

Markus Olin, Seppo Lahti, Asko Valli, Heikki Hasari,
Ari Koistinen & Seppo Leppänen

SISU

Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta

Projektin tavoitteet ja simulointiesimerkkien yhteenveto

SISU
Simuloinnin ja suunnittelun
uudet sovellustavat ja
liiketoiminta
Projektin tavoitteet ja
simulointiesimerkkien yhteenveto

Markus Olin

VTT

Seppo Lahti

Espoon-Vantaan teknillinen ammattikorkeakoulu EVTEK

Asko Valli, Heikki Hasari, Ari Koistinen ja Seppo Leppänen

Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia



ISBN 978-951-38-6954-0 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-6955-7 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2007

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT, Lämpömiehenkuja 3 A, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 5000

VTT, Värmemansgränden 3 A, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 5000

VTT Technical Research Centre of Finland, Lämpömiehenkuja 3 A, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 20 722 111, fax + 358 20 722 5000

Toimitus Maini Manninen

Edita Prima Oy, Helsinki 2007

Olin, Markus, Lahti, Seppo, Valli, Asko, Hasari, Heikki, Koistinen, Ari & Leppänen, Seppo. SISU. Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta. Projektin tavoitteet ja simulointiesimerkkien yhteenveto [Utilisation of simulation in industrial design and resulting business opportunities – SISU. Goals and review of example cases]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2405. 58 s.

Avainsanat simulation, designing, planning, modelling, business opportunities, computer application

Tiivistelmä

Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta (SISU) on Tekesin Mallinnus- ja simulointitutkimusohjelman (MASI) projekti, jonka tutkimusosapuolet ovat EVTEK, Stadia ja VTT, joka vastaa myös projektin koordinoinnista. Teollisuusosapuolet hankkeessa on yhteensä kymmenen.

Simulointia pidetään tärkeänä osaamisalueena tulevaisuuden yhteiskunnassa ja sen käyttöä halutaan edistää etenkin pk-teollisuudessa. SISU on eräs niistä hankkeista, joilla simuloinnin käyttöä pyritään lisäämään. Samaan tavoitteeseen on pyritty jo pitkään ja monilla keinoilla, mutta aivan haluttuun tulokseen ei ole vielä päästy, joten uusien hankkeiden käynnistämistä on pidetty edelleen tarpeellisena.

SISUn tavoitteet voi tiivistää uusien menetelmien kehittämiseen etenkin pk-yrityksille; selkeän suunnitelma laatimiseen uusien menetelmien hankkimisesta teollisuuden käyttöön; uusien liiketoimintamahdollisuuksien arvioimiseen sekä edellytysten luomiseen uuden liiketoiminnan syntymiselle. Tältä pohjalta toivotaan syntyvän uusia simulointipalveluja tuottavia yrityksiä.

SISU toteutetaan matriisityyppisenä hankkeena, jossa pystysuunnassa tehdään simulointia kunkin osallistuvan yrityksen tarpeisiin esimerkkitapauksissa, joiden sisältö on osin luottamuksellinen. Vaakasuunnassa tehdään SISUn varsinaiseen tavoitteeseen liittyviä simuloinnin soveltamiseen liittyviä asioita, jotka on ovat täysin julkisia.

SISUn päätuloksena tähän asti voidaan pitää laajamittaisen keskustelun avaamista simuloinnin soveltamisen hyödyistä, haitoista, mahdollisuuksista ja esteistä, sekä tämän keskustelun systemaattista kirjaamista nyt julkaistavaan raporttiin. Tärkein yksittäinen esiin tullut kehityskohde on simulointitoiminnan konseptointi sellaiseksi, että osallistuvat osapuolet ymmärtävät riittävän hyvin simuloinnin lähtödatan tuottamisen tärkeyden (mukaan lukien tehdyn työn merkityksen ja tarkoituksen tilaavan yrityksen liiketoiminnassa) ja simuloinnin tulosten esittämisen tilaavan yrityksen ja sen johdon kannalta mielekkäässä ja ymmärrettävässä muodossa.

Olin, Markus, Lahti, Seppo, Valli, Asko, Hasari, Heikki, Koistinen, Ari & Leppänen, Seppo. SISU. Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta. Projektin tavoitteet ja simulointiesimerkkien yhteenveto [Utilisation of simulation in industrial design and resulting business opportunities – SISU. Goals and review of example cases]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2405. 58 p.

Keywords simulation, designing, planning, modelling, business opportunities, computer application

Abstract

Utilisation of simulation in industrial design and resulting business opportunities – SISU is a project in Tekes Program MASI Modelling and simulation. The research partners are EVTEK, Stadia and VTT, which also coordinates the whole project. Altogether, ten industrial companies both finance and participate in the project.

Simulation with all applications is considered as important know how in future societies. There is a will, therefore, to promote the utilisation of simulation, particularly in small and medium sized enterprises. SISU is one project, among others, aimed to enhance this utilisation. Efforts for this goal have been numerous, but the results have not been totally satisfactory, yet. Hence launching new projects has been considered useful. The target is in developing new ways that enable quicker, cheaper and more reliable modelling and simulation, in order to achieve a better integration of industrial design, simulation and testing of real models. The new ways and the computer tools based on them are supposed to enhance the efficiency of design work also in cases, where well known and commercially available tools are not as such applicable or they are too slow, expensive or not tested on the type of problem.

SISU is organised in a matrix form. In one direction simulation is done for industrial partners in real example cases with confidential results. In the other direction work is done to achieve the actual goal of SISU: to enhance application of simulation. This part of the work is completely public.

SISU's main result this far can be considered the opening of discussion about application of simulation, especially its strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT); results of discussion are written into this report. Single, most important development target, is to conceptualise the simulation work so that participating partners understand, well enough, importance of good input data including the clarification of purpose and meaning of the work to be done in business of ordering company. Also presentation of simulation results in a format, relevant and understandable to both the company ordering the work and its managerial staff, should be considered.

Alkusanat

SISU eli *Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta* -niminen projekti kuuluu Tekesin MASI-teknologiaohjelmaan, jonka tavoitteena kehittää yrityksiä liiketoimintaa, tuotteita, prosesseja ja palveluja mallinnuksen ja simuloinnin avulla. Mallin olennainen piirre on sen sisältämä matemaattinen kuvaus jostakin asiasta tai ilmiöstä. Simulointi on puolestaan mallin avulla muodostettu kuvaus, jolla tutkitaan tarkasteltavan systeemin toimintaa eri tilanteissa. Mallinnusta ja simulointia voidaan soveltaa monilla teollisuuden aloilla, koulutuksessa ja se toimii myös päätöksenteon tukena.

SISU-hankkeen toteutus alkoi keväällä 2006, ja projekti tulee jatkumaan kesään 2009 asti. Projektin toteuttavat Espoon–Vantaan teknillinen ammattikorkeakoulu (EVTEK), Helsingin ammattikorkeakoulu (Stadia) ja VTT yhdessä 12 teollisuusyrityksen kanssa. Hankkeen laajuus on yli 10 henkilötyövuotta.

Hankkeen johtoryhmän kokoonpano on

Nimi	Organisaatio
Jukka Lahtinen	Etteplan Oyj
Jari Lehikoinen	Sweco PIC Oy
Ralf Sandman	Oy Sandman-Nupnau Ab
Harri Mikkonen	Kardex Finland Oy
Juhani Suvilampi	Watrec Oy
Mikko Höynälänmaa	Pöyry Forest Industry Oy
Jussi Laitio	Rintekno
Juha Santasalo	Genano Oy
Seppo Haapajoki	Fortum Power and Heat Oy /Generation
Matti Häppölä	Fortum Power and Heat Oy /Service
Marja-Terttu Huttu	EVTEK
Mikko Ylhäisi	Tekes
Pertti Ylhäinen	Stadia
Jussi Manninen	VTT
Kaj Juslin	VTT
Pekka Taskinen	Masi-ohjelma
Asko Valli	Stadia
Markus Olin	VTT
Seppo Lahti	EVTEK

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
Symboliluettelo ja määritelmiä.....	9
1. Johdanto	11
2. Simulointi suunnittelun tukena: vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat	14
2.1 Vahvuudet	16
2.1.1 Käyttäjä	17
2.1.2 Suorittaja	17
2.1.3 Kehittäjä	18
2.1.4 Esimerkki: Vesikemian laskenta	18
2.2 Heikkoudet	19
2.2.1 Käyttäjä	19
2.2.2 Suorittaja	19
2.2.3 Kehittäjä	20
2.2.4 Esimerkki: Kytetty mallinnus ydinjätteiden turvallisuustutkimuksissa	21
2.3 Mahdollisuudet	21
2.3.1 Käyttäjä	22
2.3.2 Suorittaja	22
2.3.3 Kehittäjä	23
2.3.4 Esimerkki: Turbulenssin suora simulointi	24
2.4 Uhat	24
2.4.1 Käyttäjä	24
2.4.2 Suorittaja	25
2.4.3 Kehittäjä	25
2.4.4 Esimerkki: Adaptiivinen puuomiverkkomenetelmä	25
2.5 Yhteenveto nelikenttäanalyysistä	26
3. Esimerkkitapaukset ja niissä käytetyt menetelmät	28
3.1 EVTEK 1: 3D-mallin tehokkaampi hyödyntämistapa simuloinnissa ja suunnittelussa	29
3.1.1 Tavoite.....	29
3.1.2 Menetelmät.....	29
3.1.3 Kokemukset simuloinnin kehittymisestä	30

3.2	EVTEK 2: Simulointisovelluksen kehittäminen vaikeisiin sekoitusolosuhteisiin	30
3.2.1	Tavoite.....	31
3.2.2	Menetelmät.....	31
3.2.3	Kokemukset simuloinnin kehittämisestä	31
3.3	EVTEK 3: Datan oikeellisuus	31
3.3.1	Tavoite.....	31
3.3.2	Menetelmät.....	32
3.3.3	Kokemukset simuloinnin kehittämisestä	32
3.4	EVTEK 4: Käyttäytyvä PI-kaavio.....	33
3.4.1	Tavoite.....	33
3.4.2	Menetelmät.....	33
3.4.3	Kokemukset simuloinnin kehittämisestä	34
3.5	EVTEK 5: Biodiesel.....	34
3.5.1	Tavoite.....	34
3.5.2	Menetelmät.....	35
3.5.3	Kokemukset simuloinnin kehittämisestä	35
3.6	EVTEK 6: Integroidun 3D-simuloinnin ja taseentäsmäys-simulointituotteiden kehittäminen.....	35
3.6.1	Tavoite.....	35
3.6.2	Menetelmät.....	36
3.6.3	Kokemukset simuloinnin kehittämisestä	36
3.7	Stadia 1: 3D-suunnittelumenetelmien kehitys.....	36
3.7.1	Tavoite.....	36
3.7.2	Menetelmät.....	36
3.7.3	Kokemukset simuloinnin kehittämisestä	36
3.8	Stadia 2: Visualisointi myynnin tukena.....	37
3.8.1	Tavoite.....	37
3.8.2	Menetelmät.....	37
3.8.3	Kokemukset simuloinnin kehittämisestä	37
3.9	Stadia 3: Virtuaaliprototyypin käyttö kuljetuskaluston tuotekehityksessä ja simuloinnissa	38
3.9.1	Tavoite.....	38
3.9.2	Menetelmät.....	38
3.9.3	Kokemukset simuloinnin kehittämisestä	40
3.10	Stadia 4: Suunnittelumenetelmien kehittäminen	40
3.10.1	Tavoite.....	40
3.10.2	Menetelmät.....	40
3.10.3	Kokemukset simuloinnin kehittämisestä	40
3.11	VTT 1: Sähkökentän mitoitus Comsol Multiphysicsin avulla	41
3.11.1	Tavoite.....	41

3.11.2	Menetelmät.....	41
3.11.3	Kokemukset simuloinnin kehittämisestä	44
3.12	VTT 2: Virtausten hallinta voimalaitoksella Aproksen avulla.....	44
3.12.1	Tavoite.....	44
3.12.2	Dynaaminen prosessimalli, AproS	44
3.12.3	Kokemukset simuloinnin kehittämisestä	45
4.	Simuloinnin ja suunnittelun uudet menetelmät ja liiketoiminta – alustava tarkastelu	46
4.1	Simuloinnin ja suunnittelun uudet menetelmät	46
4.1.1	Testatut menetelmät	46
4.1.2	Parannukset aiempiin menetelmiin verrattuna	46
4.1.3	Jatkokehitystarpeet.....	46
4.2	Liiketoiminta:	47
4.2.1	Verkottuminen ja arvo- ja innovaatioketjut	49
4.2.2	Simuloinnin elinkaari	49
4.3	Uudet menetelmät uuden liiketoiminnan käynnistämässä.....	51
4.3.1	Mikä estää käynnistämästä jo nyt mallinnuksen ja simuloinnin palveluliiketoimintaa?	51
4.3.2	Ratkaisuja? Mitä esteille voisi tehdä?	52
5.	Päätelmät ja suositukset	54
6.	Yhteenveto	56
	Lähdeluettelo	58

Symboliluettelo ja määritelmiä

ABS-muovi	Akrylinitriilibutadieenistyreeni ((C ₈ H ₈ ·C ₄ H ₆ ·C ₃ H ₃ N) _x) on 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
Malli	Useimmiten suppeampi joukko kuin teoria tieteellisiä oletuksia, joiden testattavuuskin voi olla vähemmän intensiivistä. Paino on ehkä enemmän mallin tuottamassa hyödyssä – mallinnus on pragmaattisempaa toimintaa kuin teorioiden idealisoidun maailman tarkasteleminen. <u>MASI-teknologiaohjelman määritelmä</u> : 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	Mallin soveltamista toistuvasti johonkin ongelmakenttään eli pyrkimystä jonkin todellisen ilmiön kuvaamiseen tietokoneella tai muulla tavoin. <u>MASI-teknologiaohjelman määritelmä:</u> Simulointi on puolestaan mallin avulla muodostettu kuvaus, jolla tutkitaan tarkasteltavan systeemin toimintaa eri tilanteissa.
SOLVO	Voimalaitosprosessin laskentamalli, jota käytetään jatkuvuustilan prosessiarvojen ja komponenttien ominaisuuksien laskemisessa.
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats, Vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat; kaksi ensimmäistä kohtaa on toimijan omia ominaisuuksia, kun taas kaksi jälkimmäistä liittyy enemmän toimijan ympäristöön.
Teoria	Varsin yleisesti voimassa olevaksi uskottu joukko tieteellisiä olettamuksia, joiden paikkansa pitävyyttä voi testata.
Validointi	Mallin tuottamien tulosten kelpoistaminen eli vertaaminen reaalia maailmaan. Joskus validointi ja verifiointi määritellään myös päinvastoin toistensa suhteen.
Verifiointi	Mallin toiminnan kelpoistaminen eli vertaaminen alkuperäiseen matemaattiseen kuvaukseen tai muihin vastaaviin malleihin. Joskus validointi ja verifiointi määritellään myös päinvastoin toistensa suhteen.

1. Johdanto

Mallinnuksen ja simuloinnin avulla arvioidaan voitavan selvästi kehittää teollisia prosesseja, vähentää ympäristö- sekä turvallisuushaittoja ja alentaa kustannuksia. Lisäksi mallinnus ja simulointi näyttävät tarjoavan päätöksenteon tueksi analyyttisen ja systemaattisen käsittelytavan, jolla monia nykypäivän yritystoiminnan monimutkaisia ja laajoja kokonaisuuksia voidaan paremmin ymmärtää ja hallita.

Kehittyneiden teollisuusmaiden nykyinen korkea ja edelleen parantuva elintaso perustuu teollisen tuotannon tehokkuuteen. Suunnittelu on puolestaan perusedellytys teollisen tuotannon tehostamisessa: prosessien hyötysuhteen nosto, tuotteiden toimivuus ja kesto, materiaalien uudet ominaisuudet, ympäristö- ja muiden haittojen hallinta. Teollisuusmaissa, kuten Suomessa, on uskottu teollisen suunnittelun pysyvän omassa maassa huolimatta siitä, että varsinaista tuotantoa siirretään muualle.

Simuloinnin ja mallinnuksen odotetaan tehostavan eritoten suunnittelua, joten uusimmat simulointityökalut, parhaat toimintatavat ja osaavat käyttäjät ovat jatkossa menestyksellisen suunnittelutoiminnan perusvaatimus. Osa suunnittelutoiminnasta, kuten tuotannostakin, pysyy paikallisella tasolla, mutta suuri osa niin tuotannosta kuin suunnittelusta voidaan hoitaa globaalisti missä päin maailmaa tahansa. Tuotantoon verrattuna suunnittelun ja simuloinnin tuloksia on verraten helppo siirtää pitkiäkin etäisyyksiä.

SISU-hankkeen tavoitteena on uusimpien simulointimenetelmien aiempaa laajempi hyödyntäminen suomalaisessa yhteiskunnassa kaikenlaisen suunnittelu- ja kehitystoiminnan tukena. Parhaat toimintatavat ja osaavat tekijät eivät riitä ilman hyviä menetelmiä. Hankkeessa tehdään työtä myös toimintatapojen kehittämiseksi etenkin mallinnus- ja simulointityökalujen käyttötapojen ja toimintamallien osalta. SISUn uskotaan osallistuvien ammattikorkeakoulujen opettajien ja oppilaiden myötä vaikuttavan myös uuden osaavan henkilöstön kouluttamiseen ja kehittämiseen.

Monella teollisuuden alalla on saavutettu hyviä tuloksia mallinnuksen ja simuloinnin avulla, mutta varsin usein tilanne on kuitenkin seuraava

- teollista tuotekehitystä tehdään enemmän näppituntumalta kuin todelliseen tietoon perustuen
- uusista ja tehokkaista ohjelmista huolimatta visualisointi perustuu usein staattisen kuvan käyttöön
- käyttäjän on vaikeaa saada haluamansa tulokset nopeasti, helposti ja luotettavasti

- nykyaikaisesta laajakaista- ja langattomasta tiedonsiirrosta huolimatta laskentaa ei vielä voi saada samantapaisena (verkko)palveluna kuin monia muita palveluja.

Nämä puutteet olivat perustana, kun SISUa lähdettiin suunnittelemaan ja arvioitiin, että löytämällä näihin asioihin ratkaisuja oltaisiin lähellä SISU-hankkeen vision ”*Uudet yritykset, jotka tuottavat integroituja simulointi- ja suunnittelupalveluita sekä koti- että ulkomaan markkinoille*” toteutumista.

Projektin konkreettisenä tavoitteena on kehittää uusi simulointi- ja suunnittelumenetelmä, jonka avulla sekä simulointipalvelujen hinta että käytettävyys saadaan tasolle, jolla palvelut ovat myös pk-yritysten ulottuvilla:

- Nykyaikaiset simulointi- ja suunnittelumenetelmät saadaan myös pk-teollisuuden käyttöön.
- Yritystoiminnan syntyminen palvelusimuloinnin kenttään helpottuu.
- Alan koulutus ammattikorkeakouluissa, ja tietämys sekä valmius soveltaa simuloinnin menetelmiä kehittyvät.
- Eri alojen simuloijien vuorovaikutus asiakkaan hyväksi lisääntyy.
- Pääkaupunkiseudun osaamiskeskittymästä on hyötyä koko maan simulointisovelluksiin.
- Opiskelijoille mielenkiintoisia ja vaativia simulointiprojekteja, jotka auttavat työllistymisessä ja jota kautta simulointiosaamista viedään yrityksiin.

Käytännössä hanke toteutetaan useiden 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, joista uskotaan yhdistämällä syntyvän projektin varsinaisen tuloksen. Kuvattuun rakenteeseen päädyttiin moninaisten vaiheiden kautta ja huolimatta rakenteen matriisityyppisyydestä aiheutuvista ongelmista, sen arveltiin olevan toisaalta riittävän joustava ja toisaalta projektia tarpeellisella tasolla kokoava.

Hankkeeseen osallistuvat yritykset, niistä käytetyt lyhenteet ja yhteyshenkilöt ovat

- A. Etteplan Oyj, (“Etteplan”), Jukka Lahtinen
- B. Sweco PIC Oy, (“Sweco”), Jari Lehikoinen
- C. Oy Sandman-Nupnau Ab, (“Sandman-Nupnau”), Ralf Sandman
- D. Kardex Finland Oy, (“Kardex”), Harri Mikkonen
- E. Watrec Oy, (“Watrec”), Juhani Suvilampi
- F. Mamec Oy, (“Mamec”), Jyrki Kukkonen
- G. HJA-Engineering Oy, (“HJA-Engineering”), Heikki Ahonen
- H. Ab Vegoleum Oy, (“Vegoleum”), Thomas Johnsson
- I. Pöyry Forest Industry Oy, (“Pöyry”), Mikko Höynälänmaa
- J. Rintekno Oy, (“Rintekno”), Jussi Laitio
- K. Genano Oy Ab (“Genano”), Juha Santasalo
- L. Fortum Power and Heat Oy, (Fortum), Seppo Haapajoki
- M. Fortum Power and Heat Oy(Fortum 2), Matti Häppölä

Raportissa kuvataan SISU-hankkeen esimerkeistä koostuva rakenne, esimerkeissä käytettävät simulointityökalut, esimerkkien tavoitteet ja sisältö lukuun ottamatta luottamuksellista osuutta. Lisäksi projektissa tehdään kunkin esimerkin kokemusten perusteella yhteenveto, jonka perusteella esitetään alustava arvio simuloinnin ja suunnittelun menetelmien uusimisesta ja sen vaikutuksesta niin itse simulointialan liiketoimintaan kuin teolliseen liiketoimintaan ylipäänsä. Ennen esimerkkien läpikäyntiä esitetään yhteenveto hankkeen suunnittelun ja käynnistyksen aikana esiin tulleista simuloinnin ja suunnittelun vahvuuksista, heikkouksista, mahdollisuuksista ja uhista.

2. Simulointi suunnittelun tukena: vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat

SISU-hankkeen ensimmäiset ajatukset heitettiin ilmaan jo syksyllä 2004, jonka jälkeen EVTEK, Stadia ja VTT ovat kokoontuneet monta kertaa keskustelemaan ja ideoimaan aihekenttää. Lopullisesti projekti lähti käyntiin keväällä 2006, jonka jälkeen ideoinnin vauhti on vain kasvanut. Ongelmakenttä osoittautui alun perin varsin mutkikkaaksi ja kiperäksi – kysymyksiä syntyi nopeasti kuten myös ratkaisuesityksiä ja vastauksia. Seuraavassa on pyritty kokoamaan tämän ideointivaiheen tuloksia SWOT-analyysin (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) avulla. Tarkastelunäkökulmia on luonnollisesti monia esim.

- jotain teollista tuotantoa (prosessi, tuote tai palvelu) pyörittävä yritys: tuotekehityksen *asianhaltija* ja simuloijan kannalta yrityksen *johto*
- johonkin t&k-toimintaan liittyvään ongelmaan simulointia käyttävä henkilö tai osasto: tuotekehityshankkeen projektipäällikkö eli ongelman *ratkaisija* ja simulointitulosten *käyttäjä*
- varsinainen simuloinnin suorittava henkilö tai yhteisö, joka käyttää joko valmiita ohjelmia tai kehittää niitä ehkä myös itse: tuotekehitysongelman ratkaisun kannalta *simuloija* ja simuloinnin kannalta *suorittaja*
- uusien simulointimenetelmien innovoija tai vanhojen kehittäjä: ongelman kannalta simulointiohjelman *toimittaja* tai simuloinnin *kehittäjä*.

Asianhaltija/johdon, ratkaisija/käyttäjän, simuloija/suorittajan ja toimittaja/kehittäjän roolit on esitetty kuvassa 1 ja kuvattu tarkemmin taulukossa 1. Jatkossa käytetään vain nimikkeitä *johto*, *käyttäjä*, *suorittaja* ja *kehittäjä*. Käyttäjän ja johdon roolit tullaan usein myös yhdistämään ja käyttämään tilanteesta riippuen jompaakumpaa nimikettä. Raportin lopussa käsitellään projektissa jo saatujen tulosten perusteella käyttäjien, suorittajien ja kehittäjien verkottumista sekä niiden muodostamia arvo- ja innovaatioketjuja ja näiden elinkaarta.

Johdolla tarkoitetaan tässä yhteydessä jonkin teollisen toiminnan harjoittajan tai palvelun tuottajan edustajaa. Johdolla on normaalisti monia muitakin ongelmia ratkaistavanaan kuin tuotekehitys ja siihen liittyvä innovaatiotoiminta. Monet tuotannossa tai toiminnassa ilmenevät ongelmat ja niiden ratkaisu siirretään tuotekehityksestä vastaavalle toiminnolle, jota tässä yhteydessä kutsutaan (simulointitulosten) käyttäjäksi. Käyttäjä toimii linkkinä johdon ja teknologiaosaamisen välillä, ja käyttäjällä on yleensä selvästi enemmän mahdollisuuksia olla selvillä myös tuotekehityksen asioista samalla kun hän on selvillä johdon tavoitteista ja tarpeista. Varsinaisen kehitys- ja tutkimustyön (tässä tapauksessa simuloinnin) tekee suorittaja, jonka osaaminen ja kiinnostus kohdistuu usein teknistieteelliseen osaamiseen. Suorittajan työkaluja ovat simulointi- ja muut tietokoneohjelmat ja monenlai-

Taulukko 1. Simuloinnin toimijoiden rooleja ja tehtäviä kahdesta eri näkökulmasta: itse tuotekehityshankkeen ja sen ratkaisemisen kannalta sekä simuloinnin tekijän kannalta.

Rooli kehityshankkeen kannalta	Rooli simuloinnin tekijän kannalta	Ratkaistavaa	Välineet	Toiminta	Tilaa	Tuottaa
Asianhaltija	Johto	Tuotteen tai prosessin kehittäminen tai parantaminen mukaan lukien kokonaiskustannukset ja muut reunaehdot	Johdon työkalut	Vaihtoehtojen valinta; rahoituksesta huolehtiminen	Ratkaisun	Parempia tuotteita tai prosesseja
Ratkaisija	Käyttäjä	Keinojen löytäminen tutkimus- ja kehitystyöhön; aikataulut ja rahoitus	Projektihallinnan työkalut	Ongelman siirto datoi- neen suorittajalle; simulointitulosten siirto asianhaltijalle	Simulointiprojektin: ongelman asettelu ymmärtäminen, simuloinnin tuloksineen (helposti ymmärrettävässä muodossa)	Ratkaisun ja/tai lisäymmärrystä ongelmasta
Simuloija	Suorittaja	Työkalun käytön ongelmat; lähtödatan saaminen; tulosten tuottaminen soveltu- vassa muodossa (visualisointi jne.)	Simulointiohjelmat ja tietokoneet; tutkimuskentän osaaminen; alan tieteellistekninen osaaminen	Jonkin prosessin tai tuotteen mallintaminen ja simulointi	Simulointityökalut tukivälineineen: tietokoneet ja ohjelmat	Simulointituloksia ja ongelman ymmärrystä projektin kuluessa
Ohjelman toimittaja	Kehittäjä	Simulointiohjelman soveltu- vuuden ja toiminnan oikeellisuuden takaaminen	Ohjelmointityökalut; alan tieteellistekninen osaaminen	Uuden kehittäminen; ohjelmointi ja muu ohjelmien kehittäminen, markkinoiden seuraaminen	Ohjelmointivälineet ja tietokoneita	Simulointityökaluja: tietokoneohjelmistoja, niiden manuaaleja, tukea ohjelmien käytössä

2.1 Vahvuudet

Simuloinnin ja mallinnuksen odotetaan tuottavan monenlaisia hyötyjä lähes kaikille osapuolille. Seuraavaan on koottu projektin edetessä esiin tulleita asioita, mutta lista ei ole mitenkään täydellinen yhteenveto aiheesta.

2.1.1 Käyttäjä

Käyttäjä tai simuloinnin tuloksista maksava on luonnollisesti kaikenlaisessa kaupallisessa toiminnassa varsinainen systeemiä pyörittävä voima, koska suurin osa simulointitoiminnan rahoituksesta tulee tätä kautta.

Simuloinnin ja mallinnuksen odotetaan tuottavan käyttäjälle tuloksia

- joita ei muuten voi edes saada
- joiden luotettavuus on suurempi kuin aiemmilla menetelmillä
- jotka saadaan nopeammin tai halvemmalla kuin aiemmilla menetelmillä
- joita kerran laaditulla mallilla voi toistaa tai monistaa tehokkaasti
- jotka parantavat asiakkaan kokemaa laatua: tuotteen ulkonäkö, tuotteen tai prosessin robustisuus (vankkumattomuus), tuotteiden tai prosessin tasalaatuisuus
- joiden käyttö on visuaalisempaa tai muuten paremmin hyödynnettävää kuin aiemmilla menetelmillä
- jotka mahdollistavat tehokkaan esisuunnittelun (suunnittelumuutosten hinta kasvaa tuotekehitysprojektin edetessä)
- jotka vähentävät kokeiden määrää.

Jossain tilanteessa simulointi tarjoaa ehkä vain yhden edun, mutta monessa tilanteessa useampia. On helpompaa selvittää se, mitä jo nykyisin on saavutettu simuloinnilla kuin se, mitä sillä voitaisiin saavuttaa uusissa sovelluskohteissa.

2.1.2 Suorittaja

Suurimpia ilmitulleita vahvuuksia simuloinnin soveltamisessa verrattuna esimerkiksi kerta- tai jatkuvatoimisiin mittausten tuottamaan tietoon vastaavista systeemistä ovat

- mahdollisuus saada systeemi tai prosessi lähes mihin tilaan tahansa aiheuttamatta vaaraa ihmisille, laitteille tai ympäristölle

- aivan uusien, ei edes vielä olemassa olevien, systeemien testaus ja tutkimus, tuotteen tai prosessin toiminnan ennustaminen
- simuloinnin halpuus verrattuna moneen kilpailevaan tekniikkaan
- mahdollisuus visualisoida systeemiä tehokkaasti tai laskea asioita, joiden mitaaminen on lähes mahdotonta.

Suorittaja oppii yleensä uutta koko ajan jotain simulointiohjelmaa käyttäessään ja voi käyttää oppimaansa uusissa sovelluksissa. Osa hankalaksi koetuista tai usein toistuvista asioista voidaan myös mahdollisesti siirtää ohjelman tehtäväksi, mikä tehostaa suorittajan työtä edelleen. Jos samalla simulointiohjelmalla on paljon käyttäjiä, saattaa oppimisessa olla apuna jopa maailmanlaajuinen verkosto.

2.1.3 Kehittäjä

Simuloinnin kehittäjällä suurimpia vahvuuksia on mahdollisuus yhdistää luontevalla tavalla monenlaista tieteellis-teknistä osaamista ”saman katon alle”. Monimutkaistuvassa maailmassa, jossa tiedon määrä kasvaa jatkuvasti, on kätevämpää upottaa uusi osaaminen jo luotuun malliin kuin pitää sitä omana irrallisena asianaan vaikkapa tieteellisenä artikkelina, kalvoesityksenä tai joukkona sinällään käteviä laskentakaavoja.

Simulointiohjelman laatijan on myös helppo verkottua jopa maailmanlaajuisesti, koska tietokoneohjelmat ovat niin helposti siirrettäviä ja niiden käyttökokemuksia, testaustuloksia ja/tai muutosehdotuksia on helppo siirtää takaisin ohjelman kehittäjälle. Tämän vahvuuden osalta mallinnus- ja simulointiohjelmat eivät poikkea mitenkään esim. tyyppillisten toimisto-ohjelmien vahvuuksista.

2.1.4 Esimerkki: Vesikemian laskenta

Hyviä esimerkkejä tällaisesta integraatiosta ovat vaikkapa lähes kaikille tuttujen kemiallisten (vahvasti epälineaaristen) tasapainoyhtälöiden laskenta, joita alettiin nopeasti tietokoneiden kehittyessä siirtää laskentamalleiksi. Niiden avulla voitiin kuvata paljon suurempia systeemejä, merkittävästi joustavammin ja yhtenäisemmällä tavalla kuin aiemmin, jolloin useinkin turvauduttiin graafisiin esityksiin esim. pH:n funktiona. Tällaiset mallit olivat alun perin muutaman tuhannen rivin Fortran-ohjelmia, joiden tukena oli suurehko (ehkä muutaman kymmenen tuhannen rivin) tekstimuotoinen tietokanta. Mallin kehittäjä saattoi siten myös jakaa tuotostaan paljon helpommin kuin lähettämällä pelkkiä raportteja. Mallien suorittajat innostuivat aiheesta ja lähtivät sekä myymään tuloksia asiakkaille että osallistumaan mallien kehittämiseen. Tänä päivänä simulointi-

mallien soveltaminen on esim. vesikemiallisille systeemeille jo lähes itsestään selvyys (esim. Zhu & Anderson 2002 ja Wolery & Jarek 2003) .

2.2 Heikkoudet

Monen tuotteen kohdalla on havaittu se, että tuote tai toimintamalli, jolla on paljon vahvuuksia ja hyviä puolia, voi hävitä kilpailussa tuotteelle, jolla on vähän heikkouksia. Mallinnuksen ja simuloinnin kohdalla heikkoudet on usein liitetty todellisuudesta irti olemiseen tai heikkoon käytettävyyteen.

2.2.1 Käyttäjä

Simuloinnin tilaajan tai käyttäjän kannalta tietokonemallinnuksen heikkouksia ovat ainakin seuraavat

- malliin liittyvät näkyvät tai piilossa olevat ongelmat – malli ei kuvaakaan asiakkaan systeemiä tai prosessia riittävän tarkasti
- mallin verifioinnin ja validoinnin vaatima työ tai näiden puuttumisen aiheuttamat virheet
- tietokonemallin mahdollisesti vaatimat raskaat ja jatkuvasti ylläpidettävät laskentaresurssit
- simulointimallien hankinnan ja ylläpidon kalleus mukaan lukien käyttöjärjestelmien ja laskentaresurssien vaihtamisen aiheuttamat muutokset ja muutosten testaus
- simulointimallin käytön useasti vaatima erikoisosaaminen ja sen ylläpito.

Monet näistä heikkouksista ovat erityisen vaikeita pienissä yrityksissä tai simulointiohjelmilla, joiden käyttö on vähäistä.

2.2.2 Suorittaja

Simulointimallin suorittajan tai mallinnustulosten myyjän kannalta heikkoudet ovat hyvin samantapaisia kuin käyttäjän:

- malliin liittyvät näkyvät tai piilossa olevat ongelmat – malli ei kuvaakaan asiakkaan systeemiä tai prosessia riittävän tarkasti

- mallin mahdollisesti huono läpinäkyvyys: malli toimii tai ei toimi odotetusti, mutta kummassakaan tapauksessa ei voi saada täyttä varmuutta syistä tai mallin toimintamekanismeista
- mallin verifiointi ja validointi – onko mallin laatija jo tehnyt näitä; entä riittävätkö ne sovellettaville kohteille
- tietokonemallin mahdollisesti vaatimat raskaat ja jatkuvasti ylläpidettävät laskentaresurssit
- simulointimallien hankinnan ja ylläpidon kalleus mukaan lukien käyttöjärjestelmien ja laskentaresurssien vaihtamisen aiheuttamat muutokset ja muutosten testaus
- simulointimallin käytön useasti vaatima erikoisosaaminen ja sen ylläpito.

Suorittaja joutuu usein valitsemaan läpinäkyvän ja suorittajan hallinnassa olevan yksinkertaistetun mallin ja systeemiä ehkä erinomaisesti kuvaavan, mutta lähes täysin läpinäkymättömän ja vain kehittäjän hallinnassa olevan, mallin välillä. Ensimmäinen vaihtoehto vaatii tutkittavan kohteen ja käytettävän välineen hyvää tuntemusta, kun toisessa vaihtoehdossa osa vaadittavasta osaamisesta on upotettu käytettävään työkaluun, jota toki voidaan testata monin eri tavoin, vaikka esim. lähdekoodia ei olisikaan käytettävissä. Monet ohjelmat ovat nykyisin niin isoja ja laajoja, että lähdekoodin suora käyttö ja tutkiminen ei käytännön resurssi- tai aikataulusyistä ole mahdollista. Erilaisten laatuvaatimusten ja tekijänoikeuksien takia lähdekoodien saatavuus on myös huonontunut ja kehitys tulee olemaan samansuuntaista jatkossakin.

2.2.3 Kehittäjä

Simulointimallin kehittäjän tai johdon kannalta suurimpia heikkouksia uskotaan olevan

- vaikeus laatia mallia niin yleispäteväksi tai rajata sen käyttöä, että malli toimisi oletetulla tavalla soveltajien käsissä
- usein erittäin suuri työmäärä mallien ylläpidossa ja erityisesti hyvien käyttöliittymien luomisessa ja laadun varmistamisessa
- mallin soveltamisen vaatiman parametrivälikon huono laatu tai jopa sen lähes täydellinen puuttuminen.

2.2.4 Esimerkki: Kytetty mallinnus ydinjätteiden turvallisuustutkimuksissa

1980-luvulla vallitsi suuri into kytkeä kaikenlaiset kemialliset reaktiot pohjavedessä ja vesi-mineraalipinnoilla sekä kulkeutuminen kallioperässä yhdeksi suureksi kytketyksi malliksi. Tällaisia malleja laadittiin useita, mutta niiden käyttö jäi lopulta varsin vähäiseksi. Kytetty mallinnus on kuitenkin jälleen tulossa, mutta nyt kytkentöjä on laajennettu myös lämmön siirtoon kalliomekaniikkaan, ja mallinnusta kutsutaan THMC (Thermo-Hydral-Mechanical-Chemical) -mallinnukseksi.

Kytettyjä malleja voi pitää hyvänä tai paremminkin huonona esimerkkinä puhtaasta osaamis pohjaisesta simulointimallin kehittämisestä. Malleja laadittiin, koska nopeasti kasvanut tietokoneiden laskentakapasiteetti mahdollisti niiden tekemisen, testaamisen ja käytön. Malleilta puuttui kuitenkin 1990-luvun alussa todellinen käyttötarve osittain siksi, että ydinjätteiden turvallisuustutkimus ei tuohon aikaan vielä tämän tapaisia malleja tarvinnut ja osittain siksi, että pelkän kemiallisen ympäristön muuttuminen ei ollut riittävän kiinnostavaa edes tutkijoille. Myöhemmin on käynyt lisäksi ilmi, että mallien vaatima parametridata oli ja on osittain edelleen puutteellista esim. pintareaktioiden kinetiikan osalta. Pelkkä malli ilman sovellustarvetta ja soveltamisen vaatimaa dataa ei yllä kuvatus kokemuksen mukaan voi menestyä kovin hyvin.

2.3 Mahdollisuudet

Mahdollisuuksia, kuten myös uhkia, tulee nelikenttäänalyysissä pohtia oman toimintaorganisaation ulkopuolelta, kun vahvuudet ja heikkoudet ovat lähinnä oman organisaation tai toimintaympäristön ominaisuuksia. SISUa valmistellessa yhtenä suurena tulevaisuuden mahdollisuutena nähtiin simulointimallien ja kehittyneen tietoliikenteen yhdistelmät:

- 1) ongelman lähettäminen laskentaan kannettavalla tietokoneella ja/tai matkapuhelimella
- 2) varsinaisen simuloinnin suorittaminen jossain laskentapalvelimessa
- 3) olennaisimmat mallinnustulokset kännykän ruudulle.

Simulointia visioitiin samanlaiseksi tuotteeksi kuin vaikkapa kemiallisen analyysin tai muun vastaavan tilaamista.

Toinen ilmeinen mahdollisuus on edelleen jatkuva helposti käytössä oleva laskentatehon kasvu, joka mahdollistaa systeemien kuvaamisen aiempaa realistisemmin ja aivan uusien asioiden simuloinnin.

2.3.1 Käyttäjä

Simuloinnin tilaajan tai käyttäjän kannalta yhden suurimmista mahdollisuuksista uskotaan piilevän mallinnuksen kyvyssä korvata osittain tai kokonaan prototyyppien valmistamista ja/tai ylipäänsä kokeellista toimintaa täyden mittakaavan tuotannossa (prosessiteollisuus, logistiikka, tietoliikenne jne.). Monella alalla tällainen toiminta on jo täyttä todellisuutta ja vielä useammalla alalla siihen pyritään.

Toinen tärkeä mahdollisuus on optimaalisen muodon tai toimintatavan löytäminen. Pelkkä tieto siitä, kuinka lähellä optimaalista toimintaa jo ollaan, olisi monesti arvokasta. Optimointi toteutetaan usein niin, että simulointimalliin yhdistetään jokin optimointimalli, joka toistaa simulointia automaattisesti joitakin yksityiskohtia muunnellen ja pyrkien sopivia valintakriteereitä käyttäen löytämään aiempaa paremman rakenteen tai toimintatavan.

Kummankin mahdollisuuden toteutumisen takana on sekä luottamus mallinnusmenetelmien paranemiseen että usko (ja hetken aikaa ainakin varma tieto) laskentatehon kasvusta.

2.3.2 Suorittaja

Uusia mahdollisuuksia simuloinnin soveltamisessa uskotaan olevan esim. erimittakaavaisten mallien yhdistämisessä toisiinsa – atomista avaruuteen. Mallit voisivat joko keskustella suoraan keskenään tai niillä voisi olla kummankin ymmärtämä dataformaatti: minkä toinen kirjoittaa sen toinen osaa lukea. Ketjuttamalla tällaisia malleja voitaisiin sitten laskea aiempaa kivuttomammin vaikeita systeemejä.

Toinen mahdollinen lähestymistapa on käyttää tieteellisesti perustellumpia, mutta usein laskennallisesti erittäin raskaita, malleja tuottamaan joko konsepteja tai parametriarvoja ylemmän (= yksinkertaistetun) tason malleille.

Eräs tärkeä alaluokka mallien tiedonsiirrossa on geometriadatan siirto CAD-malleista muiden mallien käyttöön. Nykyisin ongelmana on usein CAD-malliin sisältyvä tarpeeton tai haitallinen tieto. Tarpeetonta tietoa voi olla esimerkiksi liian yksityiskohtainen geometria, jota ei laskettaessa tarvita tai jota on joka tapauksessa pakko yksinkertaistaa. Haitallista tietoa voivat esim. virtauslaskennan kannalta olla läpiviennit, joista mitään ei todellisuudessa pääse virtaamaan, mutta jotka on pakkoa ”tukkia” ennen virtauslaskennan aloittamista.

Simulointimallien soveltamisessa on jatkuvasti edetty yhä käyttäjäystävällisempään suuntaan:

- 1) Ensimmäinen sukupolvi: konekieliset tai pöytä/taskulaskimen ohjelmointikielillä laaditut ohjelmat, joiden käyttö oli vaikeaa, mutta tulokset useinkin arvokkaita.
- 2) Fortranilla tai muilla korkeamman tason kielillä laaditut ohjelmat, joiden käyttö oli helpompaa, mutta joista puuttui useinkin vielä grafiikka, mitä tosin helpotti kaikenlaisten mikrotietokoneohjelmien kehittyminen tähän tarkoitukseen.
- 3) Seuraavan sukupolven simulointiohjelmat, joissa oli itsessään myös mahdollisuus graafiseen esittämiseen, sekä erilaiset ohjelmointikielien korvikkeet, joista Matlab® ja Microsoft® Office Excel lienevät tunnetuimpia.
- 4) Uusimmat ohjelmat, jotka hyödyntävät täysin Windowsin® tai muiden graafisten käyttöliittymien ominaisuuksia sekä mallien käytössä että tulosten tuottamisessa.
- 5) Jollain tavalla oma kehityshaaransa on ollut tiettyjen matemaattisten ongelmien ratkaisemiseen laaditut usein melko taipuisat, mutta toisaalta runsaasti alan asiantuntemusta vaativat ohjelmat: esim. Matlab® matriisien laskentaan, MathCad samoin matemaattiseen ongelmanratkaisuun, Maple symbolisen matematiikan ongelmiin ja Comsol Multiphysics (aiemmin Femlab) osittaisdifferentiaaliyhtälöiden ratkaisemiseen.

Suorittajan kannalta ohjelmien kehitys on tietenkin toisaalta mahdollisuus, mutta toisaalta uusien ohjelmien jatkuva asennus ja niiden oppiminen voi olla myös varsin työlästä – etenkin, jos kyseistä ohjelmaa ei tarvita jatkuvasti.

2.3.3 Kehittäjä

Simuloinnin kehittäjän kannalta simuloitavia asioita ja ilmiöitä on lukematon joukko, joka pikemminkin kasvaa kuin pienenee uusien menetelmien tullessa käyttöön. Näinä päivinä mallinnus ja simulointi ovat itseään katalysoivia menetelmiä, joiden soveltaminen avaa lisää uusia mahdollisuuksia.

Eräs olennainen mahdollisuus on mallien tuottaman, ihmisen kannalta suunnattoman datamäärän lajittelu ja esittäminen eli olennaisen poiminta. Tässä toiminnassa lienee kaksi avainosaamista: visualisointi ja tiedon louhinta. Visualisointi sekä staattisella että liikkuvalla kuvalla sopii ihmisen ja tietokoneen sekä ihmisten keskinäiseen tiedonsiirtoon. Visualisoinnilla voidaan hyödyntää ihmisaivojen suuri kapasiteetti kuvan käsittelyssä. Vastaavasti tietokoneiden sisäiseen ja tietokoneiden väliseen toimintaan näyttäisivät sopivan tiedon louhinnan menetelmät, joilla kokeellisen mittausdatan sijaan voitaisiin tutkia myös mallien tuottamaa dataa.

2.3.4 Esimerkki: Turbulenssin suora simulointi

Turbulenttisen virtauskentän suorat simulointimenetelmät DNS (Direct Numerical Simulation) ovat lisänneet suosiotaan viime aikoina, ja menetelmiä käytetään myös kytettyjen ilmiöiden simulointiin, esim. pienhiukkasten muodostumiseen tai virtausvastusta vähentävien lisäaineiden vaikutusten laskentaan (DRA, Drag Reduction Agents, esim. pitkät polymeerit tai pinta-aktiiviset aineet). Turbulenttinen virtauskenttä kuvataan ajasta ja paikasta riippuvana, koska se muuttuu monimutkaisella tavalla eri aika- ja etäisyyskaaloissa. Ymmärrettävien tulosten aikaansaaminen voidaan tehdä visualisoimalla ja/tai keskiarvoistamalla joko ajan tai paikan suhteen. Kolmas mahdollisuus, jota tämän raportin kirjoittajien tietoon ei ole juurikaan tullut, olisi tiedon louhinnan menetelmien käyttö suoraan DNS-mallien tuottamaan dataan, jolloin käsittelyn tuloksena saattaisi syntyä sekä ideoita että parametridataa tutkittavaa ilmiötä yksinkertaisemmin, mutta kuitenkin realistisesti, kuvaaviin insinöörimalleihin.

2.4 Uhat

Suurin ulkopuolinen uhka niin simulointimallien hyödyntäjille, soveltajille kuin kehittäjillekin lienee se, että muut organisaatiot ottavat käyttöön uusia parempia malleja tai mallien käyttötapoja nopeammin kuin oma organisaatio. Tällä on läheinen suhde mahdollisuuksiin, joita simuloinnissa on lukemattomasti, sillä monesta mahdollisuudesta voi olla vaikeaa valita niitä oikeita. Vaaditaan herkkyyttä pienille signaaleille, jotta mallin- ja simulointiliiketoiminnassa pysyy pinnalla. Tilanne lienee verrannollinen esimerkiksi tietokoneen tai tietokoneohjelmien valmistajiin, joita on tietokoneiden lyhyen historian aikana noussut ja kaatunut useita. Simulointimallien kehittäjät ovat myös yhdistymässä aina vaan suuremmiksi yrityskokonaisuuksiksi. Myös simulointiohjelmien hinnat ovat nousussa, kun niiden hyödyt ovat ilmeisiä.

Yleinen uhka kaikelle simulointitoiminnalle ja kaikille sen toimijoille on luonnollisesti huonojen tai puutteellisten mallien soveltaminen, mallien soveltuvuusalueiden tahallinen tai tahaton ylittäminen, puutteellisen tai väärän parametridatan soveltaminen jne. Seurauksena voi olla suuria vahinkoja ihmisille, luonnolle ja rakennuksille sekä suuria inhimillisiä ja taloudellisia menetyksiä. Vähäisempi seuraus lienee luottamuksen väheneminen mallinnukseen ja simulointiin.

2.4.1 Käyttäjä

Käyttäjän kannalta olennainen lisä yllä esitettyihin uhkiin on taloudellisten ja henkisten resurssien hukkaaminen liiketoiminnan kannalta epäolennaiseen ja heikkotuottoiseen mallinnukseen tai simulointiin. Riski ei välttämättä ole pieni, koska jonkin simulointimallin sovittaminen käyttäjän tuotteeseen tai tuotantoon voi olla vuosia kestävä proses-

si, jossa väärät valinnat lisäävät kustannuksia tai hidastavat tuotantoa tai sen kehittämistä verrattuna ”oikeat valinnat” tehneeseen yritykseen.

Simulointimenetelmän käyttöönotto tulisi nähdä samanlaisena investointina kuin yrityksen muutkin hankinnat. Huono simulointimalli voinee jopa kaataa muuten toimivia yrityksiä, jos sen pohjalta tehdään täysin väriä johtopäätöksiä

2.4.2 Suorittaja

Simulointimallin suorittajan uhkana on myös taloudellisten ja henkisten resurssien hukkaaminen väärin valittuihin malleihin, jotka voivat olla esim. liian työläitä kilpailijoiden malleihin nähden, niiden kehittäminen voi loppua (konkurssi, yritysosto jne.), valittu malli voi menettää kiinnostuksen yhteisössä (käyttäjät haluavatkin edistää muiden mallien käyttöä).

Suorittajan ongelma on markkinointityö hyödyntäjille ja vastaavasti oikeiden mallien valinta monien mahdollisten joukosta. Uhkia ovat myös ohjelmistojen lisenssimaksujen nopea nousu sekä laskentaohjelmien ja -tietokoneiden ylläpidon ja uusimisen hallinnassa ilmenevät ongelmat.

2.4.3 Kehittäjä

Kehittäjän tai ohjelman toimittajien suurimpia uhkia on kehityksestä putoaminen:

- valittu mallien kehityslinja ei jatku vaan korvautuu jollain muulla
- lukemattomien mahdollisuuksien maailmassa lähdetään mukaan kaikkeen eikä kyetä tekemään valintoja, jolloin mistään tuotteesta ei tule riittävän kilpailukykyistä
- ei osata pitää omaa mallia soveltajia ja hyödyntäjiä kiinnostavana tuotteena – kehittäjällä tulee olla myös markkinointiosaamista.

2.4.4 Esimerkki: Adaptiivinen puumoniverkkomenetelmä

VTT:llä aloitettiin jo 1980-luvun puolessa välissä lupaavan uuden numeerisen menetelmän eli adaptiivisen puumoniverkkomenetelmän (adaptive tree multigrid method) kehittäminen (esim. Simbierowicz & Olin 1997). Menetelmä perustui monen erilaisen tason laskentahilan nykytermein älykkääseen soveltamiseen. Laskentahila kyettiin helposti tarkentamaan alimmalla tasolla monta kertaluokkaa tarkemmaksi kuin perinteinen siihen aikaan käytetty tasavälinen hila. Lisäksi hila kyettiin automaattisesti tarkentamaan joko geometrian tai laskennan vaatimassa paikassa. Menetelmää kehitettiin useita vuosia, sen avulla voitiin ratkoa todellisia ongelmia ja sitä sovellettiin mm. pinta- ja

pohjaveden virtauksiin (Simbierowicz & Olin 1991), valun mallinnukseen sekä matriisidiffuusion heterogeenisessä kiviäytteessä (Simbierowicz & Olin 1997).

Mallin kehittäminen olisi ehkä vaatinut vielä suurempia panostuksia, sitä olisi pitänyt markkinoida paremmin tai sitten se oli lopulta huono valinta kehityskohteeksi, sillä kehitystyö päättyi VTT:llä 2000-luvun taitteessa. Moniverkosta ei tullut muuallakaan itsestä tuotetta, mutta se on osa SISU-hankkeessa sovellettua Comsol Multiphysics-mallinnusohjelmistoa – tarkemmin osa Comsolin ratkaisuarsenaalia.

Yllä kuvatun kehityslinjan päättyessä VTT:llä alkoi toinen adaptiivista puumoniverkkoa soveltava kehityshanke, kun Petri Kotiluodon (Kotiluoto 2007) johdolla menetelmää alettiin soveltaa neutraalien ja varattujen hiukkasten siirron laskentaan: esim. neutronivuolla aiheutetun alfa-säteilyn käytössä aivosyövän hoidossa sekä reaktorifysiikan moninaisissa säteilyn ja aineen vuorovaikutuksissa.

2.5 Yhteenveto nelikenttäanalyysistä

Nelikenttäanalyysistä esitetään perinteinen nelikenttäkaavio erikseen hyödyntäjien, soveltajien ja tutkijoiden osalta sekä lopulta neljäs nelikenttä, jossa on analyysi simulointiliiketoiminnasta yleensä.

Taulukko 2. Käyttäjän nelikenttäanalyysi.

<p>S – Vahvuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ nopeus ○ luotettavuus ○ toistettavuus ○ muutoin saavuttamattomat tulokset ○ alhaiset kustannukset – virtuaaliprototyypit 	<p>W – Heikkoudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ mallin mahdolliset piilevät virheet ○ usein raskas validointi ○ hankinnan ja ylläpidon kalleus (sekä ohjelmistot että laitteistot)
<p>O – Mahdollisuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ kaikenlaisten prototyyppien valmistuksen korvike ○ optimaalisen muodon tai toimintatavan löytäminen edullisesti 	<p>T – Uhat:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ resurssien hukkaaminen liiketoiminnan kannalta epäolennaiseen ○ ”väärien” valintojen seuraamukset

Taulukko 3. Suorittajan nelikenttäanalyysi.

<p>S – Vahvuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ nopeus ○ helppo toistettavuus ○ tulokset joita ei muilla keinoin edes saada ○ systeemiä voidaan tutkia kaikissa sen tiloissa ilman riskiä 	<p>W – Heikkoudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ mallin mahdolliset piilevät virheet ○ huono läpinäkyvyys ○ hankinnan ja ylläpidon kalleus (ohjelmistot ja laitteistot) ○ runsas tarve erikoisosaamiseen
<p>O – Mahdollisuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ geometria ja muun datan tehokas siirto mallien välillä ○ monen eri mittakaavan mallinnus ○ uusien piirteiden havaitseminen systeemistä 	<p>T – Uhat:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ resurssien hukkaaminen väärään malliin ○ lisenssimaksujen nopea nousu

Taulukko 4. Kehittäjän nelikenttäanalyysi.

<p>S – Vahvuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ mahdollisuus yhdistää tieteellis-teknistä osaamista ”yhden katon alle” ○ joustava verkottuminen kaikkien toimijoiden kanssa 	<p>W – Heikkoudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ vaikea tehdä hyvää ja yleispätevää samalla kertaa ○ suuri työ mallien kehittämisessä ja ylläpidossa ○ soveltamisen vaatima parametridata
<p>O – Mahdollisuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ todellinen kirjo mahdollisuuksia ○ monen eri mittakaavan mallinnus ○ visualisointi ○ mekanistisen mallin tulosten louhinta ○ laskentatehon kasvu 	<p>T – Uhat:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ väärin valitun mallin kehittäminen ○ vaikeus valita monien mahdollisuuksien joukosta ○ soveltajien ja hyödyntäjien kiinnostuksen ylläpito

Taulukko 5. Koko simulointiliiketoiminnan nelikenttäanalyysi.

<p>S – Vahvuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ helppo toistettavuus ○ tulokset joita ei muilla keinoin edes saada ○ systeemiä voidaan tutkia kaikissa sen tiloissa ilman riskiä ○ verkottuminen 	<p>W – Heikkoudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ mallien piilevät virheet ja niiden poiston työläys ○ kehittämisen, hankinnan ja ylläpidon kalleus ○ runsas tarve erikoisosaamiseen
<p>O – Mahdollisuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ visualisointi, tiedon louhinta (myös mallien tuottaman) ○ monen eri mittakaavan mallinnus ○ prototyypistä virtuaaliprototyypiin 	<p>T – Uhat:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ resurssien hukkaaminen ”väärin malleihin” ○ kehittämiskustannusten nousu ○ mallinnuksen virheellisten tulosten seuraamusten laajuus

3. Esimerkkitapaukset ja niissä käytetyt menetelmät

Luvussa kuvataan kutakin esimerkkitapausta ja siinä käytettyjä menetelmiä. Erityisen mielenkiinnon kohteena on se, kuinka hyvin tehty simulointityö voidaan saada tukemaan yritysosapuolten kanssa etukäteen sovittuja tavoitteita, kuinka tutkimus- ja yritysosapuolten kommunikointi saadaan toimimaan sekä simuloinnin todellisen merkityksen arvioiminen osallistuvan yrityksen liiketoiminnassa.

Tavoitteiden asettaminen, kommunikointi ja mahdollisuudet liiketoiminnassa muodostavat kokonaisuuden, jonka toteutuksessa viestinnän onnistuminen kaikkiin tarvittaviin suuntiin on olennaista. Yrityksen tavoitteet liittyvät yleensä sen liiketoiminnan tai sen jonkin osa-alueen kehittämiseen. Ainakin joskus ketju varsinaisesta liiketoiminnallisesta tarpeesta jonkin teknisen yksityiskohdan kehittämiseen voi jo yrityksen sisällä olla pitkä tai ketju pitäisi jäljittää jopa muihin yrityksiin. Vastaavasti mallinnuksen tai simuloinnin suorittaja joutuu työtään tehdessään palaamaan melko syvällekin tieteellisiin alkulähteisiin: esimerkiksi perehtymään huolella jonkin osamallin kaavoihin tai jonkun kokeellisen menetelmän suorittamisen yksityiskohtiin saadakseen mallinsa kuvaamaan todellisuutta. Täten on luonnollista, että samaa ongelmaa varsin eri suunnista tarkasteleva teollisuuden edustaja ja mallinnuksen tekijä eivät kykene aina kommunikoimaan riittävällä tasolla, vaikka halua ja tarvetta siihen olisikin. Mallinnustyötä ei kuitenkaan saada käyntiin ilman tavoitteita, eikä mallinnuksen teettäjät useinkaan kykene tarkentamaan tavoitteitaan riittävästi ennen kuin joitain tuloksia on jo olemassa. Parhaassa tapauksessa tällainen iterointi alkaa tarkentua, ja mallinnusmenetelmän käytöstä voi tulla tärkeä osa yrityksen liiketoiminnan tukea. Yhtä lailla on mahdollista, että iterointi ei onnistu, vaan mallinnus todetaan hyödyttämäksi puuhasteluksi yrityksen kannalta tai simuloinnin tekijä huomaa menetelmänsä niin raskaaksi, ettei saa siitä riittävän hyvää korvausta, ts. menetelmän vaatima panos ei ole suhteessa menetelmän tuottamaan hyötyyn.

Seuraavassa kustakin esimerkistä kerrotaan lyhyesti tavoite, menetelmät ja simuloinnin kehittyminen esimerkkiä tehtäessä. Pituudeltaan kuvaukset ovat erimittaisia, koska ne ovat eri vaiheessa ja osaa niistä on tuskin edes aloitettu. Myös käytettyjen menetelmien kuvauksissa on eroa, koska joidenkin tunnettavuus lienee jo yleisesti paremmalla tasolla kuin toisten.

3.1 EVTEK 1: 3D-mallin tehokkaampi hyödyntämistapa simuloinnissa ja suunnittelussa

3.1.1 Tavoite

Tavoitteena on

- Kehittää toimintatapa, jolla 3D-mallia voidaan käyttää tehokkaammin simuloinnin ja suunnittelun apuna
- Laitteiston mitoituksen kehittäminen
- Simulointitulosten animointi.

Tähän kuuluu kaksi osaprojektia, joissa teollisuusosapuolina ovat Watrec ja Mamec.

Projektissa simuloidaan biokaasureaktorin toimintaa. Prosessin sekoituksessa on ollut ongelmana mm. sekoitinakselin katkeaminen, josta aiheutuu aikaa vieviä ja kalliita prosessikatkoksia. Sekoittimen toimintaan ja kestävyYTEEN vaikuttavat virtaukset, sekoittimen konstruktio, sekoittimen materiaaliominaisuudet ja prosessiolosuhteet. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta aiheutuu akselin värähtely, joka saattaa aiheuttaa akselin väsymisen ja murtumisen. Tällä hetkellä värähtelyä säädetään kierrosluvulla, joka saattaa tämän vuoksi olla optimia pienempi.

Tavoitteena on selvittää simuloinnin avulla sekoittimen akseliin vaikuttavia voimia ja prosessin toimintaa. Tavoitteena on myös selvittää simuloinnin ja animoinnin käyttömahdollisuuksia liiketoiminnassa.

3.1.2 Menetelmät

Projektissa on käytössä 20 l:n laborioreaktori, jolla on tehty kokeita simuloinnin tarvitsemien parametrien laskemiseksi ja estimoimiseksi. Konkreettisia pienoismalleja tehdään pikamallinnuskonetta käyttäen yhteistyössä Stadian kanssa. Stadian käytössä olevalla pikamallinnuskoneella on mahdollisuus tulostaa kerroksittain kolmiulotteisia kappaleita ABS-muovista. Reaktorista ja sekoittimesta on tehty 3D-CAD-malli, joka on installoitu simulointiohjelmistoon. Ohjelmistojen lisensseissä ja niiden järjestelyissä on ollut paljon ongelmia ja viivästyksiä, mikä onkin eräs palvelusimuloinnin tärkeimpiä ongelmakohtia ja jota myös tässä projektissa on tarkoitus selvittää. Geometrian siirto suoraan CAD-mallista simulaattoriin on kuitenkin osoittautunut toimivaksi. Ensimmäisessä vaiheessa tutkitaan virtausprofiileita ja muita standardiparametreja, kuten sekoitusaikaa, tehollukua, momenttia jne. Oikeat virtausprofiilit ovat prosessin kannalta erit-

täin tärkeitä, koska reaktorin syöttö ja poistokohdat sijaitsevat reaktorin pohjalla vierekkäin. Tällä hetkellä on käynnissä mallin validointi. Seuraavassa vaiheessa tutkitaan mm. mallin skaalausta ja pikamallin hyödyntämistä skaalauksessa. Kokeellisten virtausmitausmenetelmien käyttö ja mahdollisuudet tullaan myös selvittämään. Ensin mallin validoinnin yhteydessä, mutta myöhemmässä vaiheessa laajemmin, erityisesti liiketoiminnan kannalta.

3.1.3 Kokemukset simuloinnin kehittämisestä

Geometrian suora siirto uuden ohjelmiston avulla CAD-mallista simulaattoriin on tärkeä parannus, joka nopeuttaa simulointia. Projektin viivästymiset ovat tähän saakka aiheutuneet geometrian siirrosta. Vaikka siirto lopulta saatiin onnistumaan, niin ongelmat jatkuivat geometrian osalta simuloinnissa. Reaktorin ongelmat ovat osittain lujuusopillisia ja niihin voidaan käyttää myös CAD-ohjelmistojen simulaattoreita ja lujuuslaskentaohjelmistoja. Usein CAD-malli tehdään eri paikassa ja eri ohjelmistoilla, ja sen tekevät eri henkilöt kuin itse simuloija. Tästä aiheutuu väistämättä viivästyksiä.

Käytännön oppina on havaittu, että sovellusohjelmien tulee olla fyysisesti samalla tietokoneella, jotta yllä kuvatuista ongelmista voidaan ylipäänsä suoriutua.

3.2 EVTEK 2: Simulointisovelluksen kehittäminen vaikeisiin sekoitusolosuhteisiin

Käytännön sekoitussovelluksissa fluidit (kaasut ja nesteet) ovat usein ei-newtonisia monifaasisysteemejä. Tällöin simuloinnissa ongelmaksi muodostuu usein sekoitusparametrien estimointi ja riittävän mittausdatan saaminen. Sekoittimet eivät tällaisissa tapauksissa ole useinkaan standardityyppisiä. Prosessikokeet täysimittakaavaisilla laitteistoilla eivät myöskään tavallisesti ole mahdollisia tai ne ovat saavutettuun hyötyyn nähden liian kalliita.

Esimerkissä on tehty CAD-malli ja simulointimalli sekoittimesta. Koemateriaaleina ovat mm. kivituhkaliete ja sellusulppu. Esimerkkiä varten hankittiin uudet sovellusohjelmat, koska geometrian tuonti simulointiin ei entisellä ohjelmistolla onnistunut.

Viskositeetin vakioden (Power Law) määrittäminen standardiviskosimetrillä ei onnistunut, mikä oli odotettavissakin, koska kyseessä olivat monifaasisysteemit. Power Law-parametrien määrittäminen on myöhemmässä vaiheessa tarkoitus yrittää reometrillä. Sitä ennen käytetään simulointiin tunnettujen materiaalien parametreja ja laboratoriomittakaavan tuloksia, koska tavoitteena ei ole keskittyä tiettyyn materiaaliin, vaan saada generistä tietoa sekoittimen käyttäytymisestä.

3.2.1 Tavoite

Teollinen osapuoli on Mamec. Tavoitteena on kehittää tapa, jolla sekoituksen karakteristisia suureita voidaan laskea simuloinnin avulla vaikeissa sekoitusolosuhteissa ei-newtonisilla nesteillä ja ei-standardisekoittimilla. Tässä samoin kuin edellisessäkin esimerkissä on tarkoitus mahdollisimman paljon hyödyntää pikamallia ja kokeellisia virtausmittausmenetelmiä. Esimerkissä on spesifioitu jatkoa varten useita muitakin tavoitteita, mutta niiden toteutus riippuu mallin validoinnin onnistumisesta.

3.2.2 Menetelmät

Lasketaan toteutetaan Fluent- ja Gambit-ohjelmistoilla.

3.2.3 Kokemukset simuloinnin kehittymisestä

Hanke on vasta alussa, joten kokemuksia on kertynyt vain vähän.

3.3 EVTEK 3: Datan oikeellisuus

MDR (Measurement Data Reconciliation) perustuu koestettuihin tekniikoihin ja teoriaan. Teoria on hyvin perusteltu (lineaarinen mallipohjainen suodin). Se soveltuu periaatteessa hyvin mm. energia- ja kemian alan prosesseihin. Tavoitteena on DR-menetelmän soveltaminen voimalaitosprosesseihin. Projektissa simulointiohjelmistona on SOLVO ja DR-ohjelmistoina testataan useita kaupallisia ohjelmistoja.

3.3.1 Tavoite

Teollinen osapuoli on Fortum. Tavoitteena on kehittää tapa, jolla datan käsittelysovellusta (Data Reconciliation) voidaan käyttää omana sovelluksena voimalaitoksen prosessitietojen oikeellisuuskäsittelyssä automaatio- ja/tai prosessitietojärjestelmän yhteydessä.

Teorian peruseriaatteet on ymmärrettävä menetelmää käytettäessä. Tämä on erityisen tärkeä lineaarisessa suodatuksessa, koska siinä on menetelmän yksinkertaistamiseksi tehty yksinkertaistavia oletuksia. Esim. mittausvirheen on oletettu noudattavan Gaussin jakaumaa. Ohjelmat kylläkin testaavat jakauman, ja ilmoittavat, jos virhe ylittää raja-arvon. Virhe on kuitenkin poistettava ennen laskennan jatkamista. Koska MDR-teoria on käytännön olosuhteisiin liian teoreettinen, on tavoitteena myös saada malli ja teoria sellaiseen muotoon, että sitä voidaan käyttää ilman syvällistä teoreettista matematiikan osaamista (rautalankamalli).

Käytettävyys on tässäkin esimerkissä tärkeä tavoite. Tavoitteena on myös kehittää kärkeän virheen poiston automatisointia. Tämän tavoitteen tutkimisen edellytyksenä on kuitenkin onnistunut MDR-perussovellus.

3.3.2 Menetelmät

Simulointiohjelmistona on SOLVO. Esimerkissä testataan DR-ohjelmistoja, mm. RECON, CADSIMplus ja CHEMCAD. Kahdessa viimeksi mainitussa RD-ohjelmisto on integroitu prosessisimulaattoriin, ja ohjelmistoja voidaan käyttää myös kehitetyn systeemin validioinnissa. Kaikissa on mahdollista myös reaaliaikainen ja dynaaminen simulointi. Projektin alussa käytetään vain vakio-tilasimulointia.

Ensimmäisessä vaiheessa menetelmää on testattu EVTEK:n laboratoriolaitteistolle. Joitakin kokeita on myös tehty erään voimalaitoksen eri lämmönvaihtimilla. Suurimmaksi ongelmaksi teollisuusmittauksissa on muodostunut prosessimittausten ja instrumentoinnin vähäisyys menetelmän kannalta. Koska MDR perustuu mittausten redundanssiin, mittauksia saisi olla mieluummin liikaa kuin liian vähän. Tulokset ovat kuitenkin tähän mennessä olleet lupaavia. Ensimmäisessä vaiheessa kokeillaan vakio-tilasovelluksissa ja, mikäli tulokset ovat riittävän hyviä, siirrytään reaaliaika- ja dynaamisiin sovelluksiin. Kaikissa työkaluissa on valmiudet dynaamisiin ja reaaliaikasovelluksiin. Myös mielenkiintoisimmat ja samalla tietysti vaikeimmat ongelmat ovat dynaamisella puolella. Ensimmäisenä tavoitteena on kuitenkin tuote tai ainakin tuoteaihio, ja tähän dynaamisen simuloinnin alueella on vaikea päästä.

Esimerkkitapaus toteutetaan eräällä voimalaitoksella, jossa on aloitettu yksinkertaisemmillä prosesseilla, mm. kaukolämmönvaihtimella ja syöttöveden esilämmittimellä. Saatut tulokset ovat olleet lupaavia. Tällä hetkellä kokeita tehdään keskeisillä voimala-komponenteilla.

3.3.3 Kokemukset simuloinnin kehittämisestä

Simuloinnin tavoitteena on tehdä jokin uusi toiminnallisuus. Alalla on tehty ja tehdään paljon tutkimus- ja kehitystyötä, mutta usein tutkimusten tulokset näyttävän jäävän ”hyllyyn”. Useimmiten jonkin uuden toiminnallisuuden kehittäminen vie pitkään, ja lisäksi ongelmaksi muodostuu se, että tämä jokin uusi toiminnallisuus edellyttää pitkäksi aikaa jotain erillistä laitetta laitokselle. Erilliset järjestelmät koetaan työtä haittaavaksi ja ongelmasta päästään eroon vasta, kun uusi toiminnallisuus kyetään integroimaan osaksi olemassa olevia systeemejä.

3.4 EVTEK 4: Käyttäytyvä PI-kaavio

Simuloinnin ongelmana on usein se, että se tapahtuu erillään muusta suunnittelusta ja käytöstä. Tällöin on vaarana, että simulointia ei käytetä täysimääräisesti hyväksi eikä sitä päivitetä, kun PI-kaaviossa tehdään muutoksia. Prosessisimuloinneissa joudutaan simuloinnin virtauskaavio konstruoimaan PI-kaaviosta uudelleen, vaikka kaaviot ovat lähes samanlaiset. Tehdään siis sama asia kahteen kertaan. Myös datan syötössä PI-kaavioon ja simulointiin joudutaan tekemään päällekkäistä työtä. Simuloinnin ja muun suunnittelun erillisyydestä johtuen saattavat suunnittelijat ja muut PI-kaavion käyttäjät myös kokea simuloinnin vieraana.

3.4.1 Tavoite

Teollinen osapuoli on Pöyry. Tavoitteena on integroida simulointi PI-kaavioon siten, että simulointi saadaan käyttäjän kannalta mahdollisimman ”näkymättömäksi” ja käytettäväksi.

Varsinaisena tavoitteena on työtapojen kehittäminen niin, että päällekkäistä työtä simuloinnissa ja PI-kaavion suunnittelussa saadaan vähennettyä.

3.4.2 Menetelmät

Ohjelmistotyökaluja projektissa on mm. Autocad, AutoMill, Excel, Visual Basic, Win-Gems, ODBD ja CADSIMPlus™. Työssä pyritään käyttämään geneerisiä, käyttäjälle tuttuja ohjelmistokomponentteja esim. Exceliä. Ratkaistavia ongelmia ovat mm.:

- CADin ja prosessisimulaattorin muuttujien vastaavuus
- CAD-muuttujia paljon, simulaattori: muuttujien lukumäärä määrätty (suljettu systeemi)
- CAD: laitteistokomponentteja paljon eri detaljitasoilla; simulaattori: vain simulointiin osallistuvat tarvitaan
- Laskentajärjestyksen automatisointi esim. kierrätyksissä
- CADin tietoja ei aina voida suoraan siirtää simulointiin (esim. putkiryhmät).

Edelleen on mukana triviaaleja ongelmia, kuten dimensiot simuloinnissa. Ongelma moninkertaistuu usean ohjelmiston systeemissä. Ehkä vaikeimmaksi ongelmaksi saattaa

kuitenkin muodostua simulaattorin lähtötietojen hankinta ja syöttö sekä ajotiedoston automaattinen generointi.

3.4.3 Kokemukset simuloinnin kehittymisestä

Aluksi on tehty konseptuaalista simulointia, joka tämän luontoisessa projektissa on tärkein osa koko projektia. Myös konseptuaalisen simuloinnin liitännäisten alustavien määrittelyjä on tehty. Määrittelyissä on ollut hyvänä apuna CADSIMPlus simulaattori, jossa samansuuntainen ratkaisu on jo toteutettu. Olennaisena erona on kuitenkin, että CADSIMPlus toimii myös simulointialustana, kun tässä esimerkissä simulointialustana toimii PI-kaavio ja simulaattori WinGems toimii clientina. Tällä hetkellä työ on aloitettu tietokannan ja simulaattorin välisen linkin kehittämisestä.

Esimerkissä kuvatun simuloinnin automatisoinnin uskotaan vähentävän virheitä, ja toisaalta ohjelman tekemien lisävirheiden (aiempien käyttäjän virheiden sijasta) oletetaan olevan niin ilmiselviä, että käyttäjä tulee ne helposti havaitsemaan ja poistamaan tarvittaessa.

3.5 EVTEK 5: Biodiesel

Biodieselin tuotanto tulee todennäköisesti lähitulevaisuudessa lisääntymään voimakkaasti. Tällä hetkellä biodieseliä tuotetaan Suomessa joko hyvin pienessä mittakaavassa 100–200 l/vrk tai sitten suuressa mittakaavassa (UPM, NESTE); keskimittakaavan laitokset puuttuvat lähes kokonaan. Kuitenkin bioenergian kokonaistehokkuuteen vaikuttavat erittäin paljon kuljetuskustannukset, jotka muodostuvat suuriksi keskitetyssä tuotannossa. Tuotannon pitäisi siis sijaita kuljetusten kannalta mahdollisimman edullisessa paikassa raaka-ainelähteen lähellä. Keskimittakaavaisten laitosten heikkous tällä hetkellä on investointikustannusten suuruus. Investointikustannuksia pitäisi prosessi- ja laite-suunnittelulla saada paljon pienemmiksi. Projektissa tutkitaan simuloinnin mahdollisuuksia erilaisten prosessivaihtoehtojen analysoinnissa.

3.5.1 Tavoite

Teollinen osapuoli on Preseco (Limetti), ja tavoitteena on tuote- ja prosessikehitys. Simuloinnin on lähdettävä tästä lähtökohdasta ja tuotettava lisäarvoa siihen.

Ongelmakenttä prosessikehityksessä on erittäin laaja. Tässä projektissa keskitytään vain itse prosessiin. Raaka-aineen hankinta, logistiikka, lainsäädäntö jne. rajataan pois.

Tavoitteena on tutkia simuloinnin käyttöä erilaisten prosessivaihtoehtojen taloudellisuuden arvioinnissa. Pääpaino on happokatalyysiin perustuvissa 2-vaiheisissa (esteröinti-transesteröinti) prosesseissa. Eri prosessivaihtoehdoista tehdään simulointimallit, joiden avulla voidaan verrata erilaisten prosessivaihtoehtojen taloudellisuutta ja investointikustannuksia.

3.5.2 Menetelmät

Simulaattorina käytetään ainakin alkuvaiheessa jotain yleisprosessisimulaattoria. Koska simuloinnin datatietoja ei ole käytettävissä, tarvitaan paljon laboratoriokokeita, jotka suoritetaan EVTEK:n ja Presecon laboratorioissa. Prosessikokeet tehdään Limetti Oy:llä.

3.5.3 Kokemukset simuloinnin kehittymisestä

Simuloinnin konseptuaalinen osa (yleisellä tasolla) on pääpiirteissään tehty. Aikaa vievin osa on simuloinnissa tarvittavien parametrien hankinta laboratoriokokeiden avulla, joka on aloitettu.

Vaikeimmat ongelmat ovat simuloinnin kannalta komponenttien materiaalitietojen hankinnassa, koska tämän tyyppisissä prosesseissa komponentteja on paljon, eikä tietoja löydy yleisistä datapankeista. Ainoa mahdollinen strategia on etsiä mahdollisia avainkomponentteja ja hankkia niihin materiaalitietoja. Tässä joudutaan tietysti myös yksinkertaistamaan mallia. Jonkin verran joudutaan tekemään myös pseudokomponentteja. Koska prosessivaihtoehtoja on paljon, muodostuu simulointisysteemistä monimutkainen. Monimutkaisuuden hallinta niin, että saadaan relevantteja tuloksia, on ehkä tämän simuloinnin suurin haaste.

3.6 EVTEK 6: Integroidun 3D-simuloinnin ja taseentäsmäys-simulointituotteiden kehittäminen

Esimerkin teolliset osapuolet ovat HJA-Engineering ja Rintekno.

3.6.1 Tavoite

Esimerkin tavoitteena on uusien toimintatapojen (menetelmien) kehitys, erityisesti taseentäsmäyksen energiansäästösovellukset ja 3D-simuloinnin integroinnin sovellukset.

3.6.2 Menetelmät

Esimerkissä käytetään soveltuvien osien hyväksi SISUn muissa osaprojekteissa käytettyjä menetelmiä ja työkaluja sekä saatuja tuloksia. Osaprojektin painopiste on vasta SISU-projektin loppuvaiheessa.

3.6.3 Kokemukset simuloinnin kehittämisestä

Projektin tässä vaiheessa esimerkkien tuloksia ei ole vielä paljoa käytettäväksi. Tähän mennessä kokemuksia on tullut lähinnä simuloinneille tyypillisistä ongelmista, esim. ongelmat lisensseissä, validoinneissa jne. Toisaalta nämä ovat myös niitä kysymyksiä, joihin SISU-hankkeessa haetaan ratkaisua.

3.7 Stadia 1: 3D-suunnittelumenetelmien kehitys

3.7.1 Tavoite

Tavoitteena on kehittää yleinen rajapinta CAD-ohjelmiin parametroinnin helpottamiseksi. Parametroinnilla nopeutetaan asiakaslähtöistä konseptisuunnittelua tarjouksen tekemiseksi. Oikein suunnitelluilla parametrimalleilla ja tuotteen moduloinnilla säästetään turhaa suunnittelutyötä.

3.7.2 Menetelmät

Teollinen yhteistyökumppani on Etteplan Oyj. Ensimmäinen konkreettinen projekti on kaapeliteollisuudessa käytettävän laitteiston yhden osakokonaisuuden parametrimallin kehittäminen.

Tuotteesta tehdään selkeä moduulirakenne ja moduulit parametroidaan. Aluksi toteutetaan rajapinta käyttäen Excel-ohjelmaa. Myöhemmin tutkitaan muita mahdollisia toteutustapoja. Laitteen mallinnus on käynnissä.

3.7.3 Kokemukset simuloinnin kehittämisestä

Esimerkkitapaus on vielä aivan alkuvaiheessa, joten tuloksia saadaan myöhemmin.

3.8 Stadia 2: Visualisointi myynnin tukena

3.8.1 Tavoite

Kardex Finland Oy kanssa on käynnistetty lokakuussa 2006 projekti, jonka tarkoituksena on varastoautomaattien mallinnus myynnin apuvälineeksi. Ensimmäisessä vaiheessa on laadittu tarkistuslista asiakkaan lähtötiedoista, jotka on selvitettävä ennen logistisen järjestelmän simulointia ja testausta. Lisäksi on selvitetty varastoautomaatin mallinnuksen parametreja ja järjestelmän toiminnan kuvauksia. Työkaluna simuloinnissa on Enterprise Dynamics -ohjelma, jonka ohjelmakirjastoon on tarkoitettu lisätä varastoautomaatin simulaatiomalli.

Pyrkimyksenä on luoda malli, jolla arvioidaan muutosten vaikutusta asiakkaalla olevan järjestelmän kokonaissuorituskykyyn ja investoinnin kannattavuuteen. Samalla saadaan tehtyä kuvaus/malli asiakkaan toimintaympäristöstä, jota hyödynnetään erilaisissa vaihtoehtotarkasteluissa.

Logistiikan simulointi- ja mallinnusosaamista kehitetään Kardex Finland Oy:n pienerälogistiikassa ja varastoinnissa. Toimintaympäristössä tapahtuvia nopeita muutoksia/ilmiöitä havainnollistetaan mallien avulla.

3.8.2 Menetelmät

Esimerkkitapauksessa käytettävä Enterprise Dynamics -ohjelma on tarkoitettu kompleksisten tuotanto-, kuljetus- ym. järjestelmien suunnitteluun ja hallintaan. Sen avulla resurssien käyttöä voidaan optimoida ja päätöksentekoa helpottaa jatkuvasti muuttuvassa, yllätyksellisessä liiketoimintaympäristössä. Tällä tavalla voidaan tehostaa järjestelmien suoriutumiskykyä ja parantaa liiketaloudellista tulosta. Malleja kulloiseenkin tarpeeseen voidaan rakentaa ohjelmakirjastossa olevien valmiiden moduulien avulla yrityksen kuvaamien tarpeiden pohjalta.

3.8.3 Kokemukset simuloinnin kehittymisestä

Enterprise Dynamics -ohjelmistoon ollaan ohjelmoimassa varastoautomaatin toimintaa mallintavaa lisämoduulia.

3.9 Stadia 3: Virtuaaliprototyypin käyttö kuljetuskaluston tuotekehityksessä ja simuloinnissa

3.9.1 Tavoite

Vuoden 2006 aikana käynnistettiin uudentyyppisen perävaunun virtuaaliprototyypin kehitys Sandman-Nupnaun kanssa. Tavoitteena oli tehdä virtuaaliprototyyppi perävaunusta rakenteen ominaisuuksien ja toimintojen simuloimiseksi ja optimoimiseksi. Virtuaaliprototyyppi on tehty Catia-ohjelmistolla. Digitaalinen prototyyppi tuotteesta on valmis.

3.9.2 Menetelmät

Projektissa lähdettiin liikkeelle asiakaslähtöistä konseptisuunnittelumenetelmää käyttäen. Lähtökohtana ovat sekä työn tilaajan että loppukäyttäjän tuotteelle asettamat vaatimukset. Rakenteille kohdistuvat vaatimukset syntyivät käyttötehtävistä, käyttöolosuhteista ja työn helpottamista auttavista toiminnoista. Materiaalivalinnoissa keskeinen kriteeri oli tuotteen oman painon optimointi.

Perävaunun rakenne suunniteltiin alusta alkaen modulaariseksi ja parametriseksi. Näitä parametroituja moduuleita voidaan käyttää muissa vastaavissa rakenteissa.

Valmistettavuuden osalta on pyritty löytämään uusia valmistustekniikoita. Teräsrakenteen osat leikataan laserilla, jolloin saavutetaan suuri mittatarkkuus ja sen ansiosta tuotteen korkea tasalaatuisuus. Tuotteeseen tuleva keinuvipu tehdään valumenetelmällä. Valumalli on tehty siten, että se soveltuu kaikkiin valutekniikoihin. Tarkoituksena on löytää yksinkertaisin ja edullisin valumenetelmä sekä prototyypivaiheeseen että sarjatuotantoon.

Perävaunun runkorakenteessa käytettiin Ruukin suurlujuusteräksiä ja alumiinirakenteessa lujitettua alumiinivalua, joka soveltuu hyvin ajoneuvorakenteisiin.

Perävaunun mekaniikan liikesimulointi tehtiin pääasiassa 2D-liikesimulointina. Menetelmä on erittäin nopea ja helppokäyttöinen eikä vaadi muuta kuin muutaman viivan sitomaan geometrian yhteen. Tuloksena saatiin rakenteelle sitova mitoitusperuste, jota käytettiin varsinaisen 3D-mallin tekoon.

Digitaalista mallia käytettiin mm. liikkuvien osien törmäystarkasteluun ja toiminnallisten animaatioiden tekoon sekä lujuusanalyysiin.

CATIA on tuotteita kolmiulotteisesti mallintava suunnittelujärjestelmä. Laajimmillaan ohjelmisto jäljittelee ympäristön ja tuotteiden toimintaa kattavilla virtuaalisilla simulaatioilla. Tuotteista voidaan rakentaa virtuaalisesti toimivia malleja, esim. tosiaikaisesti simuloitu lentokoneen ohjaamo toimintoinen.

CATIA V5:lle ominaista on pitkälle viety parametrisuus, integraatio ulkopuolisiin järjestelmiin sekä virtuaalisten reaaliaikaisten 3D-simulointien mallinnusmahdollisuus. Käyttöliittymältään ohjelma noudattelee Windows-standardeja: käyttö perustuu vahvasti ikoneihin.

Piirrepohjaisuus on mekaniikkasuunnitteluohjelmistoissa yleinen ominaisuus, jossa mallia muokkaavat toiminnot eli piirteet, säilyvät mallin rakenteena. CATIALle ominaista on lisäksi parametrien ja lisättyjen piirteiden luontijärjestyksen tallennus mallin tietokantaan; tämä antaa lisämahdollisuuksia mallin muokkaukseen ja geometrinen piirteiden myöhempään organisointiin.

Tyypillisten 3D-suunnitteluohjelmistojen tapaan komponenttia muutettaessa muutos heijastuu automaattisesti kokoonpanoihin ja piirustuksiin.

Ohjelmisto on modulaarinen: kuhunkin työasemaan voidaan rakentaa eri ominaisuuksia valitsemalla halutut moduulit, joihin eri tehtäviin tarkoitettuja toiminnot on ryhmitelty. CATIAssa näitä moduuleita kutsutaan nimellä workbenches.

Yleisimpiä moduuleita:

- Part Design – osan perusmallinnus (solidimallinnus)
- Assembly Design – kokoonpanojen suunnittelu
- Generative Shape Design – pintamallinnus
- Drafting – piirustusten tuottaminen
- Sketcher – piirteitä määrittävät tasopiirroukset
- Sheet Metal Design – ohutlevysuunnittelu.

3.9.3 Kokemukset simuloinnin kehittymisestä

2D-liikesimulointi on osoittautunut erittäin tärkeäksi ja hyödylliseksi menetelmäksi tämäntyyppisten liikkuvia osia sisältävien rakenteiden suunnittelussa. Kun perusratkaisu on saatu toimivaksi, on ollut helppo jakaa toiminnallisten moduulien suunnittelu usealle henkilölle. Liikesimulointia käytettiin työn aikana useita kertoja, ensin lähtöarvojen määrittämiseen ja myöhemmin toimintojen tarkistamiseen.

3.10 Stadia 4: Suunnittelumenetelmien kehittäminen

3.10.1 Tavoite

Teollinen yhteistyökumppani on Sweco PIC Oy. Tavoitteena on simuloinnin ja visualisoinnin laaja-alainen käyttö suunnittelun alkuvaiheessa nopeuttamaan konseptointia ja esisuunnittelua sekä varmistamaan syntyvän tuote- tai projektimäärittelyn laatu kehitettäessä täysin uusia tuotteita, joihin ei välttämättä ole mitään olemassa olevaa ratkaisua.

Simulointia käytetään apuna konseptivaiheen suunnittelussa ja ideoiden valinnassa. Tällä haetaan tehokkuutta uusien tuotteitten esisuunnitteluvaiheeseen. Varsinaisessa suunnitteluvaiheessa käytetään 3D-digitaaliprototyyppiä tuotteen toiminnan simulointiin ja optimointiin.

Sweco PIC Oy:n kanssa on sovittu yritysprojektista, joka käynnistyi tammikuussa 2007. Kyseessä on uudentyypisen taittuvan istuimen perussuunnittelun tekeminen ja ratkaisujen testaaminen simuloinnin avulla.

3.10.2 Menetelmät

Projekti on käynnistetty opiskelijoiden kanssa tehdyillä aivoriihi-istunnoilla. Tuloksena on syntynyt useita kymmeniä ehdotuksia tuolin rakenteeksi. Näistä valitaan jatkokehittelyyn kaksi–viisi vaihtoehtoa, joista tehdään simulointimalli.

3.10.3 Kokemukset simuloinnin kehittymisestä

Projekti on vielä aivan alkuvaiheessa, joten tuloksia saadaan myöhemmin.

3.11 VTT 1: Sähkökentän mitoitus Comsol Multiphysicsin avulla

3.11.1 Tavoite

Esimerkin teollisuusosapuoli on Genano. Työn tavoitteena on selvittää COMSOL Multiphysics™ (jatkossa CMP) -ohjelmiston sopivuutta sähkökenttien laskennassa; käytetty versiota 3.3. Erityisesti tavoitteena on laskennan yleisen luotettavuuden lisäksi selvittää, miten tehokkaasti CMP:llä kyetään tutkimaan erilaisia geometrisia rakenteita, vertaamaan eri laskentatapauksien hyvyttä ja tallentamaan laskentatapaukset jatkotyötä varten. Tavoitteena on järjestelmällinen eteneminen, jossa simuloinnin hyvyden arviointikriteerien löytäminen on olennainen asia.

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

Tavoitteena on kehittää tapa, jolla sähkökenttiä voidaan laskea tehokkaasti aiempaa työtä hyödyntäen, jolloin päästään luotettaviin tuloksiin edullisesti. Genanolle hyödyllistä on mallintamisella nähdä asioita, joita ei muuten nähdä. Mallinnustyössä on ilmennyt myös ongelmia, mutta myös konkreettisia tuloksia on saavutettu.

3.11.2 Menetelmät

COMSOL Multiphysics™ on vuorovaikutteinen tieteen ja tekniikan ongelmien mallinnus- ja ratkaisuympäristö. COMSOL on suunniteltu erityisesti erilaisten osittaisdifferentiaaliyhtälöiden joustavaan ratkaisuun ja sillä on mahdollista, joko käyttää valmiita, tiettyihin ongelmakenttiin laadittuja pohjia, tai sitten aivan yleisiä osittaisdifferentiaaliyhtälöitä. COMSOL toimii yhdessä, kahdessa tai kolmessa dimensiossa ja niiden yhdistelmissä.

Geometrian laadintaan COMSOLissa on valmiita työkaluja tai sitten siihen voidaan tuoda CAD-mallien geometrioita. Tässä työssä käytettiin COMSOLin omia työkaluja, ja olennainen osa koko hanketta oli näiden geometrian laadintatyökalujen testaus: tehokkuus, muutosten teon helppous ja jo tehdyn työn tallennus.

Kolmiulotteisen geometrian laadinnan avuksi COMSOLissa on valmius piirtää yksinkertaisia perusosia kuten palloja, ellipsoideja tai tahokkaita. Kahdessa ulottuvuudessa on vastaavasti helppo laatia ympyröitä, ellipsejä tai suorakaiteita, joita voidaan kiertää, siirtää ja skaalata varsin helposti. Kolmiulotteisen mallintamisen voima onkin näiden

kaksiulotteisten olioiden pursottaminen, kiertäminen tai näiden yhdistäminen. Kaksiulotteisia olioita voidaan laatia erilaisiin kolmiulotteisen tilan aputasoihin, joista ne siirtyvät kätevästi oikeaan kohtaan kolmiulotteisessa tilassa.

Kaikissa ulottuvuuksissa on käytössä joukko-opilliset työkalut eli unioni, leikkaus ja erotus, jossa määritelmän mukaan suuremmasta leikataan pois pienempi osa. Joukko-opillisia työkaluja voidaan hallita joko pikavalinnoista tai tarkkaan yksilöiden halutut toiminnot.

Haluttaessa eri laskentatapauksia varten skaalata jotain systeemin osaa, ei siis koko systeemiä, on usein tehokkaampaa palata alkuperäiseen geometrian rakentamisvaiheisiin ennen unioneita tai leikkauksia. Tällaisella toimintamallilla sekä säästetään työtä että pidetään geometrian osat, joita tarvitaan myöhemmin alkuarvojen antamisessa ja useissa laskennan jälkeisissä tulosten käsittelyissä.

Hilan laadintaan COMSOLissa on joukko erilaisia vaihtoehtoja, joista tässä työssä käytettiin ongelman luonteen ja melko monimutkaisen geometrian takia perusmenetelmää eli vapaata hilan generointia, joka perustuu tetraedrin muotoisiin elementteihin. Tällaisen hilan generointi on erittäin tehokas ja nopea prosessi, jota voidaan hallita ja tarkentaa COMSOLin työkaluilla esim. niin, että kiinnostavaan kohtaan voidaan luoda tarkempi hila tai sitten muunnella hilan tarkkuutta globaalisti. Sähkökenttien laskeminen vaatiikin tällaista tarkentamista, koska terävien kohtien laskenta muuttuu muutoin varsin epätarkaksi.

Hilan tarkkuuden muuntelun lisäksi COMSOLissa on mahdollista käyttää erilaisia funktioita elementin sisällä: lineaarisia, kuutiollisia tai vieläkin korkeampia. Tämä lisää laskevien vapausasteiden määrää, mutta näin toimien voidaan erilaisia ilmiöitä laskea samassa hilassa samanaikaisesti niin, että tarkempaa laskentaa vaativa ilmiö lasketaan korkeamman kertaluvun elementeillä.

Ratkaistavat yhtälöt: COMSOL sopii monenlaisten yhtälöiden ratkaisemiseen, mutta tässä työssä ratkottiin Laplacen yhtälöä sähköiselle potentiaalille V :

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

Kun potentiaali V , jonka yksikkö on V, tiedetään, niin siitä voidaan laskea sähkökenttä \mathbf{E} (yksikkö V/m)

$$\mathbf{E} = E_x \mathbf{i} + E_y \mathbf{j} + E_z \mathbf{k} = -\nabla V = -\frac{\partial V}{\partial x} \mathbf{i} - \frac{\partial V}{\partial y} \mathbf{j} - \frac{\partial V}{\partial z} \mathbf{k} \quad (2)$$

Jo tästä näkee sen, että potentiaalin muuttuessa nopeasti paikan suhteen sähkökentän muutokset ovat vielä suurempia.

Yhtälön (1) ratkaisemisessa käytettiin COMSOLin valmista elektrodynamiikan elektrostaattista es-pakettia, jossa on valmiudet esittää tulokset myös sähkökentän tai sen normin

$$E = |\mathbf{E}| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2} \quad (3)$$

avulla.

Reunaehdot: COMSOLin es-paketissa on mahdollisuus asettaa seuraavat reunaehdot:

1. sähköisen siirtymävektorin jatkuvuus pinnalla
2. pintavaraus pinnalla (tähän voi laittaa jonkin funktion)
3. nollavaraus/symmetria-pinta (sähkökentän normaalikomponentti on nolla)
4. sähköinen potentiaali pinnalla
5. maadoitettu pinta (potentiaali on nolla).

Tässä työssä käytettiin vaihtoehtoja 3, 4 ja 5, joista vaihtoehdon 3 käytössä on oltava huolellinen siten, että pinta todella on symmetriapinta tai ainakin mahdollisimman lähellä sellaista. Osa pinnoista on tulkittava tyypin 3 pinnoiksi, jotta kaikille pinnoille saadaan reunaehto, jos niiden ei varmuudella tiedetä olevan esim. maadoitettuja. Kaukana jännitteestä olevan maadoitetun ja tyypin kolme pinnan ero on siinä, että sähkökenttä menee täsmälleen nolnaan tyypin kolme pinnoilla, mutta maadoitetussa pinnassa sillä on jokin, yleensä pieni, arvo.

Ratkaisumenetelmät: COMSOL perustuu elementtimenetelmään, jossa voidaan käyttää joko lineaarisia ja/tai korkeamman asteen elementtejä. Ratkaistavaksi tulee siten, mahdollisesti epälineaarisia, matriisiyhtälöitä, joiden ratkaisemiseen ja ratkaisun hallintaan COMSOL tarjoaa tukun menetelmiä, joista tässä työssä käytettiin oletusmenetelmiä, vaikka joitakin kokeita tehtiin myös muilla menetelmillä.

Suurin ongelma ratkaisemisessa on muistin loppuminen etenkin kolmiulotteisissa tapauksissa silloin, kun hilaa tarkennetaan pieniin geometrisiin rakenteisiin nopeasti muuttuvien sähköisten potentiaalien lähellä.

Ratkaisemiseen käytettiin Dual Core 2 -tietokonetta, jossa muistia oli 2 GB, josta osa kului näyttömuistiksi ja jonka kellotaajuus oli 2,2 GHz. Yleensä ratkaisut saatiin lasketua noin kymmenessä sekunnissa.

3.11.3 Kokemukset simuloinnin kehittymisestä

Tähän mennessä on saatu lupaavia tuloksia Genanon kannalta hyödyllisistä simuloineista. Geometrian laadintaan on voitu kehittää tehokkaita menetelmiä, samoin laskenta menee sujuvasti. Sen sijaan tulosten arvioiminen ja ratkaisujen vertaaminen toisiinsa on osoittautunut oletettua vaikeammaksi.

Mallinnus avaa mahdollisuuksia tarkastella yksityiskohtia, jotka muuten käytännön kokeiluissa ”keskiarvoistuvat” näkymättömiin. Kun mallinnuksessa mallien uudelleenkäyttö ja helppo muokattavuus on saatu järjestettyä, niin se mahdollistaa nopean tutkimuksen ja kehityksen, joka käytännön kokeilla olisi mahdotonta.

3.12 VTT 2: Virtausten hallinta voimalaitoksella Aproksen avulla

3.12.1 Tavoite

Teollinen osapuoli on Fortum ja esimerkissä sovelletaan dynaamista prosessisimulointiohjelmisto Aprosia. Tavoitteena on löytää uusia säätötapoja tai prosessiratkaisuja päästörajoiden tiuketessa: SO₂, NO_x ja hiukkaset. Tämän takia pyritään turpeenpolttoprosessin optimointiin myös päästöjen osalta. Tässä vaiheessa on tavoitteena ollut laatia varsinainen, laitoksen osan prosessimalli, jota voidaan myöhemmin soveltaa esim. automaation muutoksissa.

3.12.2 Dynaaminen prosessimalli, Apros

Simuloinnin avulla on mahdollista parantaa ja tehostaa prosessien suunnittelua kokeilemalla erilaisia vaihtoehtoja, optimoimalla säätöjä ja etsimällä sopivimmat mitoitusarvot. Suuren kokoluokan uusiin laitostoimituksiin 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 komponenttitiedoista konvertoimalla ja kopioimalla.

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 ”ulos-

päin” näyttää samalta kuin oikea laitos. Edellisestä johtuen simulaattorin rakentamisessa voitaisiin näin ollen käyttää samaa alustaa ja työkaluja kuin varsinaisen laitoksen suunnitteluprosessin automatisoinnissa.

3.12.3 Kokemukset simuloinnin kehittymisestä

Suoritettujen simulointiajojen perusteella voidaan todeta rakennetun mallin hyvin kuvaavan säätöjen vaikutusta laitokseen sinällään ja sillä on mahdollista tarkastella tilanteita, joita ei ole ehkä koskaan ajettu, ja sen havainnollisuus verrattuna PTK-datan jälkikäteiseen tarkasteluun on erittäin paljon parempi.

Tärkeimpinä tuloksina voidaan pitää seuraavia:

1. Mallin avulla on mahdollista arvioida ja kokeilla erilaisten ajotapojen vaikutusta laitoksen pölypäästöihin ja hyötysuhteeseen ilman suuritöisiä ja kalliita laitoskokeita ja mittauksia.
2. Aprosohjelmiston avulla prosessimuutoksia voidaan testata ilman tietokoneohjelmoinnin erityisosaamista.
3. Uusien automaattioratkaisujen suunnittelua voidaan tehdä ja testata laitoksen ajoa häiritsemättä.
4. Mallin laskemat pölypitoisuudet ovat jo aika lähellä laitoksen oikeita pitoisuuksia, ja tarkkuutta voidaan edelleen parantaa.
5. Aproso-mallin avulla voidaan 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. Lisäosia voisivat olla esim. tehon ja palamisilman säädöt ja näiden tarvitsemat prosessitiedot. Tällöin käyttäjän aseteltavat suureet vähenevät ja ovat automaattisesti laitosta vastaavissa arvoissa. Mikäli mallilla halutaan ajaa osakuormilla, olisi perusteltua tarkentaa myös vesi- tai höyrypiirin mallintamista. Tällöin veden ja höyryn savukaasupiirin kanssa yhteydessä olevien osien sisääntulosuureiden arvot seuraavat tehomuutoksissa automaattisesti laitoksen tehotasoa. Savukaasupuhaltimien ja niihin liittyvien kanavien lisääminen voi prosessi- ja tehomuutoksia tutkittaessa tulla myös tarpeelliseksi.

4. Simuloinnin ja suunnittelun uudet menetelmät ja liiketoiminta – alustava tarkastelu

Suunnittelun tekemiseen tarvitaan hyvät työkalut, toimintatavat ja tekijät. SISUssa keskitytään erityisesti uusien suunnittelua tukevien työkalujen kehittämiseen ja käyttöönottoon. Tavoitteeseen pyritään tekemällä simulointia ja mallinnusta yli kymmenessä rinnakkaisessa esimerkkitapauksessa, jotka on kuvattu edellisessä luvussa. Tässä luvussa esitetään yhteenveto tähän asti saavutetuista tuloksista.

4.1 Simuloinnin ja suunnittelun uudet menetelmät

4.1.1 Testatut menetelmät

SISUssa on aloitettu usean joko kokonaan uuden tai ainakin ajattelultaan uudistuneen menetelmän testaus. Tähän mennessä on valmiiksi saatu Apros-mallinnus ja sähkökenttien laskennassa on edistytty selvästi, samoin prosessimallinnus on jo tuottanut uusia ideoita simuloinnin soveltamisesta. Monitoimiperäkärryn toiminnan ja rakenteen simuloinnista on saatu hyödyllisiä tuloksia.

4.1.2 Parannukset aiempiin menetelmiin verrattuna

Apros-mallin havaittiin tuottavan useita etuja verrattuna aiempiin menetelmiin. Tärkeimpiä näistä on syy-seuraussuhteiden selvittäminen ajamatta laitosta ja sellaisten tilanteiden tutkiminen, joihin normaalissa ajossa harvoin joudutaan. Apros-mallin tekeminen on edelleen varsin suuritöistä.

Cmsol MultiPhysics tuntuu soveltuvan varsin hyvin sähkökenttien laskentaan, ja sillä saadaan tuloksia, joita olisi varsin hankalaa tuottaa ilman mallilaskentoja.

Myös muissa esimerkeissä on edistytty, mutta niiden tulosten raportointi on vielä kesken tai työ on vasta aluillaan.

4.1.3 Jatkokehitystarpeet

Aprosta pitäisi kehittää kevyemmäksi, jotta sillä voitaisiin tuottavasti mallintaa konventionaalisia voimalaitoksia. Raskaus ei liene niin suuri haitta esim. ydinvoimalasovelluksissa.

Comsolin laskentatiedoston uudelleenkäyttö, esim. muokatulla geometrialla, vaatii normaalisti hyvää ennakkosuunnittelua, jotta työ olisi tuottavaa eli pienellä työllä ja vähillä tarkistuksilla päästäisiin uuteen tilanteeseen.

Geometrian siirto CAD-malleista simulointimalleihin on edelleen vaikeaa. Kehitystyö tällä alalla tehdään luonnollisesti SISU-projektin ulkopuolella, mutta SISUssa testataan uuden kehitystyön tuloksia.

4.2 Liiketoiminta:

Projektin suunnitteluvaiheessa pidettiin liiketoiminnan kehittämisen kannalta mielenkiintoisina kysymyksinä seuraavaa listaa:

- Arvoketjut ja niiden toimijat: käyttäjä – suorittaja – kehittäjä, monipuolinen uuden yhdistäjä vs. tiukka erikoistuja?
- Asiakkaat ja markkinat: nyt ja jatkossa, koti- ja ulkomailla.
- Hyödyt ja haitat eri osapuolille: Miten linkki teollisuuden ja tutkimuksen/opetuksen välissä saadaan toimimaan – konsultti, joka ymmärtää kumpaakin toimintaa?
- Investoinnit, käyttöpääoma: Kuka tekee mitäkin eli esim. omistaa lisenssit ja/tai raudan: tutkimuslaitos, yritys vai hyödyntävä yritys? Investointitarve, käyttöpääoman arviointi ja niiden rahoituksen hankkiminen.
- Mallinnus- tai simulointipalvelun tuotteistaminen kaupallisesti hyödynnettäväksi: uudet tehokkaammat toimintamallit. Miten kehittää ja ylläpitää kansainvälisesti-kin kilpailukykyistä mallinnus- ja simulointipalvelutoimintaa?
- Riskien kartoitus: teknologia muuttuu kokonaan, jollekulle (kehittäjä – suorittaja – käyttäjä) tuleekin vain haittaa.
- Tuotot ja kustannukset, sekä niiden kehittyminen: Mistä käyttäjä on valmis maksamaan? Miten tulisi optimoida sekä lisenssien että raudan hankinta, käyttö ja uusiminen?
- Vaihtoehtoiset toimintamallit.

Osaan kysymyksistä on alettu saada lisäselvyyttä, mutta monet aiheet ovat vielä työn alla. Alle on koottu tiivis yhteenveto, jossa kysymyksiä on osin muotoiltu uudestaan ja lisätty vastauksia tai toimia, joilla vastauksiin voitaisiin päästä:

- Arvoketjut ja niiden toimijat: johto – käyttäjä – suorittaja – kehittäjä? Tätä aihetta on analysoitu raportissa laajasti ja tärkeimpänä asiana tässä yhteydessä voidaan pitää informaation siirtoa eri toimijoiden välillä tapauksessa, jossa toimijoita on useita. Vastaavasti pienimuotoisessa ehkäpä vain yhden toimijan tapauksessa pulonkaulaksi muodostuu monen eri toimijatason riittävän hyvän osaamisen kehittäminen ja ylläpito.
- Asiakkaat ja markkinat: nyt ja jatkossa, koti- ja ulkomailla. Tätä aihetta on analysoitu MASI Mallinnus- ja simulointiohjelman vuosiseminaariesityksessä (Olin ym. 2007). Globalisaatio voi viedä asiakkaat, mutta toisaalta globalisaatio on sellaisella toimijalle, joka nopeasti sopeutuu ja koulutautuu uuteen sekä keskittyy vaikeisiin erityisaloihin, myös varsin suuri mahdollisuus.
- Hyödyt ja haitat eri osapuolille. Tätä kysymystä pohditaan tässä raportissa melko laajasti SWOT-analyyseissä (mm. Olin ym. 2007a), 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? Tässä 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? Tähän kysymyksenasetteluun ei vielä ole löydetty ratkaisevaa uutta, mutta aiheen parissa työskennellään, josta tämäkin raportti on kokonaisuudessaan esimerkkinä.
- Riskien kartoitus: teknologia muuttuu kokonaan, jollekulle (kehittäjä – suorittaja – käyttäjä – johto) tuleekin vain haittaa. Riskejä pyritään kartoittamaan ja niille yritetään löytää ratkaisumalleja. Kuvattu tilanne, jossa joku osallistuja kokee saavansa vain haittaa toiminnasta, joka sinällään saattaa olla (kansallisesti) merkittävää, pitäisi tietenkin tunnistaa ja pyrkiä siihen, että toiminnan kehittymistä voidaan jollain muulla tavalla jatkaa.

- Mistä johto/käyttäjä on valmis maksamaan? Kysymys palautuu informaation välitykseen ja luottamukseen toimijoiden välillä. Varsinaista hyötyä tuottavista tuloksista oltaneen valmiita maksamaan, mutta hyöty saattaa ilmetä vasta vuosia simuloinnin suorittamisen jälkeen.
- Vaihtoehtoiset toimintamallit? Uusia ehdotettuja toimintamalleja ei ole tullut paljon esille. Tärkeänä on kuitenkin pidetty simulointitoiminnan parempaa konseptointia: asiakas ymmärtää mitä on tilaamassa ja saamassa, ja simuloija ymmärtää, mitä asiakkaan tarpeita hän on ratkaisemassa. Tähän liittyy hinnoittelu, johon on ehdotettu tietynlaista takuumallia: jos tulokset ovat luvattuja tai niitä parempia, niin asiakas maksaa sovitun summan, mutta jos riittävän hyviin tuloksiin ei päästä, niin simuloija osallistuu merkittävällä tavalla kustannuksien jakamiseen eli alentaa simuloinnin hintaa. Tällaisessa mallissa on myös monia ongelmia, joista voinee olla vaikea päästä yli.

4.2.1 Verkottuminen ja arvo- ja innovaatioketjut

Edellisen kappaleen pohdinnasta ja kysymyksenasettelusta näkee, että hyvin tuottava mallinnus- ja simulointitoiminta vaatii varsin monenlaisten ja eri elämänalueilta olevien asioiden ratkaisemista. Tiedon kulun simulointituloksen hyödyntäjiltä mallien soveltajille ja kehittäjille tulee olla mahdollisimman tehokas. Teollisuuden ongelmat ovat monenlaisia eikä tietoa simuloinnin mahdollisuuksista useinkaan ole; toisaalta simulointimenetelmiä on laaja kirjo eikä simuloijilla vastaavasti ole tietoa menetelmiensä mahdollisista tarvitsijoista.

Projektin hakemisen ja aloittamisen aikana on käynyt selväksi se, kuinka vaikeaa on luoda riittävää verkottumista eri osapuolten kesken ennen kuin simulointi alkaa tuottaa tuloksia. SISU-hankkeessa on ongelmaa lähdetty purkamaan teollisuuden ja simuloijien välisellä keskustelulla projektin puitteissa. Suuria uusia läpimurtoja ei ole saavutettu ja luultavampaa on, että sellaisia ei saadakaan, vaan eteneminen tapahtuu pienin askelin.

4.2.2 Simuloinnin elinkaari

Simulointipalveluissa on nähtävissä ainakin kaksi varsin erilaista elinkaarta: itse simuloinnin kohteen (tuote, prosessi tai palvelu) ja varsinaisen simulointivälineen elinkaaret. Kummankin mitta voi olla varsin pitkä, eikä vielä voida edes arvioida kuinka pitkiä kaa-ret tulevat olemaan, koska tietokonepohjaista laskentaa on monilla aloilla tehty vasta muutamia kymmeniä vuosia.

Simulointimallin elinkaari voisi olla suunnilleen seuraava:

1. idea
2. ensimmäinen toteutus – usein omaan käyttöön
3. myynti muiden käyttöön
4. mallin käytön nopea laajentuminen
5. uusien versioiden laatiminen
6. lopulta kyetään tekemään enää pieniä parannuksia, jolloin mallin liiketoiminnallinen arvo, joskaan ei välttämättä teknillinen, lähtee laskuun.

Monesti mallin tekoa aloitettaessa sitä ei ajatella käytettäväksi 30 vuoden kuluttua, joten tuotteita ei useinkaan tehdä helpolla päivitettäväksi, vaikka muusta tietokoneohjelmatuotannosta tähän saisi jo apua ja valmiita toimintatapoja. Mallin elinkaari liittyy tuotteen tai prosessin elinkaareen usein siinä vaiheessa, kun tuotetta tai prosessia lähdetään uusimaan, jolloin alkuperäisten suunnittelijoiden valintojen perusteet alkavat kiinnostaa. Monesti malleihin ei kuitenkaan ole dokumentoitu tulevia käyttäjiä kiinnostavia asioita. Tämä aihepiiri on tuottanut jopa symbolisia kieliä ja toimintatapoja kuten PSSP ja PDPD (esim. Pasanen 2001) sekä niiden käyttöä tutkivia projekteja.

Tuotteen tai prosessin elinkaari voisi olla esim. seuraava:

1. suunnittelu
2. kehittäminen
3. tuotanto
4. tuotannon lopettaminen/uusinta
5. tuotantolaitoksen käytöstä poisto
6. tuotteen päivittäminen.

Ensimmäisen kerran malleja saatetaan käyttää ja nykyisin aika usein myös käytetään jo esisuunnittelu-, konseptointi- tai ideointivaiheessa. Simuloinnin käytön hyötyjä perustellaan usein mallien helpolla muokattavuudella esim. eri suunnitteluvaiheiden tueksi.

Valitettavasti samassa hankkeessa käytetään useimmiten useita erilaisia malleja, joiden kyky ”keskustella keskenään” ei ole ollut kovin hyvä, joskin tilanteen parantumisesta on havaintoja.

Hyväkin simulointimalli voi osoittautua varsin joustamattomaksi, kun sitä tarvitaan tuotteen, prosessin tai palvelun elinkaaren eri vaiheissa. Monesti mallin jonkin yksityiskohdan muuttaminen käy helposti ja nopeasti mallia luodessa, mutta vaikeutuu tai muuttuu lähes mahdottomaksi mallin tullessa tuotantokäyttöön. Oikean toimintatavan löytäminen vaatii työtä ja tutkimusta, ja tällaisten toimintatapojen ja -mallien tutkiminen on osa SISU-hanketta.

4.3 Uudet menetelmät uuden liiketoiminnan käynnistämisessä

SISUn puitteissa tutkitaan uusia simulointimenetelmiä ja niiden käyttömahdollisuuksia uuden liiketoiminnan käynnistämisessä. Uutuus on tässä yhteydessä nähtävä laajasti siten, että sinällään vanha menetelmä voi olla uusi, kun

1. sitä käytetään uuteen sovellukseen
2. vanha menetelmä otetaan osaksi jotain käytössä olevaa simulointimenetelmää
3. olemassa olevaa menetelmää sovelletaan uudella tavalla.

Koska mallinnuksen ja simulointien hyötyjä pidetään niin ilmeisinä, niin aloitamme tarkastelun menetelmien käyttöönoton esteillä. Sen jälkeen listataan konkreettisia toimia, jotka voisivat toimia apuna liiketoiminnan käynnistämisessä.

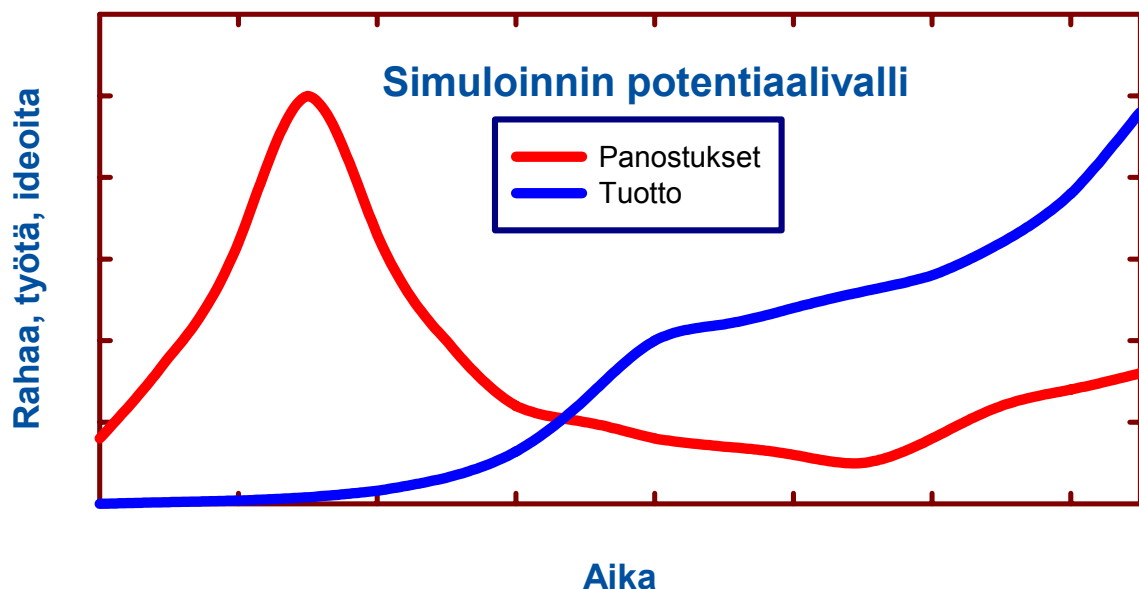
4.3.1 Mikä estää käynnistämästä jo nyt mallinnuksen ja simuloinnin palveluliiketoimintaa?

Esteitä uuden liiketoiminnan käynnistämiseksi on varmaan monia, mutta seuraavassa on lyhyt lista muutamasta mahdollisesta esteestä

1. Epävarmuus markkinoista. Onko palvelulle riittävästi kysyntää ja mitä tulee tarjota, että kysyntää olisi?
2. Ohjelmistolisensseihin liittyvät ongelmat.
3. Käynnistysvaiheessa tarvittava rahoitus.

4. Riittääkö asiantuntemus? Minkä alojen asiantuntijoita tarvitaan? (Tämä liittyy läheisesti kysymykseen 1.)
5. Simuloinnin tulosten jakelun tekniseen toteutukseen liittyvät ratkaisemattomat kysymykset.

Tämän listan asioita ja muuta raportissa kuvattua voi lyhyesti esittää simuloinnin potentiaalivallilla (Kuva 2), joka esittää kuinka panokset tulevat ennen hyötyä kuten niin monessa muussakin asiassa. Uudemmissa asioissa ja ilmiöissä, kuten simuloinnin laajamittaisessa soveltamisessa teollisessa suunnittelussa, ei tähän ole vielä samalla tavalla totuttu kuin perinteisissä asioissa, ja johdolla on puutteellinen kyky arvioida tulevaisuuden hyötyjä nykypäivän panokseen verrattuna.



Kuva 2. Simuloinnin potentiaalivalli.

4.3.2 Ratkaisuja? Mitä esteille voisi tehdä?

Edellä esitettyjä ongelmia ja niiden pohdiskelua on helpohko kirjoittaa, mutta ratkaisujen esittäminen onkin paljon ongelmallisempaa. Tähän lukuun on koottu muutamia ratkaisuehdotuksia.

Kullekin sovellukselle tulee kartoittaa markkinat ja selvittää, millaiselle palvelulle olisi kysyntää. Tässä pitää muistaa myös potentiaalinen kysyntä, joka realisoituu vasta, kun yritykset saadaan tiedostamaan simulointipalvelujen hyöty. Tämän tietoisuuden aikaansaamiseksi tarvitaan sekä yrityksen tuotteiden ja liiketoiminnan että simuloinnin vahvaa asiantuntemusta, ja lisäksi nämä asiantuntemusalueet täytyy saada yhdistettyä (vaikea

ongelma, koska molempien osa-alueiden syvälinen asiantuntemus harvemmin on yhdessä päässä).

Lisäksi pitää selvittää, mitä ohjelmistoja tarvitaan ja millaisilla ehdoilla niitä voidaan käyttää tämältyyppisessä liiketoiminnassa. Tämä yhdessä muiden tekijöiden kanssa vaikuttaa palvelujen hinnoitteluun, joka vaikuttaa myös kysyntään.

Tämältyyppiseen tietointensiiviseen liiketoimintaan ei tarvita suuria pääomia. Suurimmat kulut aiheutuvat henkilöiden työpanoksesta ja toiseksi suurimmat luultavasti ohjelmistolisensseistä. Olisiko riskirahoittajilla kiinnostusta asiaan? Mallinnus ja simulointi ovat edelleen tulevaisuuden aloja, ja "bisnesenkelit" voisi saada innostumaan tällaisesta liikeideasta (kunhan toimintakonsepti on määritelty riittävän tarkasti).

Lisäksi voitaisiin tulosten perusteella kartoittaa, mitä asiantuntemusta tarvitaan ja kuinka se on tarkoituksenmukaisinta koota yhteen; selvittää, millaiset tavat soveltuvat erilaisissa formaateissa (numerodata, staattinen kuva, liikkuva kuva, sanallinen ilmaisu – ja näiden eri esitysmuodot) esitettävien simulointitulosten jakeluun, ja mitä tapoja palveluja käyttävät yritykset pitävät hyvinä.

5. Päätelmät ja suositukset

SISU-projekti on käynnistynyt suunnitellusti: esimerkkitapaukset ovat käynnissä ja vaakatason toiminnasta simuloinnin soveltamisen lisäämiseksi on syntynyt joukko ideoita, joita esitellään laajasti tässä raportissa.

SISUn päätuloksena tähän asti voidaan pitää laajamittaisen keskustelun avaamista simuloinnin soveltamisen hyödyistä, haitoista, mahdollisuuksista ja esteistä, sekä tämän keskustelun systemaattista kirjaamista nyt julkaistavaan raporttiin. Tärkein yksittäinen esiin tullut kehityskohde on simulointitoiminnan konseptointi sellaiseksi, että osallistuvat osapuolet ymmärtävät riittävän hyvin simuloinnin lähtödatan tuottamisen tärkeyden (mukaan lukien tehdyn työn merkityksen ja tarkoituksen tilaavan yrityksen liiketoiminnassa) ja simuloinnin tulosten esittämisen tilaavan yrityksen ja sen johdon kannalta mielekkäässä ja ymmärrettävässä muodossa.

Kilpailevien keinojen etsintä ja evaluointi on sen sijaan kesken. Kilpailevat keinot voivat olla joko muita simulointimenetelmiä tai sitten toimintoja, joilla voidaan sivuuttaa tässä raportissa esitetyt simulointimallit kokonaan esim. suorilla mittauksilla systeemistä.

Muita selvittäviä asioita on ilmennyt varsin paljon, ja niitä on käsitelty edellisessä luvussa. Lisäksi pitäisi selvittää nyt esitettyjen menetelmien yhteensopivuutta jo olemassa olevien järjestelmien kanssa tilanteissa, joissa menetelmä on tarkoitus upottaa osaksi jotain suurempaa systeemiä.

Yritysten pelkona on myös tutkimustulosten hyllyyn jäänti eli tutkimus- ja yritysosaapuolen arvioidaan antavan liian helposti periksi tilanteissa, joissa ei heti saatu valmista tuotetta. Asiaan pitäisi palata uudelleen myöhemmin ja tätä toimintaa voisi systematisoida.

Harvoin käytetyt simulointimallit ovat osoittautuneet erityisen ongelmallisiksi. Harvan käytön syytä voivat olla esim. :

- erikoiskäyttö: käytetään vain joissain poikkeustilanteissa, mutta silloin simuloinnin merkitys voi olla hyvinkin merkittävä
- harva sykli: esim. tuotelinjan uusinnat
- kokeilut: etsitään uusia mahdollisuuksia jonkin prosessin tai tuotannon toteuttamiseksi.

Harvaan käyttöön liittyy osaamisen säilymisen riski, jonka lieventämiseksi tietyt kriittiset harvaan käytetyt, mutta erittäin merkittävät simulointiohjelmat saattaisivat tarvita selkeää yhteiskunnan tukea, eikä niitä ole mielekäästä siirtää liiketoiminnan osaksi.

Ylipäänsä tärkeää on käyttäjän ja suorittajan osaamisen ja kiinnostuksen säilyminen ja jatkuva kehittyminen elinkaaren yli. Tätä asiaa pitäisi korostaa yritysten ja tutkimuslaitosten johdolle, joiden toiminta mahdollistaa tällaisen kiinnostuksen ylläpidon.

Vastakkainasettelua tuntuu esiintyvän pareissa:

- Luotettavuus vs. hinta: luotettavaa on vaikea tuottaa halvalla, mutta halu ja kyky maksaa eivät aina kasva tuloksen luotettavuuden myötä (simuloinnin potentiaalivalli)
- Kaupallinen vs. yhteiskunnan tuki: kaupallinen toiminta on usein yhteiskunnan tukemaa tehokkaampaa, mutta kaikissa tapauksissa tehokkuus ei ole aina päätöksenteon kriteeri. Pitäisi kehittää menetelmiä toiminnan luonteen tunnistamiseksi.

Lisää työtä pitäisi tehdä myös mallien siirrossa tutkimuslaitoksilta yrityksille. Vaihtoehtoisia malleja ovat ainakin:

1. tulokset: siirretään vain tuloksia (tätä tehdään paljon SISUssa)
2. mallit: siirretään tulosten lisäksi myös mallit yrityksille (tavoitteena testata SISUssa)
3. henkilöt: mallien käyttö voi olla niin hankalaa, että niiden lisäksi pitää siirtää myös henkilöt
4. kaikki: siirretään kerralla kaikki eli olemassa olevat tulokset, laitteistot, mallit ja tekijät.

Sopivan siirtotavan selvittämiseen olisi myös hyvä etsiä kriteereitä.

Yleinen ongelma simuloinnissa on edelleen käytettävyyden ja lähtöarvojen saaminen, joista edellistä on vaikea kehittää SISUssa, mutta joista jälkimmäistä voi ainakin ideoida tehokkaammaksi. Käytettävyyden on asia, jota voidaan parantaa, ja simulointiyhteisön tulisi vaatia mallien kehittäjiltä lisäpanostusta käytettävyyden parantamiseen.

6. Yhteenveto

SISU *Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta* on Tekesin MASI Mallinnus- ja simulointitutkimusohjelman projekti, jonka tutkimusosapuolet ovat EVTEK, Stadia ja VTT, joka vastaa myös projektin koordinoinnista. Teollisuusosapuolia hankkeessa on yhteensä kymmenen.

Simulointia pidetään tärkeänä osaamisalueena tulevaisuuden yhteiskunnassa ja sen käyttöä halutaan edistää etenkin pk-teollisuudessa. SISU on eräs niistä hankkeista, joilla simuloinnin käyttöä pyritään lisäämään. Samaan tavoitteeseen on pyritty jo pitkään ja monilla keinoilla, mutta aivan haluttuun tulokseen ei ole vielä päästy, joten uusien hankkeiden käynnistämistä on pidetty edelleen tarpeellisena.

SISUn tavoitteet voi tiivistää uusien menetelmien kehittämiseen etenkin pk-yrityksille, selkeän suunnitelman laatimiseen uusien menetelmien hankkimisesta teollisuuden käyttöön ja uusien liiketoimintamahdollisuuksien arvioimiseen sekä edellytysten luomiseen uuden liiketoiminnan syntymiselle. Tältä pohjalta toivotaan syntyvän uusia simulointipalveluja tuottavia yrityksiä.

SISU toteutetaan matriisityyppisenä hankkeena, jossa pystysuunnassa tehdään simulointia kunkin osallistuvan yrityksen tarpeisiin esimerkkitapauksissa, joiden sisältö on osin luottamuksellinen. Vaakasuunnassa tehdään SISUn varsinaiseen tavoitteeseen liittyviä simuloinnin soveltamiseen liittyviä asioita, jotka ovat täysin julkisia.

SISUn päätuloksena tähän asti voidaan pitää laajamittaisen keskustelun avaamista simuloinnin soveltamisen hyödyistä, haitoista, mahdollisuuksista ja esteistä, sekä tämän keskustelun systemaattista kirjaamista nyt julkaistavaan raporttiin. Tärkein yksittäinen esiin tullut kehityskohde on simulointitoiminnan konseptointi sellaiseksi, että osallistuvat osapuolet ymmärtävät riittävän hyvin simuloinnin lähtödatan tuottamisen tärkeyden (mukaan lukien tehdyn työn merkityksen ja tarkoituksen tilaavan yrityksen liiketoiminnassa) ja simuloinnin tulosten esittämisen tilaavan yrityksen ja sen johdon kannalta mielekkäässä ja ymmärrettävässä muodossa.

SISU koostuu esimerkkitapauksista, joissa kussakin on mukana vähintään yksi tutkimusosapuoli ja yksi yritys.

EVTEKin hankkeissa on keskitytty prosessiteollisuuden suunnitteluun ja prosessien ohjaukseen. Käytettyjä menetelmiä ovat olleet virtauslaskennan työkalut 3D-CAD-mallien kanssa, aine- ja energiataseen mallit ja muut prosessimallit.

Stadian tuotesuunnitteluun liittyvissä projekteissa on keskitytty koko suunnitteluprosessin nopeuttamiseen simuloinnin ja mallintamisen avulla. Simulointia, modulointia ja standardointia hyödynnetään konseptisuunnitteluvaiheesta alkaen. Perävaunuprojektissa on rakenteen toimivuus testattu 2D-simuloinnilla ja saatu sen avulla mitoituspohja varsinaiselle 3D-mallinnukselle ja virtuaaliprototyypin tekemiselle. Virtuaalimallilla on tehty yksityiskohtainen rakennesuunnittelu, mitoitus, lujuusanalyysit ja materiaalioptimointi. Lisäksi mallin avulla on suunniteltu tuotteen valmistusmenetelmät ja tarvittavat valmistuksen aikaiset työkalut tavoitteena mahdollisimman yksinkertainen ja vähän erilaisia työmenetelmiä vaativa tuotantoprosessi. Erityinen huomio on kiinnitetty laserleikkauksen käyttömahdollisuuksiin hitsattavien osien valmistuksessa. Ilman virtuaaliprototyyppiä ja 3D-mallia ei tällainen valmistussuunnittelu olisi mahdollista. Erityisesti suunniteltujen laserleikkattavien osien käyttö mahdollistaa myös sen, että osakokoonpanot voidaan suurelta osin hitsata ilman erillisiä aputyökaluja ja ilman kokoonpanovirhemahdollisuutta.

Perävaunuprojektin loppuvaiheessa tehdään todellisen prototyypin avulla kuormitus- ja rasitusmittauksia ja verrataan tuloksia virtuaaliprototyypistä suunnitteluvaiheessa saattuihin tuloksiin. Tulosten pohjalta päivitetään tarvittaessa virtuaaliprototyyppiä ja tulostetaan lopulliset valmistusdokumentit. Virtuaalimallin avulla pystytään myös nopeasti tekemään erilaisia variaatioita perustuotteesta.

Käyttämällä simulointia ja mallinnusta heti konseptisuunnitteluvaiheessa pystytään tuotteen kehitys- ja suunnitteluvaihetta tehostamaan huomattavasti.

VTT:n hankkeissa on keskitytty kahteen osa-alueeseen: sähkökenttien kustannustehokkaiseen, mutta luotettavaan ratkaisemiseen, ja Apros-mallin soveltamiseen perinteiseen lauhdevoimalaitokseen. Sähkökenttien laskennassa työkaluna on ollut Comsol MultiPhysics.

Lähdeluettelo

Kotiluoto, P. 2007. Adaptive tree multigrids and simplified spherical harmonics approximation in deterministic neutral and charged particle transport. Espoo, VTT. 106 s. + liitt.. 46 s. VTT Publications 639. ISBN 978-951-38-7016-4; 978-951-38-7017-1; <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2007/P639.pdf>

Olin, M., Kangas, P., Lilja, R., Manninen, J., Valli, A., Hasari, H., Koistinen, A. Leppänen, S. & Lahti, S. 2007a. 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., Valli, A., Hasari, H., Koistinen, A. & Lahti, S. 2007. Suunniteltu Suomessa vai Intiassa! Auttaako SISU? MASI Mallinnus- ja simulointitutkimusohjelman vuosiseminaari. Tampere, 15.–16.5.2007. Tampere. 31 s.

Pasanen, A. 2001. Phenomenon-driven process design methodology. Computer implementation and test usage. Espoo, VTT Chemical Technology. 140 s. + liitt. 26 s. VTT Publications 438. ISBN 951-38-5854-5; 951-38-5855-3
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2001/P438.pdf>

Simbierowicz, P. & Olin, M. 1991. Kolmiulotteisen pohjaveden virtaus- ja kulkeutumismallin kehittäminen. Pohjavesimallinnuksen seminaari 9.5.1991, VTT Symposium 126. Leino-Forsman, H. & Olin, M. (toim.), Espoo, s. 31–33.

Simbierowicz, P. & Olin, M. 1997. Investigation of the influence of heterogeneous porosity on matrix diffusion: a novel approach using adaptive tree-multigrid technique and real porosity data. MRS, Vol. 465, s. 847–853.

Wolery, T. & Jarek, R. 2003. Software users's manual. EQ3/6, Version 8.0. Software Document Number 10813-UM-8.0-00. U.S. Department of Energy, Office of Civilian Radioactive Waste Management, Las Vegas, Nevada, USA. 118 s. + liitt. 344 s.

Zhu, C. & Anderson G. 2002. Environmental Applications of Geochemical Modeling Cambridge University Press; 1st edition (May 13, 2002), 298 s.

Tekijä(t) Olin, Markus, Lahti, Seppo, Valli, Asko, Hasari, Heikki, Koistinen, Ari & Leppänen, Seppo		
Nimeke SISU. Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta Projektin tavoitteet ja simulointiesimerkkien yhteenveto		
Tiivistelmä SISU Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta on Tekesin MASI Mallin- nus- ja simulointitutkimusohjelman projekti, jonka tutkimusosapuolet ovat EVTEK, Stadia ja VTT, joka vastaa myös projektin koordinoinnista. Teollisuusosapuolia hankkeessa on yhteensä kymmenen. Simulointia pidetään tärkeänä osaamisalueena tulevaisuuden yhteiskunnassa ja sen käyttöä halu- taan edistää etenkin pk-teollisuudessa. SISU on eräs niistä hankkeista, joilla simuloinnin käyttöä pyritään lisäämään. Samaan tavoitteeseen on pyritty jo pitkään ja monilla keinoilla, mutta aivan haluttuun tulokseen ei ole vielä päästy, joten uusien hankkeiden käynnistämistä on pidetty edel- leen tarpeellisena. SISUn tavoitteet voi tiivistää uusien menetelmien kehittämiseen etenkin pk-yrityksille; selkeän suunnitelma laatimiseen uusien menetelmien hankkimisesta teollisuuden käyttöön; uusien liike- toimintamahdollisuuksien arvioimiseen sekä edellytysten luomiseen uuden liiketoiminnan synty- miselle. Tältä pohjalta toivotaan syntyvän uusia simulointi-palveluja tuottavia yrityksiä. SISU toteutetaan matriisityyppisenä hankkeena, jossa pystysuunnassa tehdään simulointia kunkin osallistuvan yrityksen tarpeisiin esimerkkitapauksissa, joiden sisältö on osin luottamuksellinen. Vaakasunnassa tehdään SISUn varsinaiseen tavoitteeseen liittyviä simuloinnin soveltamiseen liittyviä asioita, jotka ovat täysin julkisia. SISUn päätuloksena tähän asti voidaan pitää laajamittaisen keskustelun avaamista simuloinnin soveltamisen hyödyistä, haitoista, mahdollisuuksista ja esteistä, sekä tämän keskustelun syste- maattista kirjaamista nyt julkaistavaan raporttiin. Tärkein yksittäinen esiin tullut kehityskohde on simulointitoiminnan konseptointi sellaiseksi, että osallistuvat osapuolet ymmärtävät riittävän hyvin simuloinnin lähtödatan tuottamisen tärkeyden (mukaan lukien tehdyn työn merkityksen ja tarkoituksen tilaavan yrityksen liiketoiminnassa) ja simuloinnin tulosten esittämisen tilaavan yrityksen ja sen johdon kannalta mielekkäässä ja ymmärrettävässä muodossa.		
ISBN 978-951-38-6954-0 (nid.) 978-951-38-6955-7 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinumero 6272
Julkaisuaika Syyskuu 2007	Kieli Suomi, engl. abstr.	Sivuja 58 s.
Projektin nimi SISU. Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta	Toimeksiantaja(t) Tekes, Fortum Generation, Genano Oy	
Avainsanat simulation, designing, planning, modelling, business opportunities, computer application	Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

<p>Author(s) Olin, Markus, Lahti, Seppo, Valli, Asko, Hasari, Heikki, Koistinen, Ari & Leppänen, Seppo</p>		
<p>Title Utilisation of simulation in industrial design and resulting business opportunities – SISU Goals and review of example cases</p>		
<p>Abstract Utilisation of simulation in industrial design and resulting business opportunities – SISU is a project in Tekes Program MASI Modelling and simulation. The research partners are EVTEK, Stadia and VTT, which also coordinates the whole project. Altogether, ten industrial companies both finance and participate in the project.</p> <p>Simulation with all applications is considered as important know how in future societies. There is a will, therefore, to promote the utilisation of simulation, particularly in small and medium sized enterprises. SISU is one project, among others, aimed to enhance this utilisation. Efforts for this goal have been numerous, but the results have not been totally satisfactory, yet. Hence launching new projects has been considered useful. The target is in developing new ways that enable quicker, cheaper and more reliable modelling and simulation, in order to achieve a better integration of industrial design, simulation and testing of real models. The new ways and the computer tools based on them are supposed to enhance the efficiency of design work also in cases, where well known and commercially available tools are not as such applicable or they are too slow, expensive or not tested on the type of problem.</p> <p>SISU is organised in a matrix form. In one direction simulation is done for industrial partners in real example cases with confidential results. In the other direction work is done to achieve the actual goal of SISU: to enhance application of simulation. This part of the work is completely public.</p> <p>SISU's main result this far can be considered the opening of discussion about application of simulation, especially its strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT); results of discussion are written into this report. Single, most important development target, is to conceptualise the simulation work so that participating partners understand, well enough, importance of good input data including the clarification of purpose and meaning of the work to be done in business of ordering company. Also presentation of simulation results in a format, relevant and understandable to both the company ordering the work and its managerial staff, should be considered.</p>		
<p>ISBN 978-951-38-6954-0 (soft back ed.) 978-951-38-6955-7 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)</p>		
<p>Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)</p>		<p>Project number 6272</p>
<p>Date September 2007</p>	<p>Language Finnish, English abstr.</p>	<p>Pages 58 p.</p>
<p>Name of project Utilisation of simulation in industrial design and resulting business opportunities – SISU</p>		<p>Commissioned by Tekes, Fortum Generation, Genano Oy</p>
<p>Keywords simulation, designing, planning, modelling, business opportunities, computer application</p>		<p>Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374</p>

SISU on Tekesin MASI-ohjelman projekti, jonka tutkimusosapuolet ovat EVTEK, Stadia ja VTT, joka vastaa myös projektin koordinoinnista. Teollisuusosapuolia hankkeessa on yhteensä kymmenen. SISUn tavoitteena on uusien menetelmien kehittäminen etenkin pk-yrityksille, selkeän suunnitelman laatiminen uusien menetelmien hankkimisesta teollisuuden käyttöön, uusien liiketoimintamahdollisuuksien arvioiminen sekä edellytysten luominen uuden liiketoiminnan syntymiselle. SISUn päätuloksena tähän asti voidaan pitää laajamittaisen keskustelun avaamista simuloinnin soveltamisen hyödyistä, haitoista, mahdollisuuksista ja esteistä, sekä tämän keskustelun systemaattista kirjaamista nyt julkaistavaan raporttiin.

Julkaisu on saatavana

VTT
PL 1000
02044 VTT
Puh. 020 722 4404
Faksi 020 722 4374

Publikationen distribueras av

VTT
PB 1000
02044 VTT
Tel. 020 722 4404
Fax 020 722 4374

This publication is available from

VTT
P.O. Box 1000
FI-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 20 722 4404
Fax + 358 20 722 4374