Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Kauppakorkeakoulu

Talousjohtaminen

Reaalioptioiden käyttö kemianteollisuutta koskevassa kirjallisuudessa

Use of Real Options in Literature Concerning the Chemical Industry

04.01.2015

Tekijä: Victor Heinänen

Ohjaaja: Mikael Collan

Opponentti: Annika Lintukangas

Sisällysluettelo

1. Johdanto 1

2. Kemianteollisuudesta ja sen investoinneista 2

2.1. Ideasta tehtaan luovutukseen 3

2.2. Kustannusten arviointimenetelmistä 5

2.3. Tehtaiden muokkaus 6

2.4. Käytäntö tukee teoriaa 7

3. Reaalioptioista 7

3.1. Reaalioptiotyyppejä 9

3.2. Arvoon vaikuttavat muuttujat 11

3.3. Reaalioptioiden laskentamenetelmistä 12

3.4. Kritiikkiä 13

4. Metodologia 14

5. Reaalioptioiden ja joustojen käyttö kemianteollisuutta koskevassa kirjallisuudessa 17

5.1. Usean skenaarion analyysi prosessien integroinnista ja intensifioinnista 17

5.2. Etanolituotannon ja biojalostamojen rakennus ja pysäytys 19

5.3. Kapasiteettimuutokset 21

5.4. Joustavat ja modulaariset laitteet ja tehtaat 23

5.5. Yhteenveto havainnoista 27

6. Yhteenveto ja johtopäätökset 29

6.1. Tutkimuksen luotettavuus 30

6.2. Jatkotutkimusehdotukset 31

7. Lähteet 32

1. Johdanto

Kemianteollisuus lähialoineen on kautta aikojen ollut yksi globaalin talouden tukijaloista niin tuotteidensa kuin reaali-investointiensa muodossa. Kemianteollisuuden tuotteita käytetään käytännössä kaikkialla joko sellaisenaan tai raaka-aineina: kaikki alkutuotannosta puhtaaseen veteen, lääkkeisiin, energiaan, polttoaineisiin ja pinnoitteisiin.

Vuonna 2012 maailman kemikaalimyyntien arvo oli Euroopan kemianteollisuuden keskusjärjestö CEFIC:n (2014, 7) mukaan 3127 miljardia euroa, josta EU:n osuus oli 558 miljardia eli noin 17,8 % (2014, 12). Siinä missä EU:n kemianteollisuuden investointikulut olivat 19 miljardia euroa, olivat ne maailman talouskasvuveturilla Kiinalla 133,8 miljardia euroa vuonna 2012. Kiinan investointikulujen kasvun nopeus on ollut suuri, sillä vuonna 2006 kulut olivat vain 27,4 miljardia siinä missä EU:n kulut olivat 18,6 miljardia euroa. (CEFIC 2014, 76) Euroopan unionissa kemianteollisuus käytti tutkimukseen ja kehitykseen vuonna 2012 yhteensä 8,9 miljardia euroa, eniten maailman merkittävistä talousalueista. Yhdysvallat käytti 7,9, Kiina 7,5 ja Japani 6,9 miljardia euroa. (CEFIC 2014, 84) Kiinan T&K-kulujen kasvu on kuitenkin niin merkittävä, että se ohittanee muut talousalueet lähivuosina.

Uudet tehdasinvestoinnit kemianteollisuudessa ovat pääsääntöisesti huomattavan kalliita ja pitkäkestoisia projekteja. Täten jo suunnittelussa voidaan luoda merkittäviä kustannussäästöjä, saavuttaa kilpailijoihin nähden oleellisia strategisia kilpailutekijöitä tai jopa tuomita koko hanke epäonnistumaan. Maailmantalouden sisältäessä huomattavia riskejä ja epävarmuustekijöitä, kuten muun muassa raaka-aineiden ja lopputuotteiden hinnankehitykset sekä politiikan muutokset, tulee näihin varautuminen ja joustavuuden sisällyttäminen investointeihin arvoonsa.

Perinteisesti suuren kokoluokan investointeja tutkittaessa käytetään nettonykyarvo-laskelmia, jotka ottavat rahan aika-arvon huomioon. Ne ovat kuitenkin sen hetken staattinen näkemys eivätkä ota huomioon investoinnin aikaisia tapahtumia. Usein epävarmuutta kompensoidaan laskennassa kasvattamalla diskonttokorkoa, jolloin investoinnin nettonykyarvo laskee jopa negatiiviseksi. Reaalioptioteorian mukaan epävarmuuden ja riskin kasvaessa joustavuuden, eli optioiden, ja sen myötä investoinnin arvo voi kasvaa.

Tämä ristiriita johtaakin mielenkiintoiseen tulkintaan: nettonykyarvoa hyödyntävät investointilaskelmat hylätään, mikäli saatu arvo on negatiivinen, vaikka reaalioptiot huomioivat laskelmat johtaisivat myönteiseen investointipäätökseen. Toisaalta organisaatiot, joiden investointiohjelmat sisältävät joustavuuksia, viivyttävät suuria hankkeita epävarmuuden kasvaessa. Ottaen huomioon maailmantalouden tilanne, tulisi yhtiöiden huomioida investoinneissaan reaalioptiot. Näin toimimalla riskienhallinta tehostuisi ja toisaalta investointihalukkuus kasvaisi.

Kysymys kuuluu, käytetäänkö kemianteollisuudessa reaalioptioita? *Tämän työn tavoitteena on selvittää mitä reaalioptioiden ja joustavuuden hyödyntämisestä kirjoitetaan kemianteollisuutta koskevissa tutkimusartikkeleissa*. Työn viitekehys rajautuu siten koskemaan kahden käsitteen, eli kemianteollisuuden investointien ja reaalioptioteorian, poikkileikkausta.

Kemian teollisuuden tuotteet käsittävät Suomessa peruskemikaalit, maalit ja lakat, lääkkeet, pesuaineet ja kosmetiikan, öljy-, kumi- ja muovituotteet (Kemianteollisuus ry 2014). Suomen kemianteollisuus -kirja (2003) esittää kemianteollisuuden koostumuksen tätäkin hienojakoisemmin. Tässä työssä kemianteollisuus rajataan koskemaan lähinnä petrokemiaa, öljynjalostusta ja peruskemikaaleja. Tutkimus sisältää kirjallisuusosan, jossa kerrotaan lyhyesti kemianteollisuudesta ja reaalioptioista, sekä kirjallisuuskatsauksen, jossa esitellään mitä kemian teollisuuden reaalioptioista ja mitä niihin liittyvien joustavuuksien käytöstä on kirjoitettu viime vuosina. Seuraavaksi esitellään lyhyesti kemianteollisuutta ja siihen liittyviä investointeja.

2. Kemianteollisuudesta ja sen investoinneista

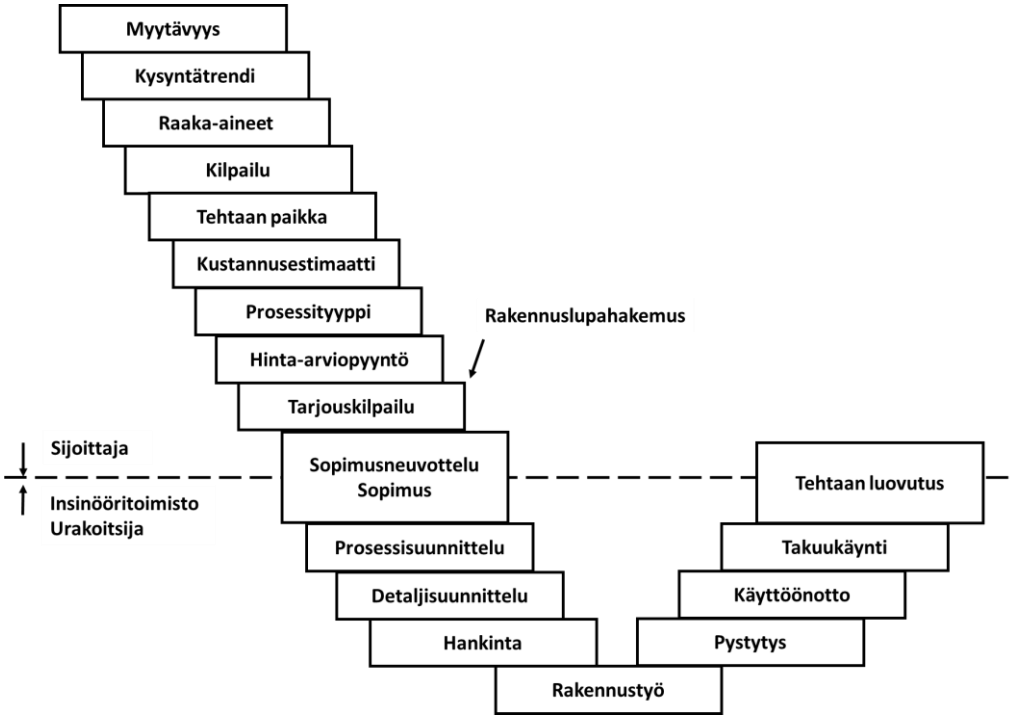
Kemiallisessa prosessissa raaka-aineet muutetaan halutuiksi tuotteiksi kemiallisia reaktioita ja fysikaalisia ominaisuuksia hyödyntämällä useissa eri yksikköoperaatioissa. Eri yksikköoperaatioita ovat esimerkiksi tislaus, suodatus, lämmitys ja jauhatus. Näiden yksikköoperaatioiden tulee olla määrätyssä järjestyksessä, jotta haluttuun lopputulokseen on edes mahdollista päästä. Kemiantehtaat voivat olla jatkuvatoimisia tai panostoimisia ja toisaalta omata ominaispiirteitä molemmista tyypeistä.

Panosprosessit ovat pääosin taloudellisia pienissä tuotantomäärissä, joustavia tuotantoreseptien muutoksissa, joustavia tuotantomäärissä, mahdollistavat monen eri tuotteen valmistuksen samalla laitteistolla, ovat likaantuvissa prosesseissa hyviä tiheän puhdistusvälin vuoksi, ovat helposti skaalattavissa laboratoriomittakaavasta ja mahdollistavat kunkin tuotteen täydellisen jäljitettävyyden. Huonoina puolina ovat muun muassa kunkin erän laadun vaihtelu ja tuotantomittakaavan luonnollinen rajoittuminen. (Smith 2000)

Jatkuvatoimisissa tehtaissa laatu ja tuotantomäärät ovat tasaisia ja ennustettavia, hukkatuotantoa syntyy kierrätysvirtojen ja automaation vuoksi vähemmän ja suuren mittakaavan tuotanto on edullista. Muun muassa edellä mainitut likaantuminen ja jäljitettävyys ovat jatkuvatoimisten prosessien heikkoja puolia. Toisaalta myös mahdolliset vuodot ja tuotannon mukauttaminen voivat aiheuttaa pitkissä vasteajoissa ongelmia.

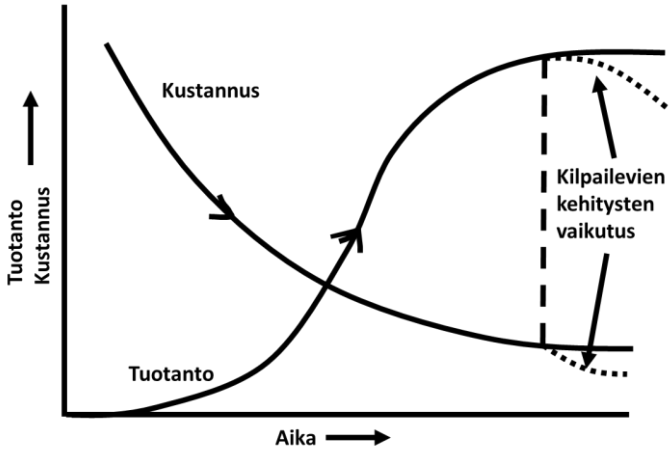
2.1. Ideasta tehtaan luovutukseen

Chemical Plant Design and Construction-kirjan (Mosberger 2000) mukaan kemiantehtaiden suunnittelu ja rakennus noudattavat karkeasti seuraavaa kaavaa. Aluksi mahdollisen tehtaan rakennuttaja arvioi lopputuotteen myytävyyttä, kysyntätrendejä, raaka-aineita, kilpailutilannetta ja rakennettavan tehtaan paikkaa. Ensimmäisten kustannusestimaattien yhteydessä tulee huomioida kriittisesti maailman talouden sekä poliittisten järjestelmien tilaa ja kehitystä. Kun päätös tehtaan rakentamisesta on tehty, käynnistetään yleensä suurissa projekteissa tarjouskilpailu toteuttajista. Kyvykkäät ja tarpeeksi resursseja omaavat organisaatiot saattavat toteuttaa hankkeen itse. Itse toteutusvaihe käsittää prosessisuunnittelun ja detaljisuunnittelun, kuten laitemitoitukset ja instrumentoinnin, hankinnan, rakennuksen, pystytyksen ja käynnistyksen. Tämän jälkeen on yleensä takuukäynti, jonka yhteydessä varmistetaan tehtaan toimivan kuten suunniteltu ja tämän jälkeen on asiakkaalle luovutus. Nämä vaiheet on esitetty kuvassa 1 vesiputousmallina, vaikka todellisuudessa tapahtumaketjussa on usein iteratiivisia ominaisuuksia. Kesto toteutuspäätöksestä luovuttamiseen on projektin koosta riippuen noin kolme vuotta.



Kuva 1. Kemian tehtaan elinkaari ideasta valmistumiseen Mosbergeria (2000) mukaillen.

Tehtaan optimaalista kapasiteettia suunnitellessa otetaan huomioon muun muassa samankaltaisten tuotteiden elinkaaret, vastaavien tehtaiden olemassa olevat ja tulevat kapasiteetit, valmistettavan tuotteen loppukäyttäjien lopputuotteiden markkinakehitys sekä raaka-aineiden ja lopputuotteen hintakehitys. Se, onko valmistettava tuote massavalmisteinen, hienokemikaali vai erikoiskemikaali, vaikuttaa luonnollisesti kapasiteettiin ja tuotteen elinkaareen. Yleensä uuden tuotteen valmistus on aluksi vähäistä ja kallista, mutta markkinoiden kehittyessä ja tiedon karttuessa tuotantomäärät kasvavat ja kustannukset laskevat, kuten kuvassa 2 havainnollistetaan. (Mosberger 2000, Smith 2000)



Kuva 2. Yksittäisen kemiantehtaan tuotteen tuotannon sekä kustannusten elinkaari Mosbergeriä (2000) mukaillen.

Markkinoiden kypsyttyä alkaa usein tulla uusia toimijoita markkinoille, markkinoilla nähdään yritysjärjestelyitä. Toisaalta usein pienimmät ja tehottomimmat tehtaat suljetaan, niitä kehitetään ja tehostetaan edelleen tai käytetään kehitysalustoina. Niitä voidaan myös modifioida toimimaan uuden tuotteen valmistuksessa. Mosberger (2000)

2.2. Kustannusten arviointimenetelmistä

Tehtaita suunniteltaessa kustannusten arviointi on ensiarvoisen tärkeää. Arviointimenetelminä voidaan käyttää esimerkiksi kerroinmenetelmiä, kustannusindeksejä ja yksityiskohtaista laskentaa. Seuraavaksi nämä esitellään lyhyesti.

Kerroinmenetelmät perustuvat aikaisempien tehtaiden toteutuneiden kustannusten arviointiin eri ominaisuuksien mukaan. Tavallisin kerroinmenetelmä on Langin menetelmä, josta on useita variaatioita. Lähtökohtana pidetään alustavaa kustannusestimaattia koneille ja laitteille ilman instrumentaatiota ja putkistoja ilmaiselle tontille. Menetelmässä esimerkiksi virtausten faasit, automaation taso ja tehtaan mittakaava vaikuttavat kertoimeen. Kerroinmenetelmät ovat epätarkkoja ja kehitettiin 1960- ja 70-luvuilla, eli aikakautena, jolloin simulointi oli vielä harvinaista ja toisaalta informaatio hyvin epätäydellistä. Langin menetelmästä johdettu Guthrien modulaarimenetelmä on yksi parhaista

kerroinmenetelmistä. Siinä projekti pilkotaan kuuteen tarkasteltavaan moduuliin: kemialliset prosessit, kiintoaineiden käsittely, sijaintipaikan kehitys, rakennelmat, käyttöhyödykkeet ja epäsuorat projektikustannukset. (Mosberger 2000, Johns 2000, Ward 2000)

Kustannusindeksilaskenta perustuu samanlaisen tehtaan kustannusten skaalaamiseen joko yhden tai useammasta indeksistä rakennetun indeksin suhteen. Toisin sanoen, aikaisemmin rakennetun tehtaan kustannukset muutetaan nykyarvoon kertomalla toteutuneet kone- ja laitekustannukset esimerkiksi Bureau of Labor Statisticsin julkaiseman indeksin avulla. (Mosberger 2000, Johns 2000, Ward 2000) Menetelmä on suuntaa-antava ja tulevaisuuden indeksiarvot ekstrapoloidaan usein viivoittimella.

Nykyään kustannukset voidaan arvioida kohtalaisen tarkasti laskemalla kokonaiskustannukset jopa yksittäisten osien tarkkuudella ja toisaalta käyttämällä suojauksia materiaalihinnoissa. Tämän on mahdollistanut muun muassa tietokoneiden laskentatehon ja siten simulointimahdollisuuksien kasvu ja toisaalta internetin tuoma informaatioepätäydellisyyden hälveneminen. (Mosberger 2000, Johns 2000, Ward 2000) Toisaalta, minkään tehtaan kustannukset eivät ole absoluuttisen varmoja ennen kuin se on täysin valmis ja tuotanto käynnistynyt.

2.3. Tehtaiden muokkaus

Uuden tehtaan lisäksi investointeja voidaan tarkastella vanhan tehtaan muokkauksen, kuten jälkimuokkaus (retrofit) ja parantelun (revamp), yhteydessä. (Smith 2000) Ensin mainittu käsittää muun muassa kapasiteettilisäykset sekä syöttö- ja tuoteainevaihdokset. Vanhojen laitteiden käyttötarkoitusta voidaan seisokin aikana muuttaa, uusia laitteita lisätä ja uusia linjoja rakentaa laitteiden väleille. Tässä huomioitavaa on taipumus ja pyrkimys olemassa olevan infrastruktuurin mahdollisimman suureen hyödyntämiseen ja tästä johtuen uusittu tehdas ei koskaan sovellu optimaalisesti uuteen käyttötarkoitukseen (Smith 2000).

Uusia laitoksia suunnitellessa vapausasteet ovat luonnollisesti suuret ja tuotos optimoitu juuri tietynlaista käyttötarkoitusta varten. Siinä mielessä uusia laitoksia suunnitellessa olisi hyvä ottaa mahdolliset tulevaisuuden muokkaukset mahdollisimman pitkälle huomioon. Tämä joustavuuden lisääminen on toki vaikeaa ja saattaa lisätä kustannuksia.

2.4. Käytäntö tukee teoriaa

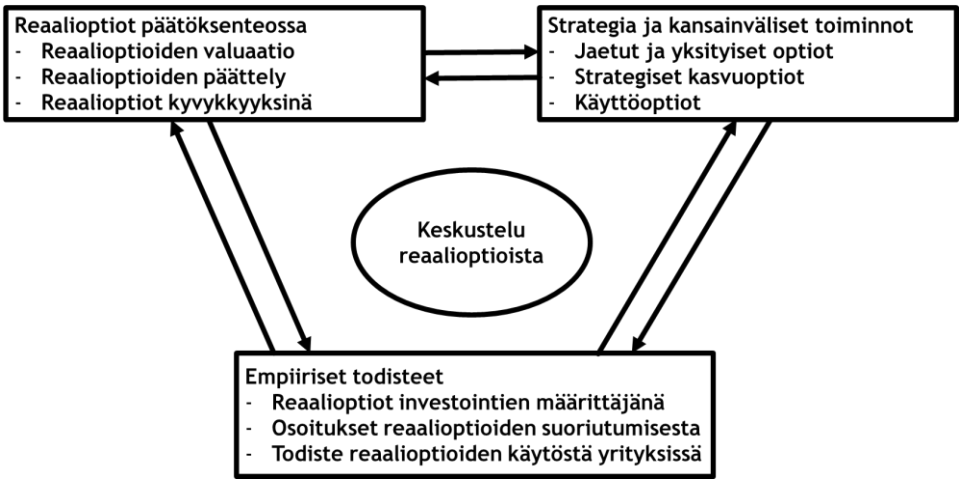
Vuonna 2007 Neste Oil päätti suuren biodiesellaitoksen rakentamisesta Singaporeen. Kyseisen laitoksen suunniteltu kapasiteetti oli kohtuullinen 800.000 tonnia lopputuotteita vuodessa. Kustannuksiksi arvioitiin tuolloin noin 550 miljoonaa euroa ja rakennusajaksi noin kolme vuotta. (Neste Oil 2008) Vastaavanlainen laitos päätettiin seuraavana vuonna rakentaa Hollantiin ja projektin kestoksi ennakoitiin niin ikään noin kolme vuotta (Neste Oil 2009).

Vuonna 2013 Kemira julkaisi lehdistötiedotteen, jossa se kertoi saaneensa päätökseen kaksi vuotta kestäneet kapasiteettilaajennukset, joiden avulla polymeeritehtaiden kapasiteetti kasvoi yhteensä 60 prosenttia. Kustannuksien kerrottiin olleen useita miljoonia euroja. (Kemira 2013)

3. Reaalioptioista

Reaalioptio on oikeus, muttei pakko, suorittaa toimenpide ennalta määritetyllä kustannuksella tietyn aikajakson sisällä (Copeland ja Antikarov 2001, 5). Kysymys on siis päätöksenteon joustavuudesta. Pragmaattisesti ajatellen kemian tehtaan omistaminen on reaalioptio tuottaa tiettyjä lopputuotteita tietyistä raaka-aineista.

Akatemiassa keskustelu reaalioptioista keskittyy Driouchin ja Bennetin (2012) mukaan päätöksenteon, strategian ja kansainvälisten toimintojen sekä empiiristen todisteiden ympärille. Nämä ovat yläkäsitteitä pienemmille kokonaisuuksille. He tiivistävät havaintonsa kuvan 3 mukaiseen kehykseen.

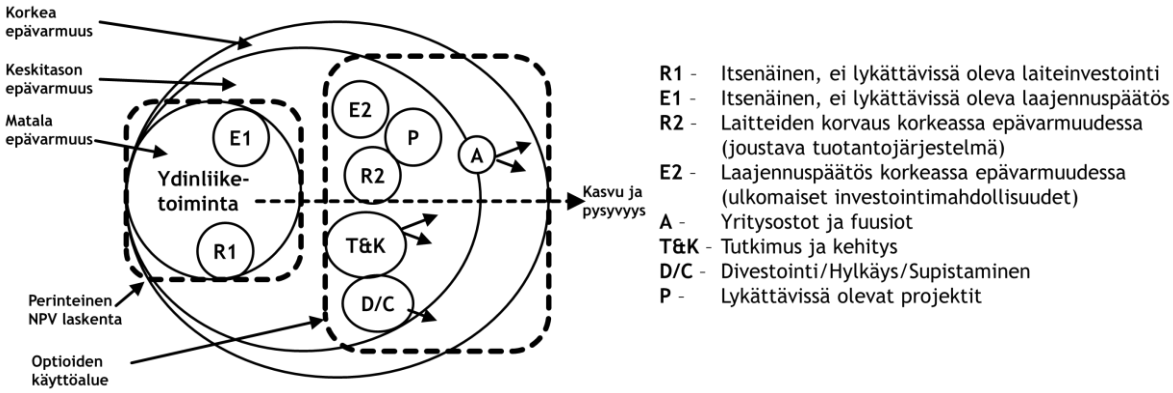


Kuva 3. Akateemisen keskustelun aiheet reaalioptioiden ympärillä Driouchia ja Bennetia (2012) mukaillen.

Busbyn ja Pittsin (1997) mukaan pitkäkestoisten investointien päätöksenteon normityökalupakin diskontattujen kassavirtojen (DCF), kuten nettonykyarvojen (NPV), sisäisten korkokantojen (IRR) ja takaisinmaksuajan, laskentamenetelmät ovat luonteeltaan kovin staattisia eivätkä ota huomioon investointiympäristön muutosta ja joustavuutta täydessä laajuudessaan. Lisäksi lähtökohtaisesti kaikki positiivisen NPV:n omaavat hankkeet aloitetaan ja negatiivisen NPV:n omaavat hylätään. Perinteiset NPV-laskelmat eivät myöskään liiemmin ota kantaa ajoituksen oikeellisuuteen.

Lisäksi, kuten Yeo ja Qui (2003) tuovat ilmi, kilpailluilla markkinoilla on epätodennäköistä, että johto onnistuisi luomalla ja seuraamalla yksityiskohtaista, jäykkää pitkän aikavälin suunnitelmaa tarkasti. Oletuksena NPV laskelmissa onkin investointipäätöksen teko ja sen myötä aloitus heti sekä edellä mainittu jäykkyys ja syötettyjen muuttujien pysyminen vakiona.

Artikkelissaan Park ja Herath (2000) syntetisoivat muiden tutkijoiden artikkeleista kuvan 4 mukaisen mallin, joka koostuu eritasoisista epävarmuuden asteista yrityksen suhteen sekä investointimahdollisuuksista. Kuvassa ympyröistä lähtevät nuolet osoittavat johdon mahdollisuuden joko lisätä eri investointien arvoa tai laskea sitä. Kuten kuvasta huomataan, epävarmuuden kasvaessa tulee investoinneissa huomioida reaalioptiot.



Kuva 4. Reaalioptioiden ja NPV:n soveltuvuus Parkia ja Herathia (2000, 7) mukaillen.

Tutkimuksessaan Busby ja Pitts (1997) halusivat selvittää miten tärkeinä teollisuusyhtiöiden talousjohtajat näkivät reaalioptiot sijoituspäätöksissä, oliko yrityksissä menetelmiä reaalioptioiden arviointiin ja oliko päätöksentekijöiden intuitio linjassa reaalioptioteorian kanssa. Vaikka reaalioptioiden normatiivinen teoria on monimutkainen ja konseptuaalisesti hankala ja siten liikemiehille vaikeasti lähestyttävä, tekevät toimijat intuitiivisesti arjessa huomattavankin määrän eri laajuisia reaalioptiohavaintoja ja -päätöksiä. Tutkimuksessaan he huomasivat, että reaalioptioiden sanasto ja menetelmät eivät muodollisesti olleet vastaajilla kovin hyvällä tasolla, mutta he löysivät viitteitä reaalioptioajattelusta, eli pyrkimyksistä rakentaa joustavuutta investointeihin sisään.

Driouchi ja Bennet (2012) toteavat empiirisen tutkimuksen ja tilastollisten löydösten antavan ymmärtää, että reaalioptioajattelun voi jossakin määrin liittää kasvuun ja on tärkeämpi kuin itse reaalioptiomahdollisuudet. Toisin sanoen johtajien ja päätöksentekijöiden pyrkiessä sisällyttämään joustavuutta ja poimimaan tästä joustavuudesta hyvät puolet, voivat monikansalliset yhtiöt säilyttää kilpailukykynsä.

3.1. Reaalioptiotyyppejä

Eri reaalioptiotyyppejä ja niiden kombinaatioita on lukuisia. Copeland et al. (2000, 404-406) esittävät seuraavat reaalioptiotyypit kirjassaan: hylkäys (abandon), lykkäys (defer), laajentuminen ja supistuminen (expand and contract), pidentäminen ja lyhentäminen (extend and shorten), tomintavapauden lisäys ja vähennys (scope up and scope down) sekä vaihto

(switch). Näiden lisäksi he esittävät yhdistelmäoptioita (compound option) ja sateenkaarioptioita (rainbow option).

Hylkäysoptio on nimensä mukaisesti mahdollisuus hylätä, tai esimerkiksi myydä, projekti. Yksi esimerkki on tutkimusprojektin lopettaminen, kun jokin fakta on tullut esille tai ulkopuolinen politiikka on muuttunut oleellisesti. Hylkäämällä projekti, voidaan säästyä projektin odotettuna elinaikana syntyviltä kuluilta tai tappioilta. Projekti, joka on mahdollista hylätä, on siten aina arvokkaampi kuin vastaava ilman mahdollisuutta.

Lykkäysoptiota voidaan hyödyntää esimerkiksi tehdasinvestoinneissa, kun esimerkiksi jonkin raaka-aineen tai tuotantopanoksen hinta on noussut oleellisesti ja investointeja voidaan jatkaa hinnan laskettua. Esimerkiksi ei-lakisääteisten huoltojen lykkääminen ylisuurien tuottojen aikana on arvokasta. Joissakin yhteyksissä lykkäysoptiota voidaan kutsua oppimisoptioksi, jossa epävarmuuden vallitessa sitovaa päätöstä lykätessä voidaan oppia uutta ja siten vähentää epävarmuutta.

Laajentumis- ja supistumisoptio ovat mahdollisuuksia jossakin vaihetta projektia tehdä päätös ja lisäinvestointi tuotantomäärän laajennuksesta tai supistuksesta. Optio projektin tai esimerkiksi sopimuksen elinkaaren pidentämisestä tai lyhentämisestä tulee arvoonsa jos olosuhteet ovat muuttuneet oleellisesti. Kemianteollisuudessa investoinnit tuotantomäärän laajennukseen toteutuvat usein seisokkien yhteydessä.

Toimintavapauden muutokseen liittyvät optiot koskevat projektiin liittyvien mahdollisuuksien lukumäärää. Mikäli projektissa on useita eri toimintamahdollisuuksia, kuten esimerkiksi samaa laitteistoa voi käyttää usean erilaisen tuotteen valmistamiseen pienin modifikaatioin. Esimerkiksi maaliteollisuuden toimiessa pääasiallisesti panostoimisesti, voidaan laitteistoa käyttää uusien tuotteiden valmistamiseen vain vaihtamalla raaka-aineita ja yksikköoperaatioiden, kuten jauhatuksen, asetuksia.

Vaihto-optio käsittää mahdollisuuden esimerkiksi sulkea tai käynnistää tuotantolaitos tai esimerkiksi vaihtaa raaka-ainetta taikka lopputuotetta. On sanomattakin selvää, että tuotantolinja, joka voi toimia usealla eri raaka-aineella on huomattavasti arvokkaampi kuin vain yhteen raaka-aineeseen rajoitettu. Mikäli esimerkiksi etanolin markkinahinta laskee huomattavasti alle tuotannon muuttuvien kustannusten, on etanolitehtaan tuotannon ketterä pysäyttämismahdollisuus ja vastaavasti hinnan palautuessa ylösajomahdollisuus arvokas.

Yhdistelmäoptiot ovat optioiden optioita. Yksi esimerkki ovat vaiheistetut investoinnit, joissa jokainen uusi optio on riippuvainen edellisten optioiden toteutuksesta. Esimerkiksi öljynjalostamossa voitaisiin ensin rakentaa säiliöfarmi, jota vuokrataan tai aletaan täyttää samalla, kun tehdään lopullinen päätös mitkä tuotantolinjat valmistetaan ensin alusta loppuun. Tämän jälkeen voidaan säiliöitä käyttää omaan tarkoitukseen. Tästä optiosta käytetään myös nimeä vaiheistusoptio (staging option).

Sateenkaarioptiot ovat usean eri epävarmuuden johdosta muodostuvia optioita. Esimerkiksi tutkimusprojektiin voi kohdistua samanaikaisesti niin teknologinen epävarmuus kuin lopputuotteiden markkinaepävarmuus. Markkinoiden ennustettavuuden heikkeneminen kasvaa ajan kasvaessa tarkasteluhetkestä. Teknologisen epävarmuuden puolestaan voidaan odottaa laskevan tutkimukseen käytetyn ajan myötä.

3.2. Arvoon vaikuttavat muuttujat

Reaalioption arvo muodostuu Copeland et al. (2000, 404) mukaan kuudesta eri muuttujasta. Ne ovat:

1. Kohde-etuutena olevan riskisen omaisuuserän nettonykyarvo,
2. tämän arvon keskihajonta, eli riski,
3. option toteutus- eli investointikustannus,
4. aika option erääntymiseen,
5. tämän juoksuajan aikainen riskitön korko, ja
6. samanlaiseen kohde-etuuteen sitoutuneille kilpailijoille hävityt rahavirrat.

Kohde-etuutena olevan omaisuuserän nettonykyarvon nousu kasvattaa ja lasku puolestaan alentaa option arvoa. Merkittävin ero tässä muuttujassa verrattuna finanssioptioon on Copelandin ja Antikarovin (2001, 6) mukaan arvoon vaikuttamisessa – esimerkiksi osakkeen, ja siten option, arvoon ei pysty vaikuttamaan, mutta aktiivinen johto pystyy vaikuttamaan reaali-investointikohteensa arvoon. Kohde-etuuden arvon volatiliteetin, eli keskihajonnan tai riskin, kasvu lisää heidän mukaansa reaalioption arvoa siinä missä finanssioptionkin: todennäköisyys option arvon nousuun toteutuskustannuksen yläpuolelle

kasvaa. Copeland et al. (2000, 404) tulkinnan mukaan epävarmassa ympäristössä johdolla olevien joustavuuksien eli vaihtoehtojen/optioiden arvo kasvaa.

Samaan tapaan kuin finanssioptioilla, laskee reaalisen osto-option arvo toteutushinnan kasvaessa ja vastaavasti option arvo nousee toteutushinnan laskiessa (Copeland et al. 2000, 404). Myyntioptiolla toteutushinnan nosto (lasku) johtaa option hinnan nousuun (laskuun). Samaten juoksuaika vaikuttaa reaalioption arvossa samalla tavalla kuin finanssioptiossa: ajan kasvaessa option arvo nousee. Copeland et al. (2000, 404) mukaan pidempi aika mahdollistaa epävarmuudesta oppimista, joka on itsessään arvokasta ja siten kasvattaa reaalioption arvoa. Optiot voivat olla muodoltaan amerikkalaisia, eli ne voidaan toteuttaa milloin vain, tai eurooppalaisia, eli ne voidaan toteuttaa maturiteettipäivänä. Riskittömän koron nousu puolestaan lisää heidän mukaansa rahan aika-arvoa ja siten investointikustannusten lykkäysmahdollisuuden, eli viivytysoption, arvo kasvaa.

Copeland et al. (2000, 404) tulkinta viimeisestä muuttujasta, kilpailuun liittyvistä kassavirroista, on mielenkiintoinen. Siinä missä finanssioptioissa kyse olisi osingoista, on reaalioptioissa kyse täysin sitoutuneille kilpailijoille menetetyistä tuotoista. Eli kilpailijoille, jotka ovat joko käyttäneet kaiken joustavuutensa tai eivät ole niitä missään vaiheessa omanneet. Menetetyt tuotot luonnollisesti laskevat osto-option arvoa. Vastaavasti menetetyt kustannukset, eli saavutetut säästöt, kasvattaisivat osto-option arvoa.

3.3. Reaalioptioiden laskentamenetelmistä

Reaalioptioita voidaan laskea niin differentiaaliyhtälömuotoisesti, diskreettien tapahtumien mukaisesti, simuloimalla kuin sumean logiikan avulla (Collan 2011). Kullakin laskentamenetelmällä on luonnollisesti etunsa ja haittansa. Seuraavaksi esitellään näitä menetelmiä lyhyesti.

Differentiaaliyhtälömuotoiset menetelmät ovat usein laskennallisesti raskaita ja niissä tulee yhtälöryhmien määrittelyn suhteen olla erityisen taitava. Black-Scholes on yksi yleisimmin käytetyistä differentiaaliyhtälömenetelmistä (Collan 2011). Menetelmä kehitettiin osakkeisiin kohdistuvien eurooppalaisten optioiden arvonmääritykseen, mutta tietyin

modifikaatioiden ja määritelmien myötä sitä voidaan käyttää myös reaalioptioiden arvonmääritykseen. (Copeland ja Antikarov 2001).

Usein reaalioptioiden arvoa määritettäessä käytetään diskreettejä tapahtumia ja niiden laskennassa erinäisiä hiloja, joista yksi esimerkki on binomihila. Hilarakenteessa kustakin tilanteesta ja tulevaisuuden skenaarioyhdistelmästä rakennetaan noodien ja yhdistimien verkko, hilan viimeisten noodien optioarvot lasketaan ja näistä lasketaan taaksepäin aina ensimmäiseen noodiin asti kunkin arvo. (Collan 2011)

Insinööritieteissä eri reaali-investointeja lasketaan ja simuloidaan huomattaviakin määriä. Näissä simuloinneissa, joissa on runsaasti jakaumia, voidaan laskentaan käyttämää erilaisia numeerisia menetelmiä kuten Monte Carloa. Monte Carloa, ja sitä hyödyntävää reaalioptioihin suunniteltua Datar-Mathews menetelmää, käytetään epävarmuuksia sisältävissä tekno-ekonomisissa simuloinneissa. Datar-Mathewissa kassavirtaskenaariot luodaan projektista vastaavien johtajien toimesta ja ne syötetään Monte Carlo simulointimalliin, joka laatii eri muuttujien todennäköisyysjakaumista satunnaisotoksia hyödyntäen koko projektin arvon jakauman. Reaalioption arvo määritetään etsimällä todennäköisyyspainotettu keskiarvo siten, että projektin negatiiviset arvot asetetaan nollaksi. (Collan 2011)

Epävarmuutta voidaan mallintaa myös sumean logiikan avulla. Yksi tapa käyttää sumeaa logiikkaa reaalioption arvonmäärityksessä on Fuzzy Pay-off Method, jossa odotettu optioarvo on jakauma ja tämä arvo lasketaan käyttäen hyväksi sumeaa matematiikkaa. Menetelmä on logiikaltaan samanlainen Datar-Mathewsin kanssa. (Collan 2011)

3.4. Kritiikkiä

Reaalioptiot ovat saaneet myös kritiikkiä muun muassa siitä, että ne ovat aina positiivisia, jolloin huonotkin investoinnit saadaan näyttämään hyviltä. Täytyy kuitenkin muistaa, että vaikka joustavuutta on aina olemassa ja option arvo positiivinen, toteutushinta on todennäköisesti option arvoa suurempi. (Copeland ja Antikarov 2001, 13-14) Yksi tapa, millä perusteltiin internetkuplan aikana korkeita valuaatioita, oli juuri reaalioptiot - yrityksiä ei rajoita mikään ja ne voivat siirtyä käytännössä mille tahansa alalle myöhemmin.

Todellisuudessa reaalioptiot muuttavat arvonmäärityksen lopputulosta merkittävästi jos odotettavissa on todella korkea epävarmuus, todella suuri liikkumavara ja NPV ilman joustoja on lähellä nollaa. Tällöin reaalioption arvo on suhteellisesti suuri verrattuna NPV:een. Jos NPV on suuri, on tällöin reaalioption suhteellinen osuus kokonaistuloksesta pieni. Ja mikäli NPV on negatiivinen, harva oikein laskettu reaalioptio saa kokonaisuuden positiiviseksi. (Copeland ja Antikarov 2001, 13-14)

Driouchi ja Bennet (2012) kokoavat artikkelissaan reaalioptiodebatin molempia puolia. Yksi esitetty kritiikki kohdistuu joustavuuteen suunnitteluprosessien yhteydessä. Reaalioptiologiikka on tehoton, liian monimutkainen ja vaarallinen epärationaalisen (bounded rationality) ja sitä väärinkäyttävän yritysjohdon käsissä, kun kyseessä on suuren sitoutumisen päätös. Myös kyvykkyys aidosti irtautua (hylkäys) projekteista huonon ajan tullen saa osansa kritiikistä ja reaalioptioanalyysi toimii vain hyvin eristetyissä tapauksissa. Reaalioptioiden kvantitatiivisessa mallinnuksessa on myös puutteita.

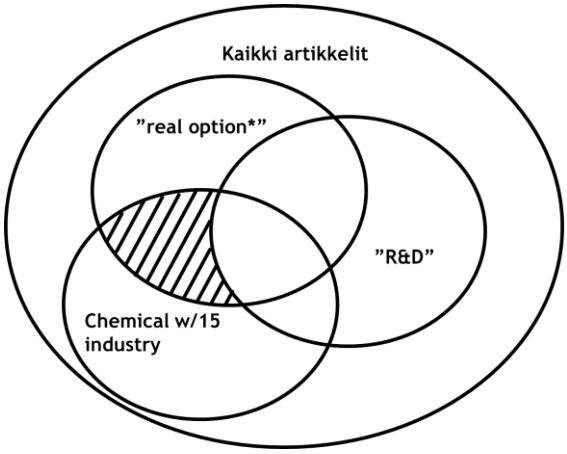
4. Metodologia

Tutkimusaineisto kerättiin Websterin ja Watsonin (2002) ehdottamaa systemaattista menetelmää käyttämällä. Menetelmä koostuu kolmesta vaiheesta, joista ensimmäisessä suoritetaan kirjallisuushaku hyvin tunnetusta tietokannasta tavoitteena löytää johtavista journaaleista ja konferenssijulkaisuista merkittävät alan artikkelit. Toisessa vaiheessa otetaan askel taaksepäin ja tarkastellaan niitä artikkeleita, joihin ensimmäisen vaiheen artikkelit viittaavat. Tämän jälkeen etsitään ne artikkelit, jotka viittaavat näihin kahteen edelliseen artikkelijoukkoon ja niistä valitaan niin ikään oleellisimmat.

Tämän työn tietokantana käytettiin Scopusta ja ensimmäinen hakukierros suoritettiin 29.10.2014. Muut haut suoritettiin viikon sisällä aloituksesta. Hakutermin tulee sisältää käsitteitä ja ehtoja, jotka rajaavat artikkeliavaruuden mahdollisimman pieneen lukuun ja toisaalta mahdollisimman kattavaan sisältöön. Hakuterminä käytettiin kokonaisuutta

"real option" AND (chemical w/15 industry) AND NOT "R&D"*,

jossa *“real option*”* termi sisällyttää tulokset vain reaalioptioihin niin yksikössä kuin monikossa, *(chemical w/15 industry)* sisällyttää vaihtoehtoihin tulokset, joissa sanan *chemical* ja sanan *industry* välillä on enintään 15 sanaa, ja lopuksi poistettiin kaikki artikkelit, joissa esiintyi termi *R&D*, koska tutkimus ja kehitys ovat todella yleinen reaalioptioiden tutkimuksen kohde ja sen hyväksymisen myötä artikkeliavaruus olisi ollut valtava. Kuvassa 5 on visualisoitu haku.



Kuva 5. Aineistohaun hakulausekkeen kuvaus, jossa viivoitettu alue on 75 artikkelin hakutulos.

Hakutuloksina saatiin 75 dokumenttia. Tämän jälkeen jokaisen artikkelin nimen ja abstraktin perusteella pääteltiin oliko kyseessä tutkimukselle relevantti artikkeli. Rajatapauksissa koko artikkeli silmäiltiin läpi. Osa relevanteista artikkeleista ja kirjakappaleista jouduttiin hylkäämään, koska ne eivät olleet saatavilla LUT:n verkossa ja toisaalta, koska kieli ei ollut englanti.

Lopulta 18 dokumenttia valittiin. Näiden artikkeleiden lähteet arvioitiin ensin otsikkotasolla ja mikäli ne vaikuttivat relevanteilta, tutkittiin niiden abstraktin ja viimekädessä niiden sisällön perusteella oliko kyseessä relevantti artikkeli. Sama toistettiin niille artikkeleille, jotka olivat viitanneet näihin edellä mainittuihin 18 artikkeliin. Molemmat ensitulosta täydentävien artikkeleiden joukot rajattiin 2000-lukuun.

Näiden vaiheiden jälkeen relevantteja artikkeleita oli yhteensä 45 ja näistä poistettiin päällekkäiset (tuplat) ja toisaalta kaikkia tarkasteltiin tuorein silmin lukemalla ne

kokonaisuudessaan läpi. Lopulliseen tutkimusaineistoon valittiin 26 artikkelia. Prosessi on esitelty kuvassa 6.

Kuva 6. Eri hakuvaiheiden kuvaus sekä aineiston seulonta Websterin ja Watsonin (2002) ehdottamaa menetelmää mukaillen.

Websterin ja Watsonin (2002) mallista poiketen hakumenetelmässä ei etsitty vaiheen 3 artikkeleihin viittaavia artikkeleita. Seuraavaksi esitellään lyhyesti 26 valittua artikkelia. Tämän jälkeen kootaan työn tulokset ja johtopäätökset yhteen sekä esitetään jatkotutkimusehdotukset.

5. Reaalioptioiden ja joustojen käyttö kemianteollisuutta koskevassa kirjallisuudessa

Kaikkien kappaleen 2 menetelmässä saatujen artikkeleiden läpikäynnin jälkeen pystyy tekemään joitakin karkeita yleistyksiä ja johtopäätöksiä. Artikkeleiden käsitellessä määrättyjä käsitteitä, toimintamalleja tai käyttökohteita, taulukoitiin excel-tiedostoon arvo 1 tähän muuttujaan. Esimerkiksi jos artikkelissa käsiteltiin kapasiteettilaajennusta modulaarisella laitteistolla, saivat laajennusoptio ja modulaarisuus arvon 1, mutta esimerkiksi jos artikkelissa ei suoritettu NPV laskentaa, sai muuttuja NPV arvon 0. Kaiken kaikkiaan näistä 26 artikkelista tunnistettiin 30 eri muuttujaa, joita aggregoitiin samanlaisiin aihealueisiin. Esimerkiksi etanolin ja biojalostamojen katsottiin olevan hyvin lähellä toisiaan. Lopuksi jäljellä oli yhteensä 25 eri muuttujaa. Vaikka osa artikkeleista, eli havainnoista, voisi kuulua ominaisuuksiensa puolesta kahteen eri ryhmään, klusteroitiin silmämääräisesti neljä kokonaisuutta. Seuraavaksi esitellään kunkin klusterin artikkelit. Näiden artikkeleiden yhteinen nimittäjä on kondensoitu otsikkoon.

5.1. Usean skenaarion analyysi prosessien integroinnista ja intensifioinnista

Tähän klusteriin valikoitui kuusi artikkelia, jotka ovat Sharma et al. (2011), Dal-Mas et al. (2011) sekä Svensson et al. (2011), Svensson ja Berntsson (2011), Svensson et al. (2014) sekä Liang ja Li (2012).

Näistä ensin mainittu artikkeli (Sharma et al. 2011) käsittelee päätöksentekotyökalua kestävien biojalostamojen strategisessa suunnittelussa. Artikkelissaan tutkijat muodostavat, implementoivat ja testaavat työkalua useaa tuotetta valmistavassa biojalostamossa. Laskennassa he ottivat huomioon muun muassa tuotantorajoitukset, prosessikonfiguraatiot, kassavirtalaskelmat ja reaalioptiot tuotepaletin muutoksille, teknologisille muutoksille, kuten prosessi-integraatio ja –intensifiointi, sekä kapasiteetin mukautuksille. Laskenta suoritettiin diskreetisti ja menetelmiä olivat MILP (mixed integer linear programming) ja Monte Carlo simulointi. Tutkijat päättelevät oheistuotteiden luovan hyvän mahdollisuuden

kannattavuuteen mikäli tuotantolaitokseen lisätään joustavuutta kapasiteetin suhteen. Toisin sanoen näiden tehtaiden optioarvo kasvaa.

Toiseksi mainittu artikkeli (Dal-Mas et al. 2011) käsitteli kapasiteetti-investointien strategista suunnittelua etanolin valmistuksessa ja toimitusketjussa. Artikkelissaan he esittelevät mallin, jolla optimoidaan niin tuotanto, varastointi kuin kuljetusreitit. Laskennassa huomioidaan muun muassa etanolin hintavaihtelu, tuotantokapasiteetit, tuotantorajoitukset ja eri liikennevälineiden kuljetuskustannukset. Laskentamenetelmänä tutkijat käyttivät niin ikään MILP:a eri skenaariokombinaatioiden tutkimiseen dynaamisessa mallissaan. Käytännössä artikkelista voidaan vetää johtopäätökset, että markkinahintojen ollessa epästabiilit, on kannattavampi tehdä pieniä tehtaita, jolloin välittömät kassavirtavaikutukset eivät ole yhtä dramaattisia. Tällöin toki hävitään suurtuottajan mittakaavaedut, joka voidaan nähdä kokonaiskapasiteetin joustavuuden kustannuksena.

Svensson et al. (2011) esitteli artikkelissaan mallin prosessi-integraatioinvestointien optimointiin epävarmuuden alaisena. Esitetty investointien optimointimalli on monivaiheinen, diskreetti ja laskennassa käytetään MILP:ä. Epävarmuutta mallinnetaan eri skenaarioilla. Laskennassa muutettiin eri lämmön talteenotto ja tuotantoteknologioita sekä lopputuotteita. Tutkijat huomasivat kuinka maksimoitaessa NPV:a investointien viivytys, eli uuden information odottaminen energiamarkkinoilla, johti energiasäästöjen hiilidioksidipäästöjen vähennyksen menetykseen. Svensson ja Berntsson (2011) tutkivat vastaavalla tavalla biojalostamoihin kohdistuvien nousevien energiateknologioiden investointeja eri skenaarioissa, eli epävarmuuden vallitessa. He huomioivat diskreetillä mallillaan teknologioiden ja hintojen epävarmuudet energiamarkkinoilla. Eri investointien ja teknologioiden suhteen he saivat alkuperäisestä simuloinnista poikkeavia tuloksia viivytysoptiot huomioimalla.

Svensson et al. (2014) tutkivat artikkelissaan joustavuuden arvoa biojalostamoissa, jotka investoivat energiatehokkuuteen ja tulevaisuuden teknologioihin. Tutkimuksessa joustavuus määriteltiin jalostamon mahdollisuutena vastata muuttuviin olosuhteisiin, jotka mallinnettiin diskreetisti eri skenaarioina. Tunnistettavat optio- ja joustavuustyypit olivat odotus- ja vaiheistusoptio sekä monen tuotteen valmistus. Tutkijat käyttivät viiden vuoden intervalleja, mutta totesivat lyhyemmän aikajakson vastaavan todellisuutta paremmin. Joustavuuden sisällyttäminen malliin lisäsi tietyn investoinnin arvoa.

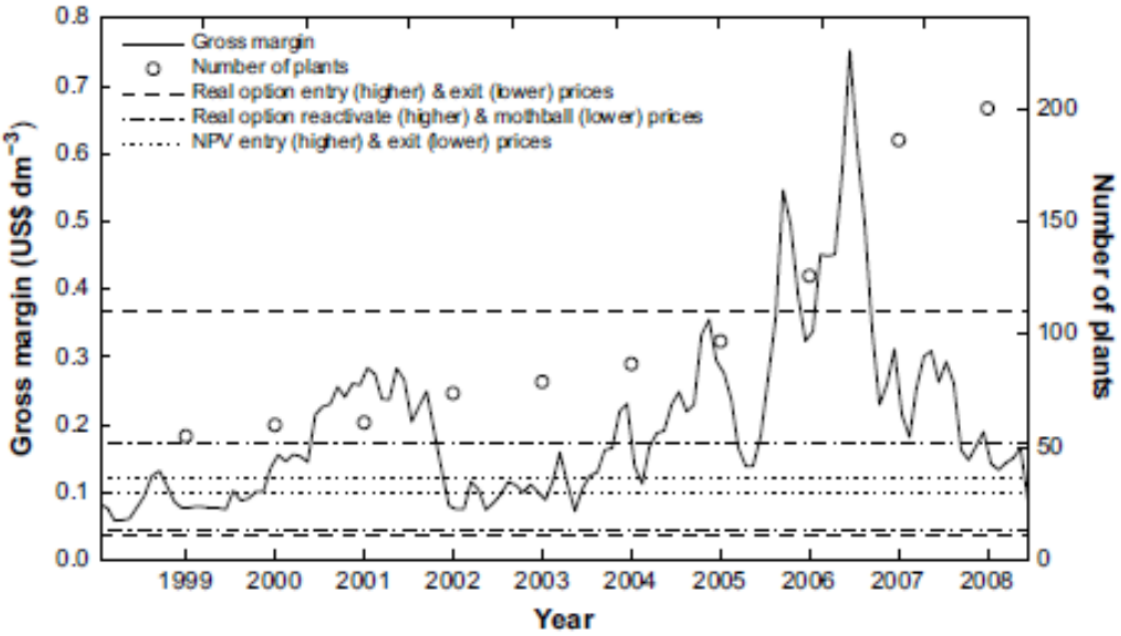
Sementtitehtaiden hiili-intensifioinnista kirjoittavat artikkelissaan Liang ja Li (2012). He mallintavat kassavirtoja Monte Carlo simuloinnilla hiilidioksidin talteenottoinvestoinnin osalta käyttäen reaalioptiomallia. Lopputulemana he toteavat, että optio talteenottomuutokselle olevan Kiinassa vain 7 % todennäköisyydellä taloudellisesti kannattava ja option arvo on 1,2 miljoonaa dollaria. Mikäli hiilen hinta nousee 10 % vuosivauhtia, nousee option arvo noin 20 miljoonaan dollariin. He toteavat lisäksi, että tehtaan elinkaaren kasvaessa optioiden arvot kasvavat entisestään.

5.2. Etanolituotannon ja biojalostamojen rakennus ja pysäytys

Tähän klusteriin valikoitui viisi artikkelia, jotka ovat Schmit et al. (2009), Schmit et al. (2011), Kirby ja Davison (2010), Gonzales et al. (2012) sekä Maxwell ja Davison (2014).

Ensin mainittu artikkeli (Schmit et al. 2009) tarkastelee etanolilaitosta investointina käyttämällä NPV-laskelman rinnalla reaalioptiolaskentaa. He hyödynsivät reaalioptioviitekehystä selvittääkseen millä etanolimarginaalilla tehtaat kannattaa rakentaa, ajaa alas väliaikaisesti ja lopullisesti sekä käynnistää uudelleen. Siinä missä tavanomainen taloustiede toteaa yhtiöiden karttavan markkinoille siirtymistä, mikäli tuotto-odotus ei täytä niin muuttuvia kuin kiinteitä kustannuksia, ja toisaalta, markkinoilla jo olevat pysyvät siellä mikäli tuotto-odotus kattaa muuttuvat kustannukset. Hintavaihtelun ja reaalioptiomallien lisääminen kasvattaa inaktiivisuuden väliä marginaalin suhteen. Toisin sanoen, markkinoiden ulkopuoliset toimijat odottavat huomattavasti kauemmin varmistuakseen marginaalien kasvusta ennen penetroitumista ja toisaalta toimettomat tehtaat viipyvät huomattavasti pidempään markkinoilla marginaalien ollessa matalat. Verrattaessa reaalimaailman tilastoon, mallin tulokset ovat rohkaisevia. Tehtaiden lukumäärä ei laskenut vaikka bruttokate alitti puhtaan NPV-laskelman sulkemisen raja-arvon. Tämä on esitetty kuvassa 7. Schmit et al. (2011) tekivät vastaavasta aihepiiristä ja samoja menetelmiä käyttäen tutkimuksen kuinka Yhdysvaltain etanolipolitiikka vaikuttaa tehdasinvestointeihin ja tutkimuksessaan he käyttivät hyväkseen reaalioptioviitekehystä. Yksi tutkimuksen tuloksista oli, että tehdaskoosta riippumatta etanolipolitiikka kaventaa optimaalisen markkinoille tulon ja markkinoilta poistumisen välistä etäisyyttä etanolin hinnan suhteen. Tämä johtaa heidän mukaansa laajempaan hiljaiseloon markkinoilla ja samalla

voimakkaampaan volatiliteettiin useamman mukauttaessaan toimintaansa samoissa rajahinnoissa. Malli ennusti hyvin suhteessa historiallisiin tilastoihin.



Kuva 7. Kiinteä viiva etanolin bruttokate, ympyrät käynnissä olevat tehtaat, uloimmat katkoviivat reaalioptiomallin ennustamat markkinoille tulon ja poistumisen marginaalirajat, seuraavat katkoviivat markkinoilla olevien tehtaiden uudelleenkäynnistys ja väliaikainen sulkeminen sekä keskimmäiset katkoviivat pelkän NPV-laskelman markkinoille tulon ja poistumisen marginaalirajat. Vasen pystyakseli on bruttomarginaali \$/dm^3 ja oikea pystyakseli on tehtaiden lukumäärä. (Schmit et al. 2009)

Myös Maxwell ja Davison (2014) käyttivät reaalioptioita kvantifioimaan etanolipolitiikan vaikutusta yritysten markkinoille tuloon ja toisaalta optimaaliseen toimintaan. He siis tutkivat vaihto-optioiden vaikutusta. He huomasivat, että projektin kannattavuus on herkkä etanolin ja bensiinin korrelaatiolle, tukiaispolitiikalle ja sivutuotteiden myynnille. Korrelaation kasvaessa viivytystä hyödyntävien osuus kasvoi odotetusti ja tehtaiden (tai projektien) kannattavuus laski. Tutkijat ratkaisivat differentiaalimallinsa numeerisesti ja tutkivat muun muassa myös hystereesi-ilmiön vaikutusta lopputulokseen.

Kirby ja Davison (2010) hyödyntävät reaalioptioviitekehystä tutkiessaan etanolitehtaan arvonmääritystä hyödyntäen maissin ja bensiinin hintaeroa ja marginaalia (spark spread).

Tutkijat käyttivät reaalioptiokehystä, koska etanolitehtaat eivät välttämättä ole tukiaistenkaan myötä kannattavia, mutta itse tehtaalla silti on jokin arvo tulevaisuuden mahdollisuuksien vuoksi. He tarkastelivat ongelmaa jatkumona tuotannon vaihto-optioita. Simuloinneissaan he huomasivat, että keskimääräinen optioarvo sopii huonosti tehtaan arvon määritykseen, koska useassa tapauksessa maissi- ja bensiinihinnat olivat epärealistisen korkeita tai matalia vääristäen kokonaisuutta merkittävästi. Tätä he kompensoivat asettamalla reaalioptiolaskennassa sallitut rajat maissi- ja bensiinihinnoille. Rajojen ulkopuolisten hintojen reaalioptioarvoja ei laskettu.

Gonzales et al. (2012) tutkivat epäonnistuneita tehtaita julkisten tukiaisten vaikutuksesta. Heidän mukaansa laina-arvioitsijat eivät ole osanneet ottaa huomioon yrittäjän näkemystä epävarmuudesta, peruuttamattomuudesta ja joustavuudesta, vaan ovat käyttäneet vain NPV-laskelmaa. Heidän diskreettiin malliin sisällytettiin markkinoille tulon ja poistumisen optiot sekä hylkäysoptio. Heidän saamissa tuloksissaan optiot huomioiva malli oikeuttaa markkinoille tulon ajankohdasta riippuen jopa 3-kertaisella marginaalille pelkkään NPV-laskentaan nähden. Eli mikäli NPV-laskelmassa markkinoille tulon oikeuttava hinta olisi 50 senttiä/gallona, reaalioptiot huomioiva malli vaatisi 150 senttiä/gallona hintaa. Markkinoilta poistumisessa reaalioptiot huomioiva malli sallii puolet puhtaan NPV:n sallimasta hinnasta. Esimerkiksi jos NPV-laskelman mukaan markkinoilta tulee poistua 100 senttiä/gallona hinnalla, sallii reaalioptiot huomioiva malli hinnaksi 50 senttiä gallonalta. Tulos on siis linjassa Schmit et al. (2009) kanssa. Gonzales et al. (2012) toteavat, että reaalioptiot huomioivalla mallilla on NPV-laskelmia parempi ennustusarvo ja siten se olisi hyödyllinen niin päätöksentekijöille kuin varoistaan huolestuneille lainoittajille.

5.3. Kapasiteettimuutokset

Tähän klusteriin valikoitui yhdeksän artikkelia, jotka ovat Cai ja Stiegert (2014), Dunne ja Mu (2010), Pacheco-de-Almeida et al. (2008), Desbordes (2007), Bulan (2005), Pacheco-de-Almeida ja Zemsky (2003), Stiegert ja Hertel (1997), Cheng et al. (2004) sekä Novak-Pintaric ja Kravanja (2007).

Cai ja Stiegert (2014) hyödyntävät reaalioptioteroriaa tutkiessaan etanolitehtaiden optimaalista markkinakapasiteettia Yhdysvalloissa vuosien 1999 ja 2010 välillä. He sisällyttivät diskreettiin malliinsa viivytysoptioita ja havaitsivat toteutuneen markkinakapasiteetin kulkevan kohtalaisen hyvin käsi kädessä reaalioptiomallilla ennustamansa kapasiteetin kanssa. Poikkeuksen tekevät vuodet 2007 ja 2008, jolloin toteutunut kapasiteetti oli oleellisesti suurempi kuin ennustettu. Tutkijat järkeilevät tämän johtuneen vuoden 2006 ennätyskorkeista jalostusmarginaaleista. Tuolloin tehdyt lisäinvestoinnit kapasiteettiin valmistuivat vuoden kahden viiveellä. Samaista viivettä tutkivat Pacheco-de-Almeida ja Zemsky (2003) ja toteavat tämän olevan oleellinen osa oikeaoppista mallinnusta ja reaalimaailman päätöksentekoa. He toteavat rakennusajan huomioimisen siirtävän tasapainoa sitoutumisen ja viivytysoption käytön välillä. Aineistossa heillä oli eri petrokemian tehtaiden valmistumisaikojen keskiarvot, jotka vaihtelivat noin 20 aina 38 kuukauteen riippuen tuotetyypistä ja maantieteellisestä alueesta. Pacheco-de-Almeida et al. (2008) jatkoivat tästä ja tutkivat uusien petrokemian tehtaiden rakennusajan vaikutusta yritysten päätöksentekoon epävarmuuden alaisena. He huomasivat, että tapauksissa, joissa resurssien akkumulaatioaika oli pitkä, sijoitushorisontti pitkä ja epävarmuus suuri, korostui hylkäysoption käyttö. He huomasivat myös kuinka odotusoption merkitys kasvoi toimialan investointivillityksen (investment bandwagon) ja siten kapasiteetti-investoinnin riittävyyden epävarmuuden kasvaessa. Stiegert ja Hertel (1997) tutkivat optimaalista kapasiteettia vedettömässä ammoniakkiteollisuudessa. He pohjaavat tutkimuksensa 1970-lukuun, jolloin ammoniakin hinta kuusinkertaistui lyhyessä ajassa ja rakennuttamisen viiveen vuoksi kapasiteetti kasvoi merkittävästi kolme vuotta myöhemmin. Siinä missä huomattava hintanousu johti investointihuumaan, reaalioptiomalli ei olisi sitä heidän laskelmiensa mukaan suositellut. Perinteinen NPV-laskenta olisi.

Dunne ja Mu (2010) tutkivat öljynjalostuksen investointipiikkejä ja epävarmuutta. He huomasivat tutkiessaan tilastoja, että jalostusmarginaalin epävarmuuden nousu johtaa investointien laskuun ja tämä on linjassa reaalioptioteorian kanssa. Jalostajat siis epävarmuuden lisääntyessä viivyttävät irreversiibeleitä investointejaan. Samansuuntaisia tuloksia sai Bulan (2005) tutkiessaan valmistavaa teollisuutta Yhdysvalloissa. Tosin, kemianteollisuus oli vain osa hänen tutkimusjoukkoaan. Hänen tuloksensa mukaan kemikaaleja ja vastaavia tuotteita valmistavan teollisuuden irreversiibeleiden investointien osuus on noin 40 % ja petrokemialla noin 50 %. Bulanin tulokset osoittavat, että

yrityskohtaisen riskin kasvaessa investointeja viivytetään. Toimialakohtaisen riskin kasvaessa vain irreversiibeleitä investointeja viivytetään. Hän toteaa odotusoption arvon laskevan kiristyvän kilpailun alla korkeassa toimialakohtaisessa epävarmuudessa. Toisaalta Desbordes (2007) osoitti, että poliittisen riskin, tuotannon epävarmuuden ja kaupankäyntiehtojen epävarmuuden kasvaessa ulkomaalaissijoitukset (FDI, forreign direct investment) Yhdysvaltoihin kasvavat kemianteollisuudessa. Nämä ovat ristiriidassa reaalioptioteorian kanssa.

Cheng et al. (2004) tutki kapasiteettisuunnittelun ja inventaariohallinnan päätöksentekoa epävarmassa ympäristössä. He simuloivat kapasiteetti- ja tuotantomäärämuutoksia diskreetissä mallissaan ja yrityksellä oli mahdollisuus muuttaa näitä simulointijakson jokaisena vuotena. Kysymyksessä oli siis laajennus ja supistus optiot. Heidän evolutionäärinen simulointimallinsa loi pareto-optimaalisia pintoja odotetun tuoton ja riskin suhteen. He huomasivat, että kapasiteetin muutosaskeleen kasvattaminen muuttaa oleellisesti pareto-optimaalisen pinnan eheyttä. Novak-Pintaric ja Kravanja (2007) tutkivat usean periodin investointia kemiallisen prosessin asteittaiseen rakennukseen. Tätä varten he laativat epälineaarisen MILP (MINLP) mallin, jolla investointisuunnitelmaa optimoitiin. Mallissa edellisten parannusten säästöt voitiin kohdistaa uusiin investointeihin normaalisti generoidun kassavirran lisäksi. Kyseessä oli siten laajennusoptio. Nämä kaksi viimeksi mainittua artikkelia olivat menetelmiin keskittyviä.

5.4. Joustavat ja modulaariset laitteet ja tehtaat

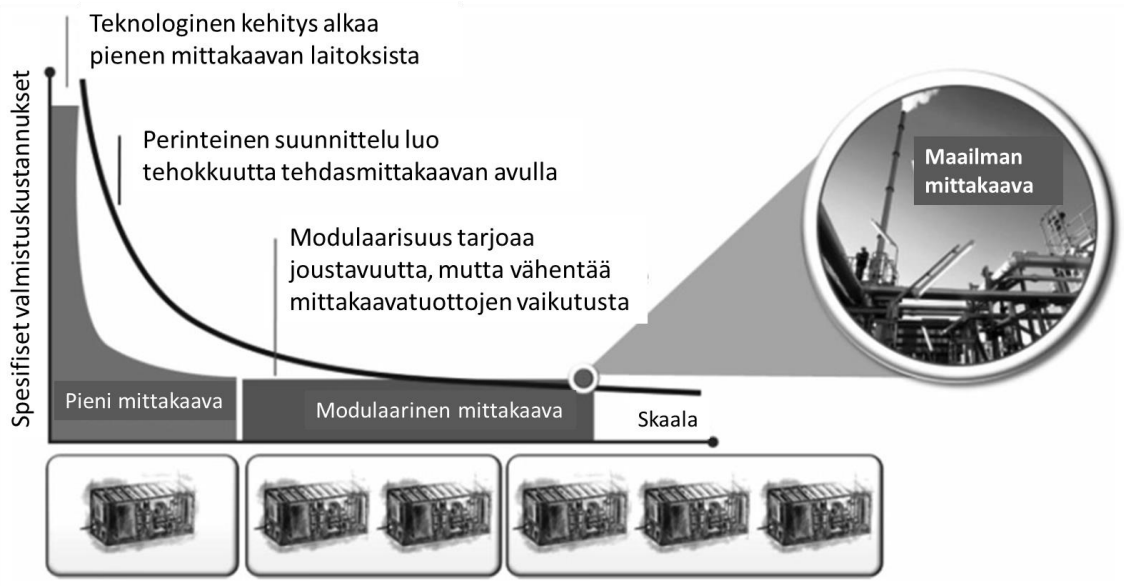
Tähän klusteriin valikoitui kuusi artikkelia, jotka ovat Low ja Sorensen (2004), Lier ja Grünewald (2011), Schemberger et al. (2014), Seifert et al. (2012), Buchholz (2010) sekä Bieringer et al. (2013).

Low ja Sorensen (2004) tutkivat moneen käyttöön soveltuvaa (multipurpose) panostilauskolonnia. He kehittivät robustin menetelmän integroida niin tämän suunnittelun kuin käytön. Menetelmässä kolonnin koko optimoidaan, prosessi joustavoitetaan ja operointitapa optimoidaan suhteessa investointiin, tuloon ja käyttöhyödykekustannuksiin. Menetelmässään he hyödynsivät geneettistä algoritmia, joka on heidän mukaansa toimiva

optimaalisen kolonnin suunnittelun ongelman ratkaisussa. Menetelmää käyttämällä voidaan panostislauskolonnin joustavuutta, eli toimintavapauksia, lisätä.

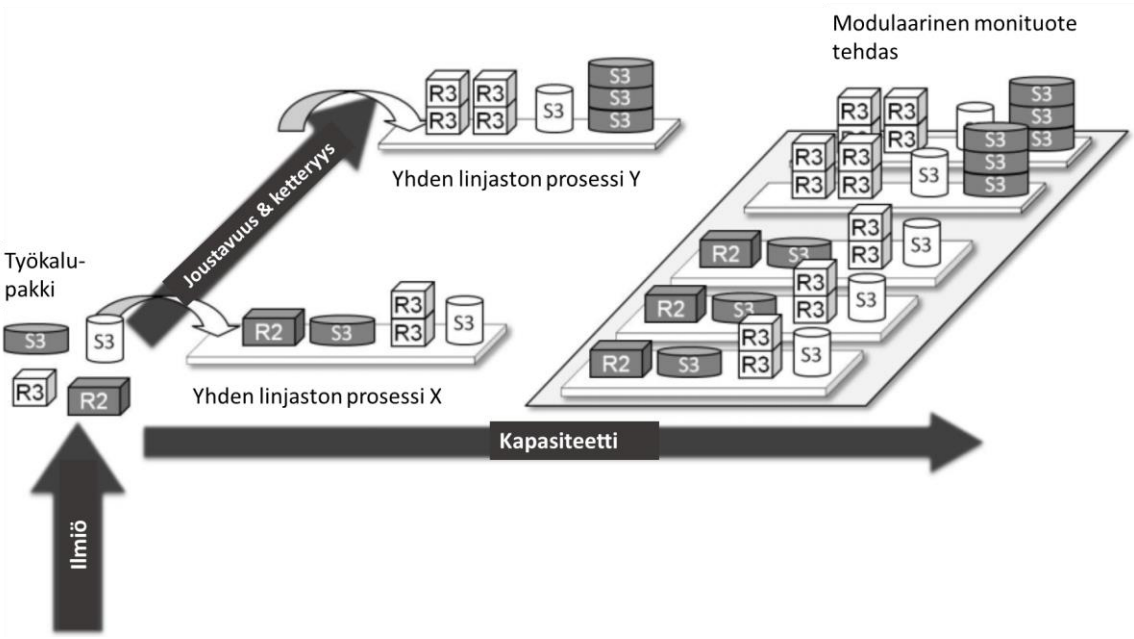
Buchholz (2010) kirjoittaa tulevaisuuden valmistusteknologioista, joissa tulee huomioida resurssien käytön tehokkuus, globaalit markkinat, lyhyet tuotteiden elinkaaret ja siten aiempaa nopeammat kehitysprojektit, volatiilit markkinat, markkinoille pääsyajan lyhyyden korostuminen sekä nopea ja robusti skaalautuvuus tuotannossa. Lisäksi tuotannon jäljitettävyys tulee korostumaan. Näiden johdosta hän toteaa, että alan tulee tehdä teknologiahyppäys. Siksi niin akatemian, teollisuuden kuin laitteistotoimittajien tulee toimia yhdessä kehittääkseen uusia konsepteja, kuten modulaarisia yksikköoperaatioita.

Edellä mainittuihin haasteisiin vastataan Seifert et al. (2012) mukaan modulaarisista yksikköoperaatioista koostuvat jatkuvatoimiset modulaariset tehtaat, jotka tarjoavat samanlaista joustavuutta kuin montaa tuotetta valmistavat (multiproduct) panostoimiset tehtaat, mutta jopa samalla tehokkuudella kuin suuren mittakaavan tuotantolaitokset. Bieringer et al. (2013) laatima kuva (kuva 8) havainnollistaa tätä hyvin.



Kuva 8. Modulaaristen tehtaiden mittakaavaedut kasvavat lähelle suuren mittakaavan perinteistä tuotantolaitosta. Pystyakselilla on valmistuskustannukset ja vaaka-akselilla on moduulien lukumäärän ja samalla mittakaavan kasvu. Musta viiva kuvaa perinteisen suunnittelun mukaisen tehtaan kustannustehokkuuden parantumista mittakaavan suhteen. (Bieringer et al. 2013, suomennettu)

Näiden tehtaiden rakentaminen modulaarisista osista lyhentää markkinoilletuloaikaa ja -kustannuksia standardoitujen moduulien johdosta. Moduuleja voidaan yhdistellä missä järjestyksessä tahansa samaan tapaan kuin Lego-palikoita. Lier et al. (2012) havainnollistavat tätä konseptia kuvan 9 avulla. Käytännössä mittakaavan laajennus voidaan toteuttaa moduulien määrää lisäämällä ja kytkemällä ne rinnan tai rakentamalla rinnakkainen saman konfiguraation kompleksi. Yksi sovellusalue onkin pullonkaulojen poisto moduuli kerrallaan rinnankytkentänä. Tuotteen ja/tai raaka-aineen vaihtaminen onnistuu lisäämällä moduuleita tai muuttamalla moduulien konfiguraatiota. Juuri tämä mahdollistaa nopean markkinoille pääsyn uusilla tuotteilla.

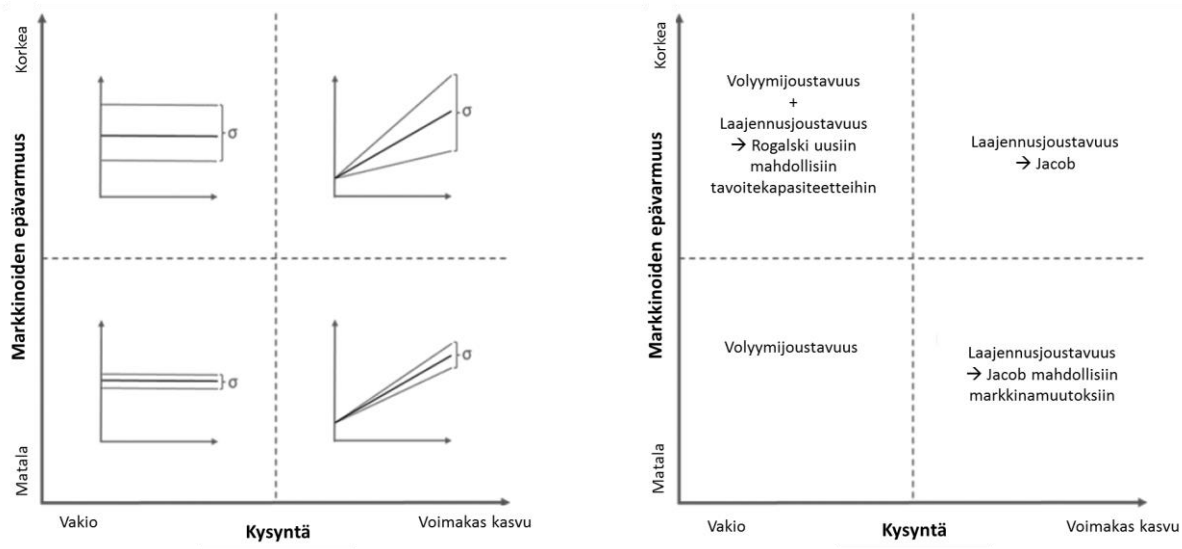


Kuva 9. Havainnekuva modulaaristen yksiköiden mahdollisuuksista. Samoja moduuleja voidaan yhdistellä eri tavoilla, jolloin saadaan samoista moduuleista eri prosessit aikaiseksi, ja toisaalta kapasiteettia voidaan kasvattaa joko kytkemällä moduuleja rinnan tai muodostamalla identtinen linjasto samanlaisen tuotantolinjan rinnalle. (Lier et al. 2012, suomennettu)

Lier et al. (2011) luettelee modulaarisuuden hyviä ja huonoja puolia. Edellä mainittujen lisäksi hyviä puolia ovat muun muassa skaalausaskeleiden vähyys, lyhyt kehitysaika, moduulien rakennus ja käyttö erikseen, investointikustannusten jaksotuksen johtama perinteistä toteutusta parempi likviditeetti ja aikaistuvat positiiviset kassavirrat sekä ylimääräisen kapasiteetin minimointi. Huonoja puolia ovat kasvavat materiaalimäärät,

kunkin moduulin operointi erikseen ja siitä johtuvat instrumentaatio ja henkilöstökustannukset. Näiden lisäksi on muistettava meidän tehdassuunnittelijoiden kultainen sääntö ”*Se, mitä ei ole, ei voi vuotaa*.” Moduulit voidaan rikkoontuessa myös poistaa yksitellen, vaihtaa toimivaan ja huoltaa erikseen, jolloin koko prosessia ei tarvitse pysäyttää (Lier et al. 2012).

Schemberger et al. (2014) luettelee modulaarisuuden suomaa kapasiteettijoustavuutta käsittävässä artikkelissaan neljä eri olosuhdetta, jotka ovat kombinaatiot stabiilista ja voimakkaasta kasvusta sekä matalasta ja korkeasta epävarmuudesta. He ehdottavat näihin skenaarioihin eri kapasiteetin joustavuuden laskentamuotoja, jotka on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Eri markkinaolosuhteet graafisesti esitettynä sekä näihin soveltuvat joustavuuden laskentamuodot. Vaaka-akselilla on kysyntä, joka kasvaa oikealle. Pystyakselilla on epävarmuus markkinoiden kasvusta kasvaen ylöspäin mentäessä. (Schemberger et al. 2014, suomennettu)

Stabiilissa markkinassa matalan hintaepävarmuuden vallitessa tarvitaan vallitsevaan kapasiteettiin pientä joustavuutta volyymin kautta ja kyseessä on perinteinen laskuharjoitus. Kysynnän ollessa kasvava tulee pidemmän aikavälin tuottoja laskea Jacobin (1974) kehittämällä menetelmällä, koska se mahdollistaa heidän mukaansa parhaan investointistrategian laskemisen jaksotettuihin investointeihin. Kysynnän pysyessä vakiona, mutta epävarmuuden kasvaessa, tulee laajennuksen joustavuutta laskea Rogalskin (2011) ehdottamalla menetelmällä.

5.5. Yhteenveto havainnoista

Kemianteollisuutta käsittelevissä reaalioptioita ja joustavuuksia käsittelevissä artikkeleissa toistuvia teemoja ovat luonnollisesti päätöksenteko epävarmuuden vallitessa. Tätä epävarmuutta mallinnettiin niin volatiliteetin kautta kuin tarkastelemalla ennalta määrättyjen skenaarioiden välisiä suhteita. Yhteistä artikkeleissa oli päätöksenteko määrättyinä ajankohtina, jolloin oli luonnollista käyttää diskreetteihin malleihin soveltuvia laskentamenetelmiä kuten MILP. Mielenkiintoista on, että vaikka todellisuudessa optiot ovat amerikkalaisia, mallinnuksessa päädytään pääsääntöisesti käyttämään tiettyinä hetkinä toteutettavia eurooppalaisia optioita. Koko läpikäydystä artikkelijoukosta muutamassa mallit oli rakennettu toteutushetken suhteen yhdentekeviksi. Toki oikeassa elämässä informaatiota tuova jaksottainen taloudellinen raportointi ja organisaatioiden kitkat ohjaavat päätöksentekoa kohti eurooppalaistyylistä optiototeutusta.

Oli mielenkiintoista huomata, että aineistoon ei valikoitunut ensimmäistäkään artikkelia, jossa reaalioptioita olisi käsitelty sumean logiikan avulla. Sumea logiikka ei kuitenkaan ole vieras käsite kemianteollisuudessa, sillä sitä käytetään muun muassa säätöjärjestelmissä, riskien arvioinnissa ja katalyyttipartikkeleiden vettymisen mallinnuksessa. Aineiston hankkimismenetelmä on herkkä alkuarvojen, eli hakutermien, suhteen, joten se lienee suurin selittäjä poisjäännille. Toisaalta sumea logiikka on verrattain tuore lisä reaalioptioiden viitekehyksessä.

Artikkeleissa tarkasteltiin reaalioptioita ja joustavuuksia viivytyksen lisäksi markkinoille siirtymiseen, sieltä poistumiseen (hylkäys), tuotannon supistamiseen, vaihto-optio (tehtaan alasajo) sekä toimintavapausoptio. Vain osassa näistä artikkeleista kerrottiin eksplisiittisesti minkä arvoinen optio oli. Usein optio oli sisällytetty kokonaiskannattavuuteen, jolloin option arvo voidaan periaatteessa laskea tämän ja NPV:n erotuksena.

Osasta artikkeleita huomaa kuinka vertaamalla tilastoja suoritettuihin reaalioptiot huomioiviin simulointeihin päätöksentekijöillä on ollut kohtalainen reaalioptioajattelu taustalla joko intuitiivisesti tai organisaatioissa osataan mallintaa epävarmuutta. Ihmisten epärationaalisuus kuitenkin paistaa läpi tuotteen hinnan noustessa huomattavasti, jolloin päädytään melkoiseen investointikilpailuun. Se, kuinka tämä epärationaalisuus saadaan luotettavasti kvantifioitua malleihin, lie miljardin dollarin kysymys.

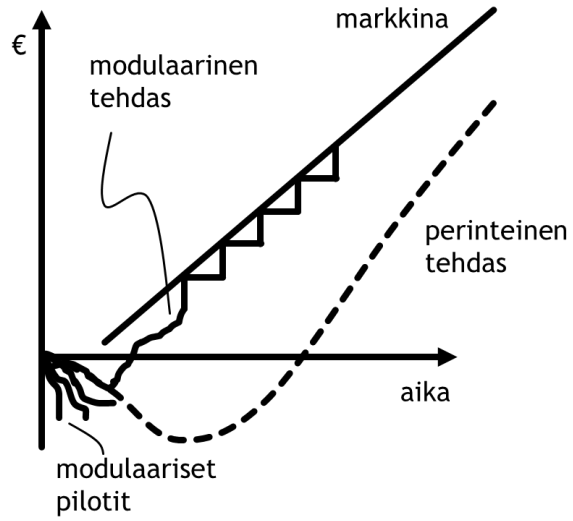
Muutamassa artikkelissa tarkasteltiin prosessisuunnittelussa yleisessä käytössä olevalla kaupallisella prosessikaaviosimulaattorilla (flowsheet) eri laitekonfiguraatioita ja saaden näin määritettyä esimerkiksi prosessi-intensifiointien ja -modifikaatioiden reaalioptioiden arvot. Mielenkiintoinen kysymys on miten modulaariset tehtaat voidaankaan tulevaisuudessa mallintaa tässä yhteydessä. Huomioon tulee ottaa paitsi kullekin laitteelle ominaiset yhtälöt, myös kaikki mahdolliset raaka-aineet ja lopputuotteet välituotteineen. Tämä äärimmäisyyksiin menevä joustavuus olisi termodynamiikkoineen raskas laskuharjoitus edistyksellisemmällekin tietokoneelle. Pelkästään ajatus ääriketterästä, alati markkinahintojen mukaan muotoaan muuttavasta tehtaasta saanee insinöörien silmät kiilumaan onnesta ja toisaalta karvat nousemaan pystyyn kauhusta.

Vaikuttaa siltä, että modulaarisissa tehtaissa saattaa aidosti olla seuraavan valmistuksen vallankumouksen siemen kemianteollisuudessa. Vuonna 2007 Tanskassa järjestettiin pohjoismaisten kemisti-insinöörien konferenssi *Nordisk Kemiteknolog Konferens* (NKK), jonka osanottajat tutustuivat muun muassa modulaaristen laitteistojen valmistajaan yritysvierailuilla. Tuolloin isännät ja emännät silminnähden ylpeinä esittelivät konseptia ja laitteita. Suomalaiset teekkarit luulivat näiden olevan jo valtavirtaa, koska heidän omaan kokemuspohjaan kuuluivat vierailuilla vain vanhan teknologian näkeminen. Toisaalta tämä voi olla samanlainen ikuinen lupaus kuin mikroreaktorit aina 1980-luvulta lähtien.

Artikkeleiden havainnot reaalioptioiden ja epävarmuuden vaikutuksista investointeihin olivat pääsääntöisesti linjassa reaalioptioteorian kanssa. Epävarmuuden kasvaessa reaalioption arvo kasvaa ja toisaalta irreversiibeleitä investointeja pyritään lykkäämään. Kemianteollisuudessa laitosinvestointien kestojen ollessa 20-40 kuukautta, tulee ketteryys korostumaan maailmassa vallitsevien epävarmuuksien kasvaessa.

Saattaa olla, että harmaimmatkin insinöörit ovat alkaneet ottamaan vaikutteita niin maailmalla kuin Suomessa korostuvasta kasvuyritys ja startup-mentaliteetista, jossa tarkoituksena on kokeilla ketterästi useita eri asioita ja keskittyä siihen mikä lähtee lentoon. Tässä korostuu lyhyt vasteaika yksittäisen kokeiluerän ja täysimittaisen tuotannon välillä. Modulaariset tehtaat tulevat todennäköisesti olemaan tässä avainasemassa, koska niitä voi periaatteessa käyttää rinnan usean eri kemikaalin valmistamiseen ja muuttaa tuottamaan tätä yhtä lentoon lähtevää tuotetta. Samalla tuotannon kasvattaminen onnistuu lisäämällä moduuleja. Mikäli tuotteen kysyntä lähtee laskuun, voidaan tuotantoa supistaa moduuli kerrallaan ja alistaa nämä uusien tuotteiden pilotointiin. Kuvaan 11 on kiteytetty tämä

nopean epäonnistumisen ja toisaalta nopean markkinoiden valtauksen malli suhteessa perinteiseen tehdasinvestointiin.



Kuva 11. Modulaarisen tehtaan ja perinteisen tehtaan ero havainnollistettuna.

Edellä mainitun esimerkin dynamiikkaa lisää kilpailijoiden perinteiset tehdasinvestoinnit, jotka saturoivat markkinan. Viimeistään tällöin voidaan jälleen aloittaa uusien ansaintamahdollisuuksien selvitys uusilla piloteilla. Modulaaristen tehtaiden liikutettavuuden ja mukautettavuuden johdosta yksi tehdas voisi teoriassa olla samanaikaisesti usean kylän käytössä esimerkiksi vedenpuhdistuksessa, eli se olisi jaettu optio.

6. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän työn tavoitteena oli selvittää mitä reaalioptioista ja joustavuuksista kirjoitetaan kemianteollisuutta koskevissa tutkimusartikkeleissa. Työn alussa oli lyhyt johdatus kemianteollisuuteen ja alan investointeihin sekä reaalioptioihin. Tämän jälkeen työtä varten tehtiin strukturoitu kirjallisuushaku, seulonta ja löydökset raportoitiin. Kirjallisuushaun artikkelit klusteroitiin ja keskeisiksi teemoiksi tunnistettiin neljä kokonaisuutta:

1. Usean skenaarion analyysi prosessien integroinnista ja intensifioinnista,

2. etanolituotannon ja biojalostamojen rakennus ja pysäytys,
3. kapasiteettimuutokset, ja
4. joustavat ja modulaariset laitteet ja tehtaat.

Keskeisinä havaintoina voidaan pitää mallinnuksen ja simuloinnin suurta määrää ja toisaalta nousevaa modulaarista teknologiaa. Epävarmuutta mallinnettiin niin volatiliteetin kautta kuin tarkastelemalla ennalta määrättyjen skenaarioiden välisiä suhteita. Vaikka todellisuudessa optiot ovat amerikkalaisia, mallinnuksessa päädyttiin pääsääntöisesti käyttämään tiettyinä hetkinä toteutettavia eurooppalaisia optioita. Tämä saattaa olla lähellä realistista päätöksentekoa tiedon saapuessa esimerkiksi kvartaaleittain. Aineistoon ei valikoitunut yhtään sumealla logiikan omaavaa reaalioptioartikkelia.

Artikkeleiden havainnot reaalioptioiden ja epävarmuuden vaikutuksista investointeihin olivat pääsääntöisesti linjassa reaalioptioteorian kanssa. Epävarmuuden kasvaessa reaalioption arvo kasvaa ja toisaalta irreversiibeleitä investointeja pyritään lykkäämään. Osasta artikkeleita huomaa kuinka vertaamalla tilastoja suoritettuihin reaalioptiot huomioiviin simulointeihin päätöksentekijöillä on ollut kohtalainen reaalioptioajattelu taustalla joko intuitiivisesti tai organisaatioissa osataan mallintaa epävarmuutta.

Kemianteollisuudessa uusi paradigma saattaa syntyä modulaarisista tehtaista. Tehtailla on monta etua niin ketteryyden kuin skaalautuvuuden näkökulmasta. Moduuleja hyödyntämällä voidaan markkinoilletuloaikaa lyhentää ja -kustannuksia vähentää. Samaten pullonkaulojen poistaminen voidaan hoitaa prosessin ollessa vielä käynnissä ja toisaalta rikkinäiset moduulit voidaan korvata niin sanotusti lennosta.

6.1. Tutkimuksen luotettavuus

Hakutermeillä on suuri rooli aineiston valinnassa. Hakutermeiksi olisi voinut sisällyttää lisäksi esimerkiksi termit *”growth option*”* (kasvuoptio), *flexibility* (joustavuus) ja *uncertainty* (epävarmuus), mutta tällöin tutkittava joukko olisi ollut huomattavan suuri. Lisämääreiksi olisi voitu asettaa *chemical*:n rinnalle myös *”oil refining”* (öljynjalostus), *petroleum* (raakaöljy) ja *process* (prosessi). Toisaalta myös esimerkiksi *”plant expansion”* (tehdaslaajennus)ja *modular* (modulaarinen) olisivat olleet mielenkiintoisia iteraation

aloituspisteitä. Myös määreen *invest** (sijoittaa) käyttäminen olisi voinut olla hyödyllistä edellä mainittujen lisäysten aiheuttaman hakutulosten rajaamisessa.

Tutkimusprosessin aikana läpikäydyn materiaalin määrä oli huomattava ja samojen menetelmien ylläpitäminen oli haasteellista. Myös inhimillisten virheiden, kuten tulkinnan virheen ja huolimattomuuden, mahdollisuus on huomattava. Materiaali olisi ollut suotavaa käydä useamman kerran läpi ja toisaalta edellä mainittujen hakutermien avulla tehtyjä täydennyshakuja olisi kannattanut suorittaa.

Yksi lopputulokseen vaikuttava tekijä on myös tietokannan valinta. Eri tietokannoissa on eri artikkeleita ja toisaalta samat kirjoittajat julkaisevat usein saman kustantajan lehdessä, jolloin heidän osuutensa löydöksistä kasvaa. Samaten tutkijaryhmät viittaavat usein omiin töihinsä, joka täytyy ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa.

6.2. Jatkotutkimusehdotukset

Tätä työtä edistäessä ja artikkeleita lukiessa on herännyt kasvava mielenkiinto modulaarista teknologiaa kohtaan, koska se saattaa hyvinkin olla seuraavan paradigmamuutoksen aloittaja kemianteollisuudessa. Tätä paradigmamuutoksen voimakkuutta ja tahtia on vaikea arvioida. Eittämättä suuruuden mittakaava tulee edelleen olemaan selkeä valttikortti, jolloin herääkin kysymys onko ketterässä teknologiassa aitoa kilpailuetua. Tätä olisi mielenkiintoista tutkia. Jatkotutkimusaiheita edelleen pohtiessa olisi hyvin mielenkiintoista muunnella hakutermejä ja raportoida näiden tuloksista. Yksi mielenkiintoinen havaittu aukko oli sumeiden joukkojen käyttö kemianteollisuuden reaalioptioiden mallinnuksessa. Tämän aukon voisi todentaa tarkemmin ja paikata.

7. Lähteet

Artikkelit

Bieringer, T., Buchholz, S., Kockmann, N., 2013. Future Production Concepts in the Chemical Industry: Modular – Small-Scale – Continuous. *Chemical Engineering and Technology*, 36 (6), 900–910.

Buchholz, S., 2010. Future manufacturing approaches in the chemical and pharmaceutical industry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification,* 49 (10), 993-995.

Bulan, L.T., 2005. Real options, irreversible investment and firm uncertainty: New evidence from U.S. firms. *Review of Financial Economics*, 14, 255–279.

Busby, J.S. and Pitts, C.G.C., 1997. Real options in practice: An exploratory survey of how finance officers deal with flexibility in capital appraisal. *Management Accounting Research,* 8 (2), 169-186.

Cai, X., Stiegert, K. W., 2014. Market Analysis of Ethanol Capacity, *International Food and Agribusiness Management Review*, 17 (1). *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 43, 2192-2208.

Cheng, L., Subrahmanian, E., Westerberg, A.W., 2004. Multi-objective Decisions on Capacity Planning and Production-Inventory Control under Uncertainty. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 43, 2192-2208.

Collan M., 2011, Thoughts about Selected Models for the Valuation of Real Options. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum Naturalium. Mathematica*, 50 (2), 5-12.

Dal-Mas, M., Giarola, S., Zamboni, A., Bezzo, F., 2011. Strategic design and investment capacity planning of the ethanol supply chain under price uncertainty. *Biomass and Bioenergy*, 35, 2059-2071.

Desbordes, R., 2007. The sensitivity of U.S. multinational enterprises to political and macroeconomic uncertainty: A sectoral analysis. *International Business Review,* 16, 732–750.

Driouchi, T., Bennet, D. J., 2012. Real Options in Management and Organizational Strategy: A Review of Decision-making and Performance Implications. *International Journal of Management Reviews*, 14, 39–62.

Dunne, T., Mu, X., 2010. Investment Spikes and Uncertainty in the Petroleum Refining Industry. *The Journal of Industrial Economics*, LVIII, 190-213.

Gonzales, A. O., Karali, B., Wetzstein, M. E., 2012. A public policy aid for bioenergy investment: Case study of failed plants. *Energy Policy*, 51, 465-473.

Jacob, H.Z., 1974**.** Betriebswirtsch., 44, 299.

Kirby, N., Davison, M., 2010. Using a spark-spread valuation to investigate the impact of corn-gasoline correlation on ethanol plant valuation. *Energy Economics*, 32, 1221–1227.

Liang, X., Li, J., 2012. Assessing the value of retrofitting cement plants for carbon capture: A case study of a cement plant in Guangdong, China. *Energy Conversion and Management*, 64, 454–465.

Lier, S., Grünewald, M., 2011. Net present value analysis of modular chemical Production Plants. *Chemical Engineering and Technology,* 34 (5), 809-816.

Low, K, Sorensen, E., 2004. Simultaneous optimal design and operation of multipurpose batch distillation columns. *Chemical Engineering and Processing*, 43, 273–289.

Maxwell, C., Davison, M., 2014. Using real option analysis to quantify ethanol policy impact on the firm's entry into and optimal operation of corn ethanol facilities. *Energy Economics*, 42, 140–151.

Novak-Pintaric, Z., Kravanja, Z., 2007. Multiperiod Investment Models for the Gradual Reconstruction of Chemical Processes. *Chemical Engineering and Technology*, 30 (12), 1622-1632.

Pacheco-de-Almeida, G., Henderson, J.E., Cool, K.O., 2008. Resolving the Commitment Versus Flexibility Trade-Off: The Role of Resource Accumulation Lags. *Academy of Management Journal*, 51 (3), 517–536.

Pacheco-de-Almeida, G., Zemsky, P., 2003. The effect of time-to-build on strategic investment under uncertainty. *RAND Journal of Economics*, 14 (I), 166-182.

Park, C.S., Herath, H.S.B., 2000. Exploiting Uncertainty - Investment Opportunities as Real Options: A New Way of Thinking in Engineering Economics. *The Engineering Economist*, 45 (1), 1-36.

Schemberger, G., Seifert, T., Lesniak A.-K., Sievers, S., Bramsiepe, C., 2014. Capacity Flexibility of Chemical Plants. *Chemical Engineering and Technology*, 37 (2), 332–342.

Schmit, T.M., Luo, J., Tauer, L.W., 2009. Ethanol plant investment using net present value and real options analyses. *Biomass and Bioenergy*, 33, 1442-1451.

Schmit, T. M., Luo, J., Conrad, J.M., 2011. Estimating the influence of U.S. ethanol policy on plant investment decisions: A real options analysis with two stochastic variables. *Energy Economics*, 33, 1194–1205.

Seifert, T., Sievers, S., Bramsiepe, C., Schembecker, G., 2012. Small scale, modular and continuous: A new approach in plant design. *Chemical Engineering and Processing*, 52, 140– 150.

Sharma, P., Sarker, B.R., Romagnoli, J.A., 2011. A decision support tool for strategic planning of sustainable biorefineries. *Computers and Chemical Engineering*, 35, 1767–1781.

Stiegert, K.W., Hertel, T.W., 1997. Optimal Capacity in the Anhydrous Ammonia Industry. *American Journal of Agricultural Economics*, 79, 1096-1107.

Svensson, E., Berntsson, T., Patriksson, M., 2011. A model for optimization of process integration investments under uncertainty. *Energy*, 35, 2733-2746.

Svensson, E., Berntsson, T., 2011. Planning future investments in emerging energy technologies for pulp mills considering different scenarios for their investment cost development. *Energy*, 36, 6508-6519.

Svensson, E., Berntsson, T., Strömberg, A.-B., 2014. The value of flexibility for pulp mills investing in energy efficiency and future biorefinery concepts. *International Journal of Energy Research*, 38, 1864-1878.

Webster, J. and Watson, R.T., 2002. Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. *MIS Quarterly*, 26 (2), xiii-xxiii.

Yeo, K.T. and Qui, F., 2003. The value of management flexibility-a real option approach to investment evaluation. *International Journal of Project Management*, 21 (4), 243-250.

Kirjat

Copeland, T. and Antikarov, V., 2001. *Real options : a practitioner's guide*. New York: TEXERE.

Copeland, T., Koller, T. And Murrin, J., 2000. *Valuation: measuring and managing the value of companies.* 3rd edn. New York: Wiley.

Johns, W., 2000. Computer-Aided Chemical Engineering. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley & Sons, Inc.

Mosberger, E., 2000. Chemical Plant Design and Construction. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley.

Riistama, K., Laitinen, J., Vuori, M., 2003. *Suomen kemianteollisuus*, viides painos, Chemas Oy, Tammer-paino, Tampere.

Rogalski, S., 2011. *Flexibility Measurement in Production Systems: Handling Uncertainties in Industrial Production*, Springer, Berlin.

Smith, R., 2000. Process Design, *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley & Sons, Inc.

Ward, T.J., 2000. Economic Evaluation. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley & Sons, Inc.

Internet

CEFIC, 2014-last update, The European chemical industry: Facts & Figures 2013. Viitattu 16.10.2014. Saatavilla http://asp.zone-secure.net/v2/598/765/42548/Cefic-Facts-and-Figures-.pdf .

Kemianteollisuus ry, 2014. Kemian teollisuus alana - taskuesite, viitattu 15.11.2014, saatavilla http://kemianteollisuus.studio.crasman.fi/file/dl/i/JAVdvA/g4sHxxQW1O-_KYBlXpxhlg/KT_EU_Yleisesite_valmis.pdf .

Kemira, 2013. Kemira vahvistaa globaalia polymeerituotantoa kasvumahdollisuuksiensa turvaamiseksi. Lehdistötiedote, viitattu 15.11.2014, saatavilla http://hugin.info/3008/R/1672030/543706.pdf .

Neste Oil, 2008. Vuosikertomus 2007. Viitattu 15.11.2014, saatavilla http://ir-service.funkton.com/view/ahBzfmlyLXNlcnZpY2UtaHJkchYLEg5GaWxlQXR0YWNobWVudBi58AwM .

Neste Oil, 2009. Vuosikertomus 2008. Viitattu 15.11.2014, saatavilla http://ir-service.funkton.com/view/ahBzfmlyLXNlcnZpY2UtaHJkchYLEg5GaWxlQXR0YWNobWVudBjjwgkM .