

SISU — Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta

Hyödyn elementit ja
käyttöönoton prosessit: SISUQ8

METROPOLIA
AMMATTIKORKEAKOULUN
JULKAISUJA

SARJA D:
TYÖPAPERIT 1

Juha Leppävuori, Markus Olin, Asko Valli,
Seppo Lahti, Heikki Hasari, Ari Koistinen ja
Seppo Leppänen

Juha Leppävuori ja Markus Olin | VTT

Asko Valli, Seppo Lahti, Heikki Hasari, Ari Koistinen
ja Seppo Leppänen | METROPOLIA AMMATTIKORKEAKOULU

SISU — Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta

Hyödyn elementit ja käyttöönoton prosessit: SISUQ8

METROPOLIA AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUJA

SARA.D. TYÖPAPERIT 1 • 2009

© Tekijät ja Metropolia Ammattikorkeakoulu

Julkaisija/ Kustantaja Metropolia Ammattikorkeakoulu
Bulevardi 31, 00180 Helsinki
PL 4000, 00079 Metropolia
www.metropolia.fi/julkaisut

ISBN 978-952-5797-04-6 (nid.)

ISSN 1798-2030 (nid.)

ISBN 978-952-5797-03-9 (PDF)

ISSN 1797-8203 (PDF)

Painopaikka Yliopistopaino, Helsinki 2009

TIIVISTELMÄ

Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta (SISU) on Tekesin Mallinnus- ja simulointitutkimusohjelman (MASI) projekti, jonka tutkimusosapuolet ovat Metropolia Ammattikorkeakoulu (aiemmin EVTEK ja Stadia) ja VTT, joka vastaa koko hankkeen koordinoinnista. Teollisuusosapuolia hankkeessa on yhteensä kymmenkunta.

Simulointia pidetään tärkeänä tulevaisuuden osaamisalueena ja sen käyttöä halutaan edistää etenkin pk-teollisuudessa. SISUn tavoitteet voikin tiivistää uusien menetelmien kehittämiseen etenkin pk-yrityksille, suunnitelman laatimiseen menetelmien teollisesta käyttöönnotosta, liiketoimintamahdollisuuksien arvioimiseen sekä edellytysten luomiseen uuden liiketoiminnan syntymiselle. Tavoitteiden toteutumisen tueksi kehitetään simuloinnin käyttöä edistävä SISUQ8-menetelmä, jonka toivotaan tukevan uusien simulointipalveluja tuottavien yritysten syntyä.

SISU toteutetaan matriisityyppisesti: toisaalta tehdään simulointia kunkin osallistuvan yrityksen tarpeisiin osin luottamuksellisissa esimerkkita-pauksissa ja toisaalta sen julkisessa osassa tehdään työtä simuloinnin käytön edistämiseksi. Tuloksena syntyy SISUQ8-menetelmä. SISUn tähän asti tärkein tulos on niiden periaatteiden laatiminen ja analysoiminen, jotka on kuvattu vielä kehitteillä olevassa SISUQ8-menetelmässä. Tärkeimmät yksittäiset esiin tulleet kehityskohteet liittyvät simuloinnin tavoitteiden määrittämiseen, lähtödatan tuottamiseen ja simuloinnin tulosten esittämiseen. Tehtävän simulointityön merkityksen yrityksen liiketoiminnan kannalta tulisi olla selvä ainakin yritykselle ja liikesalaisuuksiin liittyvät rajoitukset huomioon ottaen myös simuloijalle; usein simuloinnilla haetaan vastausta tiettyihin kysymyksiin tai ongelmiin, jotka tulisi muotoilla mahdollisimman konkreettisesti. Kaikkien simuloinnin osapuolten tulisi tietää tarvittavaan dataan ja sen esitysmuotoon liittyvät vaatimukset. Simuloinnin tulokset pitäisi pystyä esittämään ymmärrettävässä ja käyttökelpoisessa muodossa niin, että yritys voi käyttää tuloksia liiketoimintansa kehittämiseen ja saa vastaukset asetettuihin ongelmiin.

Avainsanat Simulointi, suunnittelu, mallinnus,
liiketoimintamahdollisuudet, tietokonesovellus

ALKUSANAT

SISU eli Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta -niminen projekti kuuluu Tekesin MASI-teknologiaohjelmaan, jonka tavoitteena on kehittää yritysten liiketoimintaa, tuotteita, prosesseja ja palveluja mallinnuksen ja simuloinnin avulla.

SISU-hankkeen toteutus alkoi keväällä 2006, ja projekti jatkuu kesään 2009 asti. Projektin toteuttavat Metropolia Ammattikorkeakoulu (aik. Espoon–Vantaan teknillinen ammattikorkeakoulu EVTEK, Helsingin Ammattikorkeakoulu Stadia) ja VTT yhdessä yli kymmenen teollisuusyrityksen kanssa. Hankkeen laajuus on yli kymmenen henkilötyövuotta.

Hankkeen johtoryhmän kokoonpano on

Nimi	Organisaatio
Jukka Lahtinen	Etteplan Oyj
Jari Lehikoinen	Sweco Industry Oy
Carl-Gustav Malmberg	Oy Sandman-Nupnau Ab
Tuomas Kallio	Kardex Finland Oy
Juhani Suvilampi	Watrec Oy
Mikko Höynälänmaa	Pöyry Forest Industry Oy
Jussi Laitio	Rintekno Oy
Juha Santasalo	Genano Oy
Seppo Haapajoki	Fortum Power and Heat Oy /Generation
Matti Häppölä	Fortum Power and Heat Oy /Service
Matti Kurki	Oy Metsä-Botnia Ab
Marja-Terttu Huttu	Metropolia
Mikko Ylhäisi	Tekes
Risto Salminen	Metropolia
Jussi Manninen	VTT
Kaj Juslin	VTT
Pekka Taskinen	Masi-ohjelma
Asko Valli	Metropolia
Markus Olin	VTT
Seppo Lahti	Metropolia
Juha Leppävuori	VTT

SISÄLLYS

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
Käsitteitä ja määritelmiä	10
1 Johdanto	13
2 SISUQ8	14
2.1 Johdanto	14
2.2 Simulointitoiminnan roolit	15
2.3 Hyödyt ja karikot	16
2.4 SISUQ8-metodologia	17
2.4.1 Matriisirakenne	18
2.4.2 Esimerkki	21
2.4.3 Excel-sovellus	22
3 Esimerkitapaukset	25
3.1 3D-mallin tehokkaampi hyödyntämistapa simuloinnissa ja suunnittelussa	26
3.1.1 Vaikutus	26
3.1.2 Ongelman määrittely	26
3.1.3 Ratkaisu	26
3.1.4 Konseptointi	27
3.1.5 Mallin tiedot	27
3.1.6 Mallin rakentaminen	27
3.1.7 Mallin soveltaminen	28
3.1.8 Tulosten esittäminen	28
3.1.9 Elinkaari	28
3.1.10 Yhteenveto	28
3.2 Prosessidatan oikeellisuus	29
3.2.1 Vaikutus	29
3.2.2 Ongelman määrittely	29
3.2.3 Ratkaisu	30
3.2.4 Konseptointi	30
3.2.5 Mallin tiedot	30

3.2.6	Mallin rakentaminen	32
3.2.7	Mallin soveltaminen	34
3.2.8	Tulosten esittäminen	34
3.2.9	Elinkaari	34
3.2.10	Yhteenvedo	34
3.3	Käyttäytyvä PI-kaavio	35
3.3.1	Vaikutus	35
3.3.2	Ongelman määrittely	35
3.3.3	Ratkaisu	35
3.3.4	Konseptointi	36
3.3.5	Mallin tiedot	36
3.3.6	Mallin rakentaminen	36
3.3.7	Mallin soveltaminen	37
3.3.8	Tulosten esittäminen	37
3.3.9	Elinkaari	37
3.3.10	Yhteenvedo	38
3.4	Biodieselprosessin suunnittelu	38
3.4.1	Vaikutus	38
3.4.2	Ongelman määrittely	39
3.4.3	Ratkaisu	39
3.4.4	Konseptointi	39
3.4.5	Mallin tiedot	40
3.4.6	Mallin rakentaminen	40
3.4.7	Mallin käyttö	41
3.4.8	Tulosten esittäminen	41
3.4.9	Elinkaari	41
3.4.10	Yhteenvedo	41
3.5	Integroidun 3D-simuloinnin ja taseentäsmäys- simulointituotteiden kehittäminen	42
3.6	3D-suunnittelumenetelmien kehitys	42
3.6.1	Vaikutus	42
3.6.2	Ongelman määrittely	43
3.6.3	Ratkaisu	43
3.6.4	Konseptointi	43
3.6.5	Mallin tiedot	43
3.6.6	Mallin rakentaminen	43
3.6.7	Mallin soveltaminen	44
3.6.8	Tulosten esittäminen	44
3.6.9	Elinkaari	44

3.7	Visualisointi myynnin tukena	44
3.7.1	Vaikutus	45
3.7.2	Ongelman määrittely	45
3.7.3	Ratkaisu	45
3.7.4	Konseptointi	45
3.7.5	Mallin tiedot	45
3.7.6	Mallin rakentaminen	45
3.7.7	Mallin soveltaminen	46
3.7.8	Tulosten esittäminen.....	46
3.7.9	Elinkaari	46
3.7.10	Yhteenveto	46
3.8	Virtuaaliprototyypin käyttö kuljetuskaluston tuotekehityksessä ja simuloinnissa	47
3.8.1	Vaikutus.....	47
3.8.2	Ongelman määrittely	47
3.8.3	Ratkaisu	47
3.8.4	Konseptointi	48
3.8.5	Mallin tiedot	48
3.8.6	Mallin rakentaminen	48
3.8.7	Mallin soveltaminen	48
3.8.8	Tulosten esittäminen.....	49
3.8.9	Elinkaari	49
3.9	Konseptisuunnittelumenetelmien kehittäminen.....	49
3.9.1	Vaikutus.....	49
3.9.2	Ongelman määrittely	49
3.9.3	Ratkaisu	50
3.9.4	Konseptointi	50
3.9.5	Mallin tiedot.....	50
3.9.6	Mallin rakentaminen	50
3.9.7	Mallin soveltaminen	50
3.9.8	Tulosten esittäminen.....	51
3.9.9	Elinkaari	51
3.10	Sähkökentän mitoitus Comsol Multiphysics -ohjelmiston avulla	51
3.10.1	Vaikutus.....	51
3.10.2	Ongelman määrittely	51
3.10.3	Ratkaisu	52
3.10.4	Konseptointi	52
3.10.5	Mallin tiedot.....	52

3.10.6 Mallin rakentaminen	52
3.10.7 Mallin soveltaminen	53
3.10.8 Tulosten esittäminen.....	53
3.10.9 Elinkaari	53
3.10.10 Johtopäätökset	53
3.11 Virtausten hallinta voimalaitoksella Aproksen avulla.....	54
3.11.1 Vaikutus	54
3.11.2 Ongelman määrittely	54
3.11.3 Ratkaisu	55
3.11.4 Konseptointi	55
3.11.5 Mallin tiedot	55
3.11.6 Mallin rakentaminen	56
3.11.7 Mallin soveltaminen	56
3.11.8 Tulosten esittäminen.....	56
3.11.9 Elinkaari	56
3.11.10 Johtopäätökset	57
3.12 Nesteen imeytyminen paperiin.....	57
3.12.1 Vaikutus	57
3.12.2 Ongelman määrittely	58
3.12.3 Ratkaisu	58
3.12.4 Konseptointi	58
3.12.5 Mallin tiedot	59
3.12.6 Mallin rakentaminen	59
3.12.7 Mallin soveltaminen	60
3.12.8 Tulosten esittäminen.....	60
3.12.9 Elinkaari	60
4 Liiketoimintamahdollisuuksien alustava tarkastelu	61
4.1 Liiketoiminta	61
4.2 SISU8Q – arvio toimivuudesta ja jatkokehitystarpeista	62
5 Päätelmät ja suositukset	63
6 Yhteenveto	64
Lähdeluettelo.....	65

KÄSITTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ

ABS-muovi	Akryylinitriiliibutadieenistyreeni, $(C_8H_8-C_4H_6-C_3H_3N)_x$, eräs kestävä muovilaatu, jota käytetään 3D-pikamallien tulostamisessa
Apros	The Advanced Process Simulation Environment (apros.vtt.fi)
Autocad	Yleiskäyttöinen CAD-ohjelma (usa.autodesk.com)
CAD	Computer-aided design eli tietokoneavusteinen suunnittelu
CADSIMPlus™	Edistynyt dynaaminen prosessisimulaattori (www.aurelsystems.com)
CATIA	Kolmiulotteinen mallinnus- ja suunnitteluohjelmisto (www.dassault.fr)
CFD	Computational Fluid Dynamics, tietokonepohjainen virtausten laskenta
CHEMCAD	Kemiallinen prosessisimulaattori (www.chemstations.net)
Comsol Multiphysics	Comsol Groupin mallinnustuote (www.comsol.com)
DR	Data reconciliation, mittaus- tai muun datan korjausohjelma
ED	Enterprise Dynamics, dynaaminen simulointiohjelmisto tuotanto- ja logististen järjestelmien mallintamiseksi ja analysoimiseksi
Geneerinen	Yleisesti sovellettava
Karikko	Sudenkuoppa tai ongelma, joka nimensä mukaisesti ei ole ilmeinen, joten välttäminen vaatii tilanteen tunnistamista ja oikeita sekä oikea-aikaisia toimia. Kussakin simulointitoiminnan vaiheessa on omat osittain simulointialasta riippuvat karikkonsa.
Malli	Useimmiten joukko tieteellisiä oletuksia, jotka muokataan ja kootaan matemaattiseksi kuvaukseksi tarkasteltavasta asiasta. Paino on usein enemmän mallin tuottamassa hyödyssä: mallinnus on pragmaattisempaa toimintaa kuin teorioiden idealisoidun maailman tarkasteleminen. MASI-teknologiaohjelman määritelmä: Malli on matemaattinen kuvaus jostakin asiasta tai ilmiöstä.
MDR	Measurement Data Reconciliation, ks. DR
RECON	Computer program for Mass and Heat Balancing with Data Reconciliation

Simulointi	<p>Mallin soveltamista toistuvasti johonkin ongelmakenttään eli pyrkimystä jonkin todellisen ilmiön kuvaamiseen tietokoneella tai muulla tavoin</p> <p>MASI-teknologiaohjelman määritelmä: Simulointi on mallin avulla muodostettu kuvaus, jolla tutkitaan tarkasteltavan systeemin toimintaa eri tilanteissa.</p>
SOLVO	Voimalaitosprosessin laskentamalli, jota käytetään jatkuvuustilan prosessiarvojen ja komponenttien ominaisuuksien laskemisessa
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats, vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat. Kaksi ensimmäistä kohtaa ovat toimijan omia ominaisuuksia, kun taas kaksi jälkimmäistä liittyvät enemmän toimijan ympäristöön.
Teoria	Varsin yleisesti voimassa olevaksi uskottu joukko tieteellisiä oletuksia, joiden paikkansapitävyyttä voi testata
Validointi	Mallin tuottamien tulosten kelpoistaminen eli vertaaminen reaali maailmaan. Joskus validointi ja verifointi määritellään myös päinvastoin toistensa suhteen. <i>"Ratkaistaanko oikeita yhtälöitä?"</i>
Verifointi	Mallin toiminnan kelpoistaminen eli vertaaminen alkuperäiseen matemaattiseen kuvaukseen tai muihin vastaaviin malleihin. Joskus validointi ja verifointi määritellään myös päinvastoin toistensa suhteen. <i>"Onko yhtälöt ratkaistu oikein?"</i>

1 Johdanto

Mitä on mallinnus ja simulointi? Mallinnus on jonkin asian tai ilmiön kuvaamista jollakin toisella asialla, mallilla. Pyrkimyksenä ei ole mallintaa kaikkia yksityiskohtia, vaan kuvata tarkasteltavan asian tai ilmiön olennaiset piirteet riittävän täsmällisessä ja käyttökelpoisessa muodossa. Ilmiön tarkastelemista mallin avulla, yleensä tietokonetta käyttäen, lähtötietoja ja parametreja muutellen sekä tuloksia visualisoiden, kutsutaan simuloinniksi.

Yksinkertaisimmillaan simulointi on työkalu, jota käytetään jonkin yksittäisen kysymyksen ratkaisemisessa, esimerkiksi valmistettavan rakenteen lujuusominaisuuksien tarkastelussa. Laajemmin ymmärrettynä se voi olla kokonaisvaltainen innovaatioprosessiin liittyvän tiedon hallinnan ja edistämisen väline, jota käytetään tuotteen suunnittelussa, markkinoinnissa, käyttöönotossa ja ylläpidossa. Tällaiseen päädytään usein vaiheittain: innovaatioketjun alkuvaiheessa käytetään ehkä vain kertamallinnuksia ja vähitellen mallinnuksesta tulee kiinteä osa tuotteen tai prosessin elinkaarta.

Simuloinnin oletetaan tulevaisuudessa tulevan mukaan yhä useammille elämän alueille. Simulointimenetelmien ja tietokoneiden kehitys mahdollistaa yhä laajempien kokonaisuuksien simuloinnin ilman kallista erikoislaitteita (esim. Klemola & Turunen 2001). Simulointitoiminnan ympärille oletetaan tulevaisuudessa syntyvän liiketoimintaa, jota ei vielä tänä päivänä ole olemassa.

SISU-hankkeen tavoitteena on uusimpien simulointimenetelmien aiempaa laajempi hyödyntäminen suomalaisessa yhteiskunnassa suunnittelu- ja kehitystoiminnan tukena. Hankkeessa tehdään työtä toimintatapojen kehittämiseksi pyrkien parantamaan mallinnus- ja simulointityökalujen käyttötapoja ja simulointitoiminnan käytäntöjä. Hanke toteutetaan esimerkkitapausten avulla, joissa tehdään käytännön mallinnus-, simulointi- ja suunnittelutyötä tiiviissä yhteistyössä hankkeen eri osapuolten kanssa. Kunkin esimerkin kokemuksista ja niissä opituista asioista pyritään löytämään eri esimerkeille yhteisiä löytöjä ja tuloksia. Näitä yhdistämällä syntyy projektin varsinainen tulos, joka tiivistetään SISUQ8-menetelmään.

Raportissa kuvataan SISUQ8-toimintatapa, esimerkkitapaukset SISUQ8:n mukaisesti jäsenneltyä sekä listataan johtopäätöksiä ja suosituksia. Edellisen raportin (Olin ym. 2007) SWOT-analyysin tulokset on koottu listaksi karikoista ja hyödyistä simulointitoiminnan eri vaiheista. SISUQ8-menetelmän tarkoituksena on auttaa välttämään karikat ja toisaalta saavuttamaan mahdollisimman monipuoliset hyödyt.

2 SISUQ8

Simuloinnin toimijoilla on erilaiset taustatiedot, odotukset ja tavoitteet, mistä seuraa potentiaalisia karikoita simulointitoiminnalle. Monet karikat johtuvat kommunikoinnin puutteesta osapuolten välillä. SISUQ8 on simuloinnin metodologia, jonka tarkoituksena on auttaa hahmottamaan simulointihanketta kokonaisuutena ja edistämään keskustelua ja yhteisen kielen luomista eri toimijoiden välillä.

2.1 Johdanto

SISU:ssa pidettiin syksyllä 2007 kaksi aivoriihettä:

1. valmistavan teollisuuden ja logistiikan aivoriihi Helsingissä ja
2. prosessiteollisuuden aivoriihi VTT:ssä Espoon Otaniemessä.

Aivoriihien ohjelma oli samankaltainen: Simulointityökalujen toimittajat (SW-Development, Rand, Comsol) kertoivat tuotteistaan ja palveluistaan, minkä jälkeen käytiin keskustelua työkaluista ja toimintatavoista. Iltapäivällä tehtiin yhteenveto päivän tuloksista. Molemmissa aivoriihissä keskustelu oli vilkasta ja monia tärkeitä näkökohtia tuotiin esiin. Tulosten perusteella päätettiin käynnistää ”johtoryhmän projekti”, Hyödyn elementit ja käyttöönoton prosessit. Projektin tavoitteena on

1. simuloinnin hyödyn elementtien selvittäminen
2. käyttöönoton prosessien kehittäminen eli SISUQ8-metodologian kehittäminen.

Projekti koostuu vastaavasti seuraavista tehtävistä:

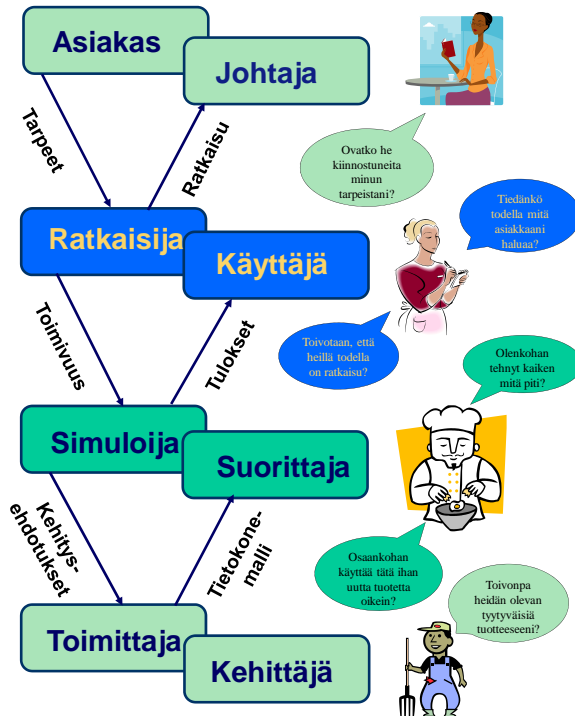
1. prosessikuvauksen laatiminen ja SISUQ8-prototyypin kehittäminen
2. yrityskäynnit ja muu toiminta hyödyn elementtien selvittämiseksi ja SISUQ8:n testaamiseksi
3. esimerkkien läpikäynti ja johtopäätökset sekä SISUQ8:n muokkaus niiden pohjalta

Projektin tuloksena syntyy toimintapa nimeltä SISUQ8.

2.2 Simulointitoiminnan roolit

Jotta simulointitoiminnan monimutkaisesta ja laajasta kentästä voidaan kunnolla keskustella, tarvitaan joidenkin käsitteiden määrittelyä. Yksi määrittelyä vaativa asia ovat roolit simuloinnissa. Käytämme tässä raportissa kuvan 1 termistöä, joka voi osin poiketa edellisen raporttimme (Olin ym. 2007a) termeistä. Kuvassa on havainnollistettu simulointitoiminnan eri toimijat ja niiden roolit. Jokaisella toimijalla on kuvassa kaksi roolia, jotka riippuvat vuorovaikutuksen suunnasta. Kuvassa on esitetty vain lähimpien toimijoiden vuorovaikutussuhteet.

Jotta simulointitoiminnan ympärille voi syntyä kannattavaa liiketoimintaa, pitää kuvan mukainen arvoketju simulointityökalujen kehittäjiltä lopullisille maksajalle saada toimivaksi. Kunkin toimijan tulee tietää paikkansa ketjussa, osata toimia sen mukaisesti ja kommunikoida ketjun muiden osien kanssa. Koska eri toimijoilla on erilainen tausta, koulutus, tavoitteet ja kieli, toimijoiden väliseen kommunikointiin tulee kiinnittää erityisen paljon huomiota. Kommunikointiin ja muihin simuloinnin osatekijöihin liittyviä karikoita on käsitelty seuraavassa luvussa.



Kuva 1. Hahmotelma simulointimallien kehittäjän, suorittajan, käyttäjän ja johdon välisistä suhteista – tilaaja–tuottaja-malli, jossa käyttäjä tilaa suorittajalta, joka puolestaan tilaa kehittäjältä. Todellinen tilanne on yleensä tätä yksinkertaistettua esitystä mutkikkaampi. Useamman tason toimintaa voi myös tapahtua saman organisaation sisällä.

2.3 Hyödyt ja karikot

Varsinainen sovellettavaksi valittu malli on kaikille osapuolille yhteinen, mutta kunkin osapuolen prosessi ja liityntäpinnat muihin toimijoihin erilaiset. Myös malliin kohdistuva kiinnostus on erilainen: näkökulmana voi olla hyöty, tulokset, käyttö tai kehitys. Lisäksi mallin ympärillä on osaaamistaustaltaan erilaisia toimijoita, jotka tuottavat toisilleen erilaista asiakasarvoa.

Simulointia voisi kuvata prosessina siinä kuin mitä muuta prosessia tahansa (kertaluontoiset simuloinnit eivät täysin sovi tähän tarkasteluun): Tärkeintä on prosessin moitteeton toiminta siten, että se tuottaa halutun tuloksen (asiakasarvon) mahdollisimman pienillä investointi- ja käyttökuluilla. Häiriöt (karikot) ovat vähäisiä, ja ne kyetään hoitamaan. Lisäksi prosessin (eri elinkaaren vaiheissa) tuottamat haitat ympäristölle ja ihmisille tulee rajata vähintään lainsäädännön vaatimiin puitteisiin. Simulointi on moneen muuhun prosessitoimintaan verrattuna turvallista, koska ympäristö- ja terveyshaitat ovat yleensä vähäisiä. Karikolle joutumisen seurauksena syntyvät tuotteen virheet sen sijaan voivat aiheuttaa mittavia talous-, ympäristö- ja terveyshaittoja. Lienee aiheellista myös erottaa toisistaan vain prosessia haittaavat karikot sellaisista, jotka aiheuttavat tuhoa lopputuotteessa.

Simulointitoiminnan vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia listattiin aiemmin tehdyssä SWOT-analyysissä eri roolien toimijoiden näkökulmasta (Olin ym. 2007a). Havaittuja hyötyjä ovat mm.

- muutoin saavuttamattomat tulokset
- muita menetelmiä nopeammat ja edullisemmat tulokset
- tulosten toistettavuus ja mallien monistettavuus
- mahdollisuus tutkia kaikissa sen tiloissa riskittömästi
- tulosten visualisointi ja havainnollisuus
- optimaalisen muodon tai toimintatavan löytäminen
- fyysisen prototyypin korvaaminen virtuaaliprototyypillä
- olemassa olevien mallien tehokas käyttö ja yhdistämismahdollisuus tulevaisuudessa laskentatehon kasvun myötä
- mallinnusprosessiin osallistuvien oppiminen mallinnuskohteen riippuvaisuuksista ja vuorovaikutuksista
- mallien käyttö tiedon tallentamisessa, koulutuksessa ja osaamisen siirrossa
- tulosten parempi luotettavuus, kun simulointia tehdään kokeellisten menetelmien rinnalla.

Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto SWOT-analyysissä havaituista heikkouksista ja uhista sekä listattu simulointiprosessiin, malliin ja ihmisiin liittyviä karikoita (Ulgen ym.1996).

Taulukko 1. Simulointitoiminnan vahvuuksia ja uhkia sekä prosessiin, malliin ja ihmisiin liittyviä karikoita.

Heikkouksia ja uhkia	Prosessiin liittyviä karikoita
<ul style="list-style-type: none"> • Mallien ja tulosten huono läpinäkyvyys • Ohjelmistojen kehittämisen, hankinnan ja ylläpidon kalleus sekä siitä seuraava lisenssimaksujen nopea nousu • Soveltajien ja hyödyntäjien kiinnostuksen katoaminen • Mallien piilevät virheet ja niiden poiston työläys • Mallinnuksen virheellisten tulosten seuraamusten laajuus • Resurssien hukkaaminen oman toiminnan kannalta epäolennaiseen • Runsas tarve erikoisosaamiseen • Usein raskas validointi • Vaikea tehdä hyvää ja yleispätevää samalla kertaa • Vaikeus valita monien mahdollisuuksien joukosta • Soveltamisen vaatiman parametridataa vähyy 	<ul style="list-style-type: none"> • Epäselvät päämäärät • Asiakkaan informoinnin laiminlyöminen • Vertailuperustan puuttuminen • Epärealistiset odotukset • Lähtötietojen epävarmuus • Raportoinnin ja dokumentoinnin puutteet • Vähäinen vuorovaikutus asiakkaan kanssa • Projektin menestyksen puutteellinen myynti • Usein tapahtuvat muutokset rajauksissa (myös muut muutokset) • Liika luottamus simuloinnin tuloksiin • Projektin riittämätön arviointi sen ollessa käynnissä • Ajan kuluttaminen malliin eikä ongelmaan • Hankkeen jatkaminen liian pitkään
Malliin liittyviä karikoita	Ihmisiin liittyviä karikoita
<ul style="list-style-type: none"> • Mallin olettamuksien pätevyys • Aloitus liian monimutkaisella mallilla • Näkemys mallin toteutustavasta kadotetaan • Mallin niukka käyttö ongelman ratkaisuun • Ei ymmärretä mallin rajoja 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiimityön puuttuminen • Avainpäättökentekijät eivät mukana projektissa • Asiakasta ei tunneta eikä kuunnella • Tarjotaan asiakkaalle vain muutamaa ratkaisuvaihtoehtoa • Pelätään puolustaa tarvittavia muutoksia • Ei tunneta yhteistä tavoitetta

2.4 SISUQ8-metodologia

SISUQ8-metodologian taustana on ajatus simuloinnin dynaamisesta tuesta, jossa otetaan huomioon (usein varsin uusien) työkalujen käyttö monenlaisiin ja jopa projektin aikanaikin muuttuviin tarpeisiin. Kukin simulointitilanne sisältää suuren joukon yhteyksiä simuloinnin toimijoiden välillä, jolloin avautuu myös mahdollisuuksia ja siten tarvetta tehdä erilaisia va-

lintoja ja rajauksia on runsaasti. Tilanne alkaa muistuttaa yhä enemmän vaativaa strategiapeliä, jossa oikeita valintoja tehneet menestyvät ja väärin valinneet eivät saavuta tavoitteitaan. Hyvän esimerkin tilanteesta saa tutustumalla johonkin nykyaikaiseen simulointiohjelmaan, joka tarjoaa monenlaisia mahdollisuuksia, mutta harvoin kovin selkeää tukea siihen, miten kussakin tilanteessa pitäisi menestyksellisesti toimia. Ohjelman laatijakaan ei osaa aina edes kuvitella, mihin kaikkeen hänen ohjelmaansa käytetään: tavallisella taulukkolaskentaohjelmalla on tehty todella monimutkaisia sovelluksia ja malleja.

Simulointia vastaavien monimutkaisten systeemien tai toimintojen mallinnusta tehdään paljon erilaisissa tiedeyhteisöissä. On osoittautunut hyödylliseksi pohtia esimerkiksi, mitä simuloinnin suorittajan oma tilanne (koulutus, kokemus, aiemmat työt, aivan viimeksi tehdyt työt) vaikuttaa simuloidun tekemisiin valintoihin.

Mikään metodologia ei tuota täydellistä tulosta, mutta SISUQ8-metodologian uskotaan auttavan kokonaisuuden hahmottamisessa, uusien mahdollisuuksien näkemisessä ja lopulta pahimpien karikoiden välttämisessä. Tässä vaiheessa SISUQ8 on prototyyppiasteella, mutta hyviä kokemuksia sen käytöstä on jo saatu.

2.4.1 Matriisirakenne

SISUQ8-menetelmä koostuu kahdeksasta simulointitoiminnan vaiheesta, joissa on esitetty kyseistä vaihetta ja sen tilaa kuvaavia kysymyksiä. Kysymykset on laadittu ajatuksia herättäviksi ja jopa provokatiivisiksi, koska tavoitteena on päästä hiukan etäämmälle simulointitoiminnan arjesta ja uusien ratkaisujen löytämistä rajoittavista vanhoista yhteyksistä (koulutustausta, aiemmat työt, tulevaisuuden suunnitelmat, jne.).

Menetelmä on laadittu ongelmanratkaisun muotoon, vaikka se ei siihen rajoitukaan. Usein toiminnalla on jokin selvä päätavoite, jonka tulisi olla mahdollisimman selkeästi kaikkien toimijoiden tiedossa. Päätavoitteen tiedostaminen helpottaa mm. tulosten esittämistä asiakkaalle ymmärrettävässä ja hyödynnettävässä muodossa. Usein mallin tekijä ei tiedä toiminnan päätavoitetta. Tällöin hänen mahdollisuutensa hakea uusia ratkaisumahdollisuuksia mallin avulla on rajoittunut. Mallintajan olisi myös hyvä tietää, onko päätavoite tietoisesti salattu vai tulisiko hänen selvittää se ennen työn aloitusta.

Koko toimintaa ohjataan perustavaa laatua olevalla nollatason kysymyksellä, joka voidaan muotoilla monella tavalla:

- Jos ongelma ratkeaa, mitä hyötyä siitä on tilaavan yrityksen liiketoiminnalle?
- Mihin tätä työtä tarvitaan?
- Miksi ratkaistaan juuri tätä ongelmaa?
- Mikä on juuri nyt suunnitellun simulointityön vaikutus?

Tavoitteena on liittää toiminta oikeaan yhteyteen hiukan avarammin kuin tavallisessa arkipäivän työssä. Nollatason kysymys voidaan tulkita myös hankkeen visiona: mitä kaikkea voidaan saada aikaan? Ongelma ei tässä yhteydessä tarkoita pelkästään joukkoa vaikeuksia, vaan asiaa, jolle halutaan tehdä jotain.

Yhteenvedo menetelmän vaiheista on esitetty taulukossa 2. Vaiheita on kuvattu usealla tavalla, jotta vaiheen soveltuvuus erilaiseen ongelmanratkaisuun tai jonkin asian kehittämiseen kävisi paremmin ilmi.

Taulukko 2. Menetelmän vaiheet eli tarvittavat toimet ongelman ratkaisemiseksi. Näitä tavallisesti toistetaan iteratiivisesti.

	Vaiheet	Vaiheen lyhyt kuvaus
0	Vaikutus	Visio. Miten alla tarkemmin kuvatun ongelman ratkaisu auttaa liiketoiminnassa?
1	Ongelman määrittely	Strateginen tavoite. Ongelman määrittely.
2	Ratkaisu	Toiminnan tai ratkaisun suunnittelu, taktiikka. Projektisuunnitelma mallin laadintaan.
3	Konseptointi	Perusvalinnat valitulle taktiikalle. Laadittavan mallin sanallinen kuvaus.
4	Mallin tiedot	Tarvikkeet konseptin toteuttamiseksi. Mallin rajoitukset, tarvittava data, tulosteiden alustava suunnittelu jne.
5	Mallien rakentaminen	Konseptin mukaisen mallin käytännön laatiminen toimimaan kohdan 4 tarvikkeilla. Mallin rakentaminen, vertailut ja kelpoistus.
6	Mallien soveltaminen	Varsinainen toiminta ongelman ratkaisemiseksi kohdan 5 mallia soveltaen tai joissain tapauksessa palaaminen edellisiin kohtiin. Mallin soveltaminen kohdissa 1–3 kuvatun ongelman ratkaisemiseksi, simuloinnit.
7	Tulosten esittäminen	Tulosten esittäminen sidosryhmien ymmärtämässä muodossa. Ratkaisun (tulosten) dokumentointi ja esittäminen.
8	Elinkaari	Tarvitaanko mallia jatkossa? Mallin ylläpito ja kehittäminen jatkossa.

Jokaisessa menetelmän vaiheessa esitetään neljäntyyppisiä kyseistä vaihetta koskevia lisäkysymyksiä. Kysymykset koskevat

- vaiheen määrittelyä
- vaiheen toteutustapaa
- vaiheen edistymistä ja
- edellisten kohtien toimivuutta.

Kysymykset on listattu taulukkoon 3. Nämä kysymykset yhdessä kahdeksan vaiheen kanssa muodostavat $8 * 4$ -matriisirakenteen.

Taulukko 3. Kysymysavaruus SISUQ8:ssa.

Miksi? Mitä? Milloin?	Miten?	Missä mennään?	Kuinka toimii?
<ul style="list-style-type: none"> • Mitä oikeastaan ollaan tekemässä? Miksi juuri sitä? • Mikä on kyseisen vaiheen tarkoitus tai tekemisen syy juuri tässä mallinnuksessa? • Vaiheessa tehtävän työn sisältö ja aikataulu? 	<ul style="list-style-type: none"> • Miten aiotaan toimia? • Miten vaiheen sisältö toteutetaan konkreettisesti? • Millainen rakenne tai toiminta vaaditaan vaiheen toteuttamiseksi? 	<ul style="list-style-type: none"> • Mikä on toiminnan vaihe verrattuna suunnitelmiin ja/tai muuhun aikatauluukseen? • Kuinka valmis tai keskeneräinen vaihe on asetettujen vaatimusten suhteen? • Mikä on vaiheen tila: alussa/ kesken/ valmis / jotain muuta? 	<ul style="list-style-type: none"> • Kuinka vaihe toimii verrattuna tavoitteisiin? • Mikä on vaiheen vaikutus hankkeen lopputulokseen saavuttamisen? • Mikä on vaiheen toimivuus? Auttaako se saamaan aikaan halutun vaikutuksen? • Toimivatko ehdotetut rakenteet ja toiminta toivotulla tavalla?

Eri vaiheissa vuorovaikutus simuloinnin toimijoiden (tässä erityisesti simuloijan ja tulosten käyttäjän) välillä vaihtelee. Tätä on esitetty kuvassa 2.

Metodologian alkuvaiheissa ollaan lähellä käyttäjää, siis tulosten hyödyntäjää. Varsinaisessa mallinnuksessa vaiheissa 4 ja 5 toiminta on pääosin lähellä simuloijaa, mistä vähitellen mallia soveltamalla ja tulosten esittämistä hiomalla päädytään jälleen käyttäjän alueelle.

SISUQ8 on implementoitu ExcelTM-pohjalle tavalla, jota kuvataan luvussa 2.4.3



Kuva 2. Simuloinnin vaiheet ja vuorovaikutukset.

2.4.2 Esimerkki

Esimerkkitapauksena käsitellään kymmenkunta vuotta sitten ydinjätetutkimuksessa ajankohtaista aihetta, anioniekskluusion vaikutusta diffuusion kivessä (Olin ym. 1997). Työtä ei tietenkään tehty SISUQ8-ohjauksessa, mutta valmiin työn tarkastelu SISUQ8-viitekehityksessä auttaa ymmärtämään, mistä on kyse.

Tavoitteena oli etsiä syyt, joiden takia negatiivisesti varattujen ionien eli anionien diffuusio kiven vedellä täyttämässä hiukkasissa riippuu suolapitoisuudesta ja näyttää yleensä alenevan suolapitoisuuden kasvaessa.

Mallin laadinnan vaiheet on koottu taulukkoon 4, josta käy ilmi, millaisia asioita kussakin vaiheessa tyypillisesti käsitellään. Kuten kohdasta 8 käy ilmi, mallin kehitys jatkuu edelleen, vaikka mallia laadittaessa ei ollut tietoa sen elinkaaresta vaan malli tehtiin tavallaan kertakäyttöä varten. Ensimmäisen malliversioon laadintaan kuului noin kuusi henkilötyökuukautta.

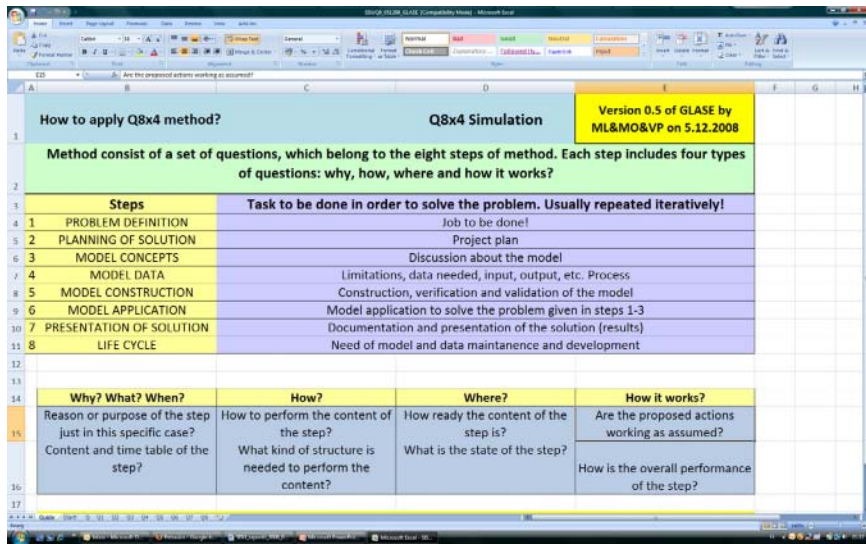
Taulukko 4. Esimerkki siitä, miten SISUQ8-menetelmää olisi voinut käyttää vuosina 1996–97.

	Vaiheet	Tarvittavat toimet ongelman ratkaisemiseksi
0	Vaikutus	Ymmärrystä diffuusiosta kivimatriisissa tarvitaan ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusanalyysin tekemiseen ja luottamuksen lisäämiseen.
1	Ongelman määrittely	Antaa uskottava tieteellinen selitys kokeellisesti havaitulle anionien diffuusiokäyttäytymiselle ja auttaa ennustamaan sitä.
2	Ratkaisu	Aihetta päätettiin lähestyä mallintamalla ja sovittamalla saatua mallia kokeelliseen dataan, jota oli osittain valmiina ja josta osa tuotettiin vasta ensimmäisten malliversioiden jälkeen.
3	Konseptointi	Malli perustui siihen, että mineraalipinnat saavat vesiliuoksissa pintareaktioiden myötä negatiivisen varauksen, joka aiheuttaa anioneille sähköstaattisen repulsion, jolloin niiden pitoisuus alenee suhteellisesti (verrattuna neutraaleihin ja kationeihin) huokosissa.
4	Mallin tiedot	Mallin sovittamista varten oli olemassa kokeellista dataa, ja tarvittavia pintareaktioita varten oli käytössä muissa kokeissa sovitettut kirjallisuusvakiot.
5	Mallin rakentaminen	Malli päätettiin rakentaa yksiuolotteisena, koska työ oli vasta alkuvaiheessa ja lisäksi sopivia työkaluja useamman ulottuvuuden ratkaisuun oli niukasti saatavilla. Analyttinen ratkaisu ongelmalle saatiin vain suolaisessa vedessä, joten mallista jouduttiin tekemään myös numeerinen versio, joka verifioitiin kehitetyllä analyttisellä ratkaisulla niiden kummankin yhteisellä pätevyysalueella.
6	Mallin soveltaminen	Malli kykeni antamaan vähintäänkin laadullisesti riittävän hyvän selityksen ilmiölle, joten sitä pyrittiin soveltamaan todelliseen kokeelliseen dataan, jolloin havaittiin, että ilmiö ei yksinään aina riittänyt selittämään havaintoja.
7	Tulosten esittäminen	Avaintulokset esitettiin pääosin kuvina ja osittain kaavoina. Vertailu kokeellisiin tuloksiin esitettiin taulukoina. Tuloksia esiteltiin kansainvälisesti muun muassa Oxfordissa pidetyssä NEAn Sorptio Forumin kokouksessa ja niistä oltiin myös kiinnostuneita.
8	Elinkaari	Malli osoittautui tarpeelliseksi, ja sitä tukemaan tuotettiin myöhemmin uutta kokeellista dataa. Mallia on myös laajennettu savimineraaleihin ja sitä on kehitetty edelleen monin tavoin. Tutkittua ilmiömaailmaa ei vielä kukaan täysin ymmärretä.

2.4.3 Excel-sovellus

SISUQ8:n Excel-implementointi koostuu kymmenestä välilehdestä, joista yksi sisältää ohjeet, yksi vastaa nolla-tason kysymykseen ja muissa käsitellään vaiheita 1–8. Ohjesivusta on esimerkki kuvassa 3, jossa oikeassa

yläkulmassa on viittaus tekeillä olevan työn versioon, sen akronyymiin, tekijöiden nimen alkukirjaimiin ja päivämäärän. Sama viittaus on kaikilla metodologian sivuilla, ja viittauksen sisältöä voi muokata välilehdellä Q, jossa käsitellään nollatta kysymystä. Käytössä oleva versio on vielä prototyyppi, jota kehitetään edelleen projektin puitteissa, joten sen värimaailma ja visuaalinen ilme tulevat kehittymään kuten myös sisäiset viittaukset ja eteneminen sivulta toiselle. Myös vaihtoehtoa Excelille SISUQ8:n implementointityökaluna etsitään.



Q8x4 Simulation											
Problem briefly:	Sähkökenttien laskenta puhdistuslaitteen mitoitusta varten										
Short name:	Testi										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Organisations</th> <th>Persons (acronyms)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Genano</td> <td>tj</td> </tr> <tr> <td>Genano</td> <td>Juha Santasalo (JS)</td> </tr> <tr> <td>VTT</td> <td>Markus Olin (MO)</td> </tr> <tr> <td>COMSOL</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Organisations	Persons (acronyms)	Genano	tj	Genano	Juha Santasalo (JS)	VTT	Markus Olin (MO)	COMSOL	-
Organisations	Persons (acronyms)										
Genano	tj										
Genano	Juha Santasalo (JS)										
VTT	Markus Olin (MO)										
COMSOL	-										
How the solution of this problem will help in business?											
Genano Oy:n liiketoiminnan kannalta olennaista olisi laitteen koon pienentäminen, jolloin sen sijoittelu kohteeseen olisi helpompaa ja valmistuskustannukset voisivat olla pienempiä. Genano Oy:n kannalta on lisäksi olennaista se, että laskennan tulokset olisivat myöhemmin, vähällä lisätyöllä, uudelleen käytettävissä.											
Next WorkSheet Q by clicking here!											
Version control											
Version number	Date	Who?	Where?	State?	What's new?						
1.0	18.9.2008	MO&JS		Valmis							
Present version	Version 1 of Testi by MO&JS on 18.9.2008 1 18.9.2008 MO&JS Move the pointers!										

Kuva 3. SISUQ8:n ohjesivu ja nollatason sivu, jossa kuvataan toiminnan vaikutusta ja kerrotaan toimijoista.

3 Esimerkkitapaukset

Luvussa kuvataan 12 esimerkkitapausta SISUQ8-menetelmän mukaisesti ongelmanratkaisun muotoon jäsennehtyinä. Käytännön tavoite esimerkkitapauksissa on ollut jonkin menetelmän soveltaminen tai tuoteaihion rakentaminen tiettyyn aihepiiriin. Erityisen mielenkiinnon kohteena on se, kuinka hyvin tehty simulointityö saadaan tukemaan yritysosaapuolten kanssa etukäteen sovittuja tavoitteita, kuinka tutkimus- ja yritysosaapuolten kommunikointi saadaan toimimaan sekä simuloinnin merkityksen arviointi osallistuvan yrityksen liiketoiminnassa. Pituudeltaan kuvaukset ovat erimittaisia, koska esimerkit ovat menossa eri vaiheissa. Osa on jo päättynyt, ja osa on vasta aloitettu. Myös käytettyjen menetelmien kuvauksissa on eroa, koska joidenkin tunnettuus on parempi kuin toisten.

Esimerkkitapaukset ovat SISU-projektissa tehtyjä yhden tutkimusosaapuolen ja jonkin yrityksen välisiä toimeksiantoja, joiden tulokset ovat luotamuksellisia, mutta käytetyt toimintatavat ja niistä saadut kokemukset julkisia. Esimerkkitapaukset, niiden tutkimus- ja yritysosaapuolek sekä niiden tilanne raportin kirjoitushetkellä on listattu taulukoon 5.

Taulukko 5. SISUn esimerkkitapaukset, niiden osapuolek ja tilanne raportin kirjoitushetkellä.

Esimerkkitapaus	Osapuolek	Tilanne
3D-mallin tehokkaampi hyödyntämistapa simuloinnissa ja suunnittelussa	EVTEK ja Watrec	Kesken
Prosessidatan oikeellisuus	EVTEK ja Fortum	Kesken
Käyttäytyvä PI-kaavio	EVTEK ja Pöyry	Kesken
Biodieselprosessin suunnittelu	EVTEK, Limetti ja Preseco	Kesken
Integroidun 3D-simuloinnin ja taseentäsmäys-simulointituotteiden kehittäminen	EVTEK, HJA Engineering ja Rintekno	Kesken
3D-suunnittelumenetelmien kehitys	Stadia ja Etteplan	Valmis
Visualisointi myynnin tukena	Stadia ja Kardex	Kesken
Virtuaaliprototyypin käyttö kuljetuskaluston tuotekehityksessä ja simuloinnissa	Stadia ja Sandman-Nupnau	Valmis
Konseptisuunnittelumenetelmien kehittäminen	Stadia ja Sweco Industry	Valmis
Sähkökentän mitoitus Comsol Multiphysics -ohjelmiston avulla	VTT ja Genano	Valmis
Virtausten hallinta voimalaitoksella Aproksen avulla	VTT ja Fortum	Valmis
Nesteen imeytyminen paperiin	Metropolia, Jyväskylän yliopisto ja Metsä-Botnia	Kesken

3.1 3D-mallin tehokkaampi hyödyntämistapa simuloinnissa ja suunnittelussa

Pk-teollisuudessa sekoitusreaktoreiden suunnittelu tapahtuu tällä hetkellä kokeellisesti. Nykyaikaisia simulointi- ja suunnittelumenetelmiä, kuten virtausteknistä laskentaa eli CFD:tä, kokeellisia lasermittaukseen ja langattomaan anturitekniikkaan perustuvia virtausmittauksia tai digitaalisiin prototyyppeihin perustuvaa suunnittelua, ei toistaiseksi käytetä. Näiden menetelmien integroidulla käytöllä voitaisiin tehostaa reaktoreiden suunnittelua, käyttöä ja tuotteiden markkinointia.

Esimerkkitapauksen tavoitteena on rakentaa tuoteaihio, jossa 3D-mallia käytetään sekä fyysisen prototyypin valmistuksessa että CFD-laskennan lähtötietona. Esimerkin teollisuusosapuoli on Watrec.

3.1.1 Vaikutus

Liiketoiminnan kannattavuus paranee asiakasyrityksissä, kun kalliit käyttöhäiriöt vähenevät ja prosessi tehostuu. Järjestelmämyyjä voi puolestaan käyttää systeemistä tehtyä animaatiota myynnin tukena ja saada näin mahdollisesti enemmän järjestelmiä myydyksi. Integroitua menetelmää voidaan myydä pelkkänä simulointiliiketoimintana esimerkiksi Metropolian palvelutoiminnassa.

3.1.2 Ongelman määrittely

Esimerkkitapauksen ratkaistava ongelma on akselin katkeaminen biokaasureaktorissa. Akseli ja sekoitettava neste joutuvat jo alhaisilla kierrosnopeuksilla jatkuvaan värähtelyliikkeeseen, minkä seurauksena akseli ajan mittaan katkeaa.

3.1.3 Ratkaisu

Ratkaisua ongelmiin etsitään reaktorin virtauskentän simuloinnilla ja mallikokeilla, akselin lujuus- ja värähtelysimuloinnilla sekä eri simulointien ja mallikokeiden yhdistämisellä.

Sekoitettavaan nesteeseen liittyviä kysymyksiä ovat esimerkiksi minimikierrosnopeus, joka estää suspension kerrostumisen pohjalle, partikkelien radat ja viipymääjat, päävirtausten suunnat ja suuruudet jne. Ongelman ratkaisua tutkitaan integroidun menetelmän avulla, jossa 3D-mallia

käytetään sekä fyysisen prototyypin valmistukseen että CFD-laskennan geometriatietona.

3.1.4 Konseptointi

Työssä käytettyjä malleja ovat

- 1) CAD-malli
- 2) CFD-malli
- 3) pienoismalli sekoittimesta
- 4) värähtelymalli
- 5) yhdistelmämalli
- 6) animaatio.

Nesteen dynaaminen värähtely on jätetty pois, koska siihen ei ole löydetty sopivaa mallia. Prosessin reaktioiden vaikutus on myös jätetty pois mallista, koska reaktiot eivät todennäköisesti vaikuta tutkittavaan ilmiöön. Malliin on sisällytetty dynaaminen virtauskenttä, akselin värähtely ja pienoismallikokeet.

3.1.5 Mallin tiedot

Mallin lähtötietoina on käytetty biokaasulaitoksesta saatuja dimensio- ja pyörimisnopeustietoja.

3.1.6 Mallin rakentaminen

Käytettyjä työkaluohjelmistoja ovat

- 1) Catia, Solidworks
- 2) Fluent, Gambit
- 3) Catia
- 4) Solidworks
- 5) Solidworks, Mixsim
- 6) Solidworks, Fluent.

Simulointi tehdään dynaamisella Sliding Mesh -simulointimenetelmällä, koska staattinen simulointi eikä myöskään pseudostaattinen (MFR) menetelmä antanut luotettavia tuloksia. Värähtelyanalyysi tehdään Solidworksin värähtelysimulointiohjelmalla.

Virtauskenttää simuloitiin Sliding Mesh -analyysimenetelmällä käyttämällä viskositeettimalleina muun muassa Non-Newtonian Power Law- ja k-epsilon-RNG-malleja. Geometriamallit tehtiin Catialla ja Gambitilla (Mixsim) ja värähtelymallit Solidworksillä. Pienoismallit valmistettiin pikamallikoneella (3D-tulostimella). Simuloinnit validoitiin erikokoisilla laboratorioreaktoreilla, joissa mittauksia tehtiin lasermittauksilla ja ad hoc -menetelmillä.

Eri menetelmien integroidussa käytössä painopiste on tällä hetkellä simuloinnissa. Lopulliset simulointiajot suoritetaan, kun viskositeettimallin (Non-Newtonian Power Law) parametrit saadaan määritettyä. Pilot-kokeiden tulosten skaalauksessa on vielä ratkaisemattomia ongelmia. Käytetyn lasermittauksen (PIV) soveltuvuus suspensioihin (Non-Newtonian) ei myöskään ole ongelmatonta.

3.1.7 Mallin soveltaminen

Kehitettyä mallia voidaan käyttää pk-yrityksille suunnatussa palveluliiketoiminnassa.

3.1.8 Tulosten esittäminen

Mallin lopullinen dokumentointi on vielä kesken. Dokumentointiin sisällytetään ohjelmadokumentit ja käyttöohjeet esimerkkeineen. Menetelmä tullaan esittelemään myös julkaisuissa.

3.1.9 Elinkaari

Laitteistoja ja ohjelmistoja tulee ylläpitämään Metropolia Ammattikorkeakoulu.

3.1.10 Yhteenveto

Projektin tässä vaiheessa epänewtonmainen viskositeettimalli (Power Law) on saatu määritettyä ja mallia on käytetty biokaasureaktorin simuloinnissa. Akselin värähtelysimuloinnit on myös tehty. Lisäksi on suoritettu Scale-up-kokeita erikokoisilla laboratorioreaktoreilla.

Projektin jäljellä olevana aikana tavoitteena on tutkia tulosten validointia langattoman anturitekniikan (RFiD) avulla. Validoinnissa on tarkoitus

mitata teollisuusmittakaavaisessa biokaasureaktorissa sekoitusteho, virtauskenttä, viipymäaika ja jos mahdollista myös akselin värähtely.

Uusien mittaustekniikoiden avulla CFD:n käyttö vaikeissa epänewtonmaisissa sekoitusolosuhteissa on ehkä mahdollista saada luotettavammaksi, nopeammaksi ja nykyistä halvemmaksi.

3.2 Prosessidatan oikeellisuus

Tuotantoprosesseja voidaan tehostaa käyttämällä mittaustietojen laskennassa nykyaikaisia laskentatyökaluja, joiden avulla voidaan lisätä simuloinnin ja säädön tarkkuutta sekä diagnostisoida ja korjata mahdolliset virheet mitauksissa, ennen kuin ne ehtivät aiheuttaa vahinkoa tuotannossa.

Prosessimittauksissa on todennäköisesti esimerkiksi käytön ja kuluminen tai jonkin muun syyn aiheuttamaa epätarkkuutta. Tämä heikentää esimerkiksi säädön laatua.

Esimerkitapauksen tavoitteena on kehittää tuoteaihio prosessimittausvirheiden havaitsemiseen. Esimerkin teollisuusosapuoli on Fortum.

3.2.1 Vaikutus

DR-laskennan (Data Reconciliation) avulla voidaan tarkentaa mittauksia ja havaita mahdollisia systemaattisia mittaussvirheitä. Sen avulla voidaan säätää myös kunnossapitokustannuksissa esimerkiksi vähentämällä tarpeettomia kalibrointeja. DR voi olla myös ennakoivan kunnossapidon työkalu, jonka ansiosta vikatilanteet voidaan paikallistaa nopeammin. DR:ää voidaan käyttää myös parantamaan prosessin säädön tarkkuutta ja prosessin optimointia. Prosessin simulointitulokset saadaan tarkemmiksi.

3.2.2 Ongelman määrittely

Yksittäisissä prosessimittauksissa on aina virheitä. Tyypillisesti prosesseista mitattavia suureita käytetään säätöön ja prosessin monitorointiin. Mitareiden vikaantuminen häiritsee prosessin säätöä.

3.2.3 Ratkaisu

Tehtävä on kehittää ja testata DR-menetelmiä voimalaitosprosesseissa ja kehittää niiden perusteella DR-tuoteaihiot, jota voidaan käyttää mm. ennakoivaan kunnossapitoon ja vikatilanteiden paikallistamiseen.

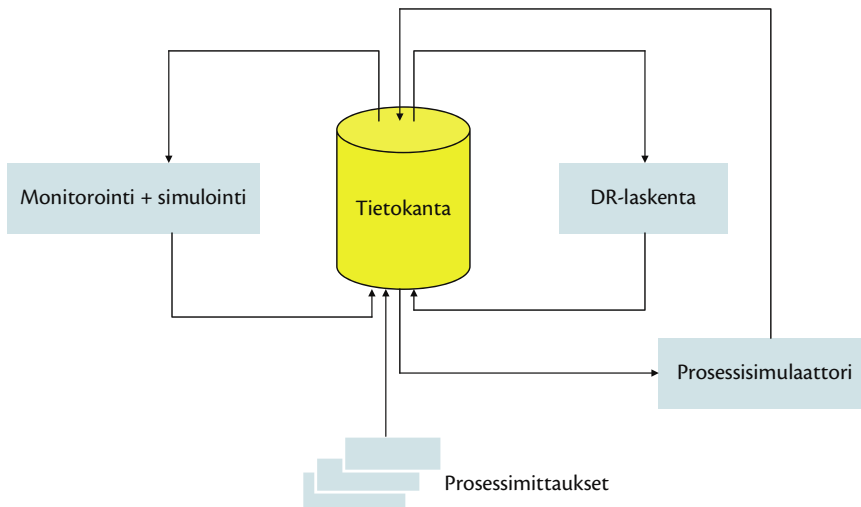
3.2.4 Konseptointi

Vaihtoehtoina on ollut sekä vakiotila- että dynaaminen malli ja useita kaupallisia ohjelmistoja, esimerkiksi CADSIM ja Recon. Yksi vaihtoehto on myös oma sovellus. Näistä valittiin DR-peruslaskennaksi vakiotilalaskenta, jolla voidaan myös laskea hitaita transientteja. Vakiotilalaskenta on robusti toisin kuin dynaamiset menetelmät. Robustius on sovelluksen perusedellytys. Virheen jäljitykseen ja diagnostiikkaan sovelletaan kirjallisuudesta löytyneitä menetelmiä, joista on tehty oma sovellus. Peruslaskenta (vakiotila) suoritetaan Reconilla. Lopullinen automaattinen reaaliaikalaskenta toteutetaan joko kehitetyillä uusilla laskentatyökaluilla tai yhdessä vakiotilalaskennan kanssa.

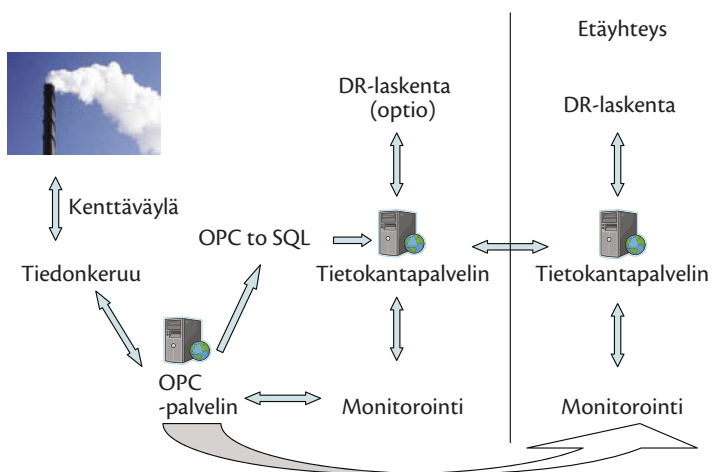
Mallista on tehty konseptuaalinen systeemimalli (OPC, Labview, SQL, Recon, Matlab/Simulink). Systeemimalliin sisältyy DR-laskenta, tietokanta, prosessisimulaattori ja monitorointi (Kuva 4), jossa tapahtuu myös osa simuloinnista. Kuvassa 5 on esitetty toteutetun pilot-laitteiston toimintaperiaate. OPC-palvelimen avulla ohjelmaa voidaan ajaa myös etäkäyttönä. Tiedonsiirto tapahtuu SQL-tietokantapalvelimen kautta. Nopeat dynaamiset muutokset rajataan pois mallista. Hitaiden muutosten laskenta on mahdollista. Reaaliaikaisen mittausvirheenjäljityksen mahdollisuus sisältyy malliin.

3.2.5 Mallin tiedot

Reaaliaikalaskennan systeemimallia on testattu voimalaitosten, pilottilaitosten ja simuloitulla datalla. Malleja on testattu myös validoidulla, eritiedaslaitoksista saadulla prosessidatalla.



Kuva 4. Simulointi- ja DR-laskentajärjestelmän konseptuaalinen malli.



Kuva 5. Pilot-järjestelmän malli.

3.2.6 Mallin rakentaminen

Nykyinen systeemi käsittää seuraavat mallit:

- 1) DR-laitosmalli
- 2) systeemimalli (kuva 5)
- 3) jäljitys, diagnostiikka ja virheen eliminointi -malli (kuva 6).

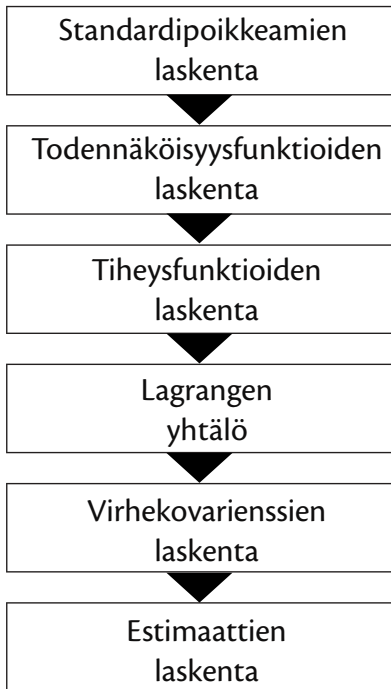
Mallien toteutuksessa käytettyjä työkaluja ovat vastaavasti:

- 1) Recon, Solvo
- 2) OPC, SQL, Recon, ActiveX, Labview
- 3) Labview HiQ, Java, Visual Basic, Matlab/Simulink.

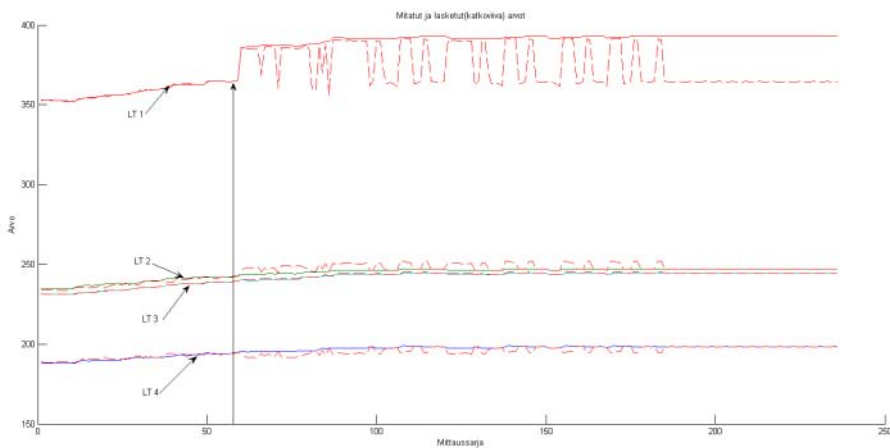
Jäljitys- ja diagnostiikkamenetelmiä kehitetään edelleen. Tällä hetkellä kokeiltavana on systemaattisen virheen sisältävä jakaumamalli, joka periaatteessa tekee mahdolliseksi automaattisen diagnostiikan ja virheen korjauksen. Näiden puuttuminen on ollut heikkoutena tähän asti kokeiluissa malleissa. Diagnostiikka- ja virheeneliminointilaskennan ydin on kovarianssimatriisin laskenta jokaisella laskentakierroksella (kuva 6). Näin voidaan virheellinenkin mittaustieto käyttää hyväksi ja estää virheen leviäminen muihin mittauksiin, mutta tietäen samalla korjausta vaativasta virheestä.

Kuvassa 6 on esitetty laskennan yksinkertaistettu periaate. Käytännössä laskentavaiheita on useita. Jokaisella laskentakierroksella esimerkiksi kovarianssimatriisi lasketaan kahdesti ja tarkennetaan olemassa olevaa prosessitietoa hyödyntäen.

Kuvassa 7 on esimerkki systemaattisen virheen jäljityksestä ja eliminoinnista voimalaitoksen korkeapainelämmönvaihtimen lämpötilanmittauksessa (LT1). Kohdassa 58 min DR-laskenta huomaa virheen. Opetteluvaiheen jälkeen n. 200 min:n kohdalla laskenta päättää kyseessä olevan systemaattinen virhe ja eliminoi sen ja palaa korjattuun mittaukseen. Samalla myös muut mittauserot tasaantuvat.



Kuva 6. DR-laskennan periaatekaavio.



Kuva 7. Lämpötilamittausvirheen jäljitys ja korjaus. Systemaattinen virhe voimalaitoksen reaaliaikamittauksessa LT1 kohdassa 58 min. Korjatut arvot on merkitty katkoviivalla.

3.2.7 Mallin soveltaminen

Mallia käytetään joko yhdessä prosessisimulaattorin kanssa tai erikseen, jos kyseessä on ensisijaisesti virheiden diagnostisointi. Diagnostiikkaa saattaisi tehostaa, jos DR-menetelmää käytettäisiin yhdessä jonkin laitteisto- ja prosessidiagnostiikkasovelluksen kanssa.

3.2.8 Tulosten esittäminen

Lopullinen ohjelmistoratkaisu tehdään laitteisto- ja ohjelmistoriippumattomaksi esimerkiksi C- tai Java-kielellä, ja sen dokumentointi on vielä kesken. Dokumentointiin sisällytetään ohjelmadokumentit ja käyttöohjeet esimerkkeineen. Menetelmä tullaan esittelemään myös julkaisuissa sekä projektin aikana tehdyissä insinööritöissä.

3.2.9 Elinkaari

Mallin tulevaisuus riippuu siitä, jatketaanko projektia tuoteaihion vai palvelutoiminnan pohjalta.

3.2.10 Yhteenveto

Työssä on tutkittu ja testattu useita kaupallisia DR-ohjelmistoja. Saaduista tuloksista on paljon hyötyä sovelluskehityksessä ja referenssinä. Simulointipalvelua tai liiketoimintaa ei voi kuitenkaan rakentaa pelkästään niiden varaan. Syynä on mm. suljettu koodi, joka tekee pienetkin ohjelmistomuutokset vaikeiksi. Varsinaiseen ydinlaskentaan on käytännössä mahdotonta tehdä muutoksia. Lisäksi haittapuolina ovat lisenssimaksut ja yhteensopivuusongelmat.

Projektin tässä vaiheessa on omana sovelluksena kehitetty DR-tuoteaihio, joka voi toimia kaupallisen ohjelmiston rinnalla tai myös yksinään. Tällä hetkellä ohjelma toimii Matlab/Simulink-pohjalla, mutta projektin jäljellä olevana aikana ohjelma muutetaan laitteisto- ja ohjelmistoriippumattomaksi esimerkiksi Javan avulla. Lisäksi selvitetään painelaskennan sisällyttämistä varsinaiseen ydinlaskentaan ja tarkennetaan viritysarvojen laskentaa.

Lupaavia jatkokehitysmahdollisuuksia olisivat mm. prosessivirhediagnosticsiikan lisääminen malliin ja edellisessä esimerkissä kokeillun langattoman anturitekniikan (RFID) soveltaminen mallin viritukseen.

3.3 Käyttäytyvä PI-kaavio

Prosessisimuloinnissa ja CAD-suunnittelussa dokumenttina on prosessin putkisto- ja instrumentointikaavio (PI-kaavio). Molemmissa joudutaan tekemään sama PI-kaavio ja syöttämään samat lähtöarvot. Tästä aiheutuu päällekkäistä työtä. Suunnittelua ja simulointia voidaan tehostaa yhdistämällä samoja toimintoja.

Esimerkkitapauksen tavoitteena on kehittää tuoteaihio, joka kytkee PI-kaavion ja prosessisimulaattorin toisiinsa. Esimerkin teollisuusosapuoli on Pöyry.

3.3.1 Vaikutus

Prosessisuunnittelua tekevän yrityksen kannalta liiketoiminnan kannattavuutta voidaan parantaa vähentämällä päällekkäistä työtä ja nopeuttamalla tiedonkulkua simuloinnin ja suunnittelun välillä. Lisäksi simulointimallin ja PI-kaavion päivitys on varmempaa. Menetelmää voidaan myös myydä erillisenä simulointiliiketoimintana. Käyttäytyvään PI-kaavioon perustuvaan simulointiliiketoimintaan voidaan myös yhdistää aiemmin kohdassa 4.2 esitetty DR-liiketoiminta.

3.3.2 Ongelman määrittely

Prosessin CAD-suunnittelussa ja simuloinnissa tehdään päällekkäistä työtä. Molemmissa tehdään lähes sama virtauskaavio ja syötetään samat lähtöarvot. Tavoitteena on vähentää kahdesti tehtävän työn määrää.

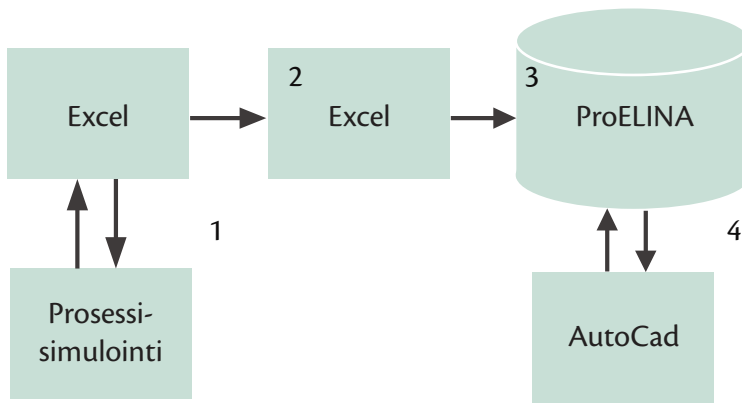
3.3.3 Ratkaisu

Tavoitteena on kehittää menetelmä, jolla yhdistetään prosessisimulointi ja CAD-suunnittelu. Aluksi kartoitetaan CAD-suunnittelussa tehtävän PI-kaavion sekä prosessisimulaattoria varten tehtävän PI-kaavion ominaisuuksien vastaavuudet. Tältä pohjalta käynnistetään CAD-suunnittelun, tietokannan ja prosessisimulaattorin välisen tiedonsiirto-ohjelman kehitys. Lopuksi ohjelmoidaan tiedonsiirto-ohjelmisto Visual Basic- ja C-Sharp-sovelluksilla.

3.3.4 Konseptointi

Valitussa menetelmässä pidetään prosessisimulaattori ja CAD-kaavio erillisinä. Vaihtoehtoinen malli olisi pitää perustana CAD-kaaviota ja kääntää se simuloinnin input-tiedoston muokkauksen jälkeen simuloinnin PI-kaavioksi. Lopullisena päämääränä on kuitenkin yhdistää simulaattorin PI-kaavio CAD-kaavioon.

Ratkaisut määräytyvät systeemiympäristöstä (ProElina, AutoCAD PID, Wingems). Dynaaminen simulointi rajataan pois (Kuva 8).



Kuva 8. CADin ja prosessisimulaattorin välinen tiedonsiirto.

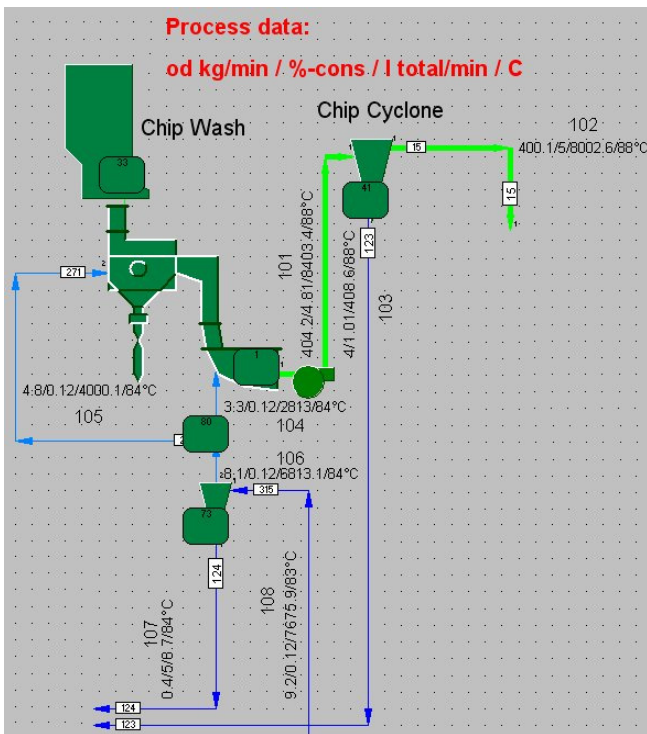
CAD-mallin kaikkia venttiileitä, pumppuja ja putkilinjoja ei tarvita simuloinnissa. Simulointimalliin sisällytetään vain ne virtaukset, jotka vaikuttavat simulointiin. Input-tiedosto tulee liittää malliin esimerkiksi Visual Basic -sovelluksen avulla.

3.3.5 Mallin tiedot

Kehitysohjelmaan tarvittava simuloinnin lähtöaineisto saatiin Pöyryltä.

3.3.6 Mallin rakentaminen

Esimerkkiprosessina on käytetty mekaanisen massan valmistusta (TMP-linja). Prosessi on riittävän monimutkainen ja simulointi- (Wingems) sekä CAD-kaaviot (Autocad PID) löytyvät helposti. Kuvassa 9 on esimerkki TMP-linjan simulointikaaviosta. Yhteys simulaattorin (Wingems), tietokannan (ProElina) ja CADin välillä on luotu Visual Basicillä ja muutettu sen jälkeen C-Sharp-sovellukseksi. AutoCAD PID:n ja tietokannan välinen tiedonsiirto on tehty C-Sharpilla.



Kuva 9. Osa simuloitavaa prosessia (TMP-linja).

3.3.7 Mallin soveltaminen

Kehitettyä mallia käytetään prosessisuunnittelun tehostamiseen.

3.3.8 Tulosten esittäminen

Mallin lopullinen dokumentointi on vielä kesken. Dokumentointiin sisällytetään ohjelmadokumentit ja käyttöohjeet esimerkkeineen. Menetelmä tullaan esittelemään myös julkaisuissa sekä projektin aikana tehdyissä insinööritöissä. Alustava dokumentointi on luovutettu Pöyrylle.

3.3.9 Elinkaari

Jatkokehitys on sovittu Pöyryn vastuulle.

3.3.10 Yhteenveto

Käyttäytyvän PI-kaavion toteuttaminen on vaativa tehtävä. PI-kaavio ja simuloinnin virtauskaavio näyttävät samanlaisilta, mutta yksityiskohdissa on eroja esimerkiksi rinnakkaisissa putkilinjoissa.

Projektissa on tähän mennessä edetty jonkin verran integroinnin suuntaan, mutta paljon työtä on vielä jäljellä eikä täydelliseen integraatioon ole edes mahdollista päästä.

Projektin yhteydessä on neuvoteltu yhteistoiminnasta CADSIMin kanssa, joka on kehittänyt oman integroidun PI-kaaviosimulointiohjelmiston.

3.4 Biodieselprosessin suunnittelu

Yhdyskunnissa syntyvän jätteen käsittely on ongelma, johon on usein vaikea löytää ratkaisua. Jäte voi kuitenkin olla myös raaka-aine, josta voidaan valmistaa tuotteita, esimerkiksi biodieseliä ja biokaasua.

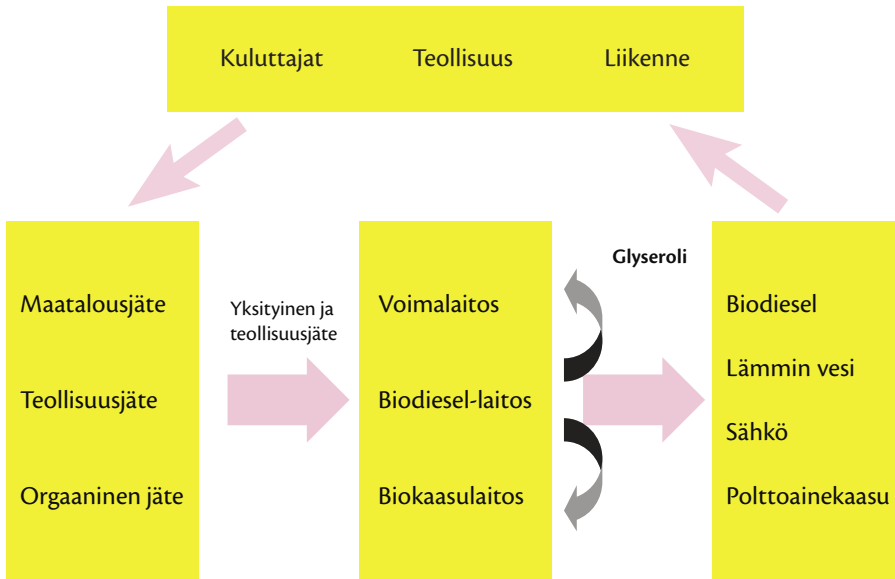
Jätteistä biodieseliä valmistavien ensimmäisen sukupolven hajautettuun pieni- ja keskimittakaavaiseen tuotantoon sopivien prosessien suunnittelu tapahtuu käytännössä kokeellisesti ”yritys ja erehdys -menetelmällä”. Tällaisen prosessin suunnittelussa ja käytössä ei toistaiseksi ole hyödynnetty nykyaikaisia simulointityökaluja.

Pelkästään kokeellisilla menetelmillä on vaikea löytää optimaalista ratkaisua, koska mahdollisia prosessi-, laitteisto- ja materiaalivaihtoehtoja on erittäin paljon.

Esimerkkiproessin tavoitteena on tukea biodieselprosessin suunnittelua mallinnuksen avulla. Esimerkissä on tehty teollisuusyhteistyötä mm. Limetin (lopettanut toiminnan v. 2007) ja Presecon kanssa.

3.4.1 Vaikutus

Optimoimalla järjestelmää simuloinnin avulla on mahdollista pienentää laitteiston investointikustannuksia sekä prosessin materiaali- ja käyttökustannuksia ja toisaalta parantaa prosessin kokonaistaloudellisuutta. Konsepti biodiesel- ja biokaasuprojektin liiketoimintamahdollisuuksista on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Yhdistetty biodiesel- ja biokaasutuotannon integrointi.

3.4.2 Ongelman määrittely

Arvioiden mukaan öljyn kulutus kasvaa nykyisestä 45 % vuoteen 2030 mennessä, ja tunnetut öljyvarannot ovat rajalliset. Toisaalta yhdyskuntajätteen käsittely aiheuttaa ongelmia. Esimerkkitapauksessa etsitään mahdollisuuksia tehdä yhdyskuntajätteestä biodieseliä ja biokaasua öljyn korvaamiseksi.

3.4.3 Ratkaisu

Tavoitteena on löytää kaupallisesti hyödynnettävä ratkaisu, jolla jätteestä saadaan tehtyä teollisuuden tai liikenteen käyttöön soveltuvaa biopolttoainetta. Ratkaisua etsitään tekemällä simulointimalli, jolla voidaan optimoida prosessin suunnittelua ja käyttöä sekä rakentamalla pilot-laitteisto, jonka avulla eri yksikköprosesseja voidaan tutkia.

3.4.4 Konseptointi

Prosessi on puolipanostyyppinen. Panosprosessiosat parametrisoidaan vain ohjausmalleihin ja resepteihin. Kuivauskolonni puuttuu toistaiseksi pilot-laitteistosta. Vain avainkomponenttien tai niitä korvaavien komponenttien aineominaisuudet huomioidaan. Joissain prosessisimulaattoreissa,

Käytetyt ohjelmistotyökalut ovat vastaavasti Chemcad ja Siemens Simatic.

Transesteröintiosan pilot- ja simulointimalli on tällä hetkellä koeajovaiheessa. Prosessikokeita on tehty reaktorin esteröinti- ja transesteröintiosalla. Pesukolonniin eri prosessivaihtoehtoja ja tekniikoita on tutkittu ja kokeiltu laboratorio-olosuhteissa.

3.4.7 Mallin käyttö

Mallia käytetään biodiesellaitteiston suunnitteluun ja kustannuslaskentaan.

3.4.8 Tulosten esittäminen

Mallin lopullinen dokumentointi on vielä kesken. Dokumentointiin sisällytetään ohjelmadokumentit ja käyttöohjeet esimerkkeineen. Menetelmä tullaan esittelemään myös julkaisuissa sekä projektin aikana tehdyissä insinööritöissä.

3.4.9 Elinkaari

Ohjelmistoa ja laitteistoa ylläpitää Metropolia Ammattikorkeakoulu.

3.4.10 Yhteenveto

Biodieselin pienimittakaavainen hajautettu tuotanto jätteistä on erittäin monimutkainen prosessi, jossa erilaisia prosessivaihtoehtoja on paljon. Tällaisen prosessin suunnittelussa ja optimoinnissa simuloinnista voisi olla paljon hyötyä. Ongelmana on kuitenkin lähtötietojen, erityisesti materiaaliominaisuustietojen, puute.

Työssä on tutkittu eri yksikköoperaatioiden toimintaa, rakennettu laboratoriomittakaavainen automatisoitu koe prosessi ja tehty simulointeja niillä materiaaliominaisuustiedoilla, jotka ovat käytettävissä.

Varsinaisiin prosessin optimointisimulointeihin ei todennäköisesti projektin loppuaikana vielä ehditä.

3.5 Integroidun 3D-simuloinnin ja taseentäsmäys-simulointituotteiden kehittäminen

Tehtyjen EVTEK-esimerkkien pohjalta on kehitetty simulointiliiketoimintaan sopivia tuoteaihiota. DR-sovellus on kehitetty taseentäsmäystuoteaihioksi. Projektin loppuajana rakennetaan tälle käyttöliittymä ja tehdään mahdollisimman ohjelmisto- ja laitteistoriippumattomaksi. 3D-simuloinnin kohdalla tuotteen edellytyksenä on validointiin sopivien mittausten nopeus, luotettavuus ja halpuus. Projektin jäljellä olevana aikana keskitytään tällaisten mittausten etsintään ja testaukseen. Myös käyttäytyvällä PI-kaaviolla on edellytyksiä simulointipalvelutuotteeksi yhteistyössä jonkin alan yrityksen kanssa.

3.6 3D-suunnittelumenetelmien kehitys

Suunnittelutoimistoissa tehtävässä suunnittelutyössä joudutaan hyvin usein suunnittelemaan samankaltaisia laitteita tai rakenteita eri mitoilla. Lisäksi asiakkaasta riippuen työ joudutaan tekemään usealla eri CAD-järjestelmällä. Työtä pyritään nopeuttamaan monella eri tavalla kustannusten ja ajan säästämiseksi. Eräs vaihtoehto on suunnitteluautomaattien käyttö. Ne ovat parametriohjelmia, jotka ohjaavat mallinnusohjelman toimintaa. Näin saadaan rutiinisuunnittelu tehtyä nopeammin ja virheettömämmin.

Esimerkkitaapauksen tavoitteena on tehdä suunnitteluautomaatti automatisoimaan suunnittelutyötä. Esimerkin teollisuusosapuoli on Etteplan.

3.6.1 Vaikutus

Tavoitteena ei ole varsinaisesti liiketoiminnan lisääminen, vaan pikeminkin kustannusten ja ajan säästö. Suunnittelun nopeampi läpimenoaika voi kyllä lisätä liiketoimintaa, jos suunnitteluautomaatilla nopeutetaan esimerkiksi asiakaslähtöistä konseptisuunnittelua tarjouksen tekemiseksi ja tarjousten toteutuminen projekteiksi näin lisääntyy. Samoin oikein suunnitelluilla parametrimalleilla ja tuotteen moduloinnilla säästetään turhaa suunnittelutyötä toteutusvaiheessa.

3.6.2 Ongelman määrittely

Tehtävänä on siis etsiä menetelmiä suunnittelutyön rationalisoimiseksi. Päätettiin etsiä kohde, jossa suunnittelutyön automatisointi toisi säästöjä. Automatisoinnin tulisi olla sovellettavissa useisiin eri CAD-järjestelmiin. Esimerkkitapaukseksi valittiin Etteplanin erään asiakkaan tuotantolinjaan kuuluva komponentti. Sitä esiintyy linjassa useita kappaleita erimittaisena. Suunnitteluautomaatin toteutuksen tekivät kaksi opiskelijaa vuoden 2007 kevään ja kesän aikana. Aikataulutavoite oli sellainen, että projektin tuli olla valmis 15.9.2007 mennessä.

3.6.3 Ratkaisu

Tavoitteena oli rakentaa mahdollisimman yleinen rajapinta monille CAD-järjestelmille. Ratkaisumalliksi valittiin Excelillä ohjelmoitava käyttöliittymä, jolla suunnittelija voi syöttää parametrit mallinnusohjelmaan. Esimerkissä Excel laski syötetyistä arvoista mallinnusparametrit Catialle, joka näistä arvoista muodosti laitteen 3D-mallin ja tarvittavat valmistuspiirustukset.

3.6.4 Konseptointi

Mallin määrittely, toimintatapa ja modulointi tehtiin yhdessä asiakkaan kanssa, ja se perustui aiemmin tehtyyn suunnittelutyöhön. Excelillä tehdyn käyttöliittymän pyytämät lähtöarvot sovittiin raja-arvoineen, päätettiin kunkin arvon kohdalla oletusarvo sekä sovittiin käyttöliittymän yleisrakenne ja tietojen tallennustapa mukaan lukien versiohallinta.

3.6.5 Mallin tiedot

Asiakkaalta saatiin lähtötietoina suunnitteluautomaatin toimintarajat sekä tiedot tarvittavista tulosteista sisältö- ja esitystapatietoineen.

3.6.6 Mallin rakentaminen

Suunnitteluautomaatin Excel-osa ohjelmoitiin Excelin ohjelmointikielellä ja lisäksi määritettiin Catian lähtötiedoston rakenne. Catialla mallinnettiin perustuotteen parametripohjainen 3D-malli ja siitä generoitiin valmistuspiirustukset. Mallia testattiin lukuisilla parametrivaihtoehdoilla, jotta varmistuttiin mallin toimivuudesta.

3.6.7 Mallin soveltaminen

Toteutettu suunnitteluautomaatti on tuotantokäytössä. Asiakas on itse muuntanut sen Inventor-ohjelmistolle, kuten alun perin sovittiinkin. Excel-käyttöliittymästä johtuen malli on helppo siirtää muihinkin CAD-järjestelmiin. Samaa perusideaa voi soveltaa vastaavien suunnittelukohteiden automatisoinnissa.

3.6.8 Tulosten esittäminen

Tehty suunnitteluautomaatti esiteltiin asiakkaalle havainnollisesti testiaineiston avulla. Dokumentointina luovutettiin Excel-koodi ja yksityiskohdainen selostus käyttöliittymästä sekä Catia-malli esimerkkeineen.

3.6.9 Elinkaari

Mallin ylläpito jatkossa on sovittu asiakkaan vastuulle. Perusmallia käytetään sellaisenaan kyseisen laitteen suunnittelussa. Asiakas on itse muuntanut mallin Catia-ympäristöstä Inventor-ohjelmaan. Tämähän juuri oli eräs tavoite suunnittelujärjestelmistä riippumattoman rajapinnan kehittämisessä.

3.7 Visualisointi myynnin tukena

Nykyisessä globaalien talouden maailmassa logistiikasta on muodostunut yksi merkittävä yritysten menestystekijä. Tavaroiden kuljettaminen ja varastointi on toteutettava tehokkaasti. Jotta ratkaisusta saadaan optimaalinen ja toisaalta myös helposti muunneltava muuttuvissa tilanteissa, tarvitaan suunnittelun apuna simulointia. Yksi logistiikka-alalla toimiva järjestelmämyyjä on Kardex, jonka teollisuusratkaisut ovat tietokoneohjattuja, automaattisia varastointi- ja siirtojärjestelmiä tuotantoon, asennukseen, jakeluun ja vähittäismyyntiin. Yritykset voivat niiden avulla tehostaa toimintaansa materiaalinkäsittelyssä, varastoinnissa ja keräilyssä. Sovelluksia on tehty muun muassa ilmailuteollisuuteen, autoteollisuuteen, jakeluun, elektroniikka-alalle, vähittäismyyntiin, tuotantoon, sähköiseen kaupankäyntiin, hallintoon, terveystalalle, metallien valmistukseen ja metallien työstöön.

Esimerkkitapauksessa tehdään visuaalinen simulointimalli asiakkaalle tarjottavasta varastoautomaattijärjestelmästä.

3.7.1 Vaikutus

Hankkeen avulla pyritään lisäämään Kardex Oy:n liiketoimintaa pystymällä nopeammin ja visuaalisemmin osoittamaan tarjotun logistiikkaratkaisun hyödyt asiakkaan varastointijärjestelmän kokonaissuorituskykyyn nykytilanteeseen verrattuna. Samalla myös asiakkaan liiketoiminta kehittyy paremmin ja taloudellisemmin toimivan varastointiratkaisun ansiosta.

3.7.2 Ongelman määrittely

Tavoitteena on tuottaa myynnin apuvälineeksi varastojärjestelmien suunnittelu- ja visualisointimalli, jolla tarjousvaiheessa voidaan nopeasti tarkastella erilaisia vaihtoehtoja sekä saada visuaalisesti havainnollinen esitys tarjottavasta järjestelmästä.

3.7.3 Ratkaisu

Kehitetään yhdessä SW-Developmentsin kanssa Enterprice Dynamics -ohjelmistolla varastoautomaattien simulointiin soveltuva ohjelmistomoduuli, jota käytetään järjestelmien tarjousvaiheessa. Mikäli asiakas päättää hankkia tarjotun järjestelmän, simulointimalli on käytettävissä myöhemminkin muutos- tai laajennustilanteissa.

3.7.4 Konseptointi

Varastoautomaattimoduuli ohjelmoidaan Enterprice Dynamics -ohjelmalla ja moduuli testataan asiakkailta saaduilla todellisilla lähtötiedoilla.

3.7.5 Mallin tiedot

Kun varastoautomaattimoduulia käytetään tarjouksen yhteydessä, mallin tekemiseen tarvittavan datan (myös mahdollisen historiadatan) toimittaa asiakas tai se kerätään erillisen kyselylomakkeen avulla.

3.7.6 Mallin rakentaminen

Malli tehdään Enterprice Dynamics -ohjelman operaattoreilla ja sillä simuloidaan asiakkaalta saaduilla lähtötiedoilla tarjottavan järjestelmän toimintaa. Simuloinnilla saadaan realistinen kuva asiakkaalle tarjottavan varas-

tojärjestelmän toimivuudesta. Tulokset esitetään myös visuaalisesti, joten tulosten käsittely ja ymmärtäminen on helppoa.

3.7.7 Mallin soveltaminen

Tehdyllä mallilla testataan ja simuloidaan tarjottua ratkaisua yhdessä asiakkaan kanssa niin kauan, että saadaan riittävän tarkka kuva järjestelmän toimivuudesta. Tämä saattaa vaatia useitakin iterointikiertoja.

3.7.8 Tulosten esittäminen

Varastoautomaattimoduulin dokumentointi on käyttöohje, jonka avulla Kardex pystyy käyttämään moduulia tehokkaasti tarjous- ja toteutusprojekteissa. Dokumentoinnin on laatinut SW Developments. Kaikki Kardexin asiakkaille tekemät varastojärjestelmämallit tallennetaan tietokantaan ja tarvittaessa malleihin saadaan nopeasti päivitettyä uudet muuttujat sekä lähtötiedot.

3.7.9 Elinkaari

Varastoautomaattimoduulin ylläpito on SW Developmentsin vastuulla. Kardexin tekemien tarjouksiin liittyvien varastojärjestelmien mallien ylläpito on yrityksen vastuulla. Uusia malleja tehdään jatkuvasti vanhojen pohjalta.

3.7.10 Yhteenveto

Enterprice Dynamicsin avulla kyetään visualisoimaan asiakkaan logistiikkaratkaisu. Mallin avulla saadaan havainnollinen kuva nykytilasta ja siitä, miten automaattivarastoratkaisu jatkossa vaikuttaa yrityksen liiketoimintaan muutamien avainlukujen avulla sekä millainen järjestelmän kapasiteetti tulee olemaan. Tarjousvaiheen simulointimalliin on helppo tehdä muutoksia, ja muutosten vaikutus näkyy mallissa ja sen lukuarvoina. Enterprice Dynamics soveltuu varastoautomaattien tarjousten simulointiin ja kokonaisuuksien hahmottamiseen ja oikean ratkaisuvaihtoehdon tarkasteluun.

3.8 Virtuaaliprototyypin käyttö kuljetuskaluston tuotekehityksessä ja simuloinnissa

Kevytperäkärrien käyttö on kasvanut huomasti erilaisissa kuljetustarpeissa. Niiden käyttöä rajoittaa kuitenkin suhteellisen pieni kantavuus. Esimerkiksi rakennustyömailla tarvittavien koneiden ja laitteiden paino helposti ylittää kevytperäkärren kantavuuden. Lisäksi kuormaaminen ja purkaminen on hankalaa ja jopa vaarallista, koska kärren lastauskorkeutta ei voi muuttaa. On siis oletettavissa, että tarvetta järeämmälle peräkärrikonstruktioille on olemassa ja erityisesti sellaiselle, jossa lastauskorkeus on minimoitavissa. Tällöin mahdollistuu myös erilaisten pienkonttijärjestelmien käyttö maataloudessa, kiinteistöhuollossa, teollisuudessa jne.

Esimerkkitapauksen tavoitteena käyttää simulointia apuna nostolavalisen peräkärren suunnitteluprosessissa. Esimerkin teollisuusosapuoli on Sandman-Nupnau.

3.8.1 Vaikutus

Tavoitteena projektilla on luoda uutta liiketoimintaa joko jollekin olemassa olevalle yritykselle taikka tämän tuotteen valmistamista varten perustettavalle yritykselle. Mikäli kehitettävä tuote täyttää odotukset, se poikii myös liiketoimintaa uutta peräkärriä tai siihen kehitettyä konttijärjestelmää käyttäville yrityksille.

3.8.2 Ongelman määrittely

Tehtävänä on suunnitella uudentyyppinen peräkärri, joka voidaan laskea maahan kuormauksen ajaksi sekä nostaa normaaliin työskentelykorkeuteen esimerkiksi työmaaolosuhteissa. Peräkärriä tarvitaan valmistusta varten valmistuspiirustukset.

3.8.3 Ratkaisu

Päätettiin aloittaa tuotekehitysprojekti yhdessä Sandman-Nupnaun kanssa, joka on merkittävä komponenttitoimittaja kuljetusvälineiteollisuudelle. Tuotekehitys sovittiin tehtäväksi virtuaalimallin avulla, ja tarkoituksena oli myös rakentaa yksi prototyyppi, johon Sandman-Nupnau toimittaa osan komponenteista. Vaihtoehtona olisi ollut tehdä kehitystyö käyttäen

useita prototyyppejä, mutta aika- ja kustannussäästöjen vuoksi päädyttiin virtuaalimalliin.

3.8.4 Konseptointi

Virtuaalimallin rakentamiseen on useita vaihtoehtoisia ohjelmia. Koska Stadialla oli käytössä Catia-mallinnusohjelmisto, oli luontevaa lähteä tekemään mallinnusta ja simulointia sen avulla. Lujuuslaskennat suunniteltiin tehtäväksi Abaqus-ohjelmistolla.

3.8.5 Mallin tiedot

Lähtötietoina käytettiin keksijältä saatua kantavuustavoitetta ja haluttua nostokorkeutta. Lisäksi peräkärryn mittoihin vaikuttivat tieliikennelainsäädännön määräykset kärryn dimensioista ja rakenteista.

3.8.6 Mallin rakentaminen

Peräkärryn virtuaalinen 3D-malli tehtiin Catialla. Mallin avulla voitiin varmentaa suunnitelman toteuttamiskelpoisuus, tehdä tarvittavat liikesimuloinnit sekä lujuuslaskelmat. Mallin avulla voitiin myös etsiä optimaaliset rakennevaihtoehdot. Kun suunnitelmat oli riittävän pitkälle varmennettu, tehtiin kärrestä yksi prototyyppi testausta varten. Opiskelijat tekivät virtuaalimallin opettajien ohjauksessa. Prototyypin osat saatiin useasta yrityksestä, hitsauskokoontalon tekivät Helsingin tekniikan alan oppilaitoksen opiskelijat ja loppukokoontalon taas Stadian opiskelijat.

3.8.7 Mallin soveltaminen

Virtuaalimalli oli keskeinen elementti koko tuotekehitysprojektin ajan. Mallin avulla voitiin varmistaa suunnitelmien toimivuus ja sitä käytettiin simulointien ja lujuuslaskennan lähtötietona. Lisäksi mallin avulla suunniteltiin käytettävät valmistusmenetelmät. Koska eräänä tavoitteena oli käyttää osien valmistuksessa mahdollisimman paljon laserleikkausta, voitiin jo suunnitteluvaiheessa tuottaa laserleikkauksen tarvitsemat tiedostot. Samoin voitiin suunnitella kärryn kokoonpantavuutta hyödyntäen hitsattaviin osiin laserilla tuotettuja ominaisuuksia. Näin välttyttiin lähes kokonaan normaalisti hitsauskokoontalon vaatimilta apuvälineiltä (jigeiltä).

3.8.8 Tulosten esittäminen

Virtuaalimalli on olemassa digitaalisessa muodossa, samoin valmistuspiirustukset sekä simulointitulokset. Lopullinen dokumentointi riippuu osittain siitä, löydetäänkö peräkärrylle valmistaja ja millainen mahdollinen valmistaja on tekniseltä osaamiseltaan.

3.8.9 Elinkaari

Virtuaalimalli on valmis, samoin prototyyppi peräkärrystä. Kärryn testaus on meneillään, ja valmistajaa haetaan. Mallin elinkaari määräytyy sen mukaan, millainen valmistaja peräkärrylle löydetään.

3.9 Konseptisuunnittelumenetelmien kehittäminen

Konseptisuunnitteluvaiheessa yritetään löytää useita ratkaisuvaihtoehtoja jonkin tuotteen rakenteeksi. Usein joudutaan harkitsemaan myös erilaisia valmistusmenetelmiä. Joskus ratkaisut ja valmistusmenetelmät ovat sellaisia, että niistä ei ole paljoakaan aikaisempaa kokemusta. Tällöin tarvitaan työkaluja, joilla nopeasti pystytään tarkistamaan ehdotetun ratkaisun toimivuus ja ratkaisuun mahdollisesti sisältyvät riskit.

Esimerkitapauksen tavoitteena on tutkia, miten nykyiset mallinnusohjelmistot soveltuvat konseptisuunnitteluvaiheeseen ja miten niiden avulla pystytään minimoimaan valittuihin ratkaisuihin liittyviä riskejä. Esimerkin teollisuusosapuoli on Sweco Industry.

3.9.1 Vaikutus

Kustannussäästöjä syntyy, jos kehitettävällä menetelmällä pystytään ennalta välttämään riskien toteutuminen. Liiketoimintaa voi syntyä, mikäli konseptivaiheessa voidaan paremmin varmistua konseptin toimivuudesta ja käyttökelpoisuudesta.

3.9.2 Ongelman määrittely

Tehtävänä on tutkia, miten nykyiset mallinnusohjelmistot soveltuvat konseptisuunnitteluvaiheeseen ja miten niiden avulla pystytään minimoimaan valittuihin ratkaisuihin liittyviä riskejä.

3.9.3 Ratkaisu

Esimerkkitapaukseksi valittiin Sweco Industryn erään asiakkaan tuotekehitysprojehti. Siinä tavoitteena on kehittää kokoon taittuva istuin esimerkiksi julkisiin tiloihin. Stadian käytössä olleella Catia-ohjelmistolla tehtiin erilaisten tuolimekanismin perusmallinnus ja liikesimulointi. Parhaiten vaatimukset täyttävistä ratkaisuista tehtiin myös alustava lujuusanalyysi ja pisteytettiin ominaisuudet.

3.9.4 Konseptointi

Virtuaalimallin rakentamiseen on useita vaihtoehtoisia ohjelmia. Koska ammattikorkeakoululla oli käytössä Catia-mallinnusohjelmisto, oli luontevaa lähteä tekemään mallinnusta ja simulointia sen avulla. Lujuuslaskennat suunniteltiin tehtäväksi Ansys-ohjelmistolla ja pisteytys Excelillä.

3.9.5 Mallin tiedot

Lähtötietoina saatiin Swecolta istuimen kantavuustavoite ja tilankäyttörajoitukset.

3.9.6 Mallin rakentaminen

Työ aloitettiin yhden opiskelijaryhmän aivoriihi-istunnolla, jonka tuloksena syntyi lukuisa joukko mahdollisia ratkaisumalleja. Varsinaisen työn suorittivat kaksi saksalaista vaihto-opiskelijaa, jotka edelleen kehittivät aiemman keksittyjä ideoita ja kehittivät omia uusia ideoita. Näistä karsittiin jäljelle noin viisi vaihtoehtoa, jotka kaikki mallinnettiin Catialla.

3.9.7 Mallin soveltaminen

Catialla tehdyille malleille suoritettiin liikesimulointi. Mekanismin toimivuuden ja tilantarveanalyysin pohjalta vaihtoehdot pisteytettiin eri ominaisuuksien suhteen. Pisteytyksessä käytettiin painokertoimia, jotka sovitettiin yhdessä asiakkaan kanssa. Parhaiten menestyneille kahdelle ratkaisulle suoritettiin lujuusanalyysi alustavaa 3D-mallia käyttäen.

3.9.8 Tulosten esittäminen

Asiakkaalle toimitettiin kaikkien vaihtoehtojen mallit ja simulointitulokset. Lisäksi asiakas sai yhteenvedon pisteityksestä.

3.9.9 Elinkaari

Tämän projektin yhteydessä tehtyjä malleja ei suoraan ole tarvetta säilyttää. Tärkeämpää on tieto siitä, että nykyohjelmistoilla voidaan melko helposti tehdä nopeita analyysyjä ratkaisuvaihtoehtojen kesken ja varmistua näin valittavan ratkaisun toimivuudesta ja mahdollisista riskeistä.

3.10 Sähkökentän mitoitus Comsol Multiphysics -ohjelmiston avulla

Työssä selvitettiin COMSOL Multiphysics™ -ohjelmiston sopivuutta sähkökenttien laskennassa puhdistuslaitteiston mitoitusta varten. Tavoitteena oli laskennan yleisen luotettavuuden lisäksi selvittää, miten tehokkaasti ohjelmistolla kyetään tutkimaan erilaisia geometrisia rakenteita, vertaamaan eri laskentatapauksien hyvyttä ja tallentamaan laskentatapaukset jatkotyötä varten. Tavoitteena oli järjestelmällinen eteneminen, jossa simuloinnin hyvyden arviointikriteerien löytäminen on olennainen asia. Teollisuusosapuoli on Genano.

3.10.1 Vaikutus

Genanon tavoitteena on hiukkaspuhdistuslaitteen koon pienentäminen, jolloin sen sijoittelu kohteeseen olisi helpompaa ja valmistuskustannukset voisivat olla pienempiä. Genanon kannalta on lisäksi olennaista se, että laskennan tulokset olisivat pienellä lisätyöllä uudelleen käytettävissä.

3.10.2 Ongelman määrittely

Tehtävänä on hiukkaspuhdistuslaitteen mitoituksen optimointi sähkökenttien osalta. Sähkökenttien laskeminen on paljon kustannustehokkaampaa kuin niiden mittaaminen pilot-laitteista.

3.10.3 Ratkaisu

Mitoitukseen vaikuttavat ilmiöt ja prosessit, joita voidaan mallintaa, ovat

- sähkökenttä, koronapurkaukset, virtauskenttä
- hiukkasten liike sähkö- ja virtauskentissä
- likaantuminen.

SISU-projektissa laskettiin kuitenkin vain sähkökenttiä. Hiukkasten liikuminen ja likaantuminen rajattiin pois.

3.10.4 Konseptointi

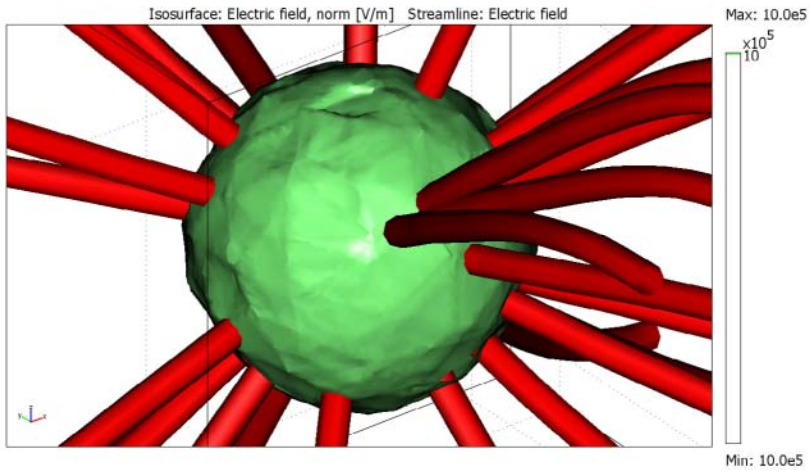
Genano valitsi muutamia tärkeitä geometrioita laskentaa varten, ja erityisesti tutkittiin terävien rakenteiden lähistöllä olevia sähkökenttiä, jotka aiheuttavat tahallisia tai tahattomia koronapurkauksia.

3.10.5 Mallin tiedot

Mallin tekemiseen käytetyt tiedot koostuivat geometriadatasta ja kirjallisuudesta hankitusta koronapurkauksen esiintymisen olosuhteista.

3.10.6 Mallin rakentaminen

Mallit rakennettiin luomalla COMSOLin normaalin tapaan geometrinen malli tutkittavista kohteista, minkä jälkeen annettiin materiaaliparametrit (tässä tapauksessa yleensä vain ilman permittiivisyys) sekä asetettiin reunaehdot. Lisäksi käytettiin COMSOLin automaattista hilangenerointia, jota kuitenkin tarkennettiin tarvittaessa teräviin rakenteisiin. Työssä käytettiin COMSOLin versiota 3.3. Kuvassa 13 on esimerkki mallilla lasketusta sähkökentästä.



Kuva 13. Sähkökentän tasa-arvopinta ja voimaviivoja pienen, isoon laatikkoon upotetun, kartion ympärillä; laatikon reunat ovat reilusti kuvan ulkopuolella. Kartiossa on jännite 1 MV ja laatikko ympärillä on maadoitettu.

3.10.7 Mallin soveltaminen

Mallia sovellettiin usein yhdessä asiakkaan kanssa hyödyntäen COMSOLin tehokkaita ratkaisimia ja jälkikäsittelyominaisuuksia, joilla on saatu lupaavia tuloksia Genanon kannalta hyödyllisistä simuloinneista. Geometrian laadintaan on voitu kehittää tehokkaita menetelmiä, samoin laskenta toimii sujuvasti. Sen sijaan tulosten arvioiminen ja ratkaisujen vertaaminen toisiinsa on osoittautunut oletettua vaikeammaksi.

3.10.8 Tulosten esittäminen

Esimerkin tulokset raportoitiin Genanolle ja malleista sekä tuloksista keskusteltiin yhteisissä tapaamisissa.

3.10.9 Elinkaari

Mallien haluttiin olevan käytössä myös jatkossa. Mallit toimitettiin Genanolle cd-levyllä. Raporttiin kirjattiin mallien jatkokäyttöä helpottavia asioita.

3.10.10 Johtopäätökset

Mallinnus avaa mahdollisuuksia tarkastella yksityiskohtia, joita käytännön kokeiluissa on kallista tai varsin vaikeaa saada selvitettyä. Kun mallinnuk-

ssa mallien uudelleenkäyttö ja helppo muokattavuus on saatu järjestettyä, niin se mahdollistaa nopean tutkimuksen ja kehityksen, joka käytännön kokeilla olisi mahdotonta.

3.11 Virtausten hallinta voimalaitoksella Aproksen avulla

Simuloinnin avulla on mahdollista parantaa ja tehostaa prosessien suunnittelua kokeilemalla erilaisia vaihtoehtoja, optimoimalla säätöjä ja etsimällä sopivimmat mitoitusarvot. Suuren kokoluokan uusiin laitostoi- mituksiin simulaattorin rakentaminen onkin viime aikoina merkittävästi yleistynyt. Korkeista rakentamiskustannuksista johtuen simuloinnin käyttö on kuitenkin edelleen hyvin vähäistä laitossuunnittelussa sekä vanhojen ja pienten laitosten operaattoreiden koulutuksessa. Suurten kustannusten syynä on se, että tällä hetkellä simulaattorit rakennetaan joka kerta yksilöllisesti ja manuaalisesti prosessin rakenne- ja komponenttiedoista kon- vertoimalla ja kopioimalla.

Esimerkkitapauksessa sovelletaan dynaamista Aproksen-prosessisimuloin- tiohjelmistoa voimalaitoksen hiukkaspäästöjen pienentämiseen ajotapoja kehittämällä. Esimerkkitapauksen teollinen osapuoli on Fortum.

3.11.1 Vaikutus

Tiukentuneet hiukkaspäästörajat asettavat uusia haasteita voimalaitosten toiminnalle. Esimerkkiprosessin tavoitteena on alentaa hiukkaspäästöjä voimalaitoksen ajotapoja muuttamalla, mikä merkitsisi pysymistä sallituissa hiukkasrajoissa ja edelleen liiketoiminnan tehostumista pienellä in- vestoinnilla.

3.11.2 Ongelman määrittely

Voimalaitosten hiukkaspäästörajat tiukentuivat vuoden 2008 alussa. Pysy- äkseen sallituissa rajoissa voimalaitokset eivät pysty ajamaan täydellä teholla. Tavoitteena on kehittää laitoksen ajotapoja siten, että laitosta voitaisiin ajaa täydellä teholla ja hyvällä hyötysuhteella pysyen sallituissa hiukkas- rajoissa.

3.11.3 Ratkaisu

Ratkaisumalliksi valittiin laitoksen prosessimallin laadinta; mallia voidaan myöhemmin soveltaa esimerkiksi automaation muutoksissa. Mallin avulla etsitään ajotapa- tai automaatiomuutoksia, joiden avulla

- laitosta voidaan ajaa mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella ja mahdollisimman vähäisillä käsisäädöillä, kun pölypitoisuus on selvästi alle rajojen
- pölypitoisuuden pyrkiessä nousemaan laitosta voidaan ajaa täydellä teholla ja mahdollisimman vähäisillä käsisäädöillä päästörajoja ylittämättä.

Mallilla voidaan kokeilla sellaisia ajoratkaisuja,

- jotka eivät nykyisellään ole mahdollisia toteuttaa
- joiden testaaminen laitosta ajamalla on kallista
- jotka voivat vaarantaa laitosta
- jotka voivat olla ajoittain mahdottomia, esimerkiksi sopivan polttoaineen puuttuessa (esim. märän kesän jälkeen on vaikeaa saada erittäin kuivaa turvetta).

3.11.4 Konseptointi

Voimalaitoksen polttoainejärjestelmästä mukaan lukien tärkeimmät säätöpiirit tehdään dynaaminen simulointimalli AproS-ohjelmistolla. AproS:llä voidaan mallintaa voimalaitoksen virtausmääriä, virtausten koostumuksia ja lämpötiloja sekä pystytään ottamaan huomioon automaation ja säätöjen vaikutukset näihin.

3.11.5 Mallin tiedot

Laitokselta saatujen tietojen perusteella mallin laajuus rajattiin siten, että siihen kuuluvat ainoastaan ne osat, joilla on vaikutusta hiukkaspäästöihin. Voimalaitokselta kerättiin lähtötiedot, joita ovat mm. dimensiot, ominaiskäyrät, nimelliset toimintapisteet, säätöpiiriselostukset, ajotapakuvaukset ja dataloggaukset muutamalla tehotasolla.

3.11.6 Mallin rakentaminen

Mallin osia ovat turvekattila, kattilan polttoainejärjestelmä, tulipesä ja savukaasukanavat sekä niihin liittyvät säätöpiirit. Malli kiinnitettiin prosessiin vertaamalla laskettuja arvoja prosessista mitattuun dataan.

3.11.7 Mallin soveltaminen

Suoritettujen simulointiajojen perusteella voitiin todeta rakennetun mallin kuvaavan hyvin säätöjen vaikutusta itse laitokseen. Tärkeimpinä tuloksina voidaan pitää seuraavia:

1. Mallin avulla oli mahdollista arvioida ja kokeilla erilaisten ajotapojen vaikutusta laitoksen pölypäästöihin ja hyötysuhteeseen ilman suuritöisiä ja kalliita laituskokeita ja mittauksia.
2. Apros-ohjelmiston avulla prosessimuutoksia voitiin testata ilman tietokoneohjelmoinnin erityisosaamista.
3. Uusia automaattioratkaisuja voidaan suunnitella ja testata laitoksen ajoa häiritsemättä.
4. Mallin laskemat pölypitoisuudet olivat jo melko lähellä laitoksen oikeita pitoisuuksia, ja tarkkuutta voidaan edelleen parantaa.
5. Apros-mallin avulla voitiin tutkia syy-seuraussuhteita paljon paremmin kuin tutkimalla laitoksen prosessidataa, vaikka sitä olisi kiinnostavassa tilanteessa saatavillakin.

Mallin käytettävyyttä voidaan lisätä laajentamalla mallia uusilla laitososilla, tarkentamalla säätöjä (lisätä ylä- ja alarajoja yms.) ja parantamalla sen yhteensopivuutta laitosmittausten kanssa

3.11.8 Tulosten esittäminen

Mallista ja tuloksista, lähinnä Apros-tulosteista, tehtiin luottamuksellinen raportti Fortumille.

3.11.9 Elinkaari

Mallin halutaan olevan käytettävissä jatkossa. Simulointimalli toimitettiin Fortumille cd-levyllä, josta se on luettavissa Aprosiin tulevaisuudessa.

3.11.10 Johtopäätökset

Fysiikan perusyhtälöihin perustuvien dynaamisten mallien rakenne poikkeaa simuloitavan prosessin suunnittelumallista: paljon yksityiskohtaista suunnittelutietoa voidaan jättää pois ja rakenne muokataan käytettävän simulointiohjelmiston mukaan. Simulaattorin rakentamisprosessissa tavallaan suunnitellaan ja toteutetaan uusi laitos, joka ”ulospäin” näyttää samalta kuin oikea laitos. Edellisestä johtuen simulaattorin rakentamisessa voitaisiin näin ollen käyttää samaa alustaa ja työkaluja kuin varsinaisen laitoksen suunnitteluprosessin automatisoinnissa.

Apros vaikutti hyvin ymmärrettävältä laitoksen henkilökunnalle. Mallin kehittäminen vaati kuitenkin runsaasti resursseja ja jäi tästä syystä puolitiehen.

3.12 Nesteen imeytyminen paperiin

Paperin rakenne muodostaa voimaa kantavan verkoston, joka pitkälti sanelee paperikoneen ajettavuuden ja tuotantotehokkuuden. Koska kosteuden kasvu paperissa laskee sen lujuus- ja elastisuusominaisuuksia, veden tunkeutuminen siihen vaikuttaa paperikoneen ajettavuuteen erityisesti niissä jälkikäsitteilyprosesseissa, joissa tapahtuu veden lisäystä (pintaliimaus, päällystys). Projektin tarkoitus on paperin kuiturakenteen ominaisuuksien, siinä tapahtuvan nestevirtauksen sekä rakenteen ja virtauksen välisen vuorovaikutuksen selvittäminen.

Projekti, joka on alkanut syksyllä 2008 toteutetaan Metropolian, Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen (JYFL) ja Oy Metsä-Botnia Ab:n yhteistyöhankkeena.

3.12.1 Vaikutus

Metsä-Botnian liiketoiminnan kannalta on hyötyä kuiturakenteen ominaisuuksiin ja prosessoitavuuteen liittyvän tiedon lisääntyminen. Kuiturakenteen ja siinä tapahtuvan nestevirtauksen ominaisuuksien tunteminen avaa uusia mahdollisuuksia paperin rakenteen optimoimiseen sekä vähäresursisempien ja vähemmän energiantensiivisten valmistusprosessien kehittämiseen. Tämä on tärkein yksittäinen tutkimus- ja kehityskohde kotimaisessa paperinvalmistuksessa.

3.12.2 Ongelman määrittely

Projektissa halutaan selvittää, miten neste tunkeutuu paperiin niissä valmistusprosessin vaiheissa, joissa sitä joudutaan lisäämään, ja miten tunkeutuminen riippuu paperin rakenteesta sekä käytettävän nesteen ominaisuuksista

3.12.3 Ratkaisu

Projektissa määritetään paperin mikroskooppinen rakenne ja tutkitaan, kuinka nesterintama imeytyy tällaiseen rakenteeseen ja kuinka se altistaa eri tavoin muodostuneita paperin rakenteita sen paksuussuunnassa.

Projektissa kokeillaan uuden rakennemittausmenetelmän, 3D-röntgenmikrotomografian, soveltamista tutkittava rakenteen kolmiulotteiseen kuvaamiseen. Kuvauksiin käytetään JYFL:n mikrotomografialaitteistoa, jonka erotuskyky on noin yksi mikrometri. Tomografiakuvat kynnystetään ja niiden avulla muodostetaan näytteen 3D-malli, josta erotetaan kiinteän aineen (kuidun) täyttämä tilavuus ja kuitujen välinen tyhjä alue. Tähän malliin sovelletaan virtauslaskentaa, jolla kuvataan kuiturakenteen ulkopuolelta tulevan nesteen tunkeutumista rakenteeseen. Menetelmä on uusi, ja sen takia on tärkeä todentaa em. rakenneanalyysin ja mallinnuksen välinen toimivuus. Virtauslaskentaan käytetään hila-Boltzmann-menetelmää, joka on hyvin tehokas tällaisissa kohteissa ja poikkeaa sekin huomattavasti muista aiemmin yleisesti nestevirtauksen mallinnukseen käytetyistä numeerisista menetelmistä.

Ratkaisua päätettiin hakea simuloinnin avulla, koska ilmiön tutkiminen kokeellisesti on vaikeaa ja koska uudet kehittyneet mittaus- ja simulointimenetelmät sekä tietokoneiden laskentatehon kasvu avaavat mahdollisuuksia, joita ei ennen ole ollut käytettävissä.

3.12.4 Konseptointi

Virtausilmiöt huokoisessa väliaineessa ovat mukana monissa luonnonilmiöissä. Erilaisia nesteitä virtaa muun muassa maaperässä. Esimerkkejä sovelluksista löytyy vaikkapa öljyteollisuudesta ja ydinvoimalajätteiden loppusijoituksen tai kaatopaikkojen vaikutusten selvittämisestä ympäröivään maa- ja kallioperään.

Monissa teollisissa prosesseissa on kysymys nesteiden suodattumisesta tai suodattamisesta jossain väliaineessa. Esimerkiksi paperinvalmistuksessa

ja valmistettavan paperin käytössä ollaan kiinnostuneita paperin nesteenläpäisevyyteen ja painomusteen imeytymiseen vaikuttavista tekijöistä.

Kun neste siirtyy paperiin ulkoisen paineen tai kapillaarivoimien seurauksena, niin nesteen imeytymisen kannalta keskeinen paperitekniinen suure on paperin nesteenläpäisykyky eli permeabiliteetti. Aineen permeabiliteetti riippuu muun muassa sen huokoisuudesta, huokoisuuden jakautumisesta ja huokostilavuuden ominaispinta-alasta. Imeytyvän nesteen ominaisuuksista tulokseen vaikuttavat viskositeetti, pintajännitys ja kastelevuus (adheesio nesteen ja väliaineen rajapinnalla).

Tässä projektissa on tarkoitus tutkia paperin huokosrakenteen vaikutusta paperin pintaliimauksessa käytetyn nesteen imeytymiseen.

3.12.5 Mallin tiedot

Mikrotomografialaitteiston avulla tutkittiin Metsä-Botnian toimittamat kolme paperinäytettä (yksi paperikoneella tehty ja kaksi laboratorioympäristössä tehtyä arkkiä) ja yksi samaa paperilajia oleva referenssinäyte. Kustakin arkista leikattiin neljä kooltaan n. 2 mm x 2 mm:n näytettä, jotka kuvattiin röntgentomografialaitteistolla.

3.12.6 Mallin rakentaminen

Paperinäytteiden kuiturakenne mallinnettiin 3D-rekonstruktioina, jotka muodostettiin mikrotomografiakuvien avulla. Rekonstruktioista tullaan analysoimaan huokosjakautumaa karakterisoivat parametrit. Nesteen virtaus rekonstruoidussa kuiturakenteessa ei ota huomioon sen mahdollista tunkeutumista kuitujen sisään ja tästä johtuvaa kuiturakenteen muutosta.

Laskentamenetelmänä käytettävä hila-Boltzmann-menetelmä (HB) on täysin diskreetti versio kulkeutumista yleisesti kuvaavasta Boltzmannin yhtälöstä. Siinä nestettä mallinnetaan partikkeleilla, jotka liikkuvat aika-askel kerrallaan diskreetissä laskentahilassa. Myös partikkelien mahdollisia nopeuksia ja liikesuuntia on rajoitettu määrä. Hiukkasten törmäykset hilapisteissä mallinnetaan siten, että kulkeutumiseen liittyvät keskiarvosuureet noudattavat klassisia virtausyhtälöitä (kuten esimerkiksi Navier-Stokes-yhtälö), kun laskentahilaa tihennetään ja aika-askelta lyhennetään riittävästi. Hilan tiheys ja aika-askeleen pituus on siten valittava tarpeeksi pieniksi, mihin nykyisin käytettävissä oleva laskentakapasiteetti ei aseta merkittäviä rajoituksia. Mallin tarkempi kuvaus löytyy menetelmää käsittelevästä kirjallisuudesta (Sukop ym. 2006).

Etuna HB-menetelmässä on sen soveltuvuus virtausten simulointiin geometrisesti monimutkaisessa väliaineessa. Laskentaverkkoa ei tarvitse muodostaa samalla tavalla kuin perinteisissä elementtimenetelmissä, joissa verkko on epäsäännöllinen ja se on muodostettava aina erikseen. HB-menetelmässä rakenneinformaatio voidaan antaa yksinkertaisesti binäärisessä muodossa nimeämällä ne tasaisen kuutiohilan pisteet, jotka kuuluvat kiinteän aineen täyttämään alueeseen.

HB-menetelmää on kokeiltu useissa tämäntyyppisissä virtaussimuloinneissa ja siksi sen tiedetään tällöin olevan huomattavasti muita menetelmiä tehokkaampi.

3.12.7 Mallin soveltaminen

Simulointiin käytetään JYFL:ssa kehitettyä simulointikoodia, joka kuvaa nesteen tunkeutumista kaasun täyttämään tilavuuteen. Menetelmä on aiemmin testattu kuvatulnlaiseen ongelmaan sopivaksi. Sitä kokeiltiin ensin pienellä testinäytteellä ja myöhemmin realistisen kokoisella referenssinäytteellä. Tietokoneajot suoritettiin CSC:n supertietokoneilla (Murska, Louhi). Niiden avulla voitiin arvioida tulosten luotettavuutta ja sitä, millaisia laskentaresursseja simulointeihin tarvitaan. Simulointiajot tutkittavilla näytteillä on aloitettu Metropolia Ammattikorkeakoulussa tammikuussa 2009.

3.12.8 Tulosten esittäminen

Metsä-Botnialle toimitetaan raportti huhtikuussa 2009 niistä tuloksista, jotka ovat yhtiön kannalta kiinnostavia, ja yhtiö tekee niiden perusteella omat johtopäätöksensä. Koska kysymyksessä on uusi menetelmä tällaisiin sovelluskohteisiin, saaduista tuloksista kirjoitetaan myös alan tutkijoille tarkoitettu tieteellinen julkaisu myöhemmin samana vuonna.

3.12.9 Elinkaari

Jatkossakin tullaan tarvitsemaan menetelmää, jossa yhdistetään simulointimenetelmiä tomografiakuvien antamaan rakenneinformaatioon. Menetelmälle on useita käyttökohteita, joten sitä tullaan todennäköisesti tarvitsemaan kohtuullisen usein. Dokumentaatio tapahtuu yllä kuvatulla tavalla raportin ja tieteellisen julkaisun muodossa. Mallirakenteet ja simulointitulokset arkistoidaan digitaalisesti. JYFL ylläpitää simulointimenetelmää ja tomografialaitteistoa.

4 Liiketoimintamahdollisuuksien alustava tarkastelu

4.1 Liiketoiminta

Projektin suunnitteluvaiheessa pidettiin liiketoiminnan kehittämisen kannalta mielenkiintoista kysymyksistä listaa. Alle on koottu tiivis yhteenvehto, jossa kysymyksiä on osin muotoiltu uudestaan ja lisätty vastauksia tai toimia, joilla vastauksiin voitaisiin päästä:

- **Arvoketjut ja niiden toimijat:** johto – käyttäjä – suorittaja – kehittäjä? Aihetta on analysoitu tässä ja aikaisemmassa raportissa (Olin ym. 2007a) laajasti ja tärkeimpänä asiana voidaan pitää informaation siirtoa eri toimijoiden välillä. Pienimuotoisessa yrityksessä pullonkaulaksi muodostuu monen eri toimijatason riittävän hyvän osaamisen kehittäminen ja ylläpito.
- **Asiakkaat ja markkinat: nyt ja jatkossa, koti- ja ulkomailla.** Aihetta on analysoitu Mallinnus- ja simulointiohjelman (MASI) vuosiseminaariesityksessä (Olin ym. 2007b). Globalisaatio voi viedä asiakkaat, mutta toisaalta globalisaatio on myös mahdollisuus sellaisella toimijalle, joka nopeasti sopeutuu ja koulutautuu uuteen sekä keskittyy vaikeisiin erityisaloihin.
- **Hyödyt ja haitat eri osapuolille.** Kysymystä pohditaan melko laajasti SWOT-analyyseissä (Olin ym. 2007a; Olin ym. 2007c), joista käy selvästi ilmi se, että simulointi tuo monien hyötyjen lisäksi myös merkittäviä haittoja ja riskejä, joiden poistamiseksi ja pienentämiseksi tulee työskennellä tehokkaasti.
- **Investointitarve ja käyttöpääoman arviointi, niiden rahoituksen hankkiminen.** Miten tulisi optimoida sekä lisenssien että raudan hankinta, käyttö ja uusiminen? Asiassa ei ole edistytty kovin paljon: pohdittavaa on niin IPR-oikeuksissa kuin osaamisen siirrossa (tulokset – ohjelmat – laitteistot – henkilöt – kaikki).
- **Mallinnus- ja simulointipalvelun tuotteistaminen kaupallisesti hyödynnettäväksi:** uudet tehokkaammat toimintamallit. Miten kehittää ja ylläpitää kansainvälisestikin kilpailukykyistä mallinnus- ja simulointipalvelutoimintaa? Kysymyksenasetteluun ei vielä ole

löydetty ratkaisevaa uutta, mutta aiheen parissa työskennellään, josta esimerkkinä on vaikkapa SISUQ8.

- **Mistä johto/käyttäjä on valmis maksamaan?** Kysymys palautuu informaation välitykseen ja luottamukseen toimijoiden välillä. Varsinaista hyötyä tuottavista tuloksista luonnollisesti ollaan valmiita maksamaan, mutta hyöty saattaa ilmetä vasta vuosia simuloinnin suorittamisen jälkeen.
- **Vaihtoehtoiset toimintamallit?** Tärkeänä on pidetty simulointitoiminnan parempaa konseptointia: asiakas ymmärtää, mitä on tilaamassa ja saamassa, ja simuloija ymmärtää, mitä asiakkaan tarpeita hän on ratkaisemassa. SISUQ8 on suunniteltu tähän avuksi.

4.2 SISUQ8 – arvio toimivuudesta ja jatkokehitystarpeista

SISUQ8-menetelmässä simuloinnin tavoitteet, toteuttamistapa, tarvittava lähtödata, mahdolliset riskit sekä muut tärkeät simulointitoimintaan liittyvät seikat kirjataan. Analysoitaessa esimerkkitapauksia SISUQ8:n avulla esiin nousi monia tärkeitä asioita, joihin ei ollut aiemmin kiinnitetty huomiota. SISUQ8 toimii muistilistana, jota seuraamalla oleelliset asiat tulee tarkasteltua. Koska listaa päivitetään projektin edetessä ja kunkin simulointitoiminnan osatekijän tämänhetkinen vaihe on kirjattu, toimii SISUQ8 projektinhallinnan apuvälineenä ennen projektin käynnistämistä ja sen aikana – sekä myös sen päätyttyä, sillä SISUQ8:ssa kirjataan myös mallin, simulointityön ja tulosten dokumentointitapa sekä elinkaari.

Jotta SISUQ8 pystyisi vastaamaan paremmin edellä esitettyihin taloudellisiin näkökohtiin liittyviin kysymyksiin, siihen olisi syytä liittää jonkinlainen kustannus-hyötyanalyysi. Mukana tulisi olla myös arvio siitä, millä aikataululla tavoitellut hyödyt saavutetaan. Suuri osa mallinnuksesta ja simuloinnista on luonteeltaan pitkäjänteistä tulevaisuuden hyötyihin tähtäväää toimintaa, jolloin arvioihin sisältyy aina jonkin verran epävarmuutta, mutta epävarmakin arvio on parempi kuin ei arviota lainkaan.

5 Päätelmät ja suositukset

SISUQ8 on osoittautunut hyödylliseksi työkaluksi meneillään olevien ja jo päättyneiden simulointiprojektien jäsentämisessä. Menetelmä kaipaa jatkokehitystä ja testausta, jota voitaisiin tehdä esimerkiksi MASI-ohjelman projektisalkun läpikäynnissä saavutettujen tulosten ja jatkokehitystarpeiden arvioimiseksi.

SISUQ8-menetelmä on puettu ongelmanratkaisun muotoon, jossa määritellään ratkaistava ongelma ja etsitään ongelman yhteydet asiakasyrityksen liiketoimintaan. Menetelmä sopii käytettäväksi myös akateemisissa projekteissa. Tällöin tavoite, ”job to be done”, on ymmärryksen kasvattaminen tietyssä aihepiirissä. Tällöinkin on hyvä arvioida tehtävän tutkimuksen vaikuttavuutta rahoittajan liiketoimintaan tai yhteiskunnan kilpailukykyyn ja hyvinvointiin.

Esimerkkitapausten raportointi SISUQ8-muodossa osoittautui haasteelliseksi tehtäväksi. Esimerkkitapausten jakamisesta SISUQ8-menetelmän vaiheisiin käytiin useita hedelmällisiä keskusteluita projektiryhmän kesken. Erityisen haastaviksi osoittautuivat loppuvaiheessa olevat esimerkkitapaukset, joita oli tehty jo pitkään. Toisaalta esimerkkitapauksessa ”Nesteen imeytyminen paperiin” SISUQ8 oli käytössä alusta alkaen eikä SISUQ8:n mukainen hahmottaminen tuottanut ongelmia.

6 Yhteenveto

SISU Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta on Tekesin Mallinnus- ja simulointitutkimusohjelman (MASI) projekti, jonka tutkimusosapuolet ovat Metropolia Ammattikorkeakoulu ja VTT, joka vastaa myös projektin koordinoinnista. Teollisuusosapuolia hankkeessa on yhteensä kymmenkunta.

SISU toteutetaan matriisityyppisenä hankkeena, jossa pystysuunnassa tehdään simulointia kunkin osallistuvan yrityksen tarpeisiin esimerkkita-pauksissa, joiden sisältö on osin luottamuksellinen. Vaakasunnassa tähdätään SISU:n varsinaiseen tavoitteeseen, simuloinnin soveltamisen edistämiseen, ja tämä työ on täysin julkista. Pystysuunnan esimerkkita-pauksissa on mukana vähintään yksi tutkimusosapuoli ja yksi yritys. Vaakasunnan tärkein simuloinnin soveltamista edistävä tulos on SISUQ8-menetelmä

SISUQ8-menetelmässä simulointitoiminta konseptoidaan eri osapuo-lien ymmärtämään muotoon. Simulointihanke on jaettu kahdeksaan ite-ratiivisesti suoritettavaan vaiheeseen, joissa eri osapuolet ovat mukana eri tavoin. Tavoitteena on, että osapuolet ymmärtävät mm. simuloinnin läh-tödatan tuottamisen tärkeyden (mukaan lukien tehdyn työn merkityksen ja tarkoituksen tilaavan yrityksen liiketoiminnassa) ja simuloinnin tulos-ten esittämisen tilaavan yrityksen ja sen johdon kannalta mielekkäässä ja ymmärrettävässä muodossa.

Lähdeluettelo

- Klemola, K. & Turunen, I. 2001. State of Mathematical Modelling and Simulation in the Finnish Process Industry, Universities and Research Centers. Tekes Technology Review 107/2001.
- Olin, M., Lahti, S., Valli, A., Hasari, H., Koistinen, A. & Leppänen, S. 2007a. SISU. Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta. Projektin tavoitteet ja simulointiesimerkkien yhteenveto. Espoo, VTT. 58 s. VTT Tiedotteita - Research Notes; 2405.
- Olin, M., Valli, A., Hasari, H., Koistinen, A. & Lahti, S. 2007b. Suunniteltu Suomessa vai Intiassa! Auttaako SISU? MASI Mallinnus- ja simulointitutkimusohjelman vuosiseminaari. Tampere, 15.–16.5.2007. Tampere. 31 s.
- Olin, M., Kangas, P., Lilja, R., Manninen, J., Valli, A., Hasari, H., Koistinen, A., Leppänen, S. & Lahti, S. 2007c. Utilisation of simulation in industrial design and resulting business opportunities (SISU) - MASIT18. MASI Technology Programme 2005–2009. Yearbook 2007. Technology Review 207/2007. Tekes, s. 157–166.
- Olin, M., Valkiainen, M. & Aalto, H. 1997. Matrix diffusion in crystalline rocks: coupling of anion exclusion, surface diffusion and surface complexation. Helsinki, Posiva Report 96–25. 72 p.
- Sukop, M.C. and D.T. Thorne, Jr., 2006. Lattice Boltzmann Modeling: An introduction for geoscientists and engineers. Springer, Heidelberg, Berlin, New York, 172 pp
- Ulgen, O., Gunal, A. & Shore, J. 1996. Pitfalls of Simulation Modeling and How to Avoid Them by Using a Robust Simulation Methodology. AutoSimulations' Symposium '96 Proceedings.

SISU — Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta

Hyödyn elementit ja käyttöönoton prosessit: SISUQ8

Simulointia pidetään tärkeänä tulevaisuuden osaamisalueena ja sen käyttöä halutaan edistää etenkin pk-teollisuudessa. Julkaisussa esitellään projektia ”Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta” eli SISU (2006–2009), jonka tavoitteena ovat simuloinnin uusien menetelmien kehittäminen etenkin pk-yrityksille, suunnitelman laatiminen menetelmien ottamiseksi käyttöön teollisuudessa, liiketoimintamahdollisuuksien arviointi sekä edellytysten luominen uudelle liiketoiminnalle. Simuloinnin käyttöä ja uusien simulointipalveluja tuottavien yritysten syntyä pyritään edistämään projektin aikana kehitetyn SISUQ8-menetelmän avulla.

SISU on Tekesin Mallinnus- ja simulointitutkimusohjelman (MASI) projekti, jonka tutkimusosapuolet ovat Metropolia Ammattikorkeakoulu ja VTT. Lisäksi mukana on teollisuusyrityksiä.

www.metropolia.fi/julkaisut

ISBN 978-952-5797-04-6 (NID.)
ISSN 1798-2030 (NID.)
ISBN 978-952-5797-03-9 (PDF)
ISSN 1797-8203 (PDF)