistelmä <p>Tämä tutkimus oli osa Tekesin, Työelämän kehittämisohjelman ja 11 suomalaisen pk-yrityksen rahoittamaa Koneali-hanketta, jossa tutkittiin suomalaisen konepajateollisuuden alihankintaprosessien kehittämisedellytyksiä ja -tapoja.</p> <p>Toistuvana erätuotantona valmistettavia alihankintanimikkeitä varastoidaan tyypillisesti sekä pää- että alihankkijalla. Lisäksi alihankintaprosessiin liittyy useita ei-jalostavia työvaiheita tai tapahtumia. Tästä seuraa, että pää- ja alihankkijan yhteenlasketut välilliset kustannukset ovat korkeat. Kirjallisuudesta löytyy perusteluja varaston sijoittamiseksi sekä ali- että päähankkijalle, jos toinen varastoista eliminoidaan. Toisaalta on olemassa useita, usein laadullisia varastoratkaisua ohjaavia ja rajoittavia tekijöitä.</p> <p>Tutkimuksessa kehitettiin kustannusmalli, joka perustuu välillisiä kustannuksia kuvaavaan kustannusfunktioon, jossa ali- ja päähankkijan välilliset kustannukset lasketaan yhteen. Kustannusmallia testattiin vertaamalla sitä ensin viiteen tapaukseen, joissa todelliset tapahtumamäärät ja varastotasot tunnettiin. Toinen testimenetelmä oli kysynnän vaihtelun huomioiva tietokonesimulaatio. Kolmanneksi kustannusmallia kokeiltiin joukkoon erilaisia tapauksia eri yrityspareissa. Rajoituksista huolimatta kustannusmalli vaikutti käyttökelpoiselta ja tulokset vastasivat erityisesti alihankkijayritysten näkemyksiä. Mallin avulla voidaan etsiä tilaus-toimitusprosessin kehityskohteita, tarkastella tapahtuma- ja pääomakustannusten suhdetta, vertailla välillisten kustannusten jakautumista pää- ja alihankkijan välillä sekä tarkastella varaston sijoittamisen ja eräkokojen vaikutusta välillisiin kustannuksiin. Varaston sijaintipäätösmenettely, jolla etsitään niitä varastointitapoja, joilla välilliset kustannukset ovat minimissä vallitsevien rajoittavien ja ohjaavien tekijöiden puitteissa, perustuu kustannusmallitarkasteluun.</p> <p>Tutkittuja tapauksia ja havaittuja kehitysmahdollisuuksia on monta. Yhteistä useimmille tapauksille oli, että tapahtumakustannukset aiheuttivat suurimman osan välillisistä kustannuksista. Pyrkimys nopeuttaa varastojen kiertoa ilman muun prosessin kehittämistä ei vaikuta kannattavalta. Toisen varaston eliminointi vaatii yrityksiltä hyvää yhteistyötä sekä luottamusta. Joissakin tapauksissa myös tuplavarasto on perusteltu. Tällöinkin välillisten kustannusten minimointi perustuu yhteistyössä tehtävään tuote- ja prosessikehitykseen.</p>	
Allekirjoitukset, Espoo 09.12.2002	
<i>Rauno Heinonen</i> Tutkimuspäällikkö	<i>Jyri Pötry</i> Tutkija

Alkusanat

Tämä tutkimus on osa VTT:n Tuotteet ja Tuotanto-yksikön Koneali-hanketta, jossa tutkittiin pk-konepajateollisuuden alihankintaprosessien kehittämisedellytyksiä ja –tapoja.

Tutkimuksen rahoittivat Tekes, Työministeriön työelämän kehittämisohjelma ja tutkimukseen osallistuvat yritykset Erituote Oy, Oy Factorix Ab, Fläkt Oy, Kemppi Oy, Laukamo Electromec Oy, Lehtosen Konepaja Oy, Levyosa Oy, Metallilaitte Oy, Oy M. Haloila Ab, Thermo Labsystems Oy ja Purso Oy Veme.

Kiitän kaikkia tuesta, hyvin sujuneesta yhteistyöstä ja onnistuneesta projektista!

Kiitän myös muita Koneali-tutkimusryhmän jäseniä, projektipäällikkö, TkL Kai Häkkistä ja tekn.yo. Peik Joutsenta, joiden tekemästä hyvästä työstä ja löytämistä kiinnostavista tutkimustuloksista oli minulle suuresti apua.

Espoo, 4.12.2002

Jyri Pötry

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	6
1.1	Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaukset.....	7
1.2	Menetelmät ja tutkimuksen vaiheet.....	8
1.3	Lähtötilanne ja vaihtoehdot	9
2	Varastoinnista.....	11
2.1	Varastojen sijaintiongelma alihankintayhteistyössä	12
2.2	Varasto- ja ohjausratkaisun yhteys	13
2.3	Kustannusfunktiot varastonhallinnan apuvälineenä	15
3	Viitekehysten muodostaminen.....	19
4	Kustannusmallin rakentaminen.....	23
4.1	Kustannusfunktion muodostaminen.....	23
4.2	Varaston arvostuskysymyksistä	24
4.3	Laskentaperusteet.....	27
4.4	Kustannusfunktiioon perustuvan kustannusmallin rakentaminen.....	28
5	Kustannusmallin testaaminen historiavertailulla ja simuloimalla.....	31
5.1	Simulointimenetelmä.....	31
5.2	Nimike 1	34
5.3	Nimike 2	37
5.4	Nimike 3	40
5.5	Nimike 4	43
5.6	Nimike 5	45
5.7	Havainnot.....	47
6	Kustannusmallin tarkentaminen	49
7	Kustannusmallin testaaminen yrityksissä	53
7.1	Yrityspari A.....	53
7.2	Yrityspari B.....	55

7.3	Yrityspari C.....	57
7.4	Yrityspari D.....	59
7.5	Yrityspari E.....	60
7.6	Yrityspari F.....	61
7.7	Havainnot.....	63
8	Varaston sijoittamisen päätössäännöt.....	64
9	Tulosten tarkastelu.....	66
10	Pohdintaa.....	69
11	Yhteenveto.....	71
	Liite 1 Lähdeviitteet.....	73
	Liite 2 Kustannusmallin ja simuloinnin poikkeamat.....	75

1 Johdanto

Tutkimuksen lähtökohta on aikaisemmissa tutkimusprojekteissa havaittu ja analysoitu kaksoisvarasto-ongelma (Häkkinen et al. 2000: 6-11). Alihankintayhteistyölle toistuvassa erätuotannossa on tyypillistä, että samoja nimikkeitä varastoidaan sekä pää- että alihankkijalla. Samalla tilaus-toimitusprosessin eli yritysten välisen materiaali- ja tietovirran hallinta on varsin raskasta ja siihen liittyy paljon välillisiä tapahtumia. Tällöin välilliset kustannukset ovat suuria ja kiertonopeudet pieniä. Lisäksi tilaus-toimitusprosessissa on havaittu erilaisia vahvistus- ja/tai kompleksisuusilmiöitä. Tyypillisesti alihankkija joutuu toimimaan puutteellisemmän tiedon varassa kuin päähankkija.

Valmistusalihankinta poikkeaa muusta hankintatoiminnasta. Tuotteet ovat päähankkijan suunnittelempia ja alihankkijalla on kyseiselle tuotteelle vain yksi asiakas. Webster et al. määrittelevät valmistusalihankinnan seuraavasti:

”Valmistusalihankinta (subcontract manufacture) on prosessi, jossa alihankkija (organisaatio, jolla on päämiehestä riippumattomat tavoitteet) suorittaa kaikki tai osan päämiehen tuotteen valmistusvaiheista häneltä saamiensa spesifikaatioiden mukaisesti. Valmistukseen liittyvät aktiviteetit kuten materiaalihankinta, tuotannonsuunnittelu jne. voivat olla kumman tahansa vastuulla sopimuksesta riippuen.” (Webster et al. 1997: 528).

Huolimatta maailmanlaajuisesta yleistymisestä on valmistusalihankinnan tutkimus kaikkine ongelmineen jostain syystä jäänyt taustalle. Webster et al. ovat havainneet, että valmistusalihankintaa on tutkittu niukasti:

Alihankintaa ja siihen liittyviä asioita käsittelevän kirjallisuuden tutkiminen on paljastanut, että aihetta on käsitelty riittämättömästi valmistussektorilla (Webster et al. 1997: 527). Alihankinnan määritelmiä on niukasti, joten Webster et al. joutuivat kehittämään yleisen määritelmän itse (sama: 528).¹

Aikaisemmassa Partnet-projektissa selvitettiin kahden toistuvia mekaniikkaosia tuottavan ja käyttävän pää- ja alihankkijaparin tilaus-toimitusprosessin välillisiä kustannuksia. Välillisiin kustannuksiin kuuluivat alihankkijan asetuskustannukset sekä tapahtuma- ja varastokustannukset kummassakin päässä. Kahdeksan tutkitun nimikkeen tyypilliset välilliset kustannukset suhteessa nimikkeiden osto/myyntihintaan olivat seuraavanlaisia (Häkkinen et al. 2000: 70):

¹ Study of the literature on subcontracting and related issues has revealed a dearth of work in this area in manufacturing sector. (Webster et al. 1997: 527) Definitions of subcontracting are scarce, and a generic working definition – which uses the term principal to refer to the prime contractor – has been developed (sama: 528).

Taulukko 1. Toistuvien mekaniikkaosien välillisiä kustannuksia suhteessa päähankkijan ostovolyymiin

Asetuskustannukset:	5-12 %
Tapahtumakustannukset:	23-30 %
Varastointikustannukset:	5-10 %
Yhteensä:	33-52 %

Ääritapauksessa välilliset kustannukset olivat jopa 200 % nimikkeen hintaan verrattuna. Vaikka varastointikustannuksen osuus kaikista välillisistä kustannuksista on pienehkö, varastojen kierto oli hidasta ts. varastotasot korkeita verrattuna nimikkeiden kulutukseen.

Mikäli kahdesta peräkkäisestä varastosta toinen poistettaisiin, ohjattavuus oletettavasti paranisi² ja välilliset kustannukset pienenisivät³. Ohjaus- ja kustannusmielessä näyttää siten järkevältä eliminoida toinen varasto. Tilannetta hankaloittavat muun muassa alihankkijan pitkistä asetusajoista johtuvat suuret valmistuseräkoot sekä alihankintayhteistyölle melko tyypilliset noin yhden vuoden sopimukset ja muutenkin varsin ”varovainen” yhteistyö. Kun valmistuserät ovat suuria, tarvitaan paljon varastotilaa ja enemmän hallintatyötä. Jos sopimuskausi ei ole vuotta pidempi tai tilanne muuten varman tuntuinen, ei alihankkija uskalla investoida tai varata henkilöresursseja, mikä olisi alihankintaprosessin kehittämisessä välttämätöntä. Lisäksi tuotteiden ominaisuudet vaikuttavat sekä varastointiin että tilaus-toimitusprosessiin yleisemmin.

Kun toinen varastoista eliminoidaan, mihin jäljelle jäävä tulisi sijoittaa? Kysymykseen ei ole selvää vastausta. Eri lähteet puhuvat erilaisten ratkaisujen puolesta. Varastojen sijoittamista nimenomaan alihankinnassa on ilmeisesti tutkittu varsin vähän: löytämämme kirjallisuus ja lehtiartikkelit sivusivat aihetta usein, mutta missään ongelmaan ei alihankinnan kannalta keskitytty. Alihankinnan erityispiirteitä on huomioitu harvoin.

1.1 Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaukset

Tutkimusongelmana on tuplavarastointi alihankintayhteistyössä. Onko tapauksia, joissa tuplavarastointi on perusteltua? Jos tuplavarastoinnista luovutaan, mihin varasto tulisi sijoittaa? Tutkimuksen tavoitteena on kehittää varastojen sijaintipäätös menetelmä, joka perustuu välillisiä kustannuksia kuvaavaan kustannusmalliin sekä toisaalta varastoratkaisua rajoittaviin ja ohjaaviin muihin tekijöihin.

² Positiivinen tai vähintään neutraali vaikutus läpäisy aikaan, pääoman kierto nopeuteen ja toimitusaikaan

³ Välillisiä tapahtumia olisi tällöin vähemmän, myös varastojen kierto tavallisesti nopeutuisi

Tässä tutkimuksessa pyritään ottamaan kantaa varastojen sijaintiin, mutta ei siihen, kuka varaston omistaa ja miten sitä ohjataan. Myöskään hinnoitteluun ja säästöjen tai kustannusten siirtojen jakamiseen yritysten välillä ei syvennyttä.

1.2 Menetelmät ja tutkimuksen vaiheet

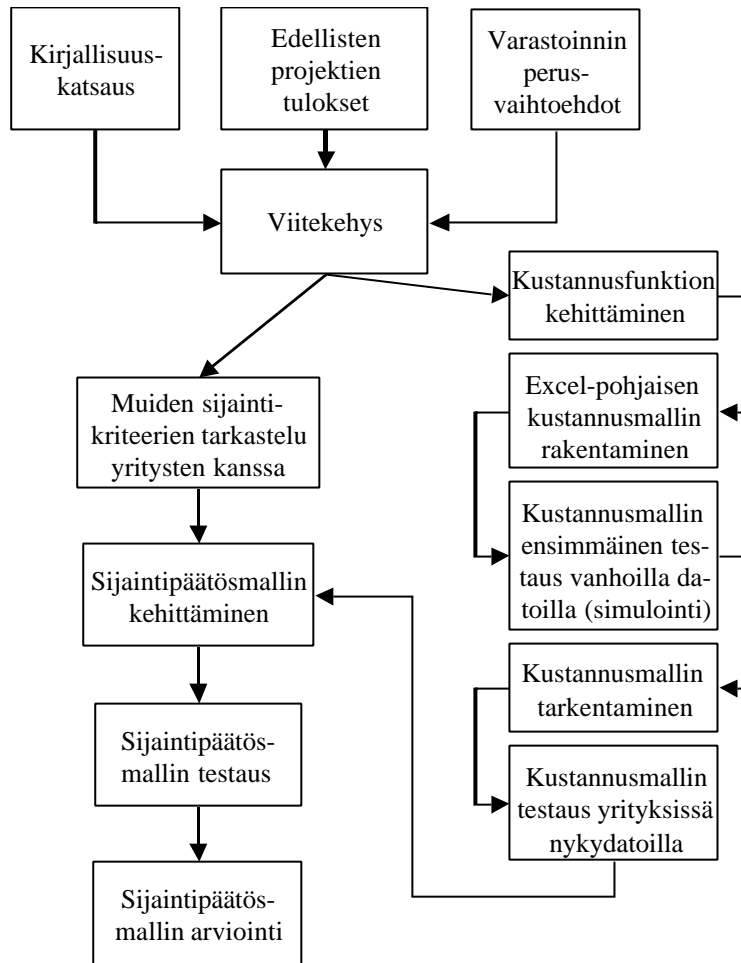
Tutkimuksen päävaiheet ovat:

1. Kirjallisuustutkimus ja tiedonkeruu
2. Analyysityökalun kehittäminen ja testaus
3. Analyysi
4. Päätösmallin testaus
5. Loppuraportti

Varastoinnin ja tuotannonohjauksen teorioiden perusteella luodaan tutkimukselle viitekehys. Analyysityökaluksi rakennetaan alihankinnan tilaus-toimitusprosessia kuvaavaan kustannusfunktioon perustuva Excel-pohjainen kustannusmalli. Mallia testataan ja kehitetään vertaamalla sitä todellisiin, tunnettuihin tapauksiin sekä dynaamisen tietokonesimulaation antamiin tuloksiin.

Eri tapauksia ja vaihtoehtoja analysoidaan kustannusmallin avulla. Analyysin perusteella luodaan varastojen sijaintipäätössäännöt, joita testataan yrityksissä ja mahdollisuuksien mukaan parannetaan palautteen perusteella. Tutkimuksen vaiheet on esitetty kuvassa 1.

Tutkimukseen saadaan tapausyrityksistä sekä kvantitatiivista että kvalitatiivista dataa. Edellistä ovat otosnimikkeiden tapahtumatiedot, jälkimmäistä haastatteluista ja dokumenteista saatava tieto.



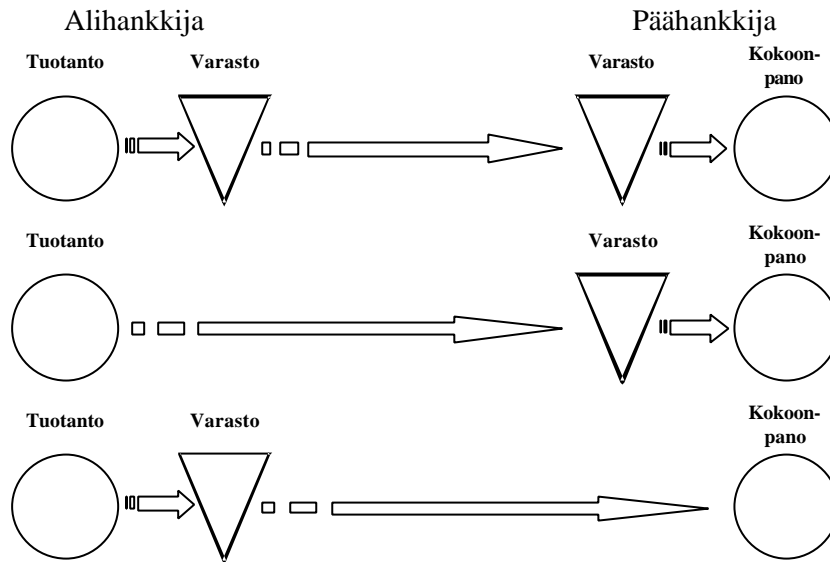
Kuva 1. Tutkimuksen vaiheet

1.3 Lähtötilanne ja vaihtoehdot

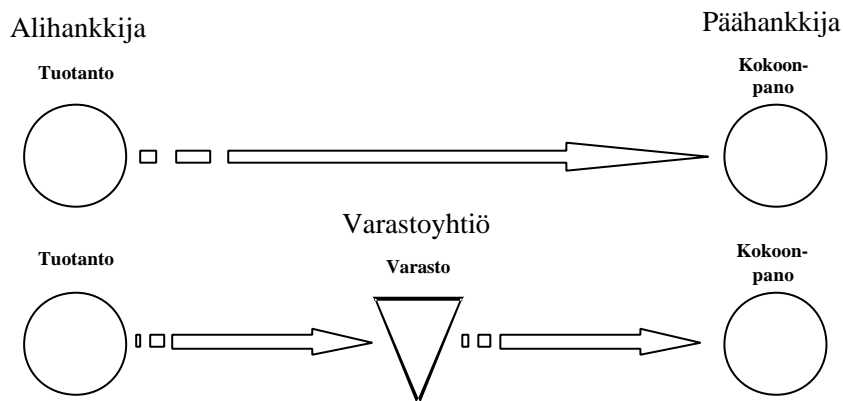
Tapausyrityksissä alihankkija valmistaa ja useimmissa tapauksissa varastoi päähankkijan piirustusten mukaisia, vakiintuneita, toistuvia mekaniikkaosia. Nimikkeiden elinkaarten pituudet ovat useita vuosia. Sopimukset ovat vaihtelevia. Tutkimuksessa vertaillaan kolmea eri varastointivaihtoehtoa: tuplavarastoa sekä tapauksia, joissa toinen varastoista on eliminoitu. Vaihtoehdot on esitetty kuvassa 2. Ohjaustapoja voi olla useita.

Vaihtoehtoja on todellisuudessa muitakin (kuva 3). Kumpikin varasto voitaisi eliminoida, jos alihankkija pystyisi valmistamaan tai kokoamaan osia juuri sen verran ja sillä hetkellä, kun päähankkijan tuotanto niitä tarvitsisi. Toinen mahdollisuus olisi, että yritysten välillä toimisi ulkopuolinen ”varastoyhtiö”, jonne alihankkija toimittaisi valmiin tuotantoerän ja josta osia toimitettaisiin tai noudettaisiin päähankkijan tuotannon tarpeen mukaan. Tässä tutkimuksessa käsitellään kuitenkin vain kuvan 2 vaihtoehtoja, koska ne ovat osallistujayritysten kannalta relevanteimmat. (Alihankkijat eivät pysty valmistamaan osia niin nopeasti ja niin pienissä erissä kuin päähankkijat niitä

kokoonpanossa tarvitsevat. Alihankintayhteistyöhön sopivia varastoyhtiöpalveluja on tarjolla vähän tai ei ollenkaan, eikä tällaisesta ratkaisusta ole tutkimustietoa.)



Kuva 2. Vertailtavat vaihtoehdot



Kuva 3. Muita mahdollisuuksia

2 Varastoinnista

Varastointitarve riippuu logistisesta verkostosta ja halutusta asiakaspalvelutasosta (Bowersox et al. 1996: 30). Haluttu palvelutaso vaikuttaa sekä ohjaus- että varastoratkaisuun. Varastot jaetaan kysynnän mukaan kahteen luokkaan: riippumattoman ja riippuvaisen kysynnän varastoihin. Riippumaton kysyntä tarkoittaa, että varastoitavien osien kysyntään vaikuttavat pääasiassa muut tekijät kuin yrityksen tekemät päätökset ja operaatiot. Varastoitavien osien menekin vaihtelu suhteessa toisiinsa voi olla satunnaista ja kysyntäennusteet perustuvat tyypillisesti historiatiedoista löydettyihin säännönmukaisuuksiin. Raaka-aine- ja komponenttivarastoihin kohdistuva kysyntä taas riippuu yrityksen päätöksistä, tuotanto- ja kokoonpano-ohjelmista, tuoterakenteista ja niin edelleen. Varastoon kohdistuva kysyntä tiedetään tarkasti tiettyjen päätösten jälkeen. (Vollman et al. 1997: 689). Tässä tutkimuksessa käsitellään komponenttivarastoja, siis riippuvaisen kysynnän varastoja.⁴

Varastojen päätehtävät ovat (Bowersox et al. 1996: 247-248, Gattorna et al. 1996: 112):

- Mahdollistaa tuotantolaitosten maantieteellisen *sijainnin vaihtelu* ja sijoittaminen kauas markkinoista
- Keskenäisen tuotannon ja komponenttien *puskurointi: taloudellisten eräkokojen valmistamisen ja ostamisen mahdollisuus, operaatioiden tasaaminen*
- *Kysynnän ja tarjonnan tasapainotus*, sesonkien vaikutuksen tasaaminen
- Varmuusvarastointi, kysynnän ja tuotannon *epävarmuuden vähentäminen*
- Markkinoinnin ja myynnin tukeminen

Balloun mukaan varastoinnin tarkoitus on joko vähentää kuljetus- tai tuotantokustannuksia, tasapainottaa kysyntää ja tarjontaa, tukea tuotantoprosessia tai tukea markkinointiprosessia. (Ballou 1992: 236-237). Varastoinnilla pystytään *lisäksi suojautumaan markkinariskiltä* kuten metallien hinnanvaihteluilta ja *vähentämään ohjaus- ja hallintatyötä* (Love 1979: 4-5). Varastoinnin *funktioita* ovat tuotteen säilytys, yhdistely ja purkaminen tai sekoittaminen (Ballou 1992: 240-243).

Varastointi- ja käsittelytapoihin vaikuttavat ainakin *tuotteen eri ominaisuudet, kysynnän määrä ja laatu, asiakaspalvelun tavoitetaso*⁵, *tilauskäytäntö kumpaankin suuntaan sekä materiaalin toimitusprosessi* varastoon ja varastosta (Gattorna et al. 1996: 112). Varastointitapoihin vaikuttavat tekijät voidaan jakaa yritysten sisäisistä prosesseista ja tuotteista sekä kysynnästä johtuviksi. Näitä tekijöitä ovat (sama: 114-116):

- Tuotanto- ja asennusprosessi varaston molemmilla puolilla

⁴ Alihankkijan kannalta heidän valmisvarastonsa voi olla riippumaton, mikäli ainoa pähkämökijalta saatava kysyntätieto on saapuvat tilaukset.

⁵ Varaston asiakas on se, jolle materiaali varastosta toimitetaan

- Myynti- ja tilausprofiili, nimikkeiden virtausnopeus ja –määrä⁶
- Tuotteen ominaisuudet: säilyvyys, paino, koko, kestävyys jne.

Tuotteiden muita ominaisuuksia ovat painon ja tilavuuden suhde, arvon ja painon suhde, korvattavuus ja riskiominaisuudet pilaantuvuus tai vanhentuvuus, tulenarkuus, räjähtävyys, arvo sekä ”varastettavuus”. (Ballou 1992: 60-64).

Varastonohjaustavan valinta riippuu lisäksi tuotantotavasta, ennustetarkkuudesta ja -menetelmistä sekä apuvälineiden saatavuudesta (Andersson et al. 1979: 141).

Varastojen palvelukykyä parannetaan (Gattorna et al. 1996: 253):

- *Sijoittamalla varastot lähelle asiakasta, jolloin vasteaika lyhenee*
- *Järjestämällä varastot niin, että paikallinen ongelma ei sotke koko ketjua, jolloin palvelusta tulee luotettavampaa*
- *Nostamalla korkeampaa palvelutasoa vaativille asiakkaille toimitettavien tuotteiden varastotasoja*

Eräs keino parantaa yritysten välisen tilaus- ja toimitusprosessin varastojärjestelmää on *kokoaminen* eli samanlaisten varastojen yhdistäminen (sama: 113).

2.1 Varastojen sijaintiongelma alihankintayhteistyössä

Schonberger on esittänyt 1980-luvulla, että JIT-toiminnassa varastointivastuuta tulee siirtää toimittajille: materiaaleja olisi varastoitava niiden valmistuspaikoilla. Kyse ei ole pelkästään kustannusten siirtämisestä, vaan Schonberger perustelee materiaalien varastoimista valmistuspaikoilla seuraavasti (Schonberger 1986: 159-161):

- Tilausten peruuntuessa vältetään kuljetus- ynnä muut kustannukset.
- Materiaali ei saavu asiakkaalle ennen todellista tarvetta. Tällöin vältetään materiaalin varastointikäsittelyjä.
- Varastointi valmistuspaikalla vähentää vaurioita.
- Materiaalin säilytys- ja kustannusvastuu kannustaa toimittajaa valmistamaan materiaaleja vasta, kun niitä tarvitaan.
- Jos asiakas pitää hankintavirran tasaisena, toimittaja voi pitää pieniä varastoja. Joustava ja nopea tuotanto vastaa epätasaisempiinkin tilauksiin.

Schonberger toteaa, että perustelut pätevät niin sisäisiin kuin ulkoisiin toimittajiin. (sama).

Lisäksi Schonberger mainitsee JIT-toiminnan esteeksi alihankkijat, joiden laatu, toimitusvarmuus tai toimitusten säännöllisyys on huono (sama: 182). Schonberger huomauttaa mahdollisuudesta, että toimittaja joutuu suuriin vaikeuksiin esimerkiksi

⁶ Tyypillisesti 10% nimikkeistä aiheuttaa 90% virrasta

onnettomuuden tai lakon vuoksi ja mainitsee, että asiakas voi pienentää riskejä varmuusvarastoilla (sama: 161)! Tuloksena olisi tällöin tuplavarasto.

Toiminnasta tulee helposti osaoptimointia, jossa toimitusketjun eri osia hallitaan eristettynä toisistaan, päädytään kaksoisvarastointiin ja toimitusketjun kokonaiskustannusten minimointi on mahdotonta (Jessop 1999: 45).

Toimittajan varastojen kasvattaminen asiakkaan siirtyessä kohti JIT-toimintaa on tyypillistä osaoptimointia. Lopputuloksena molemmat osapuolet saattavat pitää huomattavia varastoja. Asiakkaan varastosta toimitetaan lopuksi pieniä erinä tuotantoon tai kokoonpanoon JIT-periaatteella. (Smith et al. 2000: 13-14).

Smith et al. huomattavat, että hyvin tyypillisesti toimittajan ”varastotaakkaa” kasvatetaan siirtämällä toimittajan omistama varasto ja varastolaitteisto asiakkaan lähelle ja pitämällä kokonaisvarastotasoa keskeneräinen tuotanto mukaan luettuna korkealla (sama: 14). Yhdysvalloissa tehdyssä tutkimuksessa⁷ kaksi kolmasosaa toimittajayrityksistä kertoi pitävänsä suurempia varastoja niille asiakkaille, jotka ilmoittivat toimivansa JIT-periaatteella. Valtaosa piti varmuusvarastoa asiakkaan kehotuksesta. (sama: 16-17).

Gattornan et al. mukaan taas varastojen palvelukykyä parannetaan *sijoittamalla varastot lähelle asiakasta, jolloin vasteaika lyhenee* (Gattorna et al. 1996: 253). Joidenkin näkemysten mukaan puolivalmisteita tulisi *varastoida käyttöpaikoilla*, jossa niitä tarvitaan. Ballou toteaa sijoittelusta, että *tuotteita varastoidaan toimitusverkon solmukohdissa* (Ballou 1992: 237).

Varaston omistus, omistajuuden vaikutus hintoihin, hallintatyön kompensointi ja niin edelleen ovat tärkeitä kysymyksiä, joihin ei tässä puututa. Tyypillisestihän alihankkija haluaisi laskuttaa tuotteistaan mahdollisimman nopeasti ja päähankkija taas maksaa mahdollisimman myöhään.

Varastointi alihankintayhteistyössä on jossakin määrin analoginen keskeneräisen tuotannon varastoinnin kanssa. Kun tuotannossa tietty jalostusvaihe päättyy, puolivalmisteet siirretään tavallisesti pois jaloista seuraavan koneen lähettyville tai varastoon. Entä jos tehtaan lattialla matka koneelta seuraavalle kestäisikin tunteja tai jopa yli vuorokauden? Eikö tällöin siirrettäisi työvaiheen päätyttyä puolivalmisteet lähemmäksi seuraavaa konetta?

2.2 Varasto- ja ohjausratkaisun yhteys

Varastointia suunniteltaessa on vastattava seuraaviin kysymyksiin (Gattorna et al. 1996: 125):

- Kuka toimittaa materiaalin tai osat varastoon?
- Kuka varastoi ja missä?

⁷ Tutkimuksen tekijänä APICS (<http://www.apics.org/>)

- Kuinka paljon on välttämättä varastoitava?
- Miten tilaaminen järjestetään?
- Kuinka toimittaminen järjestetään?

Mikäli asiakas toimii JIT-periaatteella, mutta toimittaja ei, on mahdollista, että asiakkaan kannattaa vastata itse toimituksista. Kun asiakas vastaa toimituksista eli käy hakemassa materiaalin toimittajalta, toimitusvarmuus yleensä paranee. (Vollman et al. 1997: 489).

JIT-toimintaan siirryttäessä käy toisinaan niin, että asiakas kasvattaa varmuusvarastojaan ja toimittaja pitää itse epävirallista varmuusvarastoa (sama: 489).

Heikkilä huomauttaa, että varastotasojen pudottaminen voi olla hyvin haastavaa suuren asiakasjoukon kanssa vaikka joissakin tapauksissa saavutetaankin huomattavia parannuksia. Varastojen vähentäminen ja operaatioiden nopeuttaminen voi epäonnistua yhteistyöhaluttoman asiakkaan kanssa, mikä vähentää luottamusta entisestään, mistä taas seuraa entistä vääristyneemmän kysyntäinformaation saaminen asiakkaalta ja lopulta heikompi tehokkuus. Heikkilän havainto on, että riittävän informaation jakaminen voi olla välttämätön mutta ei riittävä ehto tulokselliselle asiakas-toimittajasuhteelle. (Heikkilä 2002: 762). Myös pää- ja alihankkijan välisten sopimusten sisältö vaikuttaa siihen, mitä vaihtoehtoja alihankintaprosessin kehittämiseksi on käytettävissä (van Mieghem 1999: 955).

Miten varastotäydennyksistä ja hallinnasta päätetään ja miten varastotapahtumia mallinnetaan, riippuu seuraavista tekijöistä (Love 1979: 34-36):

- Nimikemäärä
- Materiaalivirran rakenne: missä varastot sijaitsevat, mihin vaikuttavat ulkoinen ja mihin sisäinen kysyntä ja tarjonta; onko ketju yksi- vai moniportainen
- Varaston seurantaajuus: jaksollinen vai jatkuva
- Tiluseräkkö: kiinteä vai vaihteleva
- Suunnitteluhorisontti: aikajakso, jonka kysyntä huomioidaan; äärellinen vai ääretön
- Kysynnän määrättävyys: tunnettu vai satunnainen; staattinen vai dynaaminen
- Tarjonta: äärellistä vai ääretöntä
- Toimitusaika
- Palvelutaso
- Kustannusarviot

Lisäksi hallintaan vaikuttavat hinnanvaihtelu, sesongit, tilausmäärien rajat, varastojen rajat ja varaston pilaantuvuus tai vanhentuvuus.

Varastot eristävät päätöksentekijät logistisesta verkostosta (Ballou 1992: 406). Tilauspistekäytäntö peittää todellisen kysynnän näkyvistä varsinkin moniportaisessa varastojärjestelmässä. Täydennykset tehdään varastotietojen, ei todellisen kysynnän mukaan.

2.3 Kustannusfunktiot varastonhallinnan apuvälineenä

Toistuvassa erätuotannossa on perinteisesti käytetty hyväksi eräkokolaskelmia, joiden avulla on määritetty muun muassa varastojen täydennyseräkokoja. Eräkokolaskelmat perustuvat erilaisiin kustannusfunktioihin. Tavallisesti kustannusfunktioiden avulla mallinnetaan yrityksen sisäisiä kustannuksia.

Esimerkiksi yksinkertainen kustannusfunktio, joka kuvaa vuodessa kertyviä varaston pitämisestä aiheutuvia kustannuksia täydennyseräköön funktiona (Vollman et al. 1997: 698):

$$C = (D/q)*C_{til} + (q/2)*C_{vrsto} \text{ (kaava 1), missä}$$

C = vuoden kokonaiskustannukset

D = nimikkeen vuosikulutus

q = varaston täydennyseräkö, q/2 = vuoden keskivarasto

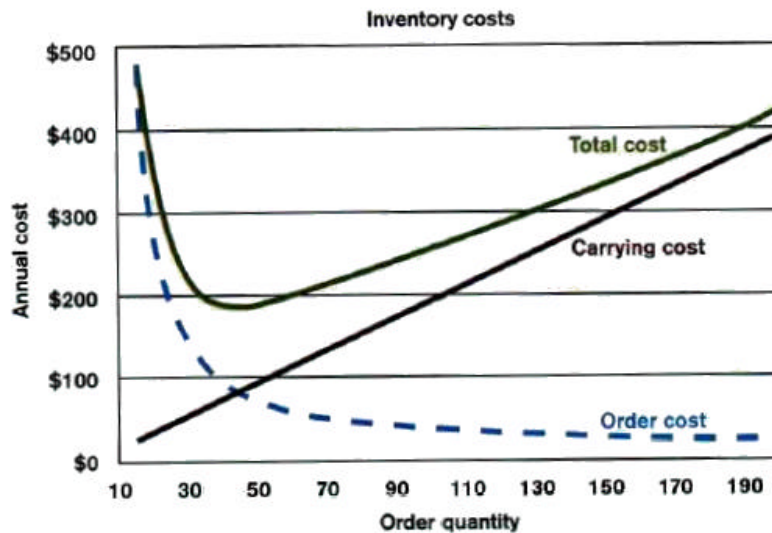
C_{til} = täydennyserän tilaamisesta (tilaajalle) aiheutuva kertakustannus

C_{vrsto} = varastointikustannus vuodessa / varastoitava kappale

Varastointikustannukseen kuuluvat pääoma-, varastotila- ja epäkuranttiuskustannukset sekä verot ja vakuutukset (sama: 695). Jos eräkoot kasvavat, varastokustannus kasvaa suuremman epäkuranttiusriskin ja tarvittavan lisätilan vuoksi (tekijän huomautus). Kun kaava 1 derivoidaan q:n suhteen ja lasketaan derivaatan nollakohta, saadaan tulokseksi nk. optimaalisen eräköön kaava tai Wilsonin kaava:

$$q = \sqrt{2DC_{til}/C_{vrsto}} \text{ (kaava 2)}$$

Tyypillisesti eräkokolaskelmien tarkoitus on pitää varastointi-, asetus- ja tilauskustannukset tasapainossa (Bowersox et al. 1996: 259). Esimerkki on tästä on kuvassa 4.



Kuva 4. Varastokustannusfunktion kuvaaja (Piasecki 2001: 31)

Kuvan 4 pystyakselilla ovat vuotuiset varaston pitämisestä ja täydentämisestä aiheutuvat kustannukset, vaaka-akselilla täydennyseräkkö. Katkoviiva kuvaa varaston täydentämiskustannuksia ($\text{order cost} = (D/q) \cdot C_{\text{til}}$), jotka ovat sitä pienempiä, mitä suurempi täydennyseräkkö on, koska täydennystapahtumia on tällöin harvemmin. Varastokustannukset ($\text{carrying cost} = (q/2) \cdot C_{\text{vrsto}}$) taas kasvavat täydennyseräkköön suurentuessa. Optimaalinen täydennyseräkkö on summakäyrän (Total cost) minimikohdassa.

Jos täydennyskustannukset olisivat nolla, ei varastoa tarvittaisi, kuten kuvasta nähdään. Todellisuudessa täydennyskustannukset voivat kuitenkin olla suuret, jolloin varastointi on kannattavaa tai välttämätöntä. Esimerkiksi alihankkijan täydentäessä valmisvarastoon täydennyskustannuksiin kuuluvat mm. valmistuksen suunnittelun ja ohjauksen kustannukset sekä asetuskustannukset. Jos asetuskustannukset ovat suuret, on myös taloudellinen valmistuseräkkö suuri ja päinvastoin.

Eräkolaskelmia voidaan laajentaa niin, että ne ottavat huomioon kuljetukset, määräalennukset, tuotannon eräkoot, ostojen yhdistelyn, pääoman rajallisuuden ja niin edelleen (Bowersox et al. 1996: 261-263). Kun laskuihin otetaan koko moniportainen toimitusketju, tulee laskennasta liian monimutkaista ja raskasta säännöllisesti käytettäväksi (mm. Eloranta et al. 1986: 42, 185). Eräkolaskuilla pyritään tasapainottamaan vähentämään ja optimoimaan kustannuksia. Ongelmana on, että riittävän tarkka laskenta on liian kallista! (Vollman et al. 1997: 468).

Kustannusfunktioiden optimointiin perustuvaa eräkolaskentaa on kritisoitu voimakkaasti. Japanilaisen tuotantofilosofian mukaan optimaalinen eräkkö on yksi, jonka saavuttamiseksi on keskityttävä prosessien kehittämiseen, ei eräkköjen optimointiin.

Optimaalisen eräkoon eli Wilsonin kaavan suurimmat heikkoudet ovat sitä rajoittavat oletukset (Bowersox et al. 1996: 261, Andersson et al. 1979: 94-96):

- 1) Kaikkeen kysyntään vastataan, materiaalipuutteita ei ole
- 2) Kysyntä tunnetaan ja se on luonteeltaan tasaista ja jatkuvaa
- 3) Täydennystaajuus on vakio ja tunnetaan
- 4) Tuotteella on vakiohintaa ajasta tai eräkoosta riippumatta
- 5) Suunnitelmahorisontti on ääretön
- 6) Varaston eri nimikkeet eivät vaikuta toisiinsa
- 7) Kuljetuksessa olevaa materiaalia ei huomioida
- 8) Pääomaa on saatavilla rajoittamattomasti

Oletukset 2) ja 3) tekevät eräkolaskelmista epäluotettavia useimmissa käytännön tapauksissa. Yleensä laskelmia on viisainta käyttää vain yhtenä apuvälineenä toimintaa suunniteltaessa (Bowersox et al. 1996: 261).

Eloranta et al. toteavat, että usko optimaalisen eräkoon kaavaan on eräs tuotannonohjauksen suhtautumistapavirhe. Wilsonin kaavan yksinkertaistetut oletukset⁸ johtavat liian suuriin eräkokoihin, erityisesti valmistettavilla nimikkeillä. Nyrkkisäännöksi on esitetty, että ostonimikkeillä niin kutsuttu optimaalinen eräko tulosi jakaa kolmella! (Eloranta et al. 1986: 41-42). Kehittyneemmät mallit antavat tulokseksi pienempiä eräkojoja, mutta ovat liian monimutkaisia jatkuvaan käyttöön (sama: 42).

Burbidgen mukaan tuotannon ja varastojen tasapainottaminen eräkolaskelmilla on näennäistieteellistä hölynpölyä, jolla luullaan päästävän pitkien asetusaikojen haitoista (Burbidge 1989: 166). Eräkolaskelmien sijasta tulisi keskittyä asetusaikojen lyhentämiseen (Burbidge 1989: 166, Eloranta et al. 1986: 185).

Eräkolaskennalla on myös puoltajansa. Vaikka käytettävissä ei olekaan sekä helppokäyttöisiä että tarkkoja laskentamenetelmiä, toistuvassa erätuotannossa yleensä joka tapauksessa pyritään valmistamaan ja toimittamaan taloudellisia eräkojoja.

Piasecki toteaa, että yrityksen tavoitteet ja strategiat voivat olla ristiriidassa taloudellisten eräkojojen kanssa, ja että varastojen kiertonopeuden käyttäminen suorituskyvyn mittarina on eräs näkyvimpiä varastojen hallinnan nimissä tehtyjä virheitä. Monet yritykset ovat saavuttaneet korkealle asetut varaston kiertonopeuden kasvattamistavoitteet vain todetakseen yrityksen tuloksen heikentyneen kasvaneiden toimintakustannusten vuoksi. (Piasecki 2001: 31).

Edelleen Piaseckin mukaan taloudellisen eräkoon laskentaa voi suositella tilanteissa, joissa kysyntä on suhteellisen tasaista. Myös sesonkiluonteisen kysynnän tapauksessa laskentaa voi hyödyntää, tällöin tarkastelujaksoa on lyhennettävä (sama).

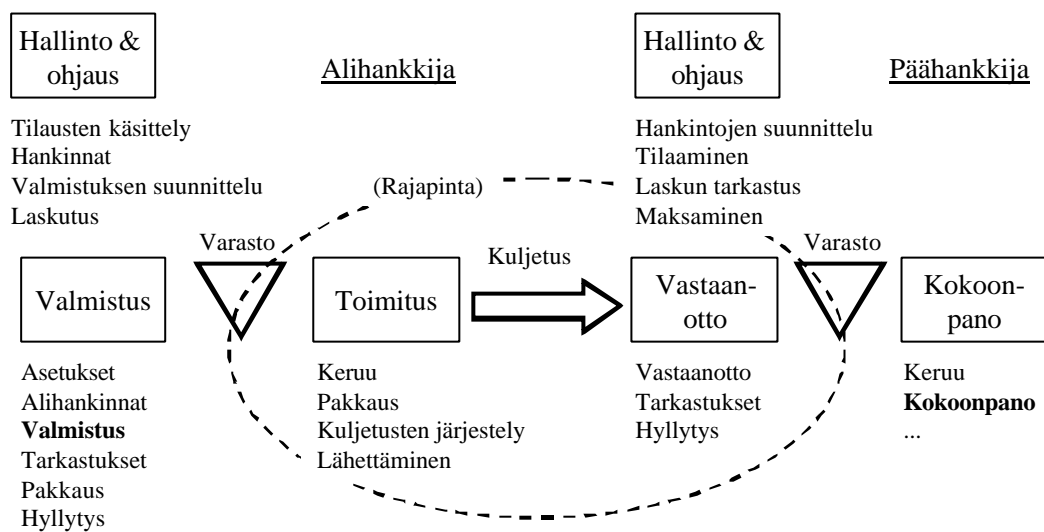
⁸ Yllä mainittujen lisäksi vielä arvattu tilauksen erilliskustannus, arvioitu varastointikustannus, oletus, että tuotteet valmistetaan työpisteessä valmiiksi yhdellä työvaiheella jne.

Kustannusfunktioita voidaan käyttää muuhunkin tarkoitukseen kuin eräkokolaskentaan. Niitä voidaan käyttää hyväksi tavoitelaskennassa: esimerkiksi miten paljon asetusaikoja täytyy lyhentää, jotta erä koko voidaan pienentää tavoitteeseen (Olhager 1989: 54). Kustannusfunktiot sopivat hyvin osaongelmien käsittelyyn, esimerkiksi kapasiteetin käytön suunnitteluun (esimerkiksi Niemi 1998: 17, 28). Niitä voidaan myös käyttää hankintafrekvenssien ja määrälennusten laskemiseen (Vollman et al 1997: 699-702), asetusaikojen lyhentämiseen tarvittavien investointilaskelmien tekemiseen (Olhager 1989: 36) jne.

Kustannusfunktioista on lukuisia yksinkertaisia ja äärimmäisen monimutkaisia muunnelmia. Perusajatus on kuitenkin sama: rakennetaan kustannusten kertymistä mallintava funktio, jota tarkastelemalla saadaan erilaista informaatiota ja erilaisia tulkintoja.

3 Viitekehyksen muodostaminen

Varastointi on tietenkin vain osa kahden yrityksen välistä alihankintaprosessia. Kuvaan 5 on hahmoteltu alihankinnan tilaus-toimitusprosessin päävaiheita ja näihin liittyviä tapahtumia. Yritysten välisessä rajapinnassa tapahtuvat toimitukset, kuljetukset ja vastaanotot voivat olla pää- tai alihankkijan tai kolmannen osapuolen vastuulla. Vaiheisiin liittyvät tapahtumat ja tapahtumien kestoajat sekä varastojen lukumäärä (0-2) vaihtelevat yritysparien välillä.

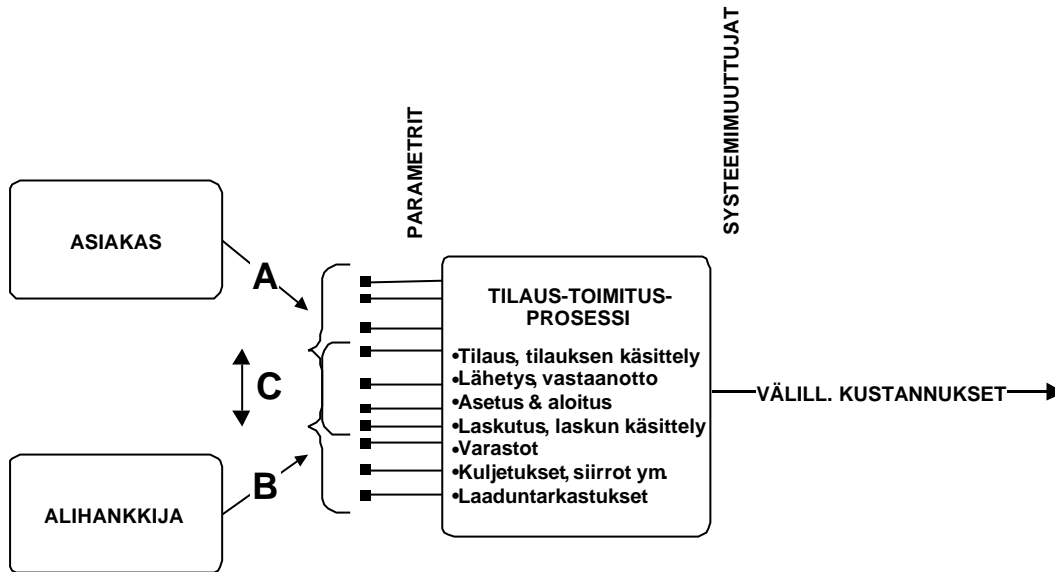


Kuva 5. Tilaus-toimitusprosessi

Kuvan 5 tapahtumista vain valmistus ja kokoonpano ovat arvoa tuottavia. Kaikki muut ovat arvoa tuottamattomia, välillisiä. Välillisiä tapahtumia voi vähentää valmistamalla, toimittamalla ja kokoamalla suurempia erinä kerrallaan, mutta tällöin varastotasot kasvavat. Alihankinnan välilliset kustannukset ovat tapahtuma- ja varastokustannusten summa, ei-jalostavan työn ja pääomien kustannus, joka tulisi pitää mahdollisimman pienenä. Välilliset kustannukset riippuvat sekä varastoratkaisusta että tilaus-toimitusprosessista, jotka taas riippuvat toisistaan.

Varastoinnilla on useita syitä ja tavoitteita, joita käsiteltiin luvussa 2. On huomattava, että ne voivat olla ali- ja päähankkijalla erilaisia. Alihankkijan tavoitteet riippuvat osittain päähankkijan vaatimuksista ja tehdyistä sopimuksista; mikä on vaadittu toimitusaika, kuinka suuriin hankintamääriin päähankkija on sitoutunut, onko alihankkijan varauduttavat päähankkijan markkinointikampanjoihin ja niin edelleen. Yhteistä kummankin varaston tavoitteille on erityisesti korkea palvelutasotavoite. Puutteita ei tavallisesti voida hyväksyä, sillä ne vaikuttavat (lähes) välittömästi päähankkijan tuotantoon tai kokoonpanoon. Tukkuvarastoissa palvelutasotavoite lienee harvoin 100 %, joka taas on alihankinnassa tavallista.

Kuvassa 6 on havainnollistettu tämän tutkimuksen viitekehys: tilaus-toimitusprosessi sekä tässä tarkastelussa tärkein systeemimuuttuja, välilliset kustannukset.



Kuva 6. Tutkimuksen viitekehys

Päähankkijasta riippuvia parametrejä A ovat kaikki ne tilaus-toimitusprosessiin vaikuttavat tekijät, joista tavallisesti päähankkija päättää tai jotka riippuvat muuten päähankkijasta. Parametrit A voidaan jakaa tuotteesta, päähankkijan tuotantojärjestelmästä, päähankkijan markkinoista sekä valinnoista riippuviin tekijöihin.

Tuotteesta riippuvia tekijöitä ovat nimikkeen arvo, nimikkeen ulkomitat, tilavuus, paino ym. mitat, nimikkeen säilyvyys ja epäkuranttiusriski sekä nimikkeen muut riskiominaisuudet. Lisäksi tuotekonstruktio vaikuttaa mm. valmistuseräkokoihin, jotka taas vaikuttavat varastoratkaisuihin.

Päähankkijan tuotannon ja hankinnan järjestelyistä riippuu mm. tarvitseeko päähankkija nimikettä yhdessä vai useammassa toimipisteessä, miten tuotantolaitokset on maantieteellisesti sijoiteltu, mikä on alihankkijoiden lukumäärä, mikä on nimikemäärä, onko tietyllä nimikkeellä yksi vai useampia valmistajia, miten ja mitä kysyntätietoa alihankkijoille jaetaan, minkälaisia ovat hankintaeräkoot jne.

Lopputuotteiden kysynnän volyyymi, luonne ja vaihtelu riippuu päähankkijan asiakkaista, siis markkinoista, jonne päähankkija tuotteensa myy. Alihankkijoilta vaadittu palvelutaso kuten toimitusaika voi riippua sekä markkinoista että päähankkijan muista valinnoista. Sekä markkinoista että päähankkijasta riippuu myös tarkkuus, jolla kysyntää ennustetaan.

Lisäksi yritysten väliseen yhteistyöhön ja samalla varastoratkaisuun vaikuttavat päähankkijan muut valinnat kuten alihankkijoiden kanssa solmittavien sopimusten pituus, johdon sekä omistajien periaatteelliset, poliittiset ja strategiset ratkaisut sekä päähankkijalla käytetty liiketoiminnan mittaristo.

Alihankkijasta riippuvia parametrejä B ovat kaikki ne tekijät, jotka ovat alihankkijan päätettävissä tai riippuvat muuten alihankkijasta. Tekijät voidaan jakaa tuotantoprosessista ja valinnoista riippuviin.

Tuotantoprosessista riippuvia tekijöitä ovat tuotantoprosessien luonne yleisesti, tuotannon layout, käytettävä laitteisto jne. Tuotannon läpimenoajat ja valmistuseräkoot riippuvat paitsi tuotekonstruktiosta myös tuotantoprosessista että muista valinnoista.

Alihankkijan valinnoista riippuvat mahdollinen pyrkimys tuotannon tasaamiseen, kuljetus- ym. kustannusten pienentäminen ja kysyntätiedon käyttötapa. Lisäksi alihankkija valitsee oman tuotannonohjaustapansa ja ohjaukseen käytettävissä olevat resurssit, muiden asiakkaiden ja näille valmistettavien nimikkeiden määrän ja niin edelleen. Alihankkijan johto ja omistajat tekevät periaatteellisia, poliittisia ja strategisia valintoja ja valitsevat toimintaansa ohjaavan liiketoiminnan mittariston.

Parametrejä C ovat kaikki ne tekijät, jotka riippuvat molemmista osapuolista.

Yritysten välisen yhteistyön ja luottamuksen ”taso” on merkittävä tekijä, joka riippuu kummastakin osapuolesta. Muiden toimittajien, asiakkaiden ja rinnakkaisten toimijoiden olemassaolo ja vaikutus alihankintayhteistyön kokonaisuuteen riippuu kummankin yrityksen tekemistä valinnoista. Yritysten valitsevat ohjaustavat riippuvat jossakin määrin keskinäisvaikutuksista.

Lisäksi varastointiin voi liittyä varastotoimintoja kuten tarkastuksia, yhdistelyjä eli setitystä, osakokoonpanojen tekemistä jne. Näitä toimintoja voi olla kummalla tahansa osapuolella, joka nimikkeitä varastoi. Logistisen verkoston rakenne ja tilauskäytännöt eri suuntiin riippuvat samoin molemmista osapuolista.

Seuraavassa taulukossa 2 jaotellaan varastointiin vaikuttavia tekijöitä päähankkijasta (A), alihankkijasta (B) ja molemmista yrityksistä (C) riippuviin tekijöihin.

Taulukko 2: varastoratkaisua rajoittavia tai ohjaavia tekijöitä

Päähankkijasta riippuvat tekijät (A)	Alihankkijasta riippuvat tekijät (B)	Molemmista yrityksistä riippuvat tekijät (C)
Alihankittavan nimikkeen arvo, nimikevalikoima	Tuotannon tasaamisen tarve, ym. kustannusten pienentäminen	Yritysten välisen yhteistyön ja luottamuksen ”taso”
Nimikkeen ulkomitat, tilavuus, paino	Valmistuksen läpimenoajat	Liiketoiminnan mittaristot
Nimikkeen säilyvyys, epäkuranttiusriski ja muut riskiominaisuudet	Valmistuseräkoot	Muiden toimittajien, asiakkaiden ja rinnakkaisten toimijoiden vaikutus
Ennustetarkkuus	Käytettävissä olevat ohjausresurssit	Käytettävissä olevat ohjaustavat
Vaaditut toimitusajat	Käytettävän kysyntätiedon käyttötapa	Logistisen verkoston rakenne
Tarvitseeko päähankkija nimikettä yhdessä vai useammassa toimipisteessä	Tuotantoprosessien luonne, laitteisto, layout jne.	Tilauuskäytännöt eri suuntiin
Käytettävän kysyntätiedon luonne, jakaminen ja käyttötapa	Varastotoiminnot: tarkastukset, yhdistelyt, osakokoonpanot jne.	Molempien yritysten johdon sekä omistajien periaatteelliset, poliittiset ja strategiset ratkaisut
Tilauuseräkoot		

4 Kustannusmallin rakentaminen

Tässä mallinnetaan kuvien 5 ja 6 esittämän alihankintaprosessin välillisiä kustannuksia rakentamalla kustannusfunktio ja Excel-pohjainen kustannusmalli. Välillisiksi kustannuksiksi huomioidaan ei-jalostavien työvaiheiden kustannukset sekä varastokustannukset. Kustannusfunktio kuvaa sitä, kuinka paljon alihankintaprosessin tuottamattomat vaiheet maksavat vuodessa.

4.1 Kustannusfunktion muodostaminen

Alihankkijan välilliset kustannukset vuodessa ovat:

$$C_{ah} = D/q_1 * S C_{valm.koht} + D/q_2 * S C_{til.koht(ah)} + P_{ahi} * (q_1/2 + SS_1) \text{ (kaava 3)}$$

Päähankkijan välilliset kustannukset vuodessa ovat:

$$C_{ph} = D/q_2 * S C_{til.koht(ph)} + D/q_3 * S C_{kp.koht} + P_{phi} * (q_2/2 + SS_2) \text{ (kaava 4)}$$

Alihankintaprosessin välilliset kustannukset vuodessa ovat:

$$C_{kok} = C_{ah} + C_{ph} \text{ (kaava 5)}$$

$$C_{kok} = D/q_1 * S C_{valm.koht} + D/q_2 * S C_{til.koht} + D/q_3 * S C_{kp.koht} + P_{ahi} * (q_1/2 + SS_1) + P_{phi} * (q_2/2 + SS_2) \text{ (kaava 6),}$$

missä

q_1 = Valmistuseräkoko (alihankkijalla)

q_2 = Tilaus- ja toimituseräkoko

q_3 = Kokoonpanon eräkoko (päähankkijalla)

D = Vuosikulutus (kysyntä)

P_{ah} = Nimikkeen arvo alihankkijan varastossa

P_{ph} = Nimikkeen arvo päähankkijan varastossa

i = Varastokustannusprosentti reaalilukuna, esim. 0,2

SS_{12} = Varmuusvarastot ali- ja päähankkijalla

$C_{til.koht}$ = kuvan 5 hallintoon ja ohjaukseen sekä toimittamiseen ja vastaanottoon liittyvien välillisten tapahtumien kertakustannusten summa poislukien valmistuksen suunnittelu alihankkijalla.

$C_{valm.koht}$ = valmistukseen liittyvien välillisten tapahtumien sekä valmistuksen suunnittelun kertakustannusten summa alihankkijalla (kuva 5).

$C_{kp.koht}$ = kokoonpanoon liittyvien tapahtumien kertakustannus päähankkijalla (kuva 5).

Tuplavarasto – etenkin jos varastoja täydennetään kahden peräkkäisen tilauspistemenettelyn avulla - on systeemi, jossa varastotasojen mallinnus on vaikeaa. Tässä on yksinkertaisesti oletettu, että varastotasot ovat keskimäärin puolet täydennyseräkoosta.

Kun q_3 ja varmuusvarastot oletetaan vakioiksi on $C_{kok} = f(q_1, q_2)$ (kaava 7).

Kustannusfunktiossa oletetaan, että valmistus- ja tilaus-toimituseräkoot eivät riipu toisistaan. Kysyntä oletetaan tasaiseksi eikä aikaviiveitä huomioida. Laskennallinen minimikohta kaavalle 6 saadaan yhtälöparista

$$\frac{\partial C_{kok}}{\partial q_1} = -DC_{valm.koht}/q_1^2 + P_{ah}i/2 = 0 \text{ (kaava 8)}$$

$$\frac{\partial C_{kok}}{\partial q_2} = -DC_{til.koht}/q_2^2 + P_{ph}i/2 = 0 \text{ (kaava 9)}$$

$$\Rightarrow q_1 = \sqrt{2DC_{valm.koht}/P_{ah}i} \text{ (kaava 10)}$$

$$q_2 = \sqrt{2DC_{til.koht}/P_{ph}i} \text{ (kaava 11)}$$

Tässä tutkimuksessa kustannusfunktion avulla ei pyritä optimoimaan eräkokoja vaan etsimään ja priorisoimaan alihankintaprosessien kehittämiskohteita ja erityisesti varastoratkaisuja. Kustannusfunktion avulla voidaan arvioida, miten esimerkiksi toisen varaston poistaminen tai tiettyjen tapahtumien keventäminen tai eliminointi vaikuttaa välillisiin kustannuksiin. Kustannusfunktioiden avulla tehtävää eräkokojen optimointia on arvioitu ja kritisoitu kappaleessa 2.3 s. 15.

4.2 Varaston arvostuskysymyksistä

Miten saman nimikkeen varastot pää- ja alihankkijalla tulisi arvostaa? Päähankkijan varastossa nimikkeen arvo on yhtä kuin hankintahinta. Entä alihankkijalla? Onko nimikkeen arvo alihankkijan varastossa valmistuskustannukset tai hinta miinus kate? Alihankkijan näkökulmasta tuotteen arvo lienee yhtä kuin omakustannusarvo. Toisaalta tuote on valmis ja sen voisi laskuttaa, joten alihankkija voisi laskea varaston arvon myyntihinnankin perusteella. Tavallisesti pääomakustannusta ei koko myyntihinnalle lasketa.

Kirjanpidossa vaihto-omaisuuden arvoksi ei voi määritellä mahdollista myyntihintaa. Lain elinkeinotulojen verotuksesta (EVL) 14. pykälän mukaan ”vaihto-, sijoitus- ja käyttöomaisuuden hankintameno on hyödykkeen hankinnasta ja valmistuksesta johtuneiden muuttuvien menojen määrä. Hankintamenoon luetaan lisäksi kirjanpitolain (1336/1997) 4 luvun 5 §:n nojalla hyödykkeen hankintamenoon kirjanpidossa luetut kiinteät menot ja korkomenot.”

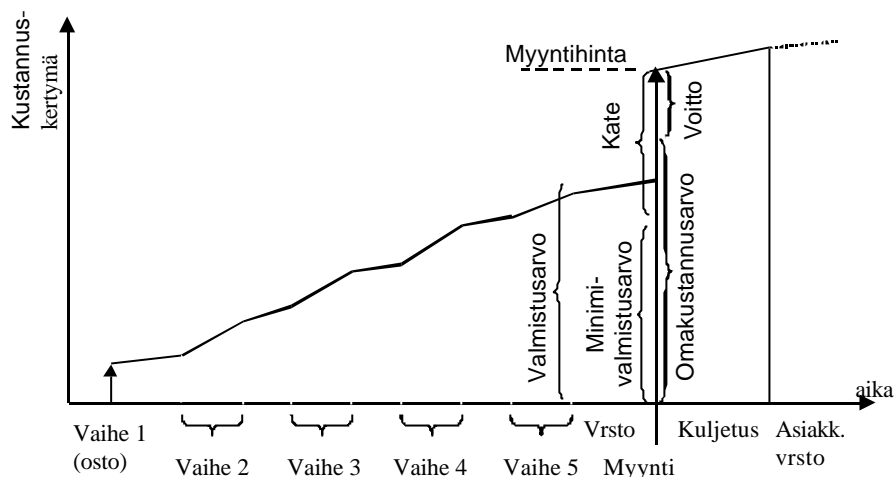
Kirjanpitolain 4. luvun 5. pykälän mukaan ”jos hyödykkeen hankintaan ja valmistukseen liittyvien kiinteiden menojen määrä on olennainen 1 momentissa tarkoitettuun hankintamenoan verrattuna, saadaan myös niiden osuus lukea

hankintamenoon. Jos pysyviin vastaaviin kuuluvan hyödykkeen valmistamiseen kohdistettavissa olevan lainan valmistusaikaisten korkomenojen ja 2 momentin mukaisen osuuden yhteismäärä on olennainen 1 momentissa tarkoitettuun hankintamenoon verrattuna, saadaan hankintamenoon lukea 2 momentin mukaisen osuuden ohella myös nämä korkomenot.”

Jyrkkiön et al. mukaan kirjanpitolain ensisijaisen säännön mukaan tuotteen hankintamenoon luetaan sen hankinnasta ja valmistamisesta aiheutuneet muuttuvat menot. Valmistava yritys voi kuitenkin eräissä tapauksissa lukea tuotteen hankintamenoon muuttuvien menojen lisäksi myös hankinta- ja valmistustoiminnassa syntyviä kiinteitä menoja edellyttäen, että kiinteiden menojen osuus on olennaisen suuri. Hankintamenoon voidaan lukea mm. seuraavat kiinteät menot (Jyrkkiö et al. 2000: 136-137):

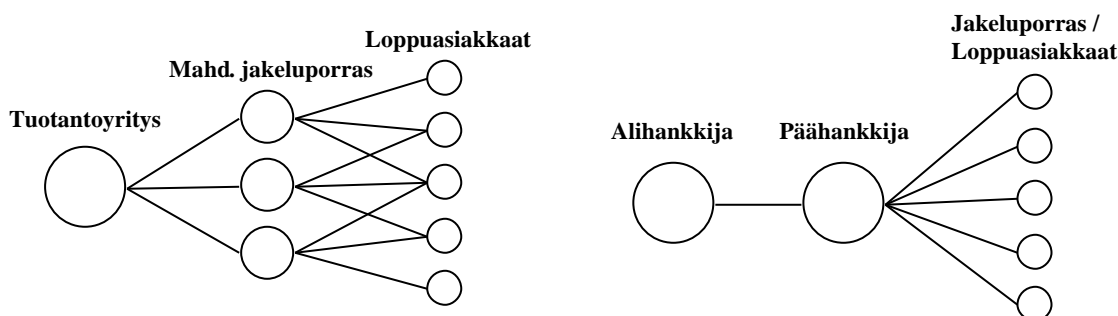
- ainesten ja tarvikkeiden hankinnan, varastoinnin ja muiden materiaalitoimintojen menot
- tuotantolaitoksen käyttömenot
- tuotannon suunnittelun, ohjauksen ja laadunvalvonnan menot
- tuotannonjohdon palkat ja henkilösivumenot
- tuotantolaitoksen muut hallintomenot
- hankintaan ja valmistukseen liittyvän käyttöomaisuuden suunnitelman mukaiset poistot.

Kuva 7 esittää alihankittavan nimikkeen kustannuskertymää alihankkijan tekemistä raaka-aineostoista nimikkeen myymiseen ja kuljettamiseen päähankkijan varastoon. Kustannukset syntyvät hankintahinnasta, muuttuvista valmistuskustannuksista ja koroista. Kun myyntihetkellä alihankkijalle kertyneisiin kustannuksiin allokoidaan yleiskustannuksia, saadaan alihankkijan kustannuskertymäksi omakustannusarvo. Alihankkijan varastoarvo on vähintään minimivalmistusarvo, joka on EVL:n lähtökohta. Minivalmistusarvo ei kuitenkaan vastaa tuotteen valmistuksesta aiheutuneita kustannuksia. Vaikuttaa perustellulta valita alihankkijan varastoarvoksi vähintään valmistusarvo ja enintään omakustannusarvo. Näiden tuotekohtainen selvittäminen on oma ongelmansa, joka tässä sivuutetaan.



Kuva 7. Alihankittavan nimikkeen kustannuskertymä

Varaston arvostuskysymys tuo esiin alihankkijan poikkeuksellisen tavan kytkeytyä markkinoihin (kuva 8). Jos alihankkijalla olisi tuotteelleen useita asiakkaita ja tuotteen kysyntä olisi jatkuvaa, valmistunut tuote olisi myytävissä markkinoille välittömästi. Valmiilla tuotteella olisi markkina-arvo, kysynnän ja tarjonnan määräämä hinta. Valmiin (myyntivalmiin) tuotteen pitäminen varastossa olisi sama kuin hintaa vastaavan setelimäärän pitäminen kassassa. Tuotteen kate makaisi varastossa. Varastosta olisi vapautettavissa pääomaa myyntihinnan verran, vaikka tuotteen valmistukseen onkin sitoutunut pääomaa vähemmän. Alihankinnassa kuitenkin tuotteen arvo riippuu siitä, millä hetkellä päähankkija tuotetta tarvitsee.



Kuva 8. Alihankkijan kytkeytyminen markkinoihin

Ulkopuolisen tarkkailijan silmissä tuotteen arvo alihankkijan valmisvarastossa on lähes yhtä suuri kuin päähankkijan komponenttivarastossa. Päähankkijan varastossa tuote on hitusen arvokkaampi, koska kustannuskertymään on lisätty kuljetuskustannukset: tuote sijaitsee lähempänä paikkaa, jossa sitä seuraavaksi tarvitaan, eikä kuljetusriskiä enää ole. Tällaisessa päätelmässä ali- ja päähankkija tulkitaan yhdeksi lopputuotetta valmistavaksi kokonaisuudeksi. Todellisuudessa kyse on tietenkin kahdesta itsenäisestä yrityksestä, joilla on erilliset tavoitteet, kirjanpito ja laskentamenetelmät.

Tässä tutkimuksessa valitaan nimikkeen varastokustannuksen perusteeksi alihankkijan arvonlisäveroton myyntihinta. Tärkein syy valintaan on datan keräämisen

helpottaminen. Alihankkijan ei tarvitse selvittää eikä paljastaa tuotekohtaista voittoa. Myyntihinta ei todennäköisesti ole kustannusfunktion kannalta olennaisesti suurempi kuin omakustannusarvo.

Jos halutaan valita alihankkijan varastossa olevalle nimikkeeseen arvoksi omakustannusarvo, kustannusfunktion mukaan suuremmat valmistuseräkoot ja varastointi alihankkijalla tulevat kannattavammiksi (kaavat 10 ja 11). Alihankkijan keskimääräisen voittoprosentin vähentäminen yksittäisen nimikkeen hinnasta ei paranna laskennan tarkkuutta, sillä nimikekohtaiset kustannukset vaihtelevat.

4.3 Laskentaperusteet

Laskentaperusteet ovat yksinkertaisesti:

- Tapahtuman kertakustannus = tapahtuman kesto aika * henkilökustannus / aikayksikkö
- Henkilötuntikustannus sivu - ja yleiskuluineen = 34 €⁹
- q_3 = päähankkijan kokoonpanon keskimääräinen todellinen erä koko (vakio)
- Varaston ylläpito- ja pääomakustannus = 20 % nimikkeiden arvosta (vaihtelee oppikirjoissa välillä 15-30 %). Kertoimeen vaikuttavat korkotaso, epäkuranttiusriski, vakuutusten hinnat, tilan tarve jne.
- $P_{ah} = P_{ph} = P$ = nimikkeen arvonlisäveroton osto- ja myyntihinta lukuunottamatta osakokoonpanoja, joilla $P_{ph} = P$, mutta $P_{ah} =$ osien varastoarvo $< P$
- Kokoonpanoeräkohtaiset keruukustannukset päähankkijan varastosta = 0, jos varastot sijaitsevat kokoonpanosuoluissa
- Varmuusvarastot $SS_1 = SS_2 = 0$ ellei toisin mainita
- Kun varasto on pelkästään alihankkijalla, tilaus-toimituserä koko = päähankkijan kokoonpanon erä koko
- Kun varaston on pelkästään päähankkijalla, valmistuserä koko = tilaus-toimituserä koko

Välillisten tapahtumien kestoajat on kysytty yritysten asiantuntijoilta tai mitattu joko edellisessä Partnet- tai nykyisessä Koneali-projektissa. Joissakin tapauksissa on myös käytetty hyväksi tuloksia VTT:n pienerälogistiikka-projektista, jossa selvitettiin suomalaisten pk-yritysten logistiikkakustannuksia (Hyppönen et al. 1998).

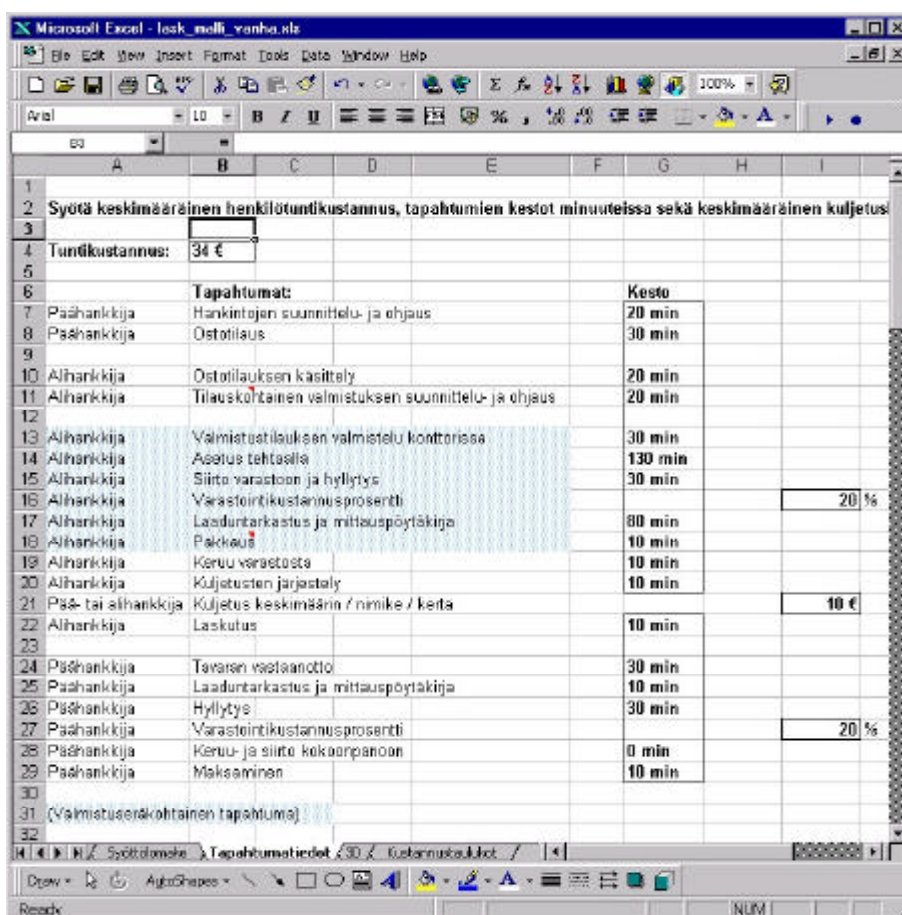
⁹ Keskimääräinen palkkakustannus + henkilösivukustannukset (60%) + suurin osa yleiskustannuksista. Yritysten asiantuntijat hyväksyivät kyseisen laskentaperusteen ja luku 34 € on yritysten edustajien valitsema. Eri tapahtumille todellisuudessa allokoituvien välillisten kustannusten selvittäminen vaatisi oman toimintolaskentaprojektin. Suuri osa tarkasteltavista välillisistä kustannuksista lasketaan yrityksissä välittömiksi (asetukset, laaduntarkastus, pakkaaminen, hyllytys, keruu, kuljetus jne).

4.4 Kustannusfunktioon perustuvan kustannusmallin rakentaminen

Seuraavaksi rakennetaan kappaleessa 4.1 s. 23 luotuun kustannusfunktioon perustuva Excel-pohjainen kustannusmalli.

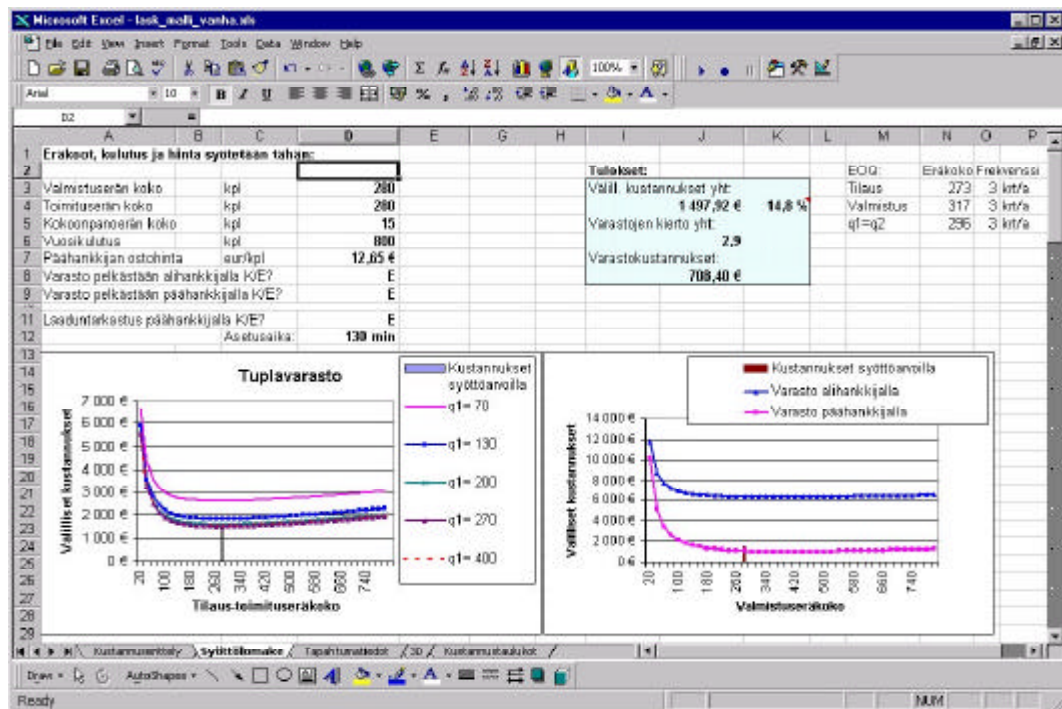
Malliin on jaoteltu alihankinnan tilaus-toimitusprosessiin liittyviä välillisiä tapahtumia, joille syötetään kestoajat (kuva 9). Tämän jälkeen siirrytään varsinaiselle syöttölomakkeelle (kuva 10), jossa määritellään nimikkeen hinta, vuosikulutus, eräkoot, asetusajat sekä varaston sijaintiin liittyvää tietoa. Tulokseksi saadaan kustannusfunktion arvo annetuilla parametreilla eli syöttötietojen mukaan lasketut välilliset kustannukset. Lisäksi saadaan käyräparvi kustannusfunktion kuvaajista eri valmistus- ja toimituseräkokojen arvoilla.

Toisessa käyräparvessa on kustannusfunktion kuvaajat yhden varaston tapauksille. Yhden varaston tapauksessa poistettuun varastoon liittyvien tapahtumien kustannukset jäävät kokonaan pois. Tapauksessa, jossa varasto on alihankkijalla, toimituserä koko on päähankkijan kokoonpanon erä koko.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		Syötä keskimääräinen henkilötuntikustannus, tapahtumien kestot minuuteissa sekä keskimääräinen kuljetus							
3									
4		Tuntikustannus:	34 €						
5									
6									
7		Päähankkija	Hankintojen suunnittelu- ja ohjaus						
8		Päähankkija	Ostotilaus						
9									
10		Alihankkija	Ostotilauksen käsittely						
11		Alihankkija	Tilaukskohtainen valmistuksen suunnittelu- ja ohjaus						
12									
13		Alihankkija	Valmistustilauksen valmistelu konttorissa						
14		Alihankkija	Asetus tehtaalla						
15		Alihankkija	Siirto varastoon ja hyllytys						
16		Alihankkija	Varastointikustannusprosentti					20 %	
17		Alihankkija	Laaduntarkastus ja mittauspöytäkirja						
18		Alihankkija	Pakkaukset						
19		Alihankkija	Keruu varastosta						
20		Alihankkija	Kuljetusten järjestely						
21		Pää- tai alihankkija	Kuljetus keskimäärin / nimike / kerta						10 €
22		Alihankkija	Laskutus						
23									
24		Päähankkija	Tavaran vastaanotto						
25		Päähankkija	Laaduntarkastus ja mittauspöytäkirja						
26		Päähankkija	Hyllytys						
27		Päähankkija	Varastointikustannusprosentti						20 %
28		Päähankkija	Keruu- ja siirto kokoonpanoon						
29		Päähankkija	Maksaminen						
30									
31			(Valmistuseräkohtainen tapahtuma)						
32									

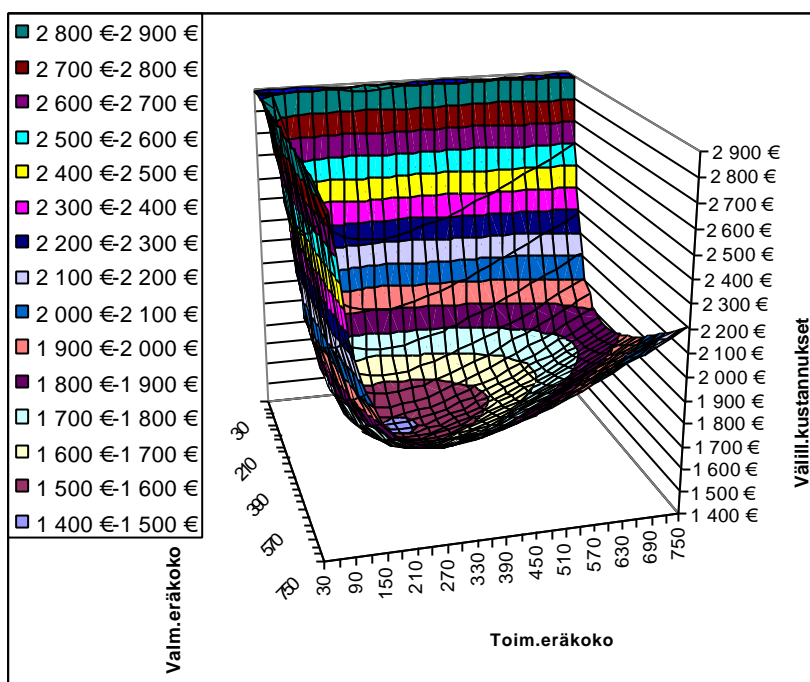
Kuva 9. Varastokustannus- ja tapahtumatiетоjen syöttö laskentamalliin



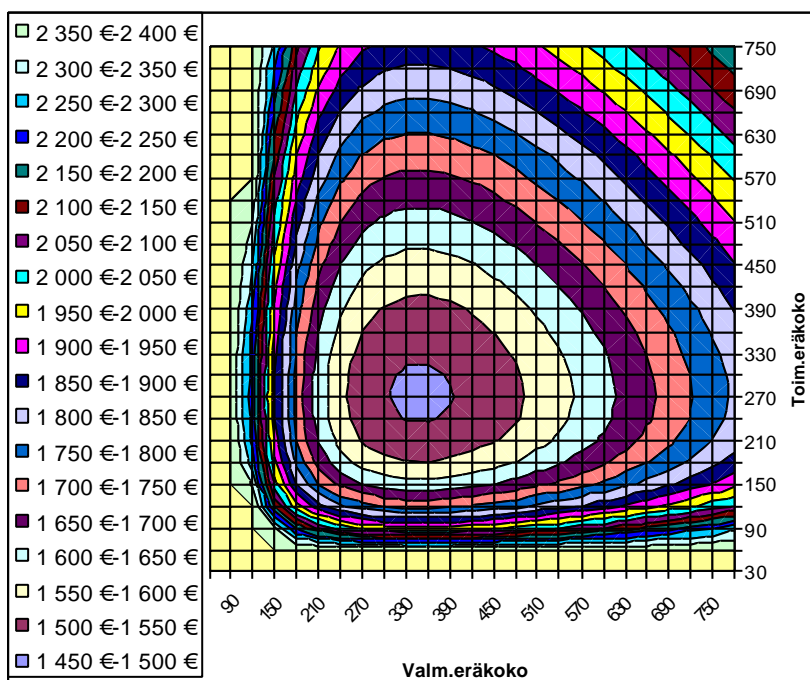
Kuva 10. Erä-, hinta- ja varastotietojen syöttö sekä kustannusmallin antamat tulokset

Asetusajat syötetään eri lomakkeella kuin muut tapahtuma-ajat kahdesta syystä: asetukset ovat usein huomattavasti välillinen tapahtuma koko prosessissa ja ne poikkeavat eri nimikkeillä toisistaan. Kustannusmallia käytettäessä asetusaikoja on yleensä muutettava tai niitä halutaan mielenkiinnon vuoksi muuttaa useammin kuin muita tapahtumatietoja. On yksinkertaisempaa syöttää asetusaikat samalla lomakkeella muiden nimikekohtaisten tietojen kanssa.

Käyräparvikuvaajaan valittavia eräkokoja voi säätää erilliseltä lomakkeelta. Käyräparven lisäksi välilliset kustannukset valmistus- ja toimituseräkokojen funktiona voidaan tarvittaessa esittää pinta- ja tasokuvina (kuvat 11-12). Erityisesti tasokuva havaittiin myöhemmin käyttökelpoiseksi.



Kuva 11. Kustannusfunktion pintakuva



Kuva 12. Kustannusfunktion tasokuva

5 Kustannusmallin testaaminen historiavertailulla ja simuloimalla

Tässä kustannusmallia testataan viiden alihankintanimikkeen datoilla vuodelta 1999. Nimikkeet ovat mekaniikkaosia, joiden elinikä on useita vuosia. Nimikkeitä valmistaa ja käyttää Koneali-projektiin osallistuva yrityspari. Sekä pää- että alihankkija harjoittavat toistuvaa erätuotantoa ja varastoivat kyseisiä osia. Nimikkeiden kysyntä päivän tarkkuudella, tilaus-, toimitus- ja varastotapahtumat sekä varastotasot vuodelta 1999 tunnetaan. Kyseisten nimikkeiden alihankintaprosessin välilliset kustannukset selvitettiin Partnet-projektissa vuonna 2000 (Häkkinen et al. 2000: 6-8). Kustannusmallin antamia lukuja verrataan näihin tuloksiin. Toisena vertailukeinona käytetään dynaamista tietokonesimulointia.

5.1 Simulointimenetelmä

Kustannusmallin käyttökelpoisuuden arvioimiseksi tapahtumamäärät ja varastotasot erilaisissa tapauksissa laskettiin simuloimalla. Nimikkeiden kulutukseksi asetettiin vuoden 1999 todelliset otot päähankkijan varastosta. Simuloimalla vältettiin kustannusmallitarkastelun kaksi suurinta puutetta: kysynnän oletaminen tasaiseksi ja keskivarastojen oletaminen täydennyseräkoon puolikkaaksi. Lisäksi simuloinnissa otettiin huomioon tuotannon läpimenoaika¹⁰ sekä toimitusaika¹¹.

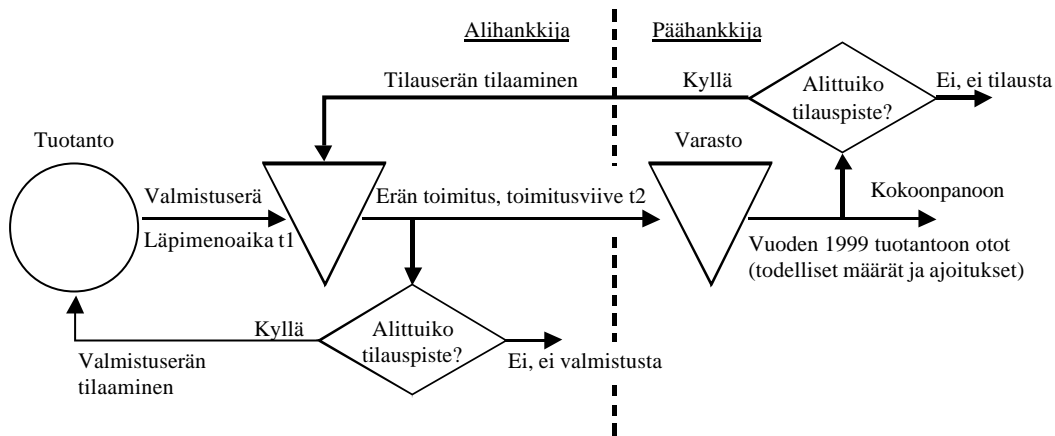
Simuloimalla voidaan verrata, minkälaisia tapahtumamääriä ja varastotasoja laskentamalli ja toisaalta simulointi eri parametreilla tuottavat. Yksikkökustannukset oletetaan tunnetuiksi. Keskinäisvertailun lisäksi simuloinnin ja laskentamallin tuloksia voidaan verrata viiteen tunnettuun yksittäistapaukseen.

Tuloksia vertaillaan myös graafisesti; tällöin voidaan päätellä, johtaako kustannusmallikäsittely erilaisiin johtopäätöksiin kun tapahtumamäärät ja varastotasot ovat toisaalta laskettu kustannusfunktion avulla ja toisaalta simuloimalla.

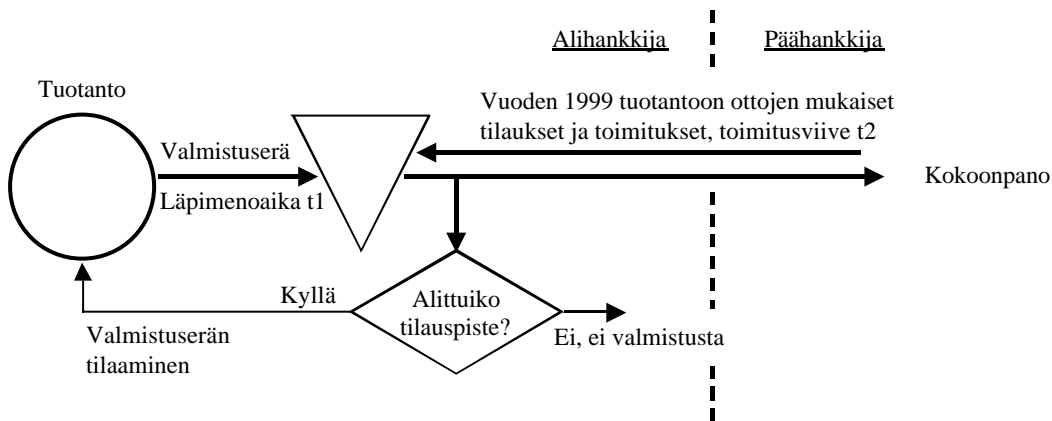
Simuloitavat systeemit on kuvattu kuvissa 13-15. Varastoja täydennetään tilauspistemennettelyllä: kun hälytysraja alittuu päähankkijalla, tehdään tilaus ja alihankkija toimittaa tilatun erän varastostaan. Alihankkija taas käynnistää tuotannon, kun heidän varastonsa putoaa alle tilauspisteen. Käytäntö on todellisuudessa tällainen lukuunottamatta yhtä poikkeusta: jos alihankkija valmistaa suuria eriä korkeintaan kolmesti vuodessa, alihankkijan päätös valmistuksen ajoituksesta ja valmistusmäärästä perustuu pääasiassa ennuste- ja historiatietoon (kuva 16).

¹⁰ Yksi viikko, jos muuta ei mainita

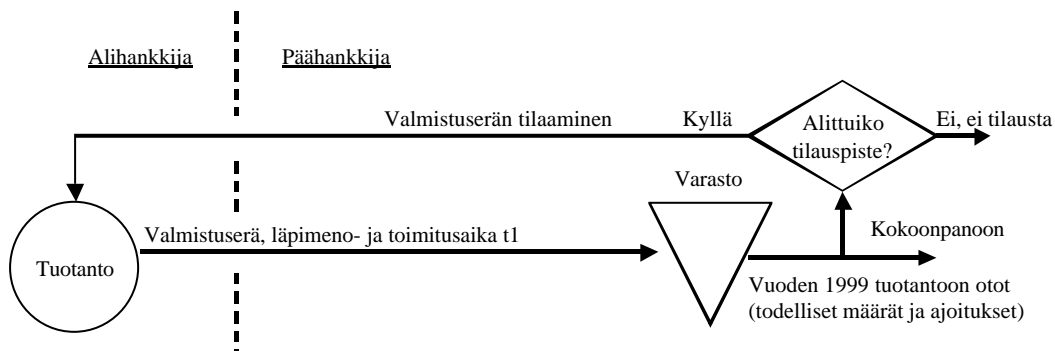
¹¹ Yksi päivä, jos muuta ei mainita



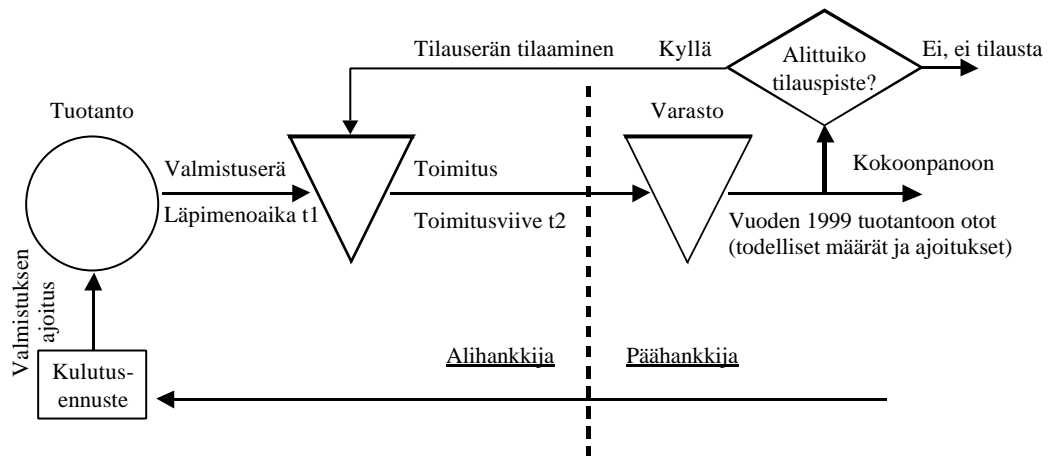
Kuva 13. Simuloitava tuplavarastosysteemi



Kuva 14. Simuloitava systeemi, kun varasto on alihankkijalla



Kuva 15. Simuloitava systeemi, kun varasto on päähankkijalla



Kuva 16. Systemi, kun valmistuseräkoot ovat suuria

Simuloimalla laskettiin ensin tapahtumamäärät sekä varastotasot eri tapauksissa ja näiden perusteella välilliset kustannukset samoin yksikkökustannuksin kuin kustannusmallin tapauksessa. Tulosten eroja vertailemalla arvioidaan kustannusmallin luotettavuutta, kun yksikkökustannukset tunnetaan.

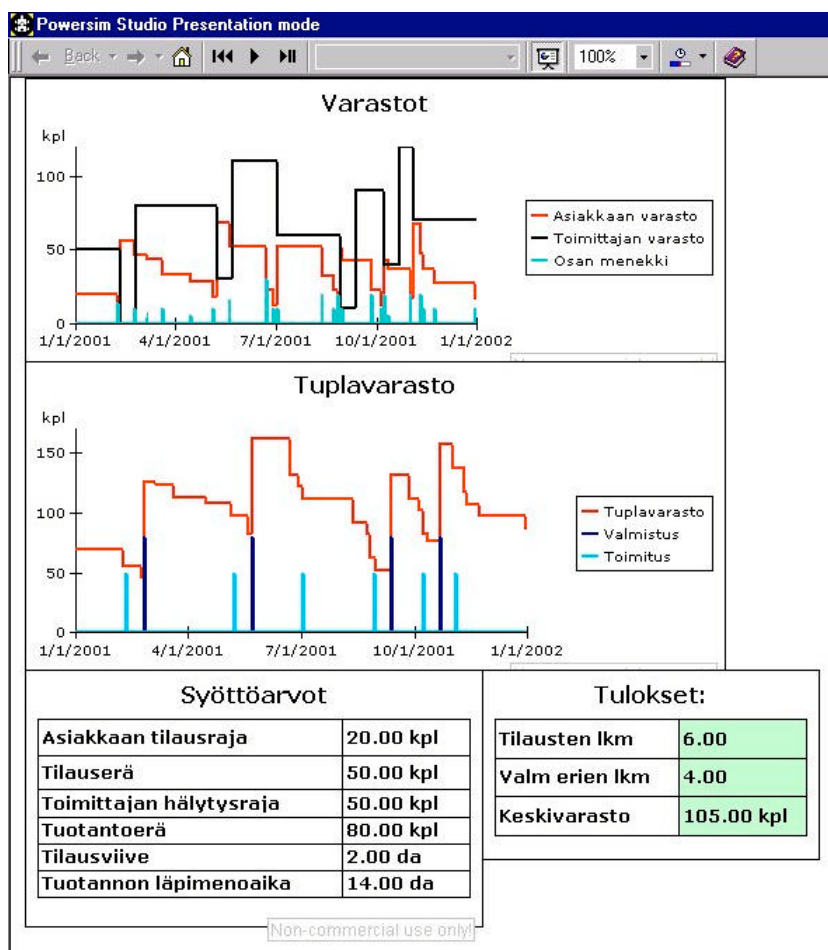
Simulointijakson pituus on yksi vuosi ja simulointiaskeleen pituus yksi päivä. Simulointitapahtumat ovat diskreettejä.

Simuloinnissa käytettiin Windows-pohjaista Powersim AS:n valmistamaa Powersim Studio Research 2001™-ohjelmaa, jolla voi simuloida dynaamisia systeemejä.¹² Esimerkki simulointiohjelman näytöstä on kuvassa 17. Powersim-simulaatiot perustuvat systeemidynamiikkaan, MIT:n 1950-luvulla kehittämään simulaatiomenetelmään. Simuloimalla voidaan paljastaa systeemin ”käyttäytymiskaavoja” ajan kuluessa. Systeemin käyttäytyminen muuttuu usein ajan kuluessa ja on tavallisesti seurausta systeemin rakenteesta. Powersimillä voidaan mallintaa systeemejä, joissa muuttujien välillä on syy-seuraussuhteita, takaisinkytkentäsilukoita ja aikaviiveitä. Muuttujia on kolmentyyppisiä: tasomuuttujia (levels), virtausmuuttujia (flow) ja apumuuttujia, joilla kaikki systeemit kuvataan.

Toistuvan erätuotannon tuplavarastomallissa ali- ja päähankkijan varastot ovat tasomuuttujia. Täydennykset ja otot varastoista ovat virtausmuuttujia, jotka taas kuvataan erilaisten apumuuttujien avulla. Apumuuttujia ovat muun muassa kulutus päähankkijalla, läpimeno- ja toimitusajat, tilauspisteet ja niin edelleen.

¹² Ks. esim. Powersim for Windows: <http://www.dpsnet.com/powersim/powersim.htm> (viitattu 28.10.2002) ja

Powersim kotisivu: <http://www.powersim.com/> (viitattu 28.10.2002)



Kuva 17. Tuplavarastosysteemin simulointi

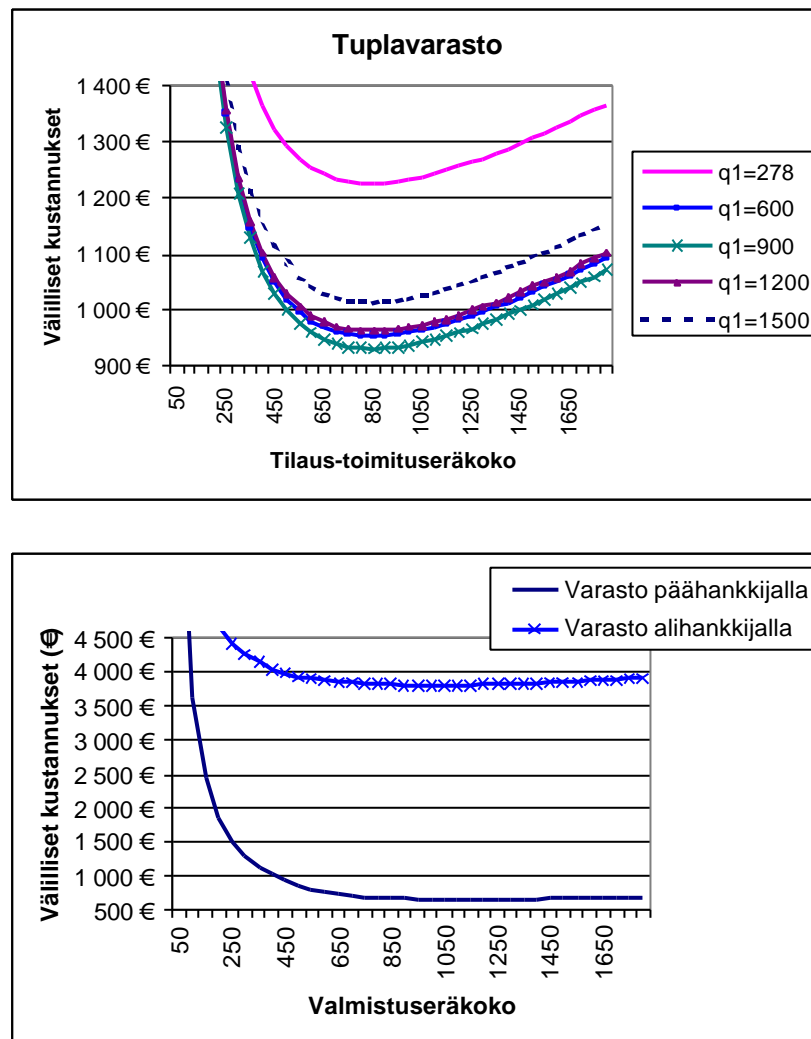
5.2 Nimike 1

Nimike 1 on yksinkertainen osa, jonka kulutus vuonna 1999 oli 1781 kpl. Kulutuksen keskihajonta oli 13,5 kpl. Nimikkeen arvonlisäveroton osto- ja myyntihinta oli 2,87 € Tuotannon asetusajat arvioitiin 70 minuutiksi. Partnet-projektissa selvitettyihin tapahtumamääriin ja varastotasoihin perustuvat välilliset kustannukset olivat 1880 € Kustannusmalli antaa samoilla yksikkökustannuksilla tulokseksi 1840 € kun valmistus-toimitus- ja kokoonpanon eräkoot vastaavat vuoden 1999 keskimääräisiä eräkokoja (vrt. kuvat 18-19). Simulointi antaa tulokseksi samoilla arvoilla 2180 €

Taulukko 3 Nimikkeen 1 välilliset kustannukset eri tavoin selvitettyjen tapahtumamäärien ja varastosaldojen perusteella

1) Todelliset tapahtumamäärät ja varastosaldot	1880 €	Ero tapaukseen 1
2) Kustannusmalli, vuoden 1999 keskimääräiset eräkoot	1840 €	-2,1 %
3) Simulointi, v. 1999 keskimääräiset valmistus- ja toimituseräkoot, todellinen kysyntä	2180 €	16,0 %

Kustannusmallin mukaiset välilliset kustannukset eri varastovaihtoehdoissa¹³ valmistus- ja toimituseräkokojen funktiona on esitetty kuvassa 18. Jokainen käyrä kuvaa eri valmistuseräkkoa (q_1). Vaaka-akselilla on tilaus- ja toimituseräko, pystyakselilla välilliset kustannukset. Tapahtumien yksikkökustannukset perustuvat yritysten asiantuntijoiden tuntemiin tai arvioimiin tapahtuma-aikoihin. Tapauksessa, jossa vain alihankkija varastoi, on tilaamisprosessia kevennetty siten, että vain tuotantoa tilataan, ei jokaista kokoonpanoerää, muussa tapauksessa kustannukset olisivat noin 7000 € tasolla, jolloin kuvan skaala olisi niin laaja, etteivät käyrien muodot enää erottuisi juuri lainkaan.



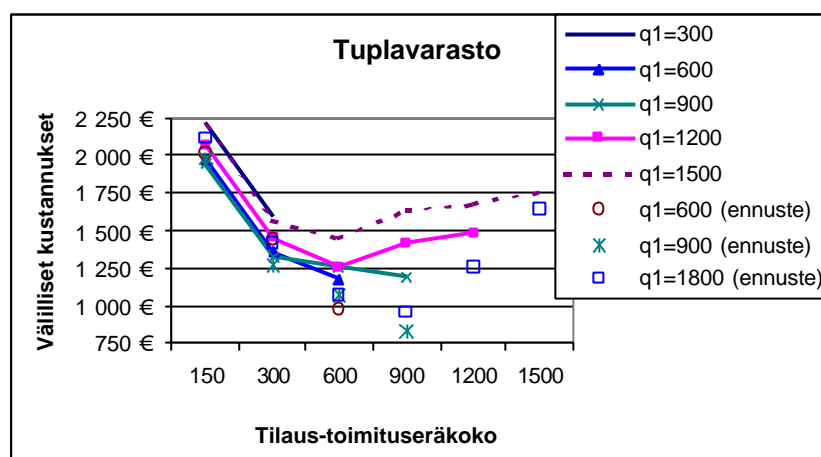
Kuva 18. Nimikkeen 1 välilliset kustannukset ($q_1 =$ valmistuseräko)

Simuloimalla lasketut nykytoiminnan (tuplavarasto, kumpaakin varastoa täydennetään tilauspistemenettelyllä) välilliset kustannukset on esitetty vastaavalla tavalla kuvassa 19. Lisäksi on simuloitu muutamia suurten eräkokojen tapauksia, joissa valmistus tapahtuu

¹³ Varaston pitäminen alihankkijalla on kustannusmallin mukaan kallista, koska toimituserä olisi yhtä monta kuin kokoonpanoerää, joita taas on paljon, tässä tapauksessa 63 kpl.

sovitulla hetkellä ja valmistettava määrä perustuu ennusteeseen. Alihankkijan varasto on siis tässä näissä tapauksissa ennusteperusteisesti täydennettävä puskuri, päähankkijan varastoa täydennetään tilauspistemennettelyllä.

Kuvassa yhtenäiset käyrät kuvaavat eri valmistuseräkokoja, kun kumpaakin varastoa täydennetään tilauspistemennettelyllä. Erilliset pisteet kuvaavat tapauksia, joissa valmistus tapahtuu ennusteperusteisesti.

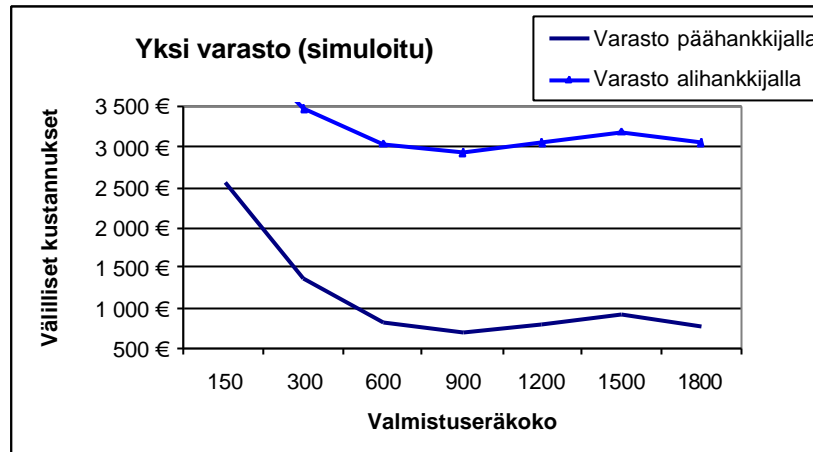


Kuva 19. Nimikkeen 1 simuloitut välilliset kustannukset (q_1 = valmistuserä) koko)

Simuloitut kustannukset näyttävät hieman korkeammilta kuin kustannusmallin avulla laskettuna. Tietyissä kohdissa kustannusmallin ja simuloinnin tulokset kuitenkin kohtaavat, kuten kohdassa valmistuserä q_1 = toimituserä = 900. Simulointi paljastaa tilauspistemennettelyn ”nykivän”, ns. Burbidge-vaikutuksen¹⁴. Molempien käyräparvien jyrkkä alue alkaa alle 300 toimitus- ja valmistuseräkojen kohdalla. Kustannusmallin käyräparvissa on mukana tapauksia, joissa valmistuserä on toimituseräkoja pienempi. Simuloinnissa näitä tapauksia ei ole huomioitu.

Yhden varaston tapaukset on esitetty kuvassa 20. Tuotannon läpimenoajaksi tilauspisteen alittumisesta tuotantoerän valmistumiseen on valittu 14 päivää. Kustannusmallin ja simuloinnin tuloksena saadut käyrät ovat lähes saman muotoiset. Tapauksessa, jossa varasto olisi alihankkijalla simuloimalla saadut välilliset kustannukset ovat hieman pienemmät kuin kustannusmalli näyttää, mutta joka tapauksessa tuplavarastotapausta korkeammat.

¹⁴ Tilauspistemennettely johtaa siihen, ettei yksittäisen tilauksen ajankohtaa voi ennustaa, jolloin kapasiteettitarve ja varastotasot vaihtelevat ennakoimattomasti (Burbidge 1989).



Kuva 20. Nimike 1, yksi varasto, tilauspistetäydennys

Graafisesti esitettyjen simulointitulosten ja kustannusmallikäsittelyn numeerinen vertailu on liitteessä 2.

5.3 Nimike 2

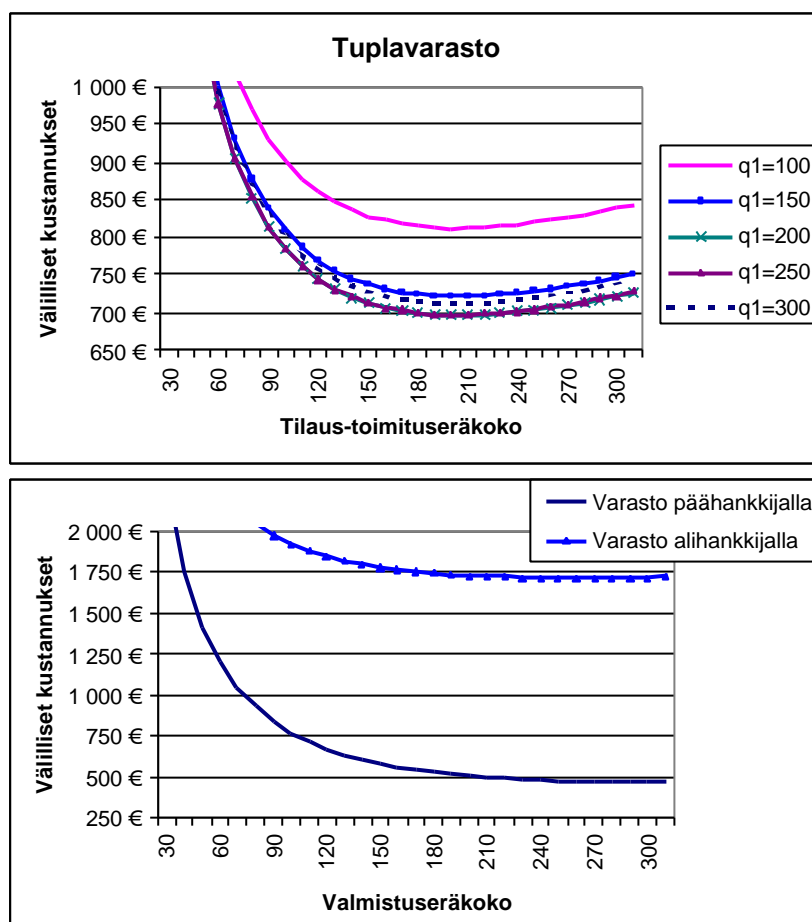
Nimike 2 on edellistä monimutkaisempi osa, jonka kulutus vuonna 1999 oli 303 kpl ja kulutuksen keskihajonta 3,6 kpl. Nimikkeen arvonlisäveroton osto- ja myyntihinta oli 8,2 € Tuotannon asetusajat arvioitiin kahdeksi tunniksi. Partnet-projektissa selvitettyihin tapahtumamääriin ja varastotasoihin perustuvat välilliset kustannukset olivat 1510 € Kustannusmalli antaa samoilla yksikkökustannuksilla tulokseksi 1290 € kun valmistus-, toimitus- ja kokoonpanon eräkoot vastaavat vuoden 1999 keskimääräisiä eräkokoja. Simulointi antaa tulokseksi samoilla arvoilla 1560 €

Taulukko 4 Nimikkeen 2 välilliset kustannukset eri tavoin laskettuna

1) Todelliset tapahtumamäärät ja varastosaldot	1510 €	Ero tapaukseen 1
2) Kustannusmalli, vuoden 1999 keskimääräiset eräkoot	1290 €	-14,6 %
3) Simulointi, v. 1999 keskimääräiset valmistus- ja toimituseräkoot, todellinen kysyntä	1560 €	3,3 %

Kustannusmallin mukaiset välilliset kustannukset on esitetty kuvassa 21. Tapauksessa, jossa vain alihankkija varastoi, on tilaamisprosessia kevennetty siten, että vain tuotantoa tilataan, ei jokaista kokoonpanoerää¹⁵.

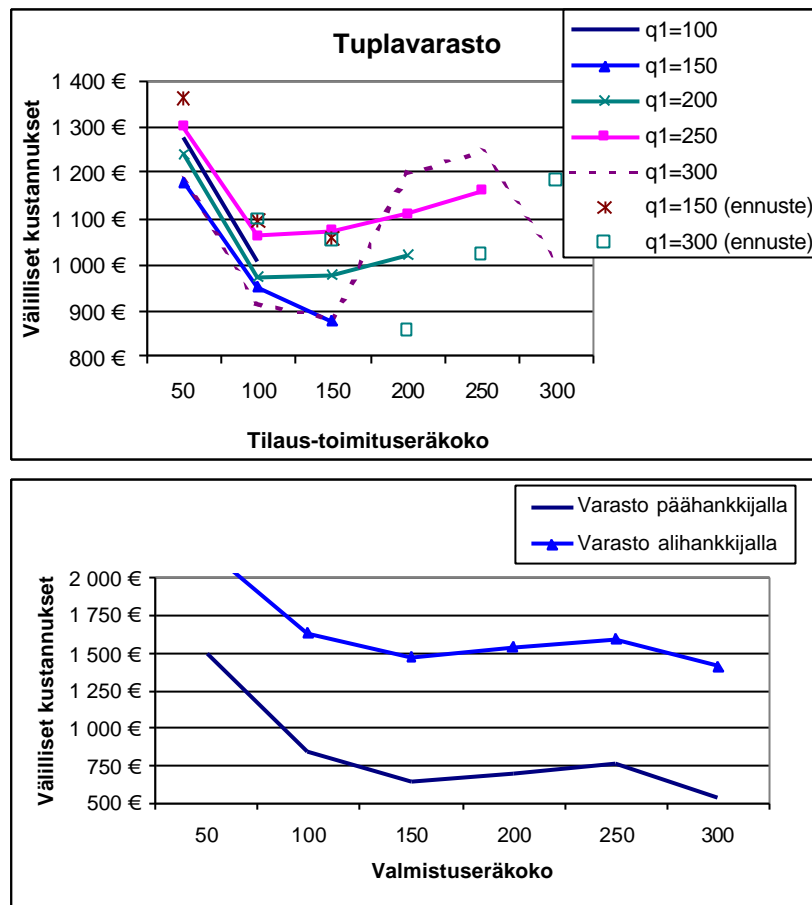
¹⁵ Muussa tapauksessa vuoden välilliset kustannukset olisivat välillä 3000-3900 €



Kuva 21. Nimikkeen 2 välilliset kustannukset ($q1 =$ valmistuseräkoko)

Kustannusmallin mukaan vähiten välillisiä kustannuksia syntyisi, kun varasto on päähankkijalla ja valmistus- sekä toimituseräkoko lähestyy vuosikulutusta.

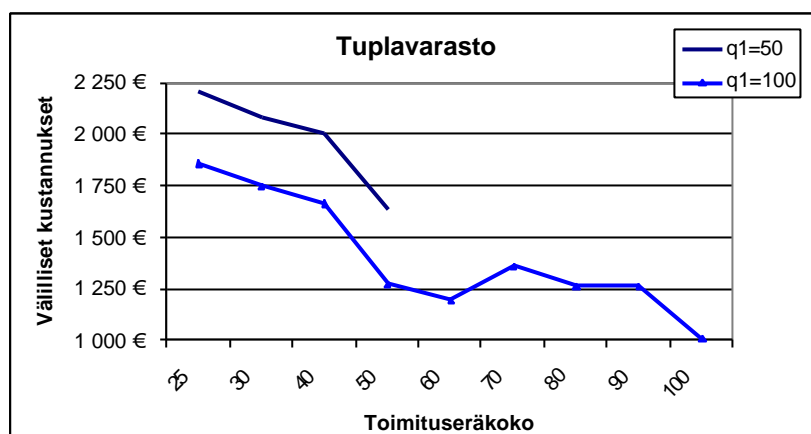
Kuva 22 esittää simuloinnin avulla laskettuja kustannuksia tilauspistemenettelyn, ennusteperusteisen puskuroinnin sekä yhden varaston tapauksissa.



Kuva 22. Nimikkeen 2 simuloitut välilliset kustannukset

Sekä simuloimalla että kustannusmallin avulla laskettujen tuplavaraston kustannusten ”jyrkkä alue” alkaa alle 100:n toimituseräkokojen kohdalla. Kustannusmalli näyttää lievää kustannusten kasvua eräkokojen kasvaessa, simuloinnin perustella kustannusten kasvu on nopeampaa. Yhden varaston tapauksessa simulointi näyttää, että kustannukset ovat pienimmillään, kun valmistuseräkoko on toimituseräkoon kerrannainen eli toimituseräkoko on 150 tai 300. Varaston pitäminen alihankkijalla ei ole simuloinnin perusteella niin kallista kuin kustannusmallin mukaan, kuitenkin välilliset kustannukset olisivat suurempia kuin tuplavarastotapauksessa.

Kuvaan on valittu melko suurten valmistuseräkokojen tapauksia. Pienemmät valmistuserät johtavat suurten asetuskustannusten vuoksi suuriin välillisiin kustannuksiin. Tästä on esimerkkinä kuva 23. Tilanne on muillakin tapausnimikkeellä samankaltainen. Myöhemmin kuvissa ei esitetä eräkokoja, joilla välilliset kustannukset ovat hyvin korkeat.



Kuva 23. Esimerkki pienemmistä valmistuseristä

5.4 Nimike 3

Nimike 3 on melko monimutkainen osa, jonka kulutus vuonna 1999 oli 303 kpl ja kulutuksen keskihajonta 5,2 kpl. Nimikkeen arvonlisäveroton osto- ja myyntihinta oli 9,42 € Tuotannon asetusajat arvioitiin noin kolmeksi tunniksi 45 minuutiksi. Partnet-projektissa selvitettyihin tapahtumamääriin ja varastotasoihin perustuvat välilliset kustannukset olivat 1190 €. Kustannusmalli antaa samoilla yksikkökustannuksilla tulokseksi 1210 €, kun valmistus- toimitus- ja kokoonpanon eräkoot vastaavat vuoden 1999 keskimääräisiä eräkokoja. Simuloidut kustannukset olivat 1630 €¹⁶.

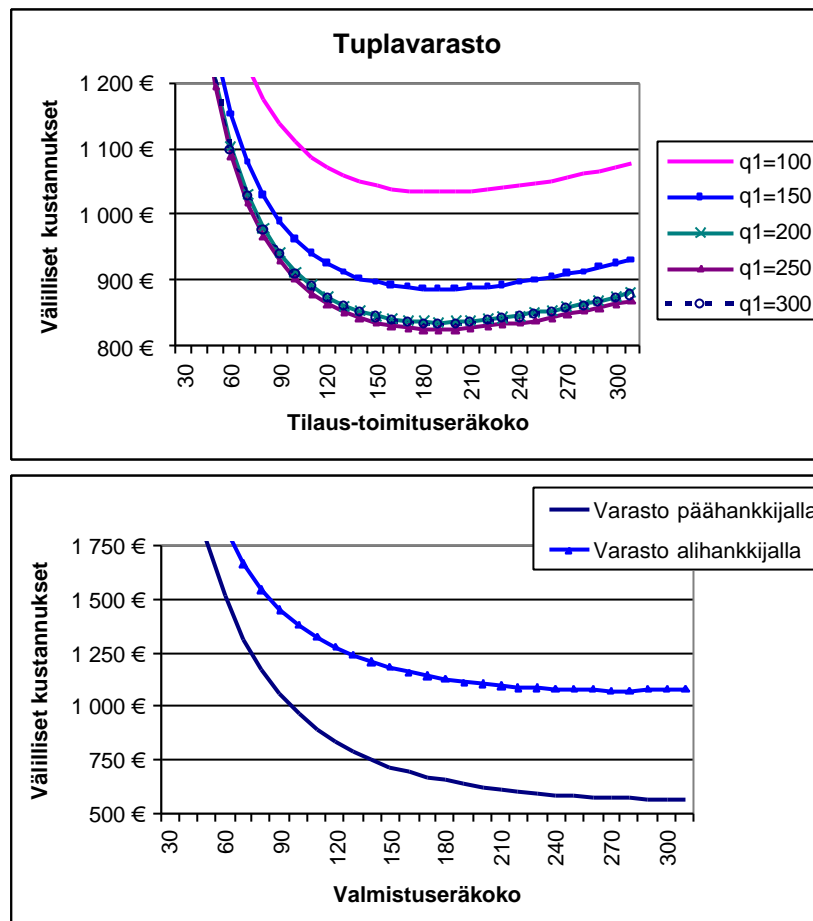
Taulukko 5 Nimikkeen 3 välilliset kustannukset eri tavoin laskettuna

1) Todelliset tapahtumamäärät ja varastosaldot	1190 €	Ero tapaukseen 1
2) Kustannusmalli, vuoden 1999 keskimääräiset eräkoot	1210 €	1,7 %
3) Simulointi, v. 1999 keskimääräiset valmistus- ja toimituseräkoot, todellinen kysyntä	1630 €	37,0 %

Nimike 3 näyttää tässä tarkastelussa melko samanlaiselta kuin nimike 2. Molempien kokonaismenekki oli sama ja ne olivat lähes saman hintaisia. Nimikkeen 3 kulutus oli kuitenkin hieman epätasaisempaa ja tuotannon asetusajat pidempiä.

Kustannusmallin mukaiset välilliset kustannukset tuplavarastotapauksessa on esitetty kuvassa 24. Kuten nimikkeen 2 kohdalla, tapauksessa, jossa vain alihankkija varastoi, on tilaamisprosessia kevennetty siten, että vain tuotantoa tilataan, ei jokaista kokoonpanoerää, jotta kuvaajat saataisi samaan skaalaan.

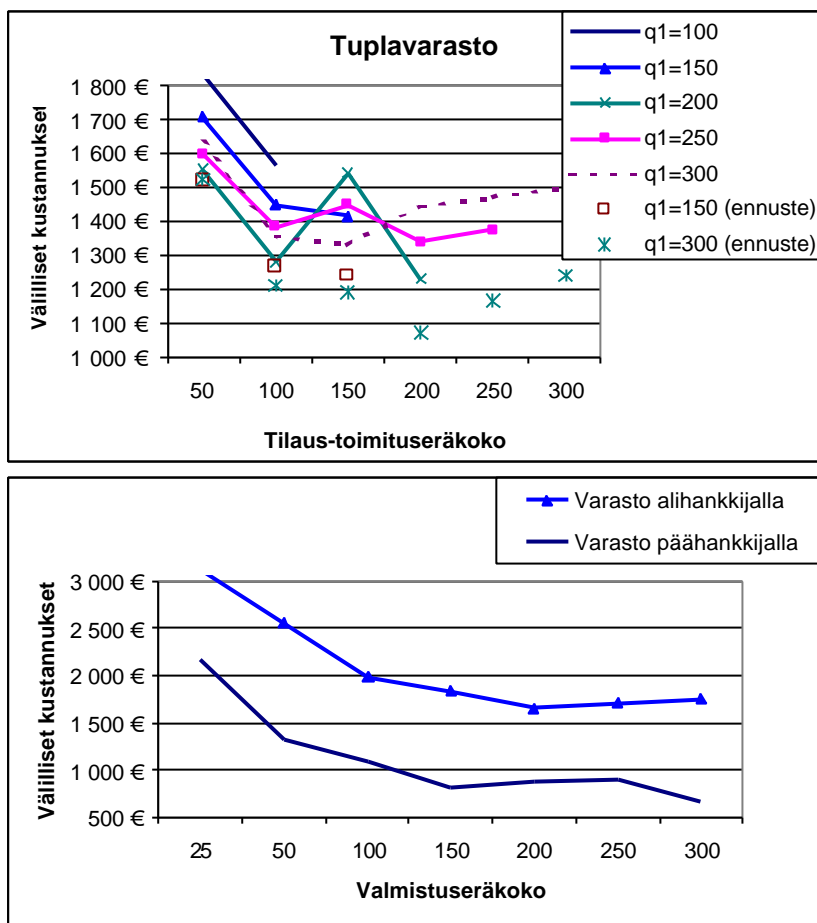
¹⁶ Todellisuudessa valmistuseriä oli kaksi. Simulointi antoi kuitenkin tulokseksi kolme valmistuseriä, mikä selittää tuloksen suuruutta. Lisäksi tietyt eräkoot johtivat varastotasojen kasvamiseen (esim. kuva 26).



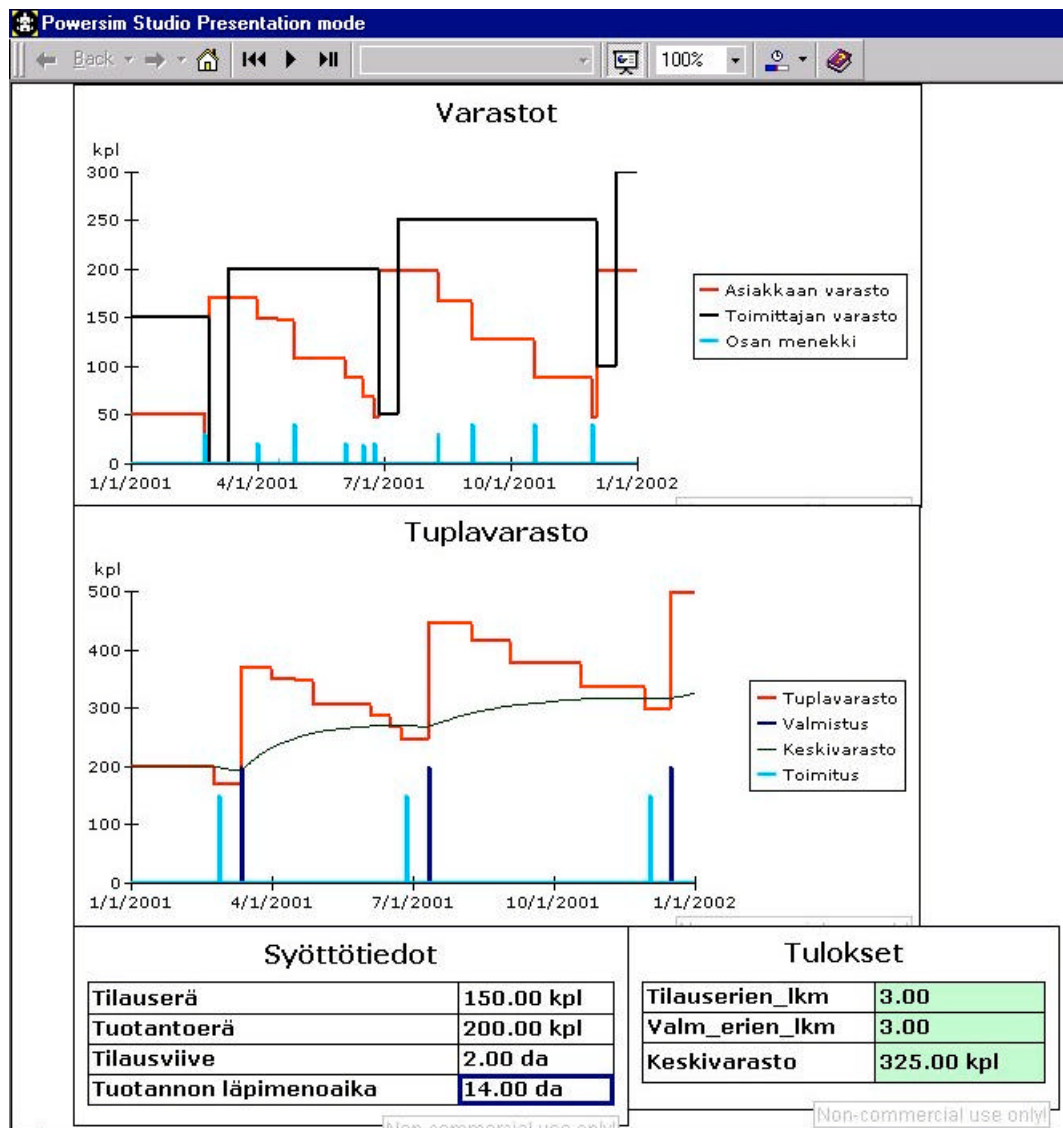
Kuva 24. Nimikkeen 3 välilliset kustannukset ($q1$ = valmistuseräkoko)

Tulokset ovat samansuuntaiset kuin Nimikkeellä 2. Varastointi alihankkijalla ei ole yhtä kallista kuin edellisissä tapauksissa, koska kokoonpanoeria on vähemmän.

Simuloinnin tulokset on esitetty kuvassa 25. Käyräparvien muoto noudattelee kustannusmallin käyrien muotoa. Simuloimalla laskettu välillisten kustannusten taso on kuitenkin selvästi korkeampi. Kysynnän luonne yhdistettynä tilauspistemenettelyyn johtaa varastotasojen kasvamiseen korkeammaksi kuin kustannusmallissa oletetaan. Kun tilauseräkoko on suuri, on alihankkijan varaston tilauspisteenkin oltava yhtä korkealla, jotta tilauserä pystytään tilauksen tullessa toimittamaan varastosta päähankkijalle. Sopivilla eräkokoyhdistelmillä alihankkijan ja samalla yhteenlaskettu varastotaso lähtee kasvamaan. Kaksi peräkkäistä tilauspistettä vääristää kysyntätietoa ja aiheuttaa vahvistusilmion. Simuloitu esimerkki tästä on kuvassa 26.



Kuva 25. Nimikkeen 3 simuloidut välilliset kustannukset



Kuva 26. Esimerkki nimikkeen 3 varastotasojen kasvusta

5.5 Nimike 4

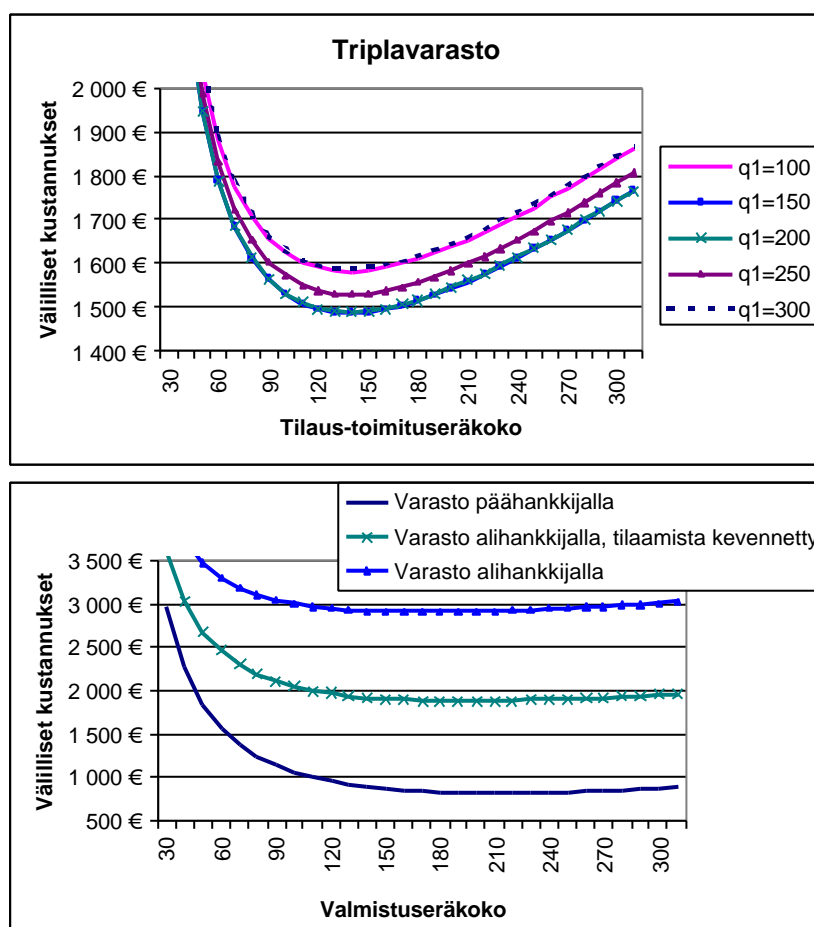
Nimike 4 on monimutkainen osa, jonka kulutus vuonna 1999 oli 310 kpl ja kulutuksen keskihajonta 3,7 kpl. Nimikkeen arvonlisäveroton osto- ja myyntihinta oli 19,51 € Tuotannon asetusajat arvioitiin noin neljäksi tunniksi. Toimituksen jälkeen osat menivät päähankkijan vastaanottovarastoon, josta ne tarkastuksen jälkeen siirrettiin komponenttivarastoon. Partnet-projektissa selvitettyihin tapahtumamääriin ja varastotasoihin perustuvat välilliset kustannukset olivat 3210 € Kustannusmalli antaa samoilla yksikkökustannuksilla tulokseksi 2860 €, kun valmistus- toimitus- ja kokoonpanon eräkoot vastaavat vuoden 1999 keskimääräisiä eräkokoja. Simulointi antaa tulokseksi samoilla arvoilla 2870 € Eroja selittää se, että todellisuudessa vuonna

1999 sattui poikkeus, jonka vuoksi tapahtumia oli hieman enemmän kuin kustannusmallin tai simuloinnin avulla laskettuna.¹⁷

Taulukko 6 Nimikkeen 4 välilliset kustannukset eri tavoin laskettuna

1) Todelliset tapahtumamäärät ja varastosaldot	3210 €	Ero tapaukseen 1
2) Kustannusmalli, vuoden 1999 keskimääräiset eräkoot	2860 €	-10,9 %
3) Simulointi, v. 1999 keskimääräiset valmistus- ja toimituseräkoot, todellinen kysyntä	2870 €	-10,6 %

Kustannusmalliin perustuvat välilliset kustannukset on esitetty kuvassa 27.

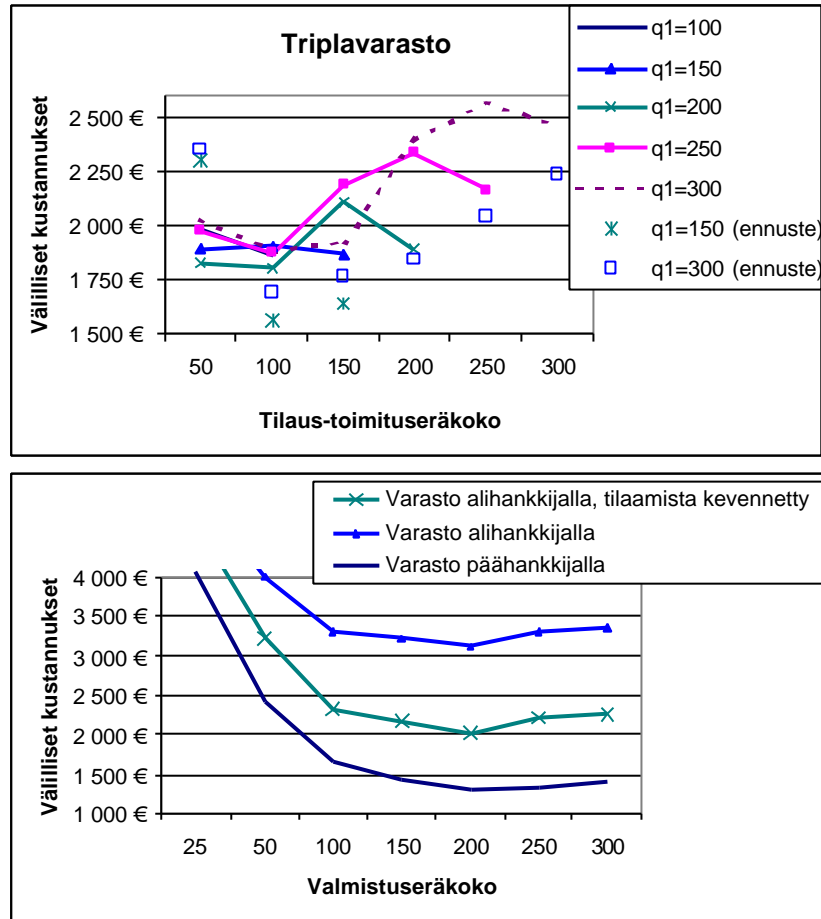


Kuva 27. Nimikkeen 4 välilliset kustannukset ($q_1 =$ valmistuseräkkö)

Nimikkeen 4 simuloinnin avulla lasketut välilliset kustannukset on esitetty kuvassa 28. Tilaus-toimitusprosessi on aiempaa monimutkaisempi, koska varastoja on yksi enemmän. Simuloitu käyräparvi poikkeaa muodoltaan kustannusmallin avulla lasketusta käyräparven muodosta. Eräkköjen suurentaminen alkaa kasvattaa välillisiä

¹⁷ Nimikkeen 4 käsittelyä on vuoden 1999 jälkeen yksinkertaistettu. Tässä on käytetty vuoden 1999 prosessitietoja, jotta vertailtavuus säilyisi. Varastoja on kolme ja jokaisessa omat tapahtumansa.

kustannuksia aikaisemmin ja jyrkemmin kuin kustannusmalli näyttää. Myös se, onko valmistuserä koko toimituseräkoon monikerta, näyttää simuloinnin perusteella vaikuttavan välillisiin kustannuksiin. Kun toimituserä koko on esimerkiksi 150, valmistuseräkoot 150 ja 300 aiheuttavat pienemmät välilliset kustannukset kuin valmistuseräkoot 200 ja 250.



Kuva 28. Nimikkeen 4 simuloitujen välillisten kustannukset

5.6 Nimike 5

Nimike 5 on osakokoonpano, jonka kulutus vuonna 1999 oli 319 kpl ja kulutuksen keskihajonta 2 kpl. Nimikkeen arvonlisäveroton osto- ja myyntihinta on 32 €. Kokoonpanoon alihankkijalla valmistettavien osien yhteenlaskettu asetusaika on noin kuusi tuntia. Alihankkija tekee osakokoonpanon tilauksen perusteella ja pitää noin yhden toimituserän suuruista varmuusvarastoa. Partnet-projektissa selvitettyihin tapahtumamääriin ja varastotasoihin perustuvat välilliset kustannukset olivat 3330 €. Kustannusmalli antaa samoilla yksikkökustannuksilla saman tuloksen 3330 €, kun valmistus- toimitus- ja kokoonpanon eräkoot vastaavat vuoden 1999 keskimääräisiä eräkojoja. Simuloinnin tulos on samoilla arvoilla 3510 €. Osakokoonpanon

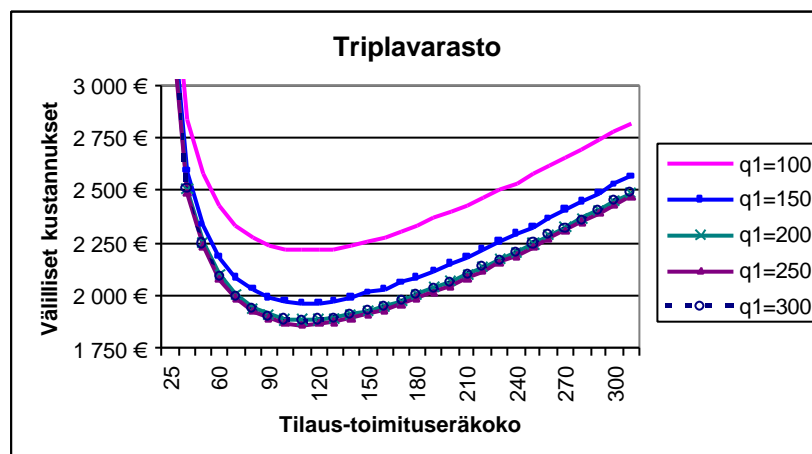
komponenttien arvoksi alihankkijan varastossa on arvioitu 60 % osakokoonpanon arvonlisäverottomasta myyntihinnasta.¹⁸

Taulukko 7 Nimikkeen 5 välilliset kustannukset eri tavoin laskettuna

1) Todelliset tapahtumamäärät ja varastosaldot	3330 €	Ero tapaukseen 1
2) Kustannusmalli, vuoden 1999 keskimääräiset eräkoot	3330 €	0 %
3) Simulointi, v. 1999 keskimääräiset valmistus- ja toimituseräkoot, todellinen kysyntä	3510 €	5,4 %

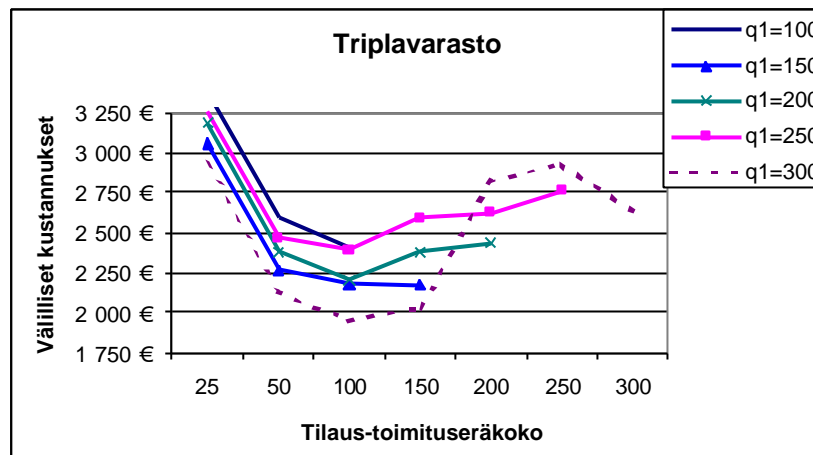
Osakokoonpanoille ei ole laskettu yhden varaston tapausten välillisiä kustannuksia. Kustannusmallin mukaiset ja simuloimalla lasketut välilliset kustannukset on esitetty kuvissa 29-30.

Kustannusmallin ja simuloinnin käyräparvien muoto on varsin samankaltainen.



Kuva 29. Nimikkeen 5 kustannusmallin kuvaajia (q1=osavalmistuksen eräkkoko)

¹⁸ Myös nimikkeen 5 prosessia on vuoden 1999 jälkeen kehitetty. Kustannusanalyysi ja simuloinnit perustuvat kuitenkin vuoden 1999 datoihin ja tilanteeseen.



Kuva 30. Nimikkeen 5 simuloitujen välillisten kustannukset

5.7 Havainnot

Kustannusmallin antamat tulokset vastaavat vuoden 1999 todellisiin tapahtuma- ja varastotasotietoihin perustuvia tuloksia. Simuloinnin ja kustannusmallikäsittelyn tulokset viittaavat samaan suuntaan, erojakin tosin on. Kummankin käsittelytavan mukaan välilliset kustannukset alkavat kasvaa voimakkaasti samoilla alueilla, kun eräkokoja pienennetään. Kun eräkokoja kasvatetaan, simulointi osoittaa nopeampaa kustannusten nousua kuin kustannusmalli.

Kustannusmallin ja simuloinnin tulosten erot on esitetty liitteessä 2. Erot kasvavat huomattavasti eräkokojen kasvaessa. Tähän on ainakin kaksi syytä. Kustannusmallissa oletetaan, että keskivarasto on yhtä kuin puolet täydennyseräkoosta. Todellisuudessa näin ei ole. Kun eräkoot ovat pieniä, varastotasojen yksinkertaisesta mallinnuksesta johtuva virhe on pieni. Eräkokojen kasvaessa yksinkertaistuksesta johtuva virhe kasvaa. Simuloinnin perusteella vaikuttaa siltä, että varastotasot kasvavat nopeammin kuin kustannusmallissa oletetaan. Toisaalta simulointi noudattaa tarkasti systeemille annettuja sääntöjä. Tosielämässä ihmiset voivat hidastaa varastotasojen kasvua esimerkiksi pienentämällä täydennyseräkokoja tai tilaamalla harvemmin. Ihmistoiminnan vaikutus voi olla myös päinvastainen: vääristä tilannearvioista johtuen varastotasot voivat kasvaa vielä voimakkaammin kuin simuloimalla laskettiin.

On huomattava, että todellisuudessa myös varastokustannusprosentti kasvaa, kun varastotasot kasvavat. Syynä tähän ovat suurempi tilatarve, epäkuranttiusriski ja vakuutukset. Varastokustannuksen kasvua ei ole huomioitu kustannusmallikäsittelyssä eikä simuloinnissa.

Tapahtumamäärien suhteen kustannusmalli näyttäisi kuvaavan vakiintunutta, toistuvaa erätuotantoa varsin hyvin. Toisin kuin simulointi, kustannusmalli laskee keskimääräisiä tapahtumamääriä. Simuloimalla lasketut tapahtumamäärät saattavat ”nykiä”, koska tarkastelu-aika on rajattu yhdeksi vuodeksi. Näin kävi nimikkeen 3 tapauksessa, jossa simuloinnin tuloksena saadut tapahtumamäärät olivat todellisuutta suuremmat.

Tutkitut nimikkeet ovat melko samantyyppisiä: volyyymi on melko pieni ja asetusajkojen vuoksi taloudelliset valmistuseräkoot ovat suuria. Tuloksetkin ovat samankaltaisia. Varastointi päähankkijalla näyttää näissä tapauksissa taloudellisemmalta kuin varastointi alihankkijalla. Simuloinnin perusteella yhden varaston tapausten välinen kustannusero on pienempi kuin kustannusmallin mukaan. Joka tapauksessa nimikkeillä 1-3 vaihtoehto, jossa varasto olisi alihankkijalla, olisi nykyisillä toimintatavoilla hyvin kallis: kuvaajien pitäminen ymmärrettävässä skaalassa vaatii tilaamiskäytännön kuvitteellisen keventämisen aivan erilaiseksi kuin se todellisuudessa on.

Kustannusmallin mukaan voidaan **Nimikkeiden 1 ja 2** välillisiä kustannuksia vähentää huomattavasti. Edullisimmalta vaihtoehdolta näyttää varaston siirtäminen päähankkijalle. Simulointi osoittaa, ettei varsinaisia optimieräkoja ole, mutta kustannussäästöt ovat kuitenkin mahdollisia. Myös simuloinnin perusteella tällä hetkellä selvästi edullisinta olisi suurehkojen valmistuserien suora toimittaminen päähankkijan varastoon.

Nimikkeen 3 tapauksessa simuloinnin ja kustannusmallin perusteella lasketut kustannukset poikkeavat toisistaan. Osan menekki oli 1999 varsin epätasainen, joten laskennassa käytetty kustannusfunktio ei yksinkertaistustensa vuoksi kuvannut todellisuutta yhtä hyvin kuin edellisten nimikkeiden tapauksissa. Sekä kustannusmallin että simuloinnin mukaan edullisimmalta näyttää varastointi päähankkijalla. Tuotantoa ei juuri kannattaisi kahta kertaa useammin vuodessa käynnistää.

Sekä kustannusmallin että simuloinnin perusteella pelkästään eräkojen muuttaminen säästäisi **Nimikkeen 4** välillisiä kustannuksia huomattavasti. Säästö on simuloinnin mukaan vähäisempi kuin kustannusmalli osoittaa. Varastointi päähankkijalla näyttää jälleen edullisimmalta ratkaisulta molempien käsittelyiden perusteella.

Nimike 5 on osakokoonpano. Valmistus on monivaiheisempaa kuin edellisillä nimikkeillä. Alihankkija varastoi osakokoonpanon komponentteja, joiden arvo alihankkijalla on selvästi pienempi kuin osakokoonpanon arvo päähankkijalla. Kustannusmallin ja simuloinnin tulokset poikkeavat hieman toisistaan, joskin kustannustaso näyttää molemmilla laskutavoilla samalta. Simulointi osoittaa kustannusmallia paremmin, että eräkojen kasvattamisen vaikutus kustannuksiin voi olla arvaamaton.

Kustannusfunktion antama kuva eri tapauksissa vastaa Partnet-projektin tuloksia, jotka perustuvat todellisiin tapahtumamääriin ja varastosaldoihin. Simulointi osoittaa, että todellinen systeemi on herkempi eräkojen kasvattamiselle kuin kustannusmalli näyttää. Tulokset simuloinnista ja kustannusmallikäsittelystä ovat poikkeamista huolimatta samansuuntaisia. Johtopäätökset ovat samanlaisia: välillisiä kustannuksia on mahdollista vähentää. Keinoja näyttävät olevan tapahtumakustannusten pienentäminen, toisen varaston poistaminen ja eräkojen muuttaminen.

Rajoituksistaan huolimatta välillisiä kustannuksia kuvaavaan yksinkertaiseen kustannusfunktioon perustuva kustannusmalli näyttää kelvolliselta tavalta tarkastella alihankintaprosessia.

6 Kustannusmallin tarkentaminen

Keskusteluissa Koneali-projektin osallistujayritysten henkilöstön ja tutkimusryhmän kanssa havaittiin, että kustannusmallissa tulisi huomioida valmistuskapasiteetin rajallisuus sekä asetus- ja muiden tapahtuma-aikojen riippuvuus eräkoosta.

Alihankkija ei voi suurentaa valmistuseräkokoja äärettömästi ilman erikoisjärjestelyjä. Yleensä on olemassa jokin rajaeräkokoa, jota ei voida ylittää ilman henkilö- tai konekapasiteetin kasvattamista. Rajaeräkoon ylittämisestä voi seurata alihankkijalle sekä kerta- että kappalekohtaisia kustannuksia seuraavasti:

$$C_{ah} = D/q_2 * S C_{\text{til.koht}} + D/q_1 * S C_{\text{valm.koht}} + P_{ah}i * (q_1/2 + SS_1), q_1 < L \text{ (kaava 12)}$$

$$C_{ah} = D/q_2 * S C_{\text{til.koht}} + D/q_1 * S C_{\text{valm.koht}} + P_{ah}i * (q_1/2 + SS_1) + A + B(q_1-L), q_1 > L \text{ (kaava 13), missä}$$

L = Valmistuksen kapasiteettiraja

A = Lisäkapasiteetin tarpeesta johtuva kertakustannus

B = Lisäkapasiteetin tarpeesta johtuva kappalekohtainen kustannus

Koneali-projektiin kuuluneessa asetustutkimuksessa havaittiin, että asetus- ja muut vaiheajat eivät läheskään aina ole eräkoosta riippumattomia. Asetuksista esimerkiksi työkalujen haku, nc-ohjelman valinta, koneen siivous ajon jälkeen ja yleensä työvaiheen aloittamiseen tai päättämiseen liittyvät asetukset kestävät lähes yhtä kauan riippumatta valmistuseräkoon suuruudesta. Sen sijaan esimerkiksi osien kiinnitykseen ja irrottamiseen kuluva aika riippuu siitä, kuinka monta osaa on käsiteltävä, siis kuinka suuri eräkokoa on. Sama pätee useisiin muihin välillisiin tapahtumiin kuten hyllytykseen ja keruuseen, laaduntarkastukseen, pakkaamiseen jne. Näin ollen vuotuiset tapahtumakustannukset ovat muotoa:

$$\text{Erien määrä} * C_{\text{eräkohtainen}} + \text{Kappalemäärä} * C_{\text{kpl-kohtainen}} \text{ (kaava 14),}$$

jolloin vuotuiset välilliset kustannukset ovat

$$C_{ah} = D/q_2 * S C_{\text{til.koht}} + D/q_1 * S C_{\text{valm.koht}} + D * S C_{\text{kpl-koht.}} + P_{ah}i * (q_1/2 + SS_1), q_1 < L \text{ (kaava 15)}$$

$$C_{ah} = D/q_2 * S C_{\text{til.koht}} + D/q_1 * S C_{\text{valm.koht}} + D * S C_{\text{kpl-koht.}} + P_{ah}i * (q_1/2 + SS_1) + A + B(q_1-L), q_1 > L \text{ (kaava 16)}$$

$$C_{ph} = D/q_2 * S C_{\text{til.koht}} + D/q_3 * S C_{\text{kp.koht}} + D * S C_{\text{kpl-koht.}} + P_{ph}i * (q_2/2 + SS_2) \text{ (kaava 17)}$$

$$C_{\text{kok}} = C_{ah} + C_{ph} \text{ (kaava 18)}$$

Osa vuotuisista tapahtumakustannuksista on siis eräkokojen suhteen vakioita.

Edellä esitetyn perusteella kehitetyn kustannusmallin tapahtuma-, tuote- ja prosessitietojen syöttölomakeet on esitetty kuvissa 31-32.

Microsoft Excel - lask_malli2.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Arviointi 10

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

Syötä keskimääräinen tuntikustannus, tapahtumien kestot minuuteissa sekä keskimääräinen kuljetuskustannus

Tuntikustannus: 34 €

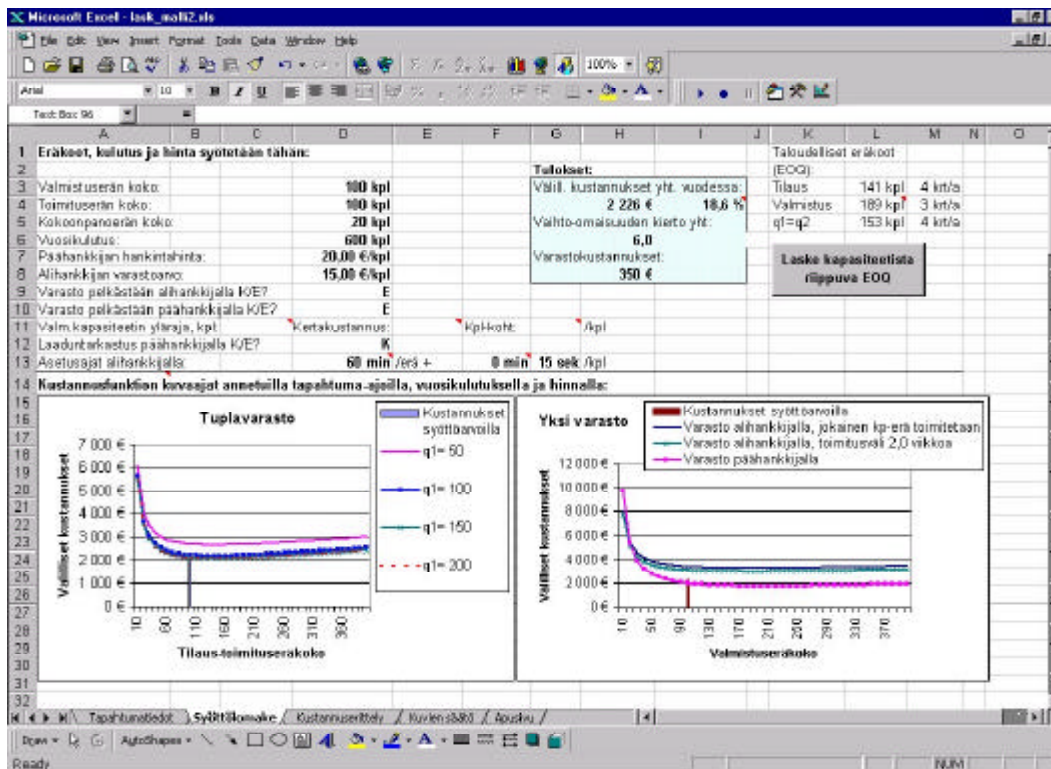
Luokka	Tapahtumat	Eräkoht. kesto	Kpl-koht. kesto
1 Päähankkija	Hankintojen suunnittelu- ja ohjaus	10,0 min	
1 Päähankkija	Ostotilaus	10,0 min	
2 Aihankkija	Ostotilauksen käsittely	10,0 min	
2 Aihankkija	Tilauskohtainen valmistuksen suunnittelu- ja ohjaus	10,0 min	
3 Aihankkija	Valmistusvaiheen valmistelu konttorissa	30,0 min	
3 Aihankkija	Ostotapahtumat	0,0 min	
3 Aihankkija	Asetukset tehtaalta yhteensä	60 min	0 min/kpl + 15 sek/kpl
3 Aihankkija	Aihankkijatapahtumat	10 min	0 min/kpl + 0 sek/kpl
3 Aihankkija	Aihankkijan keskim. kulj.kustannus / nimike / erä	1 €	0,10 € /kpl
3 Aihankkija	Siirto varastoon ja hyllytys	10 min	0 min/kpl + 4 sek/kpl
4 Aihankkija	Varastointikustannusprosentti	20 %	
3 Aihankkija	Laaduntarkastus ja mittauspöytäkirja	40 min	0 min/kpl + 8 sek/kpl
3 Aihankkija	Pakkaaminen	5 min	0 min/kpl + 2 sek/kpl
2 Aihankkija	Keruu varastosta	5 min	0 min/kpl + 2 sek/kpl
2 Aihankkija	Kuljetusten järjestely	10,0 min	
2 Pää- tai aihankkija	Kuljetuskustannus / nimike / erä keskimäärin	10 €	1,00 € /kpl
2 Aihankkija	Laskutus	10,0 min	
1 Päähankkija	Tavarin vastaanotto	10 min	0 min/kpl + 4 sek/kpl
1 Päähankkija	Laaduntarkastus ja mittauspöytäkirja	5 min	0 min/kpl + 5 sek/kpl
1 Päähankkija	Hyllytys	10 min	0 min/kpl + 4 sek/kpl
4 Päähankkija	Varastointikustannusprosentti	20 %	
5 Päähankkija	Keruu- ja siirto kokoonpanoon	2 min	0 min/kpl + 0 sek/kpl
1 Päähankkija	Laskun tarkastus ja maksaminen	10,0 min	

Tapahtumatiedot / Syöttölomake / Kustannuserittely / Kuvien säätö / A / 1

AutoShapes

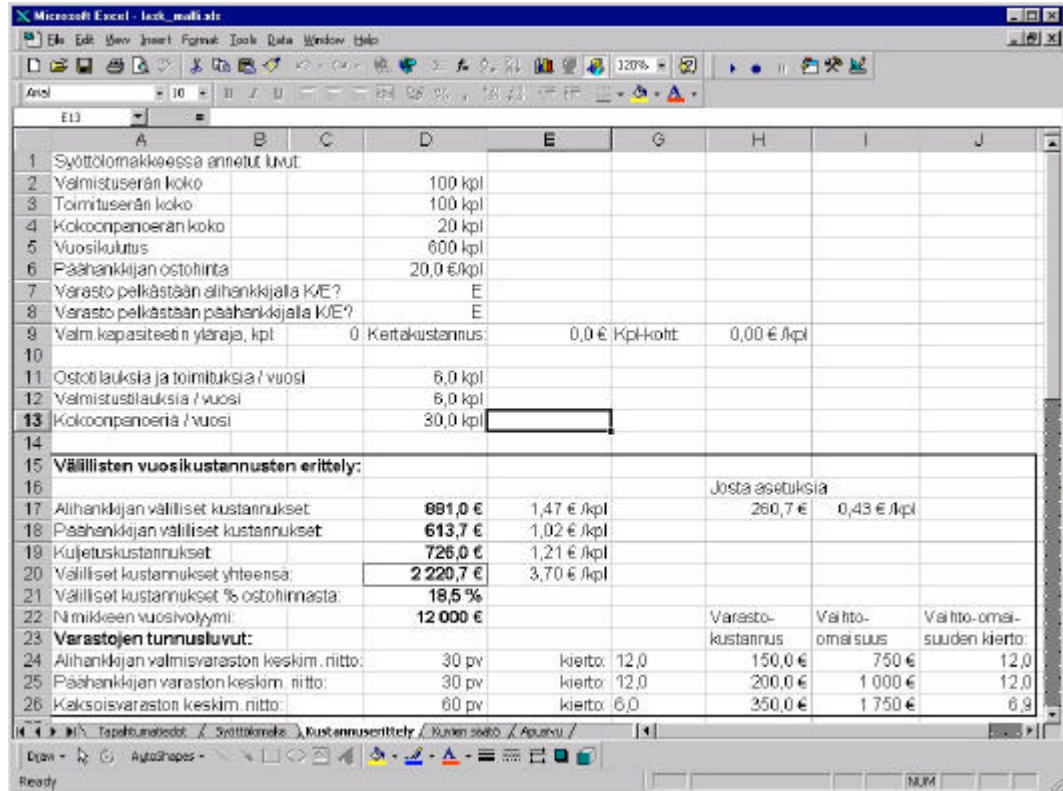
Ready

Kuva 31. Kehitetyn kustannusmallin tapahtumatietojen syöttölomake



Kuva 32. Kehitetyn kustannusmallin erä-, hinta- ja prosessitietojen syöttö sekä tulokset

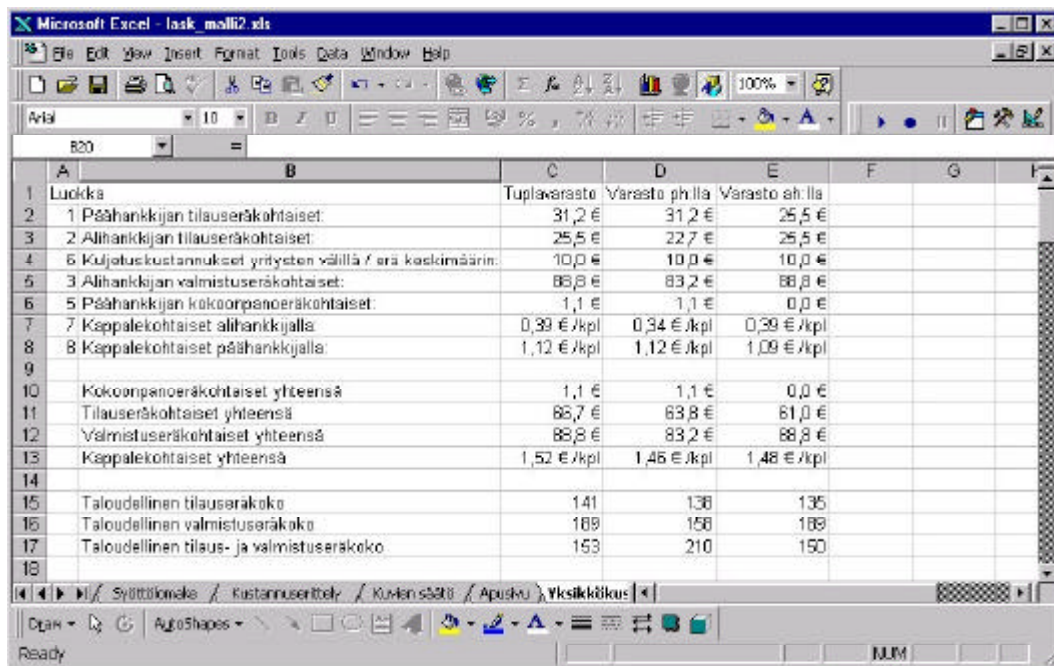
Kuvassa 33 on esitetty kustannusmallista saatu kustannuserittely, josta nähdään, miten välilliset kustannukset jakautuvat eri osapuolten välillä. Vastuu kuljetuskustannuksista vaihtelee eri tapauksissa, joten ne on käsitelty erikseen. Lisäksi erittelyssä näkyy varastojen ja vaihto-omaisuuden kierto nopeus.



	A	B	C	D	E	G	H	I	J
1	Syöttöomakkeessa annetut luvut								
2	Valmistuserän koko			100 kpl					
3	Toimituserän koko			100 kpl					
4	Kokoonpanoserän koko			20 kpl					
5	Vuosikulutus			600 kpl					
6	Päähankkijan ostohinta			20,0 €/kpl					
7	Varasto pelkästään alihankkijalta K/E?			E					
8	Varasto pelkästään päähankkijalta K/E?			E					
9	Valm.kapasiteetin yläraja, kpl	0	Kertakustannus:		0,0 €	Kpl-kohti	0,00 € /kpl		
10									
11	Ostotilauksia ja toimituksia / vuosi			6,0 kpl					
12	Valmistustilauksia / vuosi			6,0 kpl					
13	Kokoonpanoeria / vuosi			30,0 kpl					
14									
15	Välillisten vuosikustannusten erittely:								
16							Josta asetuksia		
17	Alihankkijan välilliset kustannukset			881,0 €	1,47 € /kpl		260,7 €	0,43 € /kpl	
18	Päähankkijan välilliset kustannukset			613,7 €	1,02 € /kpl				
19	Kuljetuskustannukset			726,0 €	1,21 € /kpl				
20	Välilliset kustannukset yhteensä:			2 220,7 €	3,70 € /kpl				
21	Välilliset kustannukset % ostohinnasta:			18,5 %					
22	Nimikkeen vuosivolyymi:			12 000 €					
23	Varastojen tunnusluvut:								
24	Alihankkijan valmisvaraston keskim. nitto:	30 pv			kierto: 12,0	150,0 €	750 €		12,0
25	Päähankkijan varaston keskim. nitto:	30 pv			kierto: 12,0	200,0 €	1 000 €		12,0
26	Kaksoisvaraston keskim. nitto:	60 pv			kierto: 6,0	350,0 €	1 750 €		6,9

Kuva 33. Kustannusmallin syöttöarvoilla saatujen välillisten kustannusten erittely

Kuvassa 34 näkyvät tapahtumatiedoista lasketut erä- ja kappalekohtaiset tapahtumakustannukset kolmessa eri varastotapauksessa. Yhden varaston tapauksessa poistettuun varastoon liittyviä tapahtuma- ja varastokustannuksia ei lasketa.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Luokka		Tuplavarasto	Varasto pihlla	Varasto si:lla			
2	1	Päähankkijan tilauseräkohtaiset:	31,2 €	31,2 €	25,5 €			
3	2	Alihankkijan tilauseräkohtaiset:	25,5 €	22,7 €	25,5 €			
4	6	Kuulutusmaksut yritysten välillä / era keskimäärin:	10,0 €	10,0 €	10,0 €			
5	3	Alihankkijan valmistuseräkohtaiset:	88,8 €	83,2 €	88,8 €			
6	5	Päähankkijan kokoonpanoeräkohtaiset:	1,1 €	1,1 €	0,0 €			
7	7	Kappalekohtaiset alihankkijalla:	0,39 €/kpl	0,34 €/kpl	0,39 €/kpl			
8	8	Kappalekohtaiset päähankkijalla:	1,12 €/kpl	1,12 €/kpl	1,09 €/kpl			
9								
10		Kokoonpanoeräkohtaiset yhteensä	1,1 €	1,1 €	0,0 €			
11		Tilauseräkohtaiset yhteensä	86,7 €	83,8 €	61,0 €			
12		Valmistuseräkohtaiset yhteensä	88,8 €	83,2 €	88,8 €			
13		Kappalekohtaiset yhteensä	1,52 €/kpl	1,46 €/kpl	1,48 €/kpl			
14								
15		Taloudellinen tilauseräkoko	141	138	135			
16		Taloudellinen valmistuseräkoko	189	158	189			
17		Taloudellinen tilaus- ja valmistuseräkoko	153	210	150			
18								

Kuva 34. Tapahtumatiedoista lasketut tapahtumakustannukset

7 Kustannusmallin testaaminen yrityksissä

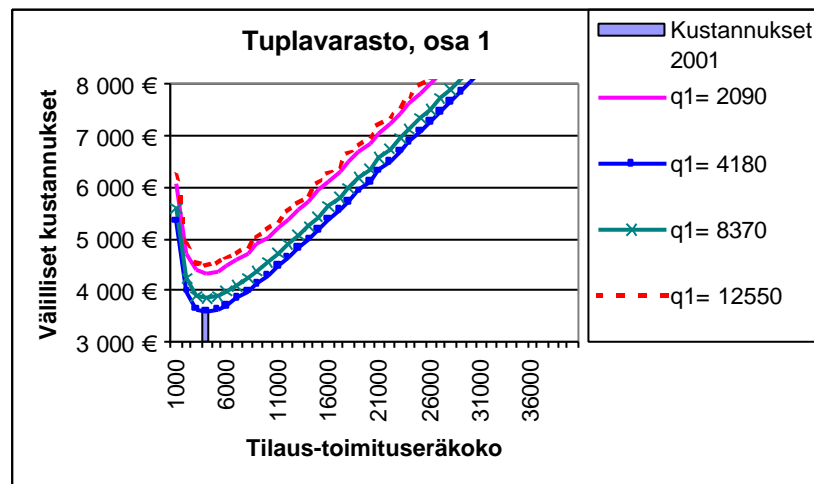
Seuraavaksi tarkastellaan kustannusmallin avulla tapausnimikkeitä eri yrityspareista. Tapahtumien yksikkökustannukset on mitattu tai arvioitu tapauskohtaisesti.

7.1 Yrityspari A

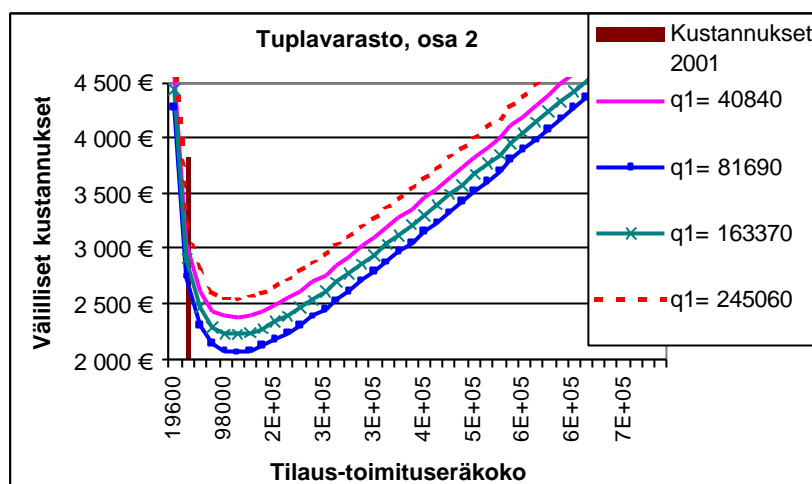
Yrityspari A valmistaa volyymituotteita toistuvana erätuotantona. Alihankittavien tai ostettavien osien yksikköhinnat ovat tyypillisesti pieniä, mutta vuosivolyymi suuri. **Osan 1** kulutus vuonna 2001 oli 50194 kpl ja hinta 1,98 €/kpl. Kustannusmallin mukaan välilliset kustannukset olivat 3593 €, josta pääomakustannukset olivat 1584 € ja tapahtumakustannukset 2009 €. Välillisten kustannusten ja ostovolyymien suhde oli 3,6 %.

Osan 2 kulutus vuonna 2001 oli 980232 kpl ja hinta 0,05 €/kpl. Välilliset kustannukset olivat 3825 €, josta pääomakustannukset olivat 300 € ja tapahtumat 3525 €. Välillisten kustannusten ja ostovolyymien suhde oli 7,8 %.

Kustannusmallin kuvaajat tuplavarastotapauksessa on esitetty kuvissa 35-36.

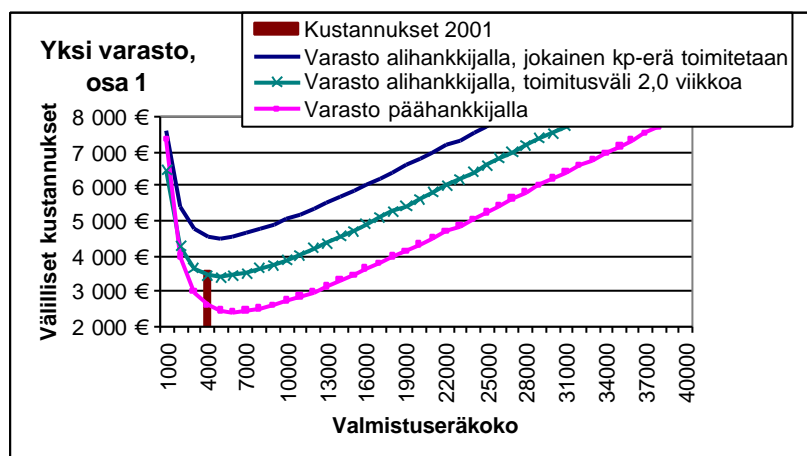


Kuva 35. Kustannusmallin käyräparvi osalle 1

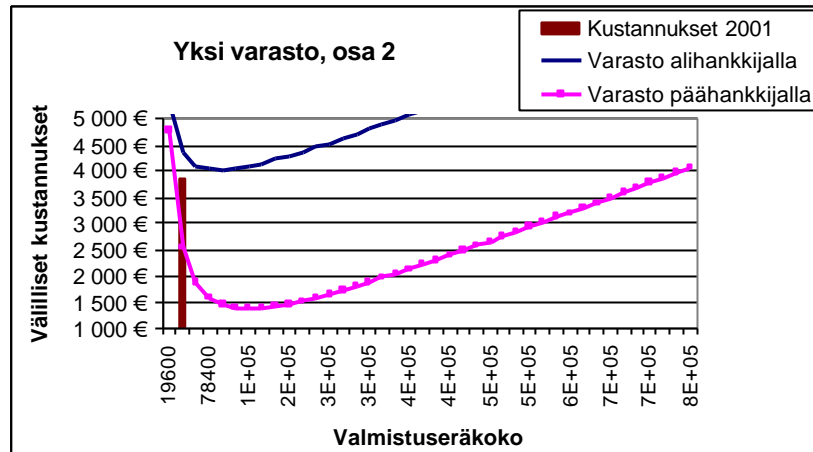


Kuva 36. Kustannusmallin käyräparvi osalle 2

Osan 1 välillisten kustannusten osuus oli alhainen. Kustannusmallitarkastelun mukaan lisäsäästöjä saataisi eliminoimalla alihankkijan varasto. Osan 2 kohdalla sen sijaan säästöpotentiaali on suurempi. Mahdollisia ratkaisuja näyttäisivät olevan valmistus- ja toimitusvälien harventaminen ja varaston siirtäminen päähankkijalle (kuvat 37-38). Osan 2 valmistusta ja hankintaa onkin järjestetty uudelleen.



Kuva 37. Yhden varaston tapaukset osalle 1



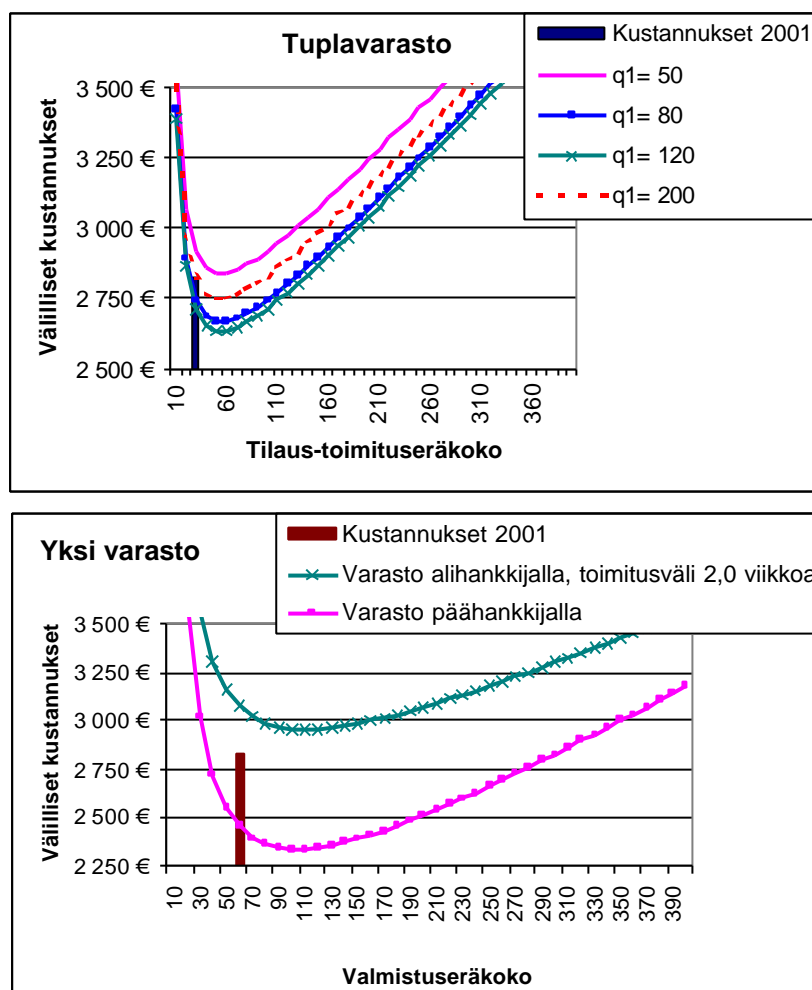
Kuva 38. Yhden varaston tapaukset osalle 2

7.2 Yrityspari B

Myös tämän yritysparin alihankkija harjoittaa toistuvaa erätuotantoa. Päähankkijan lopputuotteet ovat räätälöitäviä, mutta alihankittavat mekaniikkaosat ovat toistuvia.

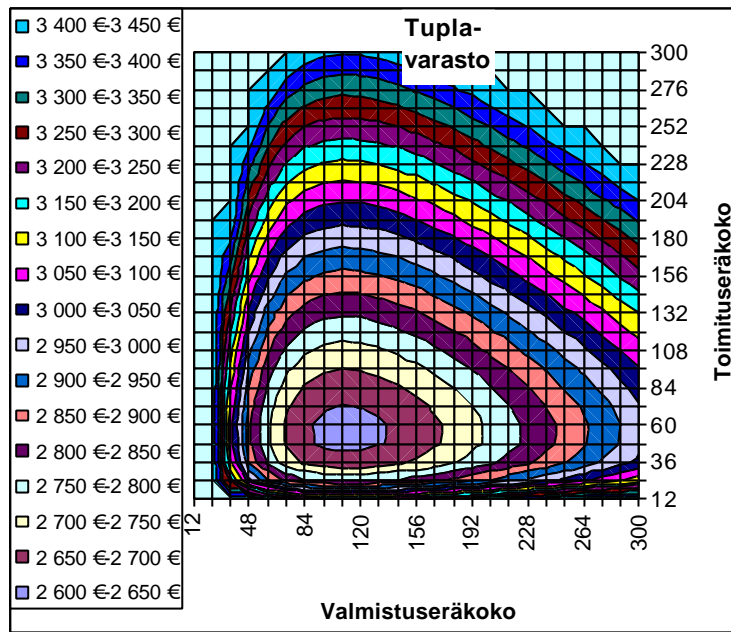
Tutkitun mekaniikkaosan kulutus on noin 300 kpl ja hinta 39,5 €/kpl. Kustannusmallin mukaan välilliset kustannukset ovat 2830 €, josta pääomakustannukset ovat 290 €. Välillisten kustannusten ja ostovolyymin suhde on 24,6 %.

Kustannusmallin kuvaajat on esitetty kuvassa 39. Havaitaan, että valmistus- ja toimitustiheyden muuttamisella voidaan säästää melko vähän. Varaston siirto päähankkijallekaan ei muuttaisi tilannetta olennaisesti; välillisten kustannusten osuus ostovolyymista olisi edelleen yli 20 %.



Kuva 39. Mekaniikkaosan kustannusmallin kuvaajat (yritysperi B)

Kuvasta 40 nähdään, että prosessin välilliset kustannukset eivät ole herkkiä eräkokomuutoksille. Merkittäviä säästöjä saadaan vain prosessia kehittämällä. Tutkimuksen aikana päähankkija suunnitteli kyseisen osan uudelleen. Uuden konstruktion asetusajat olisivat noin puolet nykyisestä.



Kuva 40. Mekaniikkaosan välilliset kustannukset eräkokojen funktiona

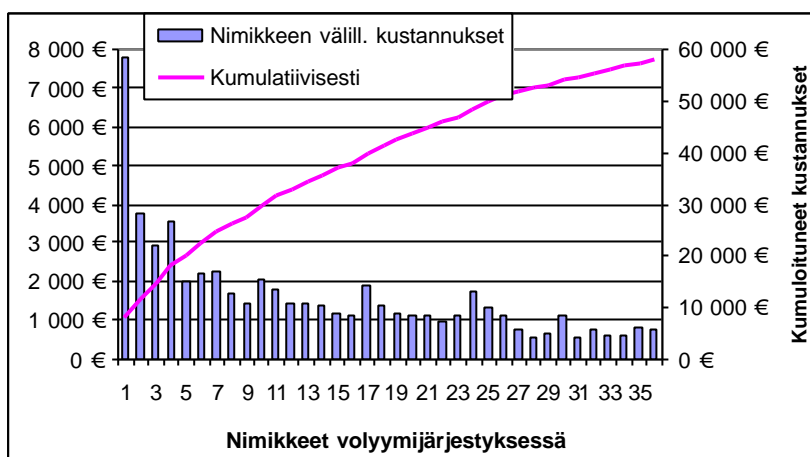
7.3 Yrityspari C

Yritysparista C valittiin tutkittavaksi 36 nimikettä: 26 hankintavolyymiltaan suurinta sekä kymmenen muuta. Kulutus-, hinta-, asetusaike- ja muut prosessitiedot vastaavat tilannetta vuonna 2001. 36 nimikkeen otos käsitti 68 %:a yritysparin vuoden 2001 kokonaisvolyymista¹⁹.

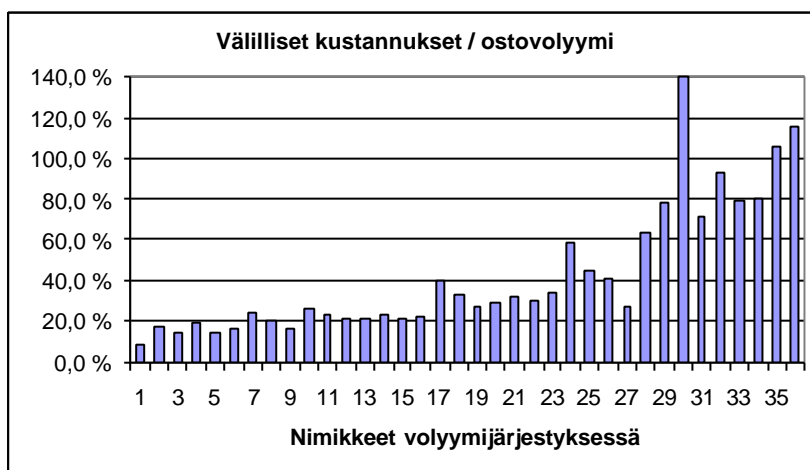
Analyysin tulokset esitetään kuvissa 41-43. Nykyisellä toimintatavalla välillisiä kustannuksia kertyy melko tasaisesti niin suuri- kuin pienivolyymisille tuotteille. Yhteensä välilliset kustannukset olivat kustannusmallin mukaan 58200 €, 20,6% ostovolyymista. 71 % otoksen välillistä kustannuksista on tapahtumakustannuksia. Varastokustannusten²⁰ osuus välillisistä kustannuksista on yli 30 % 8 nimikkeellä, joista viisi on osakokoonpanoja ja vain kolme yksittäisiä osia.

¹⁹ Kaikista yritysparin 1 alihankintanimikkeistä 11 suurivolyymisinta vastasi 50 %:a alihankinnan kokonaisvolyymista vuonna 2001.

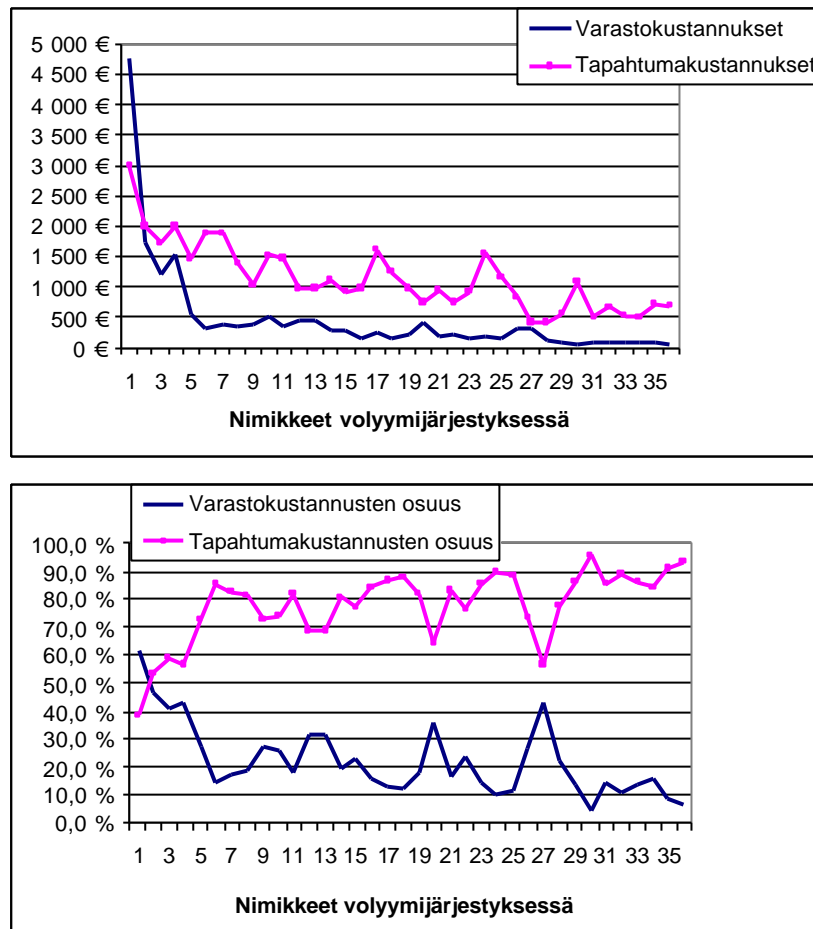
²⁰ Varastokustannuksilla tarkoitetaan tässä raportissa aina tilan, korkojen, vakuutusten ja epäkuranttiuden, ei varastotapahtumien kuten hyllytyksen tai keräilyn kustannuksia



Kuva 41. Otsanimikkeiden välilliset kustannukset ja kustannuskertymä



Kuva 42. Otsanimikkeiden välilliset kustannukset suhteessa nimikkeen ostovolyymiin

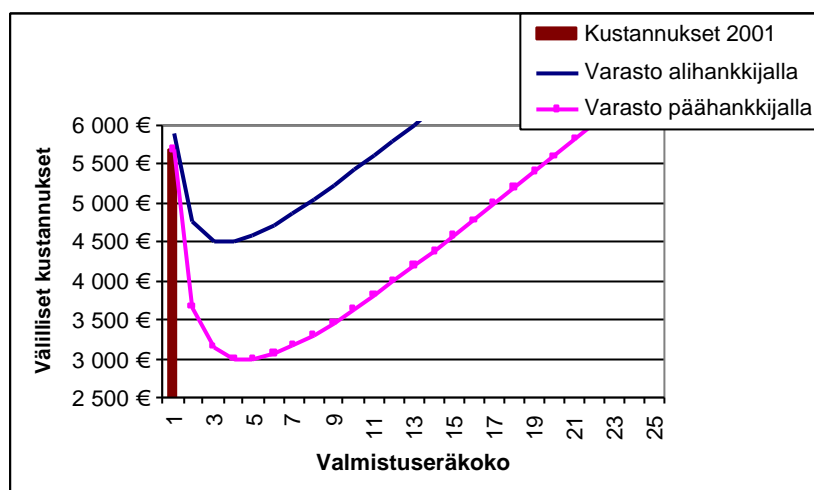


Kuva 43. Otsanimikkeiden varasto- ja tapahtumakustannukset

7.4 Yrityspari D

Yritysparissa D alihankkija valmistaa yksittäistuotantona, mutta toistuvasti melko suuria ja kalliita tuotteita, joiden valmistukseen kuuluu mm. polttoleikkausta, sorvaamista ja koneistusta. Tuotteet toimitetaan päähankkijalle kahdessa osassa, joista toinen on tapauskohtaisesti räätälöitävä. Tuotteita ei varastoida.

Tutkitun osan kulutus oli vuonna 2001 23 kpl ja hinta 2200 €/kpl. Kustannusmallin mukaan välilliset kustannukset olivat 5700 € (kuva 44), josta pääomakustannukset olivat 220 €. Välillisten kustannusten ja ostovolyymin suhde oli 11,3 %.



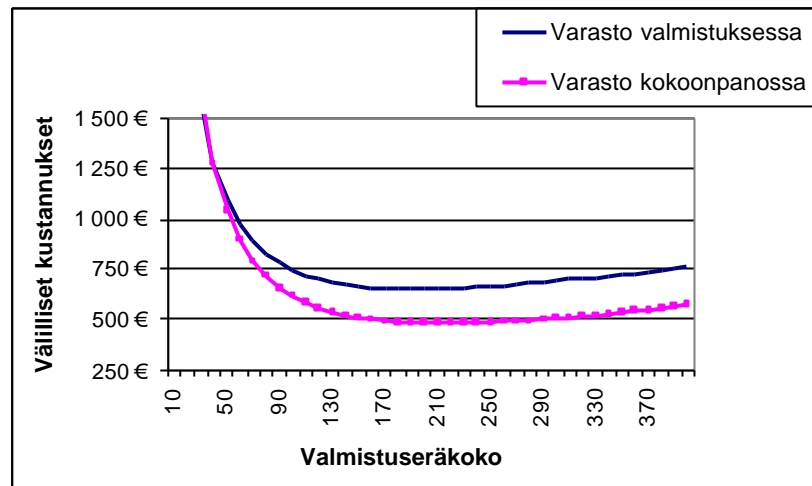
Kuva 44. Kustannusmallin kuvaajat projektituotteessa käytettävälle toistuvalla osalle

Näyttäisi kannattavalta ryhtyä valmistamaan 2-4 kappaletta kerralla, mikä vastaa alihankkijan näkemystä. Välilliset kustannukset voisi näin lähes puolittaa.

Ratkaisukin on periaatteessa helppo: päähankkijan tilauskannan näyttäminen alihankkijalle. Tällä hetkellä alihankkija ei näe muuta kysyntätietoa kuin saapuneet tilaukset. Tilauskannan pituus on kuitenkin noin neljä kuukautta, siis keskimäärin kahdeksan kappaletta. Tilauskanta ei tosin ole nähtävissä yhdestä paikasta, sillä jokainen lopputuote on oma projektinsa, joka suunnitellaan erikseen, eikä päähankkija tilauksen saatuaan aina välittömästi tiedä, mitä toistuvia osia lopputuotteeseen tarvitaan.

7.5 Yrityspari E

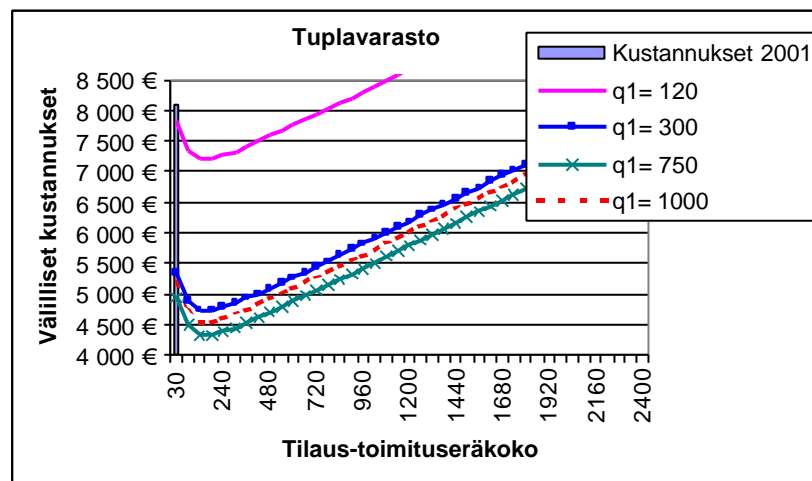
Yritysparissa E sekä valmistaja että asiakas kuuluvat samaan yritykseen. Kustannusfunktio tarkastelulla etsittiin sopivaa valmistuseräkokoa ja varastointipaikkaa. Tuloksena oli, että valmistuseräkokoon tulisi olla yli 70 kpl ja osat kannattaa siirtää suoraan asiakkaalle eli valmistuksesta kokoonpanolaitoksen varastoon (kuva 45). Tulos vastasi valmistuspuolen henkilöstön näkemystä asiasta.



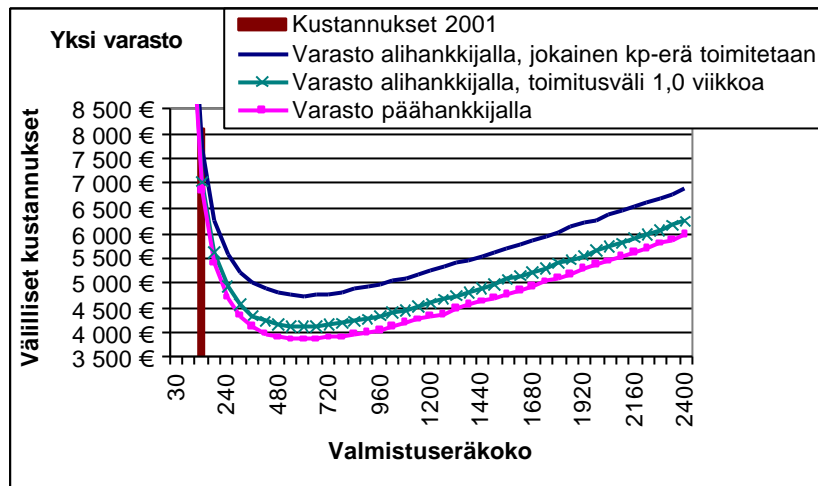
Kuva 45. Kustannusmallin kuvaajat yrityksen sisäisille varastovaihtoehdoille

7.6 Yrityspari F

Yritysparin F alihankkija valmistaa toistuvasti mekaniikkaosia. Tutkitun mekaniikkaosan kulutus on 3000 kpl ja hinta 20,91 €/kpl. Välilliset kustannukset ovat noin 8100 € vuodessa, josta varastokustannukset ovat hieman yli 200 €. Välillisten kustannusten ja ostovolyymien suhde on noin 13 %.

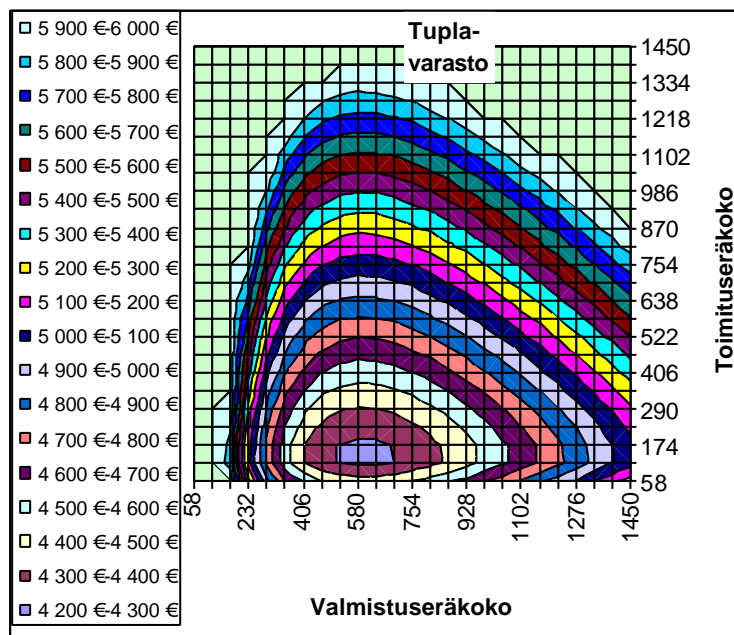


Kuva 46. Mekaniikkaosan kustannusmallin kuvaajia



Kuva 47. Mekaniikkaosan kustannusmallin kuvaaja, yksi varasto

Kustannusmallitarkastelun perusteella varastojen sijoittamisella ei olennaisesti voida vaikuttaa välillisiin kustannuksiin. Sen sijaan valmistus- ja toimitusvälejä pidentämällä kustannukset putoaisivat huomattavasti (ks. kuvat 46-48). Prosessia ei kuitenkaan aiota tältä osin muuttaa. Toiminta on nykyisellään lean-tyyppistä: prosessi on kevyt ja erittäin hyvin toimiva. Tuotteita valmistetaan ja toimitetaan jatkuvasti. Eräkokojen kasvattaminen vaatisi päähankkijalta ja mahdollisesti alihankkijaltakin investointeja varastotilaan ja -laitteistoon. Lisäksi nykyinen toimintatapa edesauttaa prosessin kehittämistä, asetusajkojen lyhentämistä ja niin edelleen. Valmistus- ja toimitusvälien kasvattaminen saattaisi pysäyttää kehityksen. Toisaalta kustannusmallitarkastelun luotettavuus ei tässä tapauksessa ole kovin hyvä. Koska tilaus- ja valmistuskertoja on vuodessa noin 150, on funktio herkkä tapahtumien yksikkökustannusten suhteen. Yksikkökustannukset on taas laskettu arvioitujen tapahtuma-aikojen perusteella.



Kuva 48. Mekaniikkaosan kustannusmallin kuvaaja

7.7 Havainnot

Yrityspareista A-F valittujen nimikkeiden kustannusmallitarkastelu johtaa toisistaan poikkeaviin tuloksiin ja johtopäätöksiin. Kustannusmallin avulla saadaan informaatiota, ei aina samoja tuloksia tapauksesta riippumatta. Tulosten tulkinnessa on kuitenkin oltava varovainen. Saadut tulokset vastasivat valmistuksen – alihankkijoiden – näkemystä nykytilanteesta. Kustannusmallitarkastelua pidettiin yleisesti käyttökelpoisena. Menetelmä otettiin aktiiviseen käyttöön ainakin neljässä yrityksessä.

Tässä raportissa ei esitetä kaikkea tietoa, joka kustannusmallin avulla saatiin. Tulosten tarkempi tarkastelu kertoo, että eri tapauksissa välillisten kustannusten jakautuminen pää- ja alihankkijan välillä vaihtelee. Eräässä tapauksessa valtaosa kaikista välillisistä kustannuksista syntyi alihankkijalla. Toisessa tapauksessa taas välilliset kustannukset pää- ja alihankkijalla olivat samaa suuruusluokkaa, mutta valtaosa päähankkijan välillisistä kustannuksista syntyi varastopääomista, alihankkijalla taas tapahtumista. Tässä törmätään alihankinnan tyypilliseen problematiikkaan, kysymyksiin kuten kustannusten siirto yritysten välillä, hinnoittelu, välillisten yksikkökustannusten pienentäminen ja eliminointi, kehitysinvestointien maksaminen sekä mahdollisten hyötyjen jakaminen.

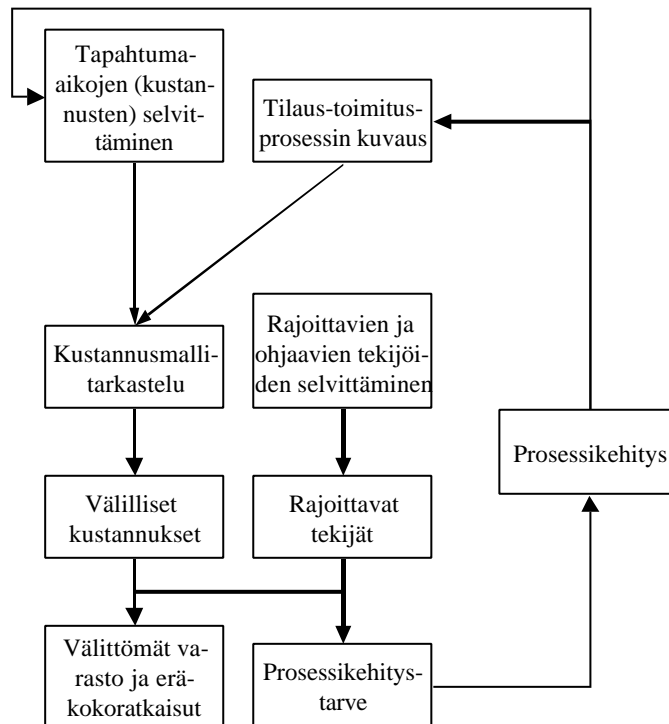
Kuljetuskustannusten määrittäminen ja kohdistaminen nimikkeille voi olla hankalaa. Kuljetuskustannukset on pyrittävä määrittämään mahdollisimman tarkasti, koska virheet vaikuttavat siihen, mikä varastoratkaisu näyttää kustannusmallin mukaan edullisimmalta.

Kustannusmallitarkastelua voidaan käyttää apuvälineenä, kun vertaillaan eri varastoratkaisujen vaikutusta ei-jalostavien vaiheiden kustannuksiin. Varaston sijoittamista kustannusmallin avulla käsitellään seuraavassa luvussa.

8 Varaston sijoittamisen päätössäännöt

Lähtökohtana on, että varaston tai varastojen sijoittamiseen pää- ja alihankkijan välillä vaikuttavat pyrkimys välillisten kustannusten minimoimiseen (luku 4 s. 6) ja toisaalta rajoittavat tekijät (taulukko 2 s. 22).

Kuva 49 esittää varaston sijaintipäätöstä alihankintayhteistyössä, toistuvassa erätuotannossa. Ehtona päätökselle on, että yritysten sisäiset ja rajapintaprosessit ja näihin perustuvat tapahtumakustannukset tunnetaan kohtuullisella tarkkuudella. Analysoimalla välillisiä kustannuksia kustannusmallin avulla voidaan löytää ja priorisoida epäkohtia, joita korjataan ohjaavien ja rajoittavien tekijöiden antamissa raameissa. Varastointi ja eräkoot järjestetään rajoitusten puitteissa niin, että kokonaisprosessin välilliset kustannukset ovat minimissä. Prosessikehitykseen luetaan tässä myös tuotekehitys, joka vaikuttaa valmistuksen välillisiin kustannuksiin oleellisesti. Kehitystoimenpiteet voivat muuttaa tilanteen sekä välillisten kustannusten että muiden tekijöiden osalta täysin, jolloin tarvitaan uusi tarkastelukierros.



Kuva 49. Alihankinnan varstoalgoritmi

Kustannusmalli perustuu välillisiä kustannuksia kuvaavaan kustannusfunktioon, joka on muotoa:

$$\text{Erien määrä} * C_{\text{eräkohtainen}} + \text{Vuosisukulutus} * C_{\text{kpl-kohtainen}} + C_{\text{vrsto}} * \text{keskivrsto} \text{ (kaava 19).}$$

Välittömät eräkokoratkaisut vaikuttavat tapahtumien määrään ja varastokustannuksiin (ensimmäinen ja kolmas termi). Varastoratkaisu vaikuttaa varastokustannuksiin (kolmas termi), mutta myös kahden ensimmäisen termin kustannustekijöihin, koska varastoihin liittyvät tapahtumat kuten hyllytys ja keräily aiheuttavat tapahtumakustannuksia. Eräko- ja varastoratkaisut eivät usein ole riittävä keino välillisten kustannusten alentamiseksi. Kahden ensimmäisen termin kustannustekijöitä *C* voidaan pienentää vain prosessia kehittämällä. Kustannusmallitarkastelua voidaankin käyttää alihankintaan liittyvien prosessikehitystarpeiden paljastamiseen.

Esimerkiksi yritysparin A osan 2 (kappale 7.1 s. 53) välilliset kustannukset olivat vuonna 2001 3825 €. Kustannusmallitarkastelun mukaan nykyprosessia säätämällä voitaisi saavuttaa noin 1400 euron taso. Tärkein rajoittava tekijä on pyrkimys pitää vaihto-omaisuus pienenä. Tällä hetkellä kummankin yrityksen vaihto-omaisuus²¹ on kustannusmallin mukaan 750 €. Alihankintaprosessi havaitaan kevyeksi – tapahtumat on viilattu nopeiksi – eikä tapahtumien yksikkökustannuksia voitane lähitulevaisuudessa vähentää. Kuvaajia tarkastelemalla ja eri parametrejä kokeilemalla voidaan löytää ratkaisu, jossa välilliset kustannukset ovat minimissä, eikä nykyinen yhteenlaskettu vaihto-omaisuus 1500 € kasva. Kun alihankkijan varasto poistetaan ja toimitusväli kasvatetaan kolmeen viikkoon, välilliset kustannukset ovat 1840 € ja vaihto-omaisuus 1500 €.

Yritysparin B esimerkkiosan (kappale 7.2 s. 55) välilliset kustannukset olivat 2800 € ja vaihto-omaisuus 1440 €. Rajoittavia tekijöitä ovat mm. pyrkimys pitää vaihto-omaisuus kohtuullisen pienenä, rajalliset varastotilat ja lyhyt tilauskanta. Osa suunniteltiin Koneali-projektin aikana uudelleen. Uuden konstruktion asetusajat olisivat arviolta 50 % ja hinta 80 % nykyisestä. Ilman prosessi- ja eräkokomuutoksia uuden osan välilliset kustannukset olisivat noin 2000 € ja vaihto-omaisuus 1350 € (900 ali- ja 450 päähankkijalla). Mikäli sekä valmistus- että toimitusväli asetettaisiin 8 viikoksi ja alihankkijan varasto poistettaisiin, olisivat välilliset kustannukset noin 1700 € ja vaihto-omaisuus (päähankkijalla) 750 €.

Tutkittuja case-nimikkeitä kannattaa kustannusfunktio tarkastelun mukaan yleensä varastoida päähankkijalla. Tapauksia, joissa varastointi alihankkijalla on kannattavampaa, on myös olemassa. Yleensä valmistettava osa on tällöin melko arvokas, eikä toimituksia päähankkijalle tarvitse tehdä aivan jatkuvasti. Alihankkija voi esimerkiksi varastoida valmistamiaan komponentteja ja tehdä osakokoonpanon tilauksen perusteella, jolloin valmista osakokoonpanoa ei varastoida ollenkaan. Alihankkija voi myös valmistaa osia varastoon, josta päähankkija noutaa tai alihankkija toimittaa ne määräaikoina päähankkijan tuotanto-ohjelman tms. mukaisesti. Lisäksi havaittiin tilanteita, joissa tuplavarastointi on ilman merkittävää tuote- tai prosessikehitystä välillisten kustannusten kannalta perusteltua: esimerkiksi taloudellisen valmistuseräköön ollessa suuri suhteessa päähankkijan hankintamääriin.

²¹ Huom. vaihto-omaisuus, ei kustannus

9 Tulosten tarkastelu

Edellä on tutkittu osavaraston sijoittamista ali- ja päähankkijayritysten välille toistuvassa erätuotannossa. Tutkimuksessa luotiin alihankinnan tilaus-toimitusprosessin välillisiä kustannuksia kuvaava kustannusmalli, johon varastopäätös perustuu. Päätösmenetelmän avulla etsitään ratkaisuja, jotka johtavat mahdollisimman pieniin ali- ja päähankkijan yhteenlaskettuihin välillisiin kustannuksiin ja jotka ovat mahdollisia yritysten toimintaympäristössä.

Kustannusmallin tarkkuuteen vaikuttavat erityisesti eräkokojen suuruudet sekä se, millä tarkkuudella tapahtumien yksikkökustannukset tunnetaan. Eräkokojen kasvaessa kustannusmallin tarkkuus heikkenee: kustannusmallissa varastotasot on mallinnettu yksinkertaistetulla tavalla eikä malli ota huomioon varastokustannusprosentin suurenemista²² eräkokojen kasvaessa. Välillisiin kustannuksiin ja pääomakustannusten osuuteen vaikuttaa luonnollisesti varastokustannusprosentti, joka joudutaan valitsemaan (tässä 20 %). Toisaalta kustannusmallin avulla lasketut tapahtumamäärät pitävät toistuvassa erätuotannossa varsin hyvin paikkansa. Pienten eräkokojen tapauksissa varastotasot ovat matalia ja tapahtumat aiheuttavat suurimman osan välillisistä kustannuksista, jolloin malli on kohtuullisen tarkka. Todellisiin tapauksiin ja tietokonesimulaatioihin vertaamalla vaikuttaa siltä, että eräkokojen on oltava melkoisen suuria, ennenkuin kustannusmallin tarkkuus alkaa voimakkaasti heiketä: raja on karkeasti arvioiden ja tapauksesta riippuen 4-6 kuukauden menekkiä vastaavan määrän kohdalla.

Kustannusmalli ei huomioi ohjaustavan eikä valmistus- ja toimituseräkokojen suhteen vaikutusta. Jos esimerkiksi sekä ali- että päähankkijan varastoa täydennetään tilauspistemennettelyllä ja sekä valmistus- että toimituseräkoot ovat suuria, mutta eivät toistensa monikertoja, tapahtumia on enemmän ja varastojen kierto vielä hitaampaa kuin kustannusmallin mukaan. Esimerkki tästä on kuva 22 sivulla 39, jossa valmistuseräkoon ollessa 300 kpl ja toimituseräkoon 200 tai 250 välilliset kustannukset ovat huomattavasti korkeammat kuin toimituseräkoon ollessa 150 tai 300.

Yhden varaston tapauksessa kustannusmalli näytti varastoinnin päähankkijalla edullisemmaksi ja varastoinnin alihankkijalla kannattamattommaksi kuin simulointi. Tähänkin syynä on varastotasojen ja –kustannusten mallinnus: simuloinnin perusteella alihankkijan varastotasot olisivat yhden varaston tapauksessa hieman matalammat kuin kustannusmallissa lasketaan, ja päinvastoin tapauksessa, jossa ainoa varasto olisi päähankkijalla.

Kuljetuskustannusten käsittely on ongelmallista. On melko hankalaa jakaa kuljetuskustannukset toimituserä- ja kappalekohtaisiin kustannuksiin. Jako vaikuttaa

²² Varastojen kierron hidastuessa epäkuranttiusriski, tilantarve ja vakuutusmaksut suurenevat.

kustannuksiin erityisesti tapauksessa, jossa varasto on pelkästään alihankkijalla. Joissakin tapauksissa oli vaikea ylipäättään selvittää, mitkä ovat nykyiset kuljetuskustannukset.

Kustannusmallin tarkkuus riippuu luonnollisesti myös kysynnän tasaisuudesta. Mitä tasaisempi kysyntä, sen tarkempi kustannusmalli, koska mallissa kysyntä on oletettu tasaiseksi.

Kustannusmallin antamia tuloksia voi pitää vähintään suuntaa-antavina. Mallin avulla voi arvioida pääoma- ja tapahtumakustannusten suhdetta alihankintaprosessissa. Samoin voidaan tarkastella, miten välilliset kustannukset jakautuvat pää- ja alihankkijan välillä. On melko tavallista, että päähankkija onnistuu eliminoimaan omat välilliset kustannukset siirtämällä ne alihankkijalle. Lopulta ne tulevat kuitenkin päähankkijan maksettaviksi. Lisäksi mallin avulla voi etsiä kehityskohteita ja erityisen kalliita prosessin vaiheita.

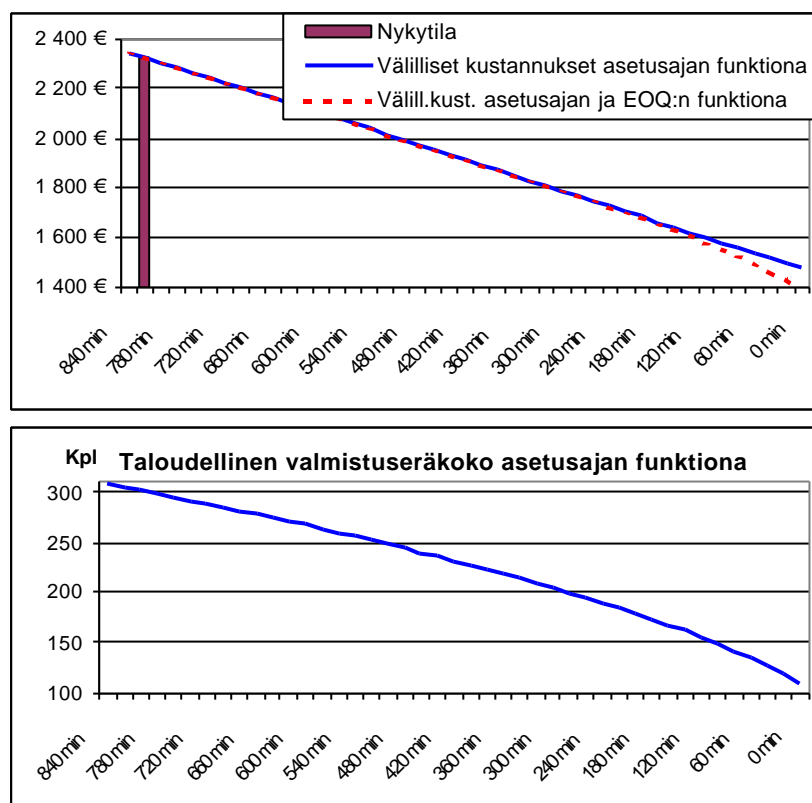
Mallia testattiin useassa eri tyyppisessä yritysparissa eri tyyppisillä nimikkeillä. Tulokset vastasivat erityisesti valmistajien, alihankkijoiden, näkemystä nykyisistä välillisistä kustannuksista ja valmistuseräkoista. Kustannusmalli otettiin käyttöön ainakin neljässä yrityksessä.

Kustannusmalliin ja muihin tekijöihin perustuva päätös varaston sijoittamisesta voi vaatia suuren nimikejoukon tarkastelua. Jos nimikemäärät ovat hyvin suuria, on nimikkeet ryhmiteltävä sopivasti ja poimittava kustannustarkasteluun edustavia nimikkeitä joka ryhmästä. Varastoratkaisussa on myös pystyttävä rajaamaan erilaisten ohjaustapojen määrää. Tuplavarastosta luopuminen vaatii hyvää ja jatkuvaa suhdetta yritysten välillä.

Varastointia ohjaavat ja rajoittavat erilaiset tekijät, joita esitettiin taulukossa 2 sivulla 22. Yritysten näkemykset eri tekijöiden painoarvosta arvattavasti poikkeavat toisistaan, rajoittavien tekijöiden huomioiminen ja mahdollinen eliminointi riippuu siten myös yritysten yhteistyön laadusta.

Alihankinnan prosessien muuttaminen muuttaa myös prosessin ohjattavuutta sekä kompleksisuutta, jotka on otettava huomioon muutoksia suunniteltaessa.

Edellä esitetyistä kustannusmallin kuvaajista saattaa päätellä, että tutkittujen nimikkeiden eräkokojen muuttaminen olisi paras keino kehittää kyseisiä alihankintaprosesseja. Tämä johtuu kuvaustavasta, jossa yksikkökustannukset on pidetty nykytilannetta vastaavina vakioina ja kustannukset esitetty eräkokojen funktiona. Kuitenkin prosessin kehittäminen pienentää tapahtumakustannuksia, jolloin sekä välilliset kustannukset että taloudelliset eräkoot pienenevät. Tästä on esimerkkinä kuva 50, jossa esitetään erään yrityspari C:n nimikkeen välilliset kustannukset asetusajan funktiona. Eräkoot, hinta ja kulutus vastaavat vuoden 2001 todellisia lukuja. Lähtökohtana on 830 minuutin tuotannon asetusajat, noin 2300 euron välilliset kustannukset ja 306 kappaleen taloudellinen eräköko.



Kuva 50. Erään nimikkeen tilaus-toimitusprosessin välilliset kustannukset ja taloudellinen valmistuseräkkö valmistuksen asetusaikojen funktiona²³

Myös simulointi osoittaa, ettei eräkköjen muuttaminen ole yleensä riittävä kustannussäästökeino. Kustannusfunktion derivaatan nollakohtien laskemisen sijasta kannattaa pikemminkin etsiä keinoja, joilla itse kustannusfunktion arvot pienenevät.

Kustannusmallitarkastelun perusteella tehtävää varastoratkaisua mutkistaa, että välilliset kustannukset muuttuvat prosessikehityksen myötä. Kun esimerkiksi asetus- tai tilaamiskustannuksia onnistutaan pienentämään, on mahdollista, että edullisin varastoratkaisu muuttuu toiseksi. Tämä ei ole suuri ongelma, jos varastointimahdollisuus kummallakin osapuolella säilyy. Jos toinen varastoista eliminoidaan kokonaan, on arvioitava, mitä ja miten yksikkökustannuksia onnistutaan tulevaisuudessa alentamaan ja kuinka todennäköistä on, että varastotilaa ja -laitteita joudutaankin hankkimaan pian uudestaan.

²³ Ylemmässä kuvaajassa on katkoviivalla esitetty tapaus, jossa valmistuseräkköä aletaan pienentää nykyisestä 200 kappaleesta, kun taloudellinen valmistuseräkkö laskee alle 200 kappaleen

10 Pohdintaa

Kustannusfunktioiden käyttöä ”optimaalisten” eräkokojen laskemiseksi on aiheesta kritisoitu. Tässä tutkimuksessa kustannusfunktioon perustuvan kustannusmallin avulla verrataan varastoratkaisuja alihankintayhteistyössä sekä etsitään ja priorisoidaan alihankintaprosessin kehityskohteita. Eräkokojen säätäminen ei siis ole ensisijainen tavoite, mutta on silti järkevää huomioida myös eräkokojen vaikutus välillisiin kustannuksiin. Esimerkiksi valmistustoiminnassa, jossa asetusajat ovat pitkiä, on harvoin kannattavaa valmistaa hyvin pieniä eriä.

Japanilaisen tuotantoajattelun mukaan optimaalinen erä koko on yksi. On muistettava, että pieniin eräkokoihin ei ole oikotietä. Jos eräkojoja pienennetään ja varastojen kiertoa nopeutetaan olennaisesti ilman prosessien kehittämistä, tuloksena voi olla entistä kannattamattomampaa toimintaa. Eri asia on, että tavoitteet voi asettaa korkealle ja eräkokojen asteittaisen pienentämisen avulla voi vauhdittaa oppimista ja toiminnan kehittämistä. Eräkokojen suurentaminen on kehittämiskeinoista viimeinen.

Tapahtumakustannusten pienentäminen ja eliminoiminen tekee radikaalista toiminnan kehittämisestä mahdollista. Ensisijaisesti pyritään nollaamaan kustannusfunktio, toissijaisesti sen derivaatta. Esimerkiksi ohjaus ja logistiikka voidaan suunnitella uudella tavalla, kun taloudelliset eräkoot pienenevät. Varastokustannukset kasvavat todellisuudessa voimakkaasti eräkokojen kasvaessa. Myös keskeneräiseen tuotantoon sitoutunut pääoma suurenee eräkokojen myötä. Kustannusmalli ei ota varastokustannusten suhteellista nousua huomioon, mikä on pidettävä mielessä mallia käytettäessä.

Tässä tutkimuksessa on sivuutettu ohjattavuuteen ja tilaus-toimitusprosessin kompleksisuuteen liittyvät kysymykset. Todellisuudessa nämä on tietenkin huomioitava, erityisesti jos suunnitellaan eräkokojen suurentamista. Eräkokojen suurentaminen vaikuttaa negatiivisesti ohjattavuuteen, koska tällöin läpimenoaika kasvaa, pääoman kierto hidastuu ja toimitusaika kasvaa tai pysyy samana. Lisäksi eräkojo- ja ohjausratkaisu vaikuttaa tapauskohtaisesti kompleksisuuteen. Tuotannon ja hankintojen suunnittelujaksojen, tilauskannan ja erityisesti päähankkijan kiinteän valmistusohjelman pituus vaikuttaa siihen, minkälaiset varastoratkaisut ovat mahdollisia. Jos esimerkiksi päähankkijan kiinteän valmistusohjelman pituus on viikko, voi päähankkijan edustaja käydä kerran viikossa keräämässä tarvitsemansa osat alihankkijoilta eikä päähankkija tarvitsisi varastoa. Jos valmistusohjelma elää joka päivä, tämä ei onnistu.

Tässä kehitetty varaston sijaintipäätös malli perustuu nimikekohtaisiin analyyseihin. Nimikkeitä voi olla olemassa tuhansia, jolloin päätös mallia voi soveltaa vain ryhmittelemällä nimikkeitä. Ryhmittely analyyysiä varten on tapauskohtaista.

Toisaalta nimikkeet on ryhmiteltävä myös varasto- ja ohjausratkaisun suhteen. Näitä ryhmiä ei saisi olla paljon. Mahdollisia kombinaatioitahan on hyvin monta; yhtä nimikettä voisi kannattaa varastoida päähankkijalla, toista taas alihankkijalla, kolmannen tapauksessa tuplavarasto olisi paras ratkaisu ja jokaisen ohjaus voisi toimia parhaiten toisistaan poikkeavalla tavalla.

Eräs tapa olisi jakaa alihankintanimikkeet kahteen pääryhmään: nopeasti kiertäviin 1- ja minimitapahtumien 2-nimikkeisiin. Jako määräytyy nimikkeen volyymin, hintojen ja tapahtumakustannusten mukaan. Täsmällisen rajan vetäminen ryhmien välille on subjektiivista, mutta valtaosa vaihtoehdoista voidaan sulkea pois kustannusfunktio tarkastelun avulla.

1-nimikkeet varastoitaisi joko ali- tai päähankkijalla, 2-nimikkeiden tapauksessa alihankkijan taloudellinen valmistuserä toimitettaisiin välittömästi päähankkijan varastoon tai varastoihin. Jos päähankkija tarvitsee nimikkeitä useassa käyttöpaikassa, valmistuserä toimitetaan suoraan ”jakeluvarastoon”, joka voi sijaita jommallakummalla osapuolella. Tuplavarastointia jatketaan, mikäli aiemmin esitetyt rajoittavat tekijät (taulukko 2 s. 22) pakottavat siihen²⁴. Tällöin tulisi pyrkiä siihen, että alihankkijan varastoa täydennetään pitkäaikaisen ennuste- tai suunnittelutiedon, päähankkijan varastoa kulutuksen perusteella.

Kun prosessia on kehitetty ja 2-nimike halutaan muuttaa 1:ksi tarvitaan osapuolten välinen neuvottelu: ovatko tapahtumakustannukset tarpeeksi alhaiset, erityisesti asetusajat tarpeeksi lyhyet, miten asetuksia lyhennetään, onko alihankkijalla mahdollisesti tarvittavaa varastotilaa jne.

Taulukko 8: nimikkeiden ryhmittely ja varastojen sijoittelun hahmottelua

	Varasto päähankkijalla	Varasto alihankkijalla
1-nimike	Suuret tapahtumakustannukset Toimituksia jatkuvasti	Pienukset tapahtumakustannukset Toimituksia harvakseltaan Päähankkijalla useita käyttöpaikkoja
2-nimike	Suuret tapahtumakustannukset pääomakustannuksiin verrattuna Valtaosa tutkituista tapauksista	Rajoittavat tekijät pakottavat Päähankkijalla useita käyttöpaikkoja

Alihankintaprosessin kehittämismahdollisuudet riippuvat suuresti siitä, voidaanko asetuskustannuksia pienentää. Toinen ratkaiseva kysymys on, kuinka oikeaa, käyttökelpoista ja pitkäaikaista kysyntä- ym. tietoa päähankkija pystyy alihankkijalle välittämään ja eri tavoin kommunikoimaan, jotta varastoja voidaan korvata tiedolla. Yritysten välinen yhteistyö, jatkuva keskustelu ja kummankin osapuolen osaamisen hyödyntäminen on kehittämisen perusedellytys.

²⁴ Jos esim. valmistuserä koko on hyvin suuri, eikä erä mahdu päähankkijan varastoon, vaihto-omaisuuden kasvua ei hyväksytä, kuljetuskustannukset kasvavat liikaa, yritysten välinen yhteistyö on vähäistä jne.

11 Yhteenveto

Tämä tutkimus oli osa Tekesin, Työelämän kehittämisohjelman ja suomalaisten pk-yritysten rahoittamaa Koneali-hanketta, jossa tutkittiin suomalaisen konepajateollisuuden alihankintaprosessien kehittämisedellytyksiä ja –tapoja.

Toistuvana erätuotantona valmistettavia alihankintanimikkeitä varastoidaan tyypillisesti sekä pää- että alihankkijalla. Alihankintaprosessiin liittyy lisäksi useita ei-jalostavia työvaiheita tai tapahtumia. Tuplavarastosta ja ei-jalostavista tapahtumista seuraa, että pää- ja alihankkijan yhteenlasketut välilliset kustannukset ovat korkeat.

Tuplavarasto-ongelma oli tämän tutkimuksen lähtökohta. Varastoinnilla on useita syitä ja tavoitteita. Kirjallisuudesta löytyy perusteluja varaston sijoittamiseen alihankkijalle mutta myös päähankkijalle. Toisaalta on olemassa useita, usein laadullisia, varastoratkaisua ohjaavia ja rajoittavia tekijöitä.

Tutkimuksessa kehitettiin kustannusmalli, joka perustui välillisiä kustannuksia kuvaavaan kustannusfunktioon, jossa ali- ja päähankkijan välilliset kustannukset laskettiin yhteen. Tavallisesti tällaiset tarkastelut tehdään yrityskohtaisesti.

Kustannusmallia testattiin vertaamalla sitä ensin viiden nimikkeen todellisiin lukuihin, toiseksi kysynnän vaihtelun huomioivaan tietokonesimulaatioon ja kolmanneksi joukkoon erilaisia tapauksia eri yrityspareissa. Rajoituksista huolimatta kustannusmalli vaikutti käyttökelpoiselta ja tulokset vastasivat erityisesti alihankkijayritysten näkemyksiä. Jotkut yritykset ottivat heti mallin käyttöön. Mallin avulla voidaan etsiä tilaus-toimitusprosessin kehityskohteita, tarkastella tapahtuma- ja pääomakustannusten suhdetta, vertailla välillisten kustannusten jakautumista pää- ja alihankkijan välillä sekä tarkastella varaston sijoittamisen ja eräkokojen vaikutusta välillisiin kustannuksiin.

Tutkimuksessa kehitetty varaston sijaintipäätösmenettely, jolla etsitään niitä varastointitapoja, joilla välilliset kustannukset ovat minimissä vallitsevien rajoittavien ja ohjaavien tekijöiden puitteissa, perustuu kustannusmalliin.

Tutkittuja tapauksia ja havaittuja kehitysmahdollisuuksia oli monia. Yhteistä useimmille tapauksille oli, että tapahtumakustannukset aiheuttivat suurimman osan välillisistä kustannuksista. Pyrkimys nopeuttaa varastojen kiertoa ilman muun prosessin kehittämistä ei vaikuta kannattavalta.

Toisen varaston eliminointi vaatii yrityksiltä hyvää yhteistyötä sekä luottamusta. Joissakin tapauksissa myös tuplavarasto on perusteltu. Tällöinkin välillisten kustannusten minimointi perustuu yhteistyössä tehtävään tuote- ja prosessikehitykseen, mahdollisimman pitkäaikaisen kysyntätiedon jakamiseen alihankkijalle ja yleensä yhteisen tiedon perusteella toimimiseen. Tärkeimpiä kehityskohteita ovat mm. valmistuksen asetusajojen lyhentäminen, suunnittelun ja valmistuksen yhteistyö sekä

erilaiset investointikysymykset, joita on tutkittu Koneali-projektin muissa osissa ja joista on julkaistu omat raporttinsa.

Liite 1 Lähdeviitteet

Andersson, John; Ljungfeldt, Staffan; Wandel, Sten, 1979. Produktions styrning. Toinen laitos, yhdeksäs painos. Lund, Studentlitteratur. 271 s

Ballou, Ronald H. 1992. Business logistics management. 3. painos. NJ, USA, Prentice Hall. 688 s

Bowersox, Donald J; Closs, David J. 1996. Logistical management: the integrated supply chain process. New York, McGraw Hill. 730 s

Burbidge, John L. 1989. Production flow analysis for planning group technology. Oxford, Oxford university press. 179 s

Gattorna, J.L; Walters, D.W. 1996. Managing the supply chain. Lontoo, Basingstoke Macmillan Business. 360 s

Eloranta, Eero; Räisänen, Juha 1986. Ohjattavuusanalyysi. Helsinki, Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto. 223 s

Heikkilä, Jussi 2002. From Supply to Demand Chain Management: efficiency and customer satisfaction. Journal of Operations Management, Vol. 20, nro 6. ss 747-767

Hoover, William E. Jr; Eloranta, Eero; Holmström, Jan; Huttunen, Kati 2001. Managing the Demand-Supply Chain: Value Innovations for Customer Satisfaction. USA, John Wiley & Sons, Inc. 257 s

Hyppönen, Risto; Häkkinen, Kai; Lähesmaa, Jukka; Manunen, Outi; Pajunen-Muhonen, Hanna; Segercrantz, Tönis, 1998. Pienerälogistiikka, loppuraportti. Espoo, VTT

Häkkinen, Kai; Pötry, Jyri; Kettunen, Outi; Kulmala, Janne, 2000. Internet-pohjainen sopimusalihintajärjestelmä toistuvassa pienerävalmistuksessa. Partnet-projektin loppuraportti. Espoo, VTT. 80 s.

Kirjanpitolaki 30.12.1997/1336

Jessop, David, 1999. Simplicity is the key. Supply management, Vol. 4, nro 3. ss 45-47

Jyrkkiö, Esa; Riistama, Veijo, 2000. Laskentatoimi päätöksenteon apuna. Porvoo, WSOY. 334 s.

Laki elinkeinotulon verottamisesta (EVL) 24.6.1968/360

Love, Stephen F. 1979. Inventory control. New York, McGraw-Hill. 273 s

Niemi, Esko, 1998. Engineering cost functions in make-to-order production with applications. Espoo, Acta polytechnica scandinavica. 139 s

Olhager, Jan 1989. Setup timing – impact analysis of setup reductions in production and inventory systems. Linköping, Profil. 216 s

Piasecki, Dave 2001. Optimizing economic order quantity. IIE Solutions, Vol. 33 nro 1, ss 30-39

Pötry, Jyri 2000. Alihankintayhteistyön kehittäminen kappaletavaratuotannossa. Espoo, VTT. 102 s.

Schonberger, Richard J. 1986. World class manufacturing: the lessons of simplicity applied. New York, The free press. 253 s

Smith, Richard L; Walter, Clyde Kenneth Jr., 2000. Is Newton's third law of motion JIT's first law?. Production and Inventory Management Journal, Vol. 41, nro 1. ss 13-18

Van Mieghem, Jan A. 1999. Coordinating Investment, Production and Subcontracting, Management Science, 1999 vol 45. no 7, 954-971

Webster, M., Alder, C., Muhlemann, A.P. 1997. Subcontracting within the supply chain for electronics assembly manufacture. International Journal of Operation & Production Management, Vol 17 No. 9, 1997, pp. 827-841.

Vollman, Thomas E.; Berry, William L.; Whybark, D. Clay, 1997. Manufacturing planning & control systems. 4. painos. New York, McGraw Hill. 836 s

Liite 2 Kustannusmallin ja simuloinnin poikkeamat

Seuraavissa taulukoissa on esitetty luvun 5 kustannusmallin ja simuloinnin kuvaajien suhteelliset erot. Luvut on laskettu kaavalla:

$$100 \% * (\text{kustannusmallin arvo} - \text{simuloitu arvo}) / (\text{kustannusmallin arvo})$$

Nimike 1		Valmistuseräkoko					Keskiarvo
Tilauspistekäytäntö		300	600	900	1200	1500	
Toimituseräkoko	Tuplavarasto						
	150	-6,1 %	-6,9 %	-6,3 %	-10,8 %	-13,8 %	-8,8 %
	300	-9,1 %	-10,7 %	-10,0 %	-16,6 %	-20,8 %	-13,5 %
	600		-20,1 %	-31,0 %	-27,4 %	-39,6 %	-29,5 %
	900			-28,2 %	-46,8 %	-60,8 %	-45,2 %
	1200				-49,2 %	-60,2 %	-54,7 %
	1500					-61,0 %	-61,0 %
	Keskiarvo	-7,6 %	-12,6 %	-18,9 %	-30,2 %	-42,7 %	

Nimike 1		Valmistuseräkoko			Keskiarvo
Tasavälivalmistus		600	900	1800	
Toimituseräkoko	Tuplavarasto				
	300	-16,7 %	-5,5 %	-4,7 %	-9,0 %
	600	0,3 %	-10,7 %	3,5 %	-2,3 %
	900		10,5 %	11,8 %	11,1 %
	1200			-13,6 %	-13,6 %
	1500			-42,4 %	-42,4 %
	Keskiarvo	-8,2 %	-1,9 %	-9,1 %	

Nimike 1		Varasto päähankkijalla	Varasto alihankkijalla
Valmistus- ja toimituseräkoko	150	-5,1 %	13,1 %
	300	-5,5 %	18,4 %
	600	-6,8 %	21,5 %
	900	-5,3 %	22,6 %
	1200	-26,9 %	19,6 %
	1500	-40,2 %	17,3 %
	Keskiarvo	-15,0 %	18,7 %

Nimike 2							
Tilauspiste		Valmistuseräkoko					
Tuplavarasto		100	150	200	250	300	Keskiarvo
Toimituseräkoko	50	-6,4 %	-6,6 %	-14,8 %	-20,2 %	-7,8 %	-11,2 %
	100	-11,8 %	-17,5 %	-24,2 %	-35,3 %	-14,4 %	-20,7 %
	150		-18,9 %	-37,0 %	-50,3 %	-20,9 %	-31,8 %
	200			-46,6 %	-59,1 %	-68,2 %	-58,0 %
	250				-64,9 %	-73,0 %	-68,9 %
	300					-36,8 %	-36,8 %
Keskiarvo		-9,1 %	-14,4 %	-30,7 %	-45,9 %	-36,9 %	

Nimike 2				
Tasavälivalmistus		Valmistuseräkoko		
Tuplavarasto		150	300	Keskiarvo
Toimituseräkoko	50	-23,1 %		
	100	-35,2 %	-37,3 %	-36,2 %
	150	-43,7 %	-44,9 %	-44,3 %
	200		-20,1 %	
	250		-41,8 %	
	300		-60,5 %	
Keskiarvo		-34,0 %	-40,9 %	

Nimike 2		Varasto päähankkijalla	Varasto alihankkijalla
Valmistus- ja toimituseräkoko	50	-2,8 %	11,8 %
	100	-3,6 %	17,1 %
	150	-3,8 %	19,4 %
	200	-31,1 %	13,5 %
	250	-51,3 %	9,2 %
	300	-6,4 %	20,2 %
Keskiarvo		-16,5 %	15,2 %

Nimike 3 Tilauspiste		Valmistuseräkoko					
Tuplavarasto		100	150	200	250	300	Keskiarvo
Toimituseräkoko	50	-31,2 %	-36,4 %	-28,9 %	-34,0 %	-35,6 %	-33,2 %
	100	-40,9 %	-50,7 %	-40,0 %	-53,4 %	-48,9 %	-46,8 %
	150		-57,6 %	-82,2 %	-73,6 %	-57,8 %	-67,8 %
	200			-47,2 %	-61,9 %	-72,9 %	-60,7 %
	250				-63,6 %	-73,1 %	-68,4 %
	300					-71,7 %	-71,7 %
Keskiarvo		<u>-36,1 %</u>	<u>-48,2 %</u>	<u>-49,6 %</u>	<u>-57,3 %</u>	<u>-60,0 %</u>	

Nimike 3 Tasaväli valmistus		Valmistuseräkoko		
Tuplavarasto		150	300	Keskiarvo
Toimituseräkoko	50	-21,1 %	-26,9 %	-24,0 %
	100	-31,2 %	-33,2 %	-32,2 %
	150	-38,3 %	-40,9 %	-39,6 %
	200		-28,5 %	
	250		-37,6 %	
	300		-41,9 %	
Keskiarvo		<u>-30,2 %</u>	<u>-34,8 %</u>	

Nimike 3		Varasto päähankkijalla	Varasto alihankkijalla
Valmistus- ja toimituseräkoko	50	-20,7 %	-12,7 %
	100	-36,4 %	-15,3 %
	150	-50,5 %	-18,0 %
	200	-32,7 %	-5,9 %
	250	-50,2 %	-13,0 %
	300	<u>-58,7 %</u>	<u>-16,1 %</u>
Keskiarvo		<u>-41,5 %</u>	<u>-13,5 %</u>

Nimike 4		Valmistuseräkoko					
	Tuplavarasto	100	150	200	250	300	Keskiarvo
Toimituseräkoko	50	2,7 %	2,8 %	6,0 %	0,4 %	0,6 %	2,5 %
	100	-14,4 %	-24,4 %	-17,6 %	-19,2 %	-15,6 %	-18,2 %
	150		-25,2 %	-41,6 %	-42,8 %	-21,0 %	-32,6 %
	200			-22,4 %	-47,4 %	-45,6 %	-38,5 %
	250				-29,4 %	-48,4 %	-38,9 %
	300					-33,5 %	-33,5 %
	Keskiarvo	-5,8 %	-15,6 %	-18,9 %	-27,7 %	-27,3 %	

Nimike 4		Valmistuseräkoko			
Tasaväli valmistus		100	150	300	Keskiarvo
	Tuplavarasto				
Toimituseräkoko	50	-22,0 %	-18,4 %	-15,0 %	-18,5 %
	100	-2,7 %	-2,0 %	-3,5 %	-2,8 %
	150		-10,1 %	-11,0 %	-10,5 %
	200			-12,2 %	
	250			-17,6 %	
	300			-21,2 %	
	Keskiarvo	-12,4 %	-10,2 %	-13,4 %	

Nimike 4		Varasto päähankkijalla	Varasto alihankkijalla
Valmistus- ja toimituseräkoko	50	-14,8 %	8,3 %
	100	-27,4 %	12,3 %
	150	-28,7 %	15,5 %
	200	-21,5 %	7,8 %
	250	-25,1 %	7,5 %
	300	-26,6 %	19,0 %
	Keskiarvo	-24,0 %	11,7 %

Nimike 5		Valmistuseräkoko						
Tuplavarasto ²⁵		50	100	150	200	250	300	Keskiarvo
Toimituseräkoko	25	1,7 %	7,7 %	10,6 %	4,7 %	1,8 %	12,3 %	6,5 %
	50	-6,2 %	-0,3 %	3,0 %	-5,9 %	-10,3 %	5,4 %	-2,4 %
	100		-8,8 %	-10,5 %	-16,7 %	-28,1 %	-3,3 %	-13,5 %
	150			-8,0 %	-23,6 %	-35,8 %	-5,7 %	-18,3 %
	200				-17,8 %	-28,2 %	-36,4 %	-27,5 %
	250					-23,9 %	-30,6 %	-27,3 %
	300						-8,1 %	-8,1 %
	Keskiarvo	-2,3 %	-0,5 %	-1,2 %	-11,9 %	-20,7 %	-9,5 %	

²⁵ Alihankkija tekee kokoonpanon tilauksen perusteella ja varastoi vain komponentteja