

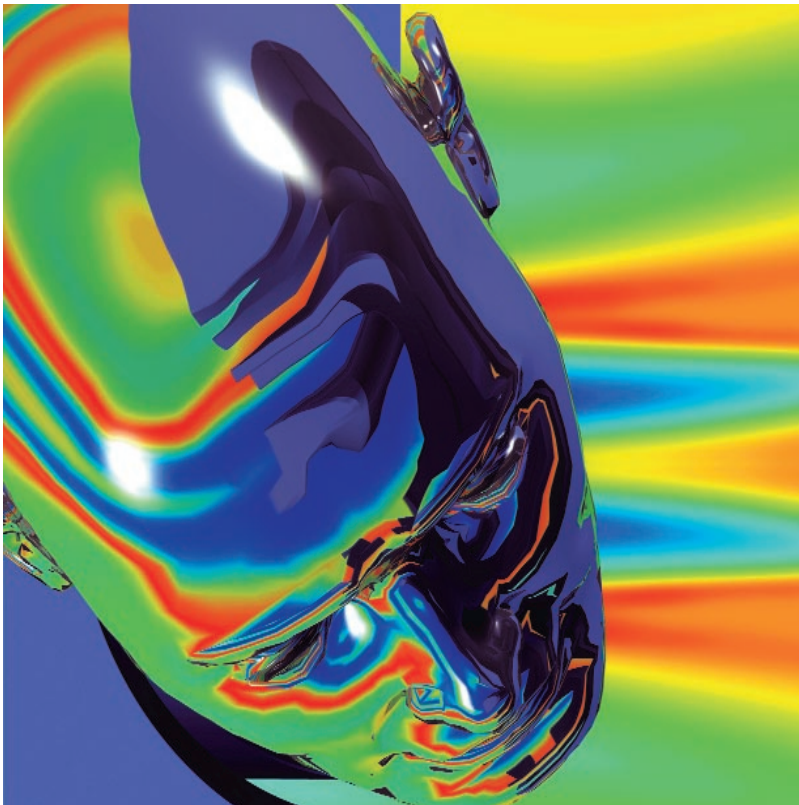
# Muuttuva insinööriyö- ja ajattelutapa

Polttoprosessien mallinnus CODE  
-teknologiaohjelman vaikuttavuuden arviointi

Lasse Kivikko

Teknologiaohjelmaraportti 12/2003

Arviointiraportti



**TEKES**

# Muuttuva insinööriyö- ja ajattelutapa

Polttoprosessien mallinnus CODE -teknologiaohjelman  
vaikuttavuuden arviointi

Lasse Kivikko  
Otakon Oy



**TEKES**

**Teknologiaohjelmaraaportti 12/2003**  
Helsinki 2003

## **Kilpailukykyä teknologiasta**

Tekes tarjoaa rahoitusta ja asiantuntijapalveluja kansainvälisesti kilpailukykyisten tuotteiden ja tuotantomenetelmien kehittämiseen. Tekesillä on vuosittain käytettävissä avustuksina ja lainoina noin 390 miljoonaa euroa teknologian kehityshankkeisiin.

Teknologiaohjelmien avulla maahamme luodaan uutta teknologiaosaamista yritysten, tutkimuslaitosten ja korkeakoulujen yhteistyönä. Ohjelmien tavoitteena on nostaa teknologista kilpailukykyämme tulevaisuuden keskeisillä teollisuuden toimialoilla. Tällä hetkellä Tekesillä on käynnissä noin 35 teknologiaohjelmaa.

ISSN 1239-1336  
ISBN 952-457-113-7

Kansi: Oddball Graphics Oy  
Sisäsivut: DTPage Oy  
Paino: Paino-Center Oy, 2003

# Esipuhe

Mallintamisen kautta syntyy muutoksia teknologian kehityksessä ja innovaatioketjussa. Mutta miten muutokset vaikuttavat tulokseen? Syntyykö kustannussäästöjä käytännön kokeiden korvaamisesta, laadullisesti paremmin suunniteltuja ratkaisuja, nopeampaa suunnittelua, nopeutettua teknologian kehittymistä, vai muuttuuko tuotannon tehokkuus, laatu ja jalostusarvo tai jopa alan ja yritysten t&k-strategiat?

Nämä kysymykset muodostivat tämän arvioinnin pääfokuksen. Arvioinnin kohteena oli Tekesin vuonna 1999 käynnistämä Polttoprosessien mallinnus CODE -teknologiaohjelma joka päättyi vuoden 2002 lopussa. Kansallisen teknologiastrategian suunnittelun tueksi haluttiin arvioida prosessien mallintamisen kehittymisen kautta syntynyt vaikuttavuus teknologian kehitykseen. Lisäksi haluttiin arvioida CODE-ohjelman strategiaa ja tavoitteiden onnistumista.

CODE-teknologiaohjelman keskeinen haaste oli polttotekniikan alan yritysten kilpailukyvyyn parantaminen uusien suunnittelua tukevien työkalujen avulla. Ohjelman tavoitteena oli parantaa polttoprosessien alimallien tarkkuutta, kehittää polttoprosessien mallituksen menetelmiä ja työkaluja, luoda pk-yrityksille hyvät valmiudet uusien työkalujen käyttöönottoon, merkittävän suuruisten ja haastavien hankkeiden käynnistäminen, tutkimuslaitosten/yliopistojen ja yritysten yhteishankkeiden käynnistäminen, kansainvälisen tutkimustiedon hyödyntäminen ja tutkijanvaihto sekä synnyttää uutta mallilaskentaa perustuvaa liiketoimintaa.

Tämän arvioinnin on toteuttanut Lasse Kivikko Otakon Oy:stä. Arvioinnin tueksi asetettiin arvioinnin ohjausryhmä, johon kuuluivat Tekesistä Martti Korkiakoski ja Robin Gustafsson sekä ohjelmapäällikkö Kari Koskinen Fortumista. Ohjausryhmäläiset ovat omalla näkemyksellään ja asiantuntemuksellaan tukeneet työtä. Arviointiraportti on kuitenkin täysin arvioijan näkemys ja kuva tilanteesta ja hänen sen perusteella tehdyt johtopäätökset ja suositukset. Arviointiraportin loppuun on lisätty muistio CODE-ohjelman johtoryhmässä joulukuussa 2002 tehdystä itsearvioinnista ohjelman tavoitteiden toteutumisesta ja arviointi ohjelman tuloksista ja vaikutuksista.

Haluamme kiittää kaikkia arviointiin ja arviointipaneeliin osallistuneita ja erityisesti Lasse Kivikkoa erinomaisesta arviointityöstä ja laajakatseisesta vaikuttavuuden arvioinnista.

Helsingissä tammikuussa 2003

Robin Gustafsson

Teknologian kehittämiskeskus Tekes

# Sisältö

## Esipuhe

<b>1</b>	<b>Arvioinnin kohde ja menetelmä</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1	Ohjelman tavoitteet . . . . .	1
1.2	Arvioinnin tavoite ja näkökulma . . . . .	2
1.3	Arvioinnin käytännön toteutus ja luotettavuus . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Arvioinnin perusteet</b> . . . . .	<b>5</b>
2.1.	Mallinnus insinööriyön osana . . . . .	5
2.2	Mallinnusosaamisen ja -kulttuurin vahvistuminen . . . . .	6
2.3	Mallinnusohjelman vaikuttavuuden olennaiset osa-alueet . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Vaikuttavuus eri osa-alueilla</b> . . . . .	<b>9</b>
3.1	Relevanssi ja soveltuvuus suuryrityksissä . . . . .	9
3.2	Relevanssi ja soveltuvuus PK-yrityksissä . . . . .	10
3.3	Relevanssi ja soveltuvuus neljällä sovellusalueella . . . . .	11
3.4	Verkottuminen, vuorovaikutus ja tavoitetason muutokset . . . . .	12
3.5	Ohjelmassa tehty tutkimus . . . . .	13
3.6	Vaikuttavuus turbulentissa liiketoimintaympäristössä . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Yhteenveto</b> . . . . .	<b>17</b>
4.1	Ohjelman vaikuttavuuden ja toteutuksen yleisarvio . . . . .	17
4.2	Päätelmät ja suositukset . . . . .	19
<b>Liitteet</b>		
1	Luettelo haastatelluista ja kyselyyn vastanneista . . . . .	21
2	Haastattelukehys . . . . .	23
3	Arviointipanelisteille esitetyt kysymykset . . . . .	25
4	Arviointipaneelin osanottajat . . . . .	27
5	CODE-teknologiaohjelman johtoryhmän itsearviointi . . . . .	29
	<b>Tekesin teknologiaohjelmaraaportteja</b> . . . . .	<b>33</b>

# 1 Arvioinnin kohde ja menetelmä

## 1.1 Ohjelman tavoitteet

CODE-teknologiaohjelman välittömäksi yleistavoitteeksi määriteltiin polttoprosessin mallinnuksen menetelmien ja työkalujen kehittäminen siten, että saavutetaan entistä monipuolisempi ja tarkempi tulipesäprosessin kuvaus. Reunaehdoksi asetettiin vaatimus, että tietokoneiden vaatima laskenta-aika ei kuitenkaan muodostu kohtuuttoman pitkäksi. Edelleen, ohjelmatyössä päätettiin hyödyntää olemassa olevia mallinnuksen ohjelmia, kuten ”Fluent” ja ”Phoenics”. Uusia, geneerisiä ohjelmakomplekseja ei CODE:ssa pyritty kehittämään.

Ohjelman liiketoiminnallisena vaikutusalueena tunnistettiin liikevaihdoltaan yhteensä noin yhden miljardin euron suuruinen liiketoimintojen joukko energiateknologiaa kehittämissä ja tuottavissa yrityksissä. Mallinnuksen avulla tavoiteltavia kilpailuetuja lähdettiin hakemaan paitsi laitteiden ja järjestelmien tuotekehityksen, myös suunnittelu- ja valmistusprosessien tehostumisen ja nopeutumisen, valmistuskustannusten alentumisen sekä markkinauskottavuuden kautta. Syvällisen mallinnusosaamisen pohjalta on myös ilmeinen mahdollisuus luoda uutta ja uudenlaista liiketoimintaa.

Perusteena ohjelman käynnistämiseksi oli myös se ympäristölle edullinen vaikutus, joka mallinnuksella saavutetaan nimenomaan polttoprosessien hyötysuhteen paranemisen välityksellä. Tällöin hiilidioksidin ominaispäästöt välittömästi vähenevät. Lisääntyvä jätteiden poltto asettaa kattiloiden ja muiden prosessilaitteiden (materiaalien) keston koetukselle. Tähänkin haasteeseen voidaan vastata mm polttoprosessien tarkemmalla hallinnalla. Näillä keinoin voidaan tuntuvasti tukea kansainvälisten sopimusvelvoitteiden (vrt. Kioton sopimus) täyttämistä.

CODE:n puitteissa tavoiteltiin myös LIEKKI-ohjelmien tukemana synnytetyn kansallisen tutkimuskapasiteetin täysimittaista hyödyntämistä ja edelleen vahvistamista:

Liekki-ohjelmien tietämys pakotettiin konkreettisesti toteuttamaan ja kiteytymään kaupallisiin koodeihin liitettävien aliohjelmien muodossa. Erityiseksi tavoitteeksi asetettiin tutkimusyksiköille useamman osapuolen yhteishankkeisiin osallistuminen. Niin ikään ohjelmalla haluttiin tukea kansainvälistä tutkimus- ja tutkijajayhteistyötä. Kaikilla näillä tavoitteilla tähdättiin Suomessa toimivan varsin vahvan energiaklusterin kilpailukykyyn parantamiseen.

Alimalleja päätettiin ohjelman projekteissa kehittää

- polttoaineen syötölle
- pääkaasujen palamiselle
- noen käyttäytymiselle
- partikkelin/pisaran käyttäytymiselle
- tuhkalle/kiintoaineelle
- rikki- ja typpikemialle
- virtaukselle/ turbulenssille /sekoittumiselle.

Mittaukset ja mittaustekniikan kehittäminen todettiin välttämättömäksi osaksi ohjelmaa, jotta asetettuihin tavoitteisiin voitaisiin päästä.

Tutkimus- ja kehitystyön kohteiksi päätettiin valita sooda-, hiilipöly- ja leijukerroskattilat. Kehityskohteiksi määriteltiin myös pienet, alle 10 MW:n polttolaitteet, kuten arinapoltto ja neste/kaasupolttolaitteet. Viime mainitun kohdealueen puitteissa asetettiin erityiseksi tavoitteeksi pk-yritysten runsaslukuinen osallistuminen CODE-ohjelmaan. Pk-yrityksille päätettiinkin muodostaa oma erityinen toimintalinja t. työryhmä, jonka puitteissa tavoitettiin asetettiin mallinnustyökalujen käyttövalmiuden kehittäminen ja niiden käyttömahdollisuuksien esiintuominen.

Ohjelman tavoitteisiin pääsemiseksi arvioitiin tarvittavan kokonaisuudessaan noin 13 Meur panostus vuosina 1999–2002 (toteutunut: 14 Meur). Tästä Tekesin rahoitusosuus olisi osapuolleen puolelta (toteutunut: 55 %).

## 1.2 Arvioinnin tavoite ja näkökulma

Arviointi on toteutettu ensisijaisesti vaikuttavuuden näkökulmasta pääkysymyksen ollessa mallinnuksen kehittymisen vaikutus alan teknologiseen kehitykseen. Tässä tarkoituksessa on arvioinnissa peilattu projekteissa saatuja tuloksia nimenomaan vaikuttavuuden eri osa-alueisiin siten kuin myöhemmin (kohta 2) on yksityiskohtaisesti selvitetty. Yleisenä taustaoletuksena arvioinnissa on kautta linjan se, että mallinnuksen kehittämisessä on ennen muuta kysymyksessä insinööriyön ja -ajattelun eräänlainen tasokorotus.

Kyse on siis viime kädessä tietynlaisesta kulttuuri-muutoksesta, joka on väistämättä pitkäjänteinen ja laajavaikutteinen prosessi. Tässä pitkän aikavälin teknologian kehittämissä polttoprosessien tutkimus- ja kehitystyö on sidoksissa yleiseen insinööriyön tapaan ja tasoon, antaen ja saaden vaikutteita. Näin ollen CODE-ohjelman vaikutukset nivoutuvat tiiviisti myös edeltäneiden teknologiaohjelmien, erityisesti esim. virtausdynamiikan teknologiaohjelman, vaikutuksiin.

Arvioinnin kohteena on luonnollisesti ollut myös liiketoiminnallinen relevanssi, mutta tietyllä tavalla alisteisena edelliselle. Mallinnuksella saavutettuja operatiivisen tason hyötyjä – jotka ovat välttämättömiä sinänsä – on käytetty indikaattoreina mallintavan työtavan diffusioitumisesta ko yritykseen ja sovelluskohteeseen.

Mallintavan työ- ja ajattelutavan hyödyt eivät myöskään ole aina helposti tunnistettavissa ja mitattavissa. Kyse on usein esim. suuremmasta luottamuksesta, so luottamuksesta omaan tuotteeseen tai uskottavuudesta asiakkaan silmissä. Mallinnuksen käyttö saattaa olla tärkeä kriteeri rekrytointilanteessa tai vaikkapa muodinomainen kynnysheikin yritykselle, joka aikoo pysyä toimialalla ylipäänsä mukana.

Ympäristövaikutusten osalta on arvioinnissa lähdetty siitä, että kehitettävien laitteiden ja prosessien edulliset ympäristövaikutukset tulevat sisään

rakennetuiksi jo ko tuotteiden liiketoiminnalliseen menestykseen. Ovathan parempi hyötysuhde, alhaisemmat päästöt tai hallitumpi tuhkaongelma jo sellaisenaan keskeisiä myyntiargumentteja polttolaitteiden nykymarkkinoilla.

## 1.3 Arvioinnin käytännön toteutus ja luotettavuus

Arviointityön käytännön toteutus eteni vaiheittain seuraavasti:

1. Ohjelman ja projektien sisältöön perehtymisen vuosikirojen ja projektiraporttien sekä ohjelmajohtajan antaman orientaation avulla.
2. Arviointiperusteiden ja -kehysten laadinta
3. Yritys- ja tutkimustahon haastattelut sekä kyselyt
4. Välimuistion laadinta arviointipaneelistien käyttöön (em haastattelujen ja kyselyjen pohjalta)
5. arviointipaneeli ja ohjelmapäällikön haastattelu
6. Pk-yritysten täydentävät haastattelut
7. Arviointitulosten kokoaminen ja laadinta.

Arviointiprosessista pyrittiin luoman nk kehittävä prosessi eli aktiivisesti arvioitavaa kohdealuetta kehittävä prosessi. Tämän vuoksi liitettiin arviointiprosessin osaksi myös nk. arviointipaneeli. Siinä neljän eri sovellusalueen (dieselmootorit, soodakattilat /prosessiteollisuus, metallurgia ja energian tuotanto) asiantuntijat, panelistit, esittivät arvionsa ja kommenttinsa ohjelman projekteista liitteessä 4 esitettyjen kysymysten pohjalta. Kyseiset asiantuntijat olivat CODE-ohjelmasta riippumattomia, kokeneita asiantuntijoita.

Osanottajina arviointipaneelissa oli 21 CODE-ohjelman ja projektien avainhenkilöä (ks. liite 3). Panelistien puheenvuorojen jälkeen ohjelman tieteellinen asiantuntija ja muut osallistujat kommentoivat panelistien esittämiä arviointeja sekä pyrkivät osittain linjaamaan tulevia tutkimus- ja kehittämissuuntia.

Kaikkiaan arviointiin osallistui 22 eri henkilöä yrityksistä sekä 20 eri henkilöä mukana olleista tutkimusyksiköistä. Arviointitietoja saatiin kaikista ohjelman projekteista.

Luettelo haastatelluista ja kyselyyn vastanneista on liitteenä 1 sekä käytetty haastattelukehys liitteenä 2.

Kun kustakin arvioitavasta projektista hankittiin tietoja ja näkemyksiä sekä yritys- että tutkimustaholta, voitaneen katsoa, että edellytykset ovat olemassa arvioinnin riittävän hyvälle luotettavuudelle. Tätä vahvistaa kaikkien arviointiin osallistuneiden erinomainen sitoutuminen ja avoin asennoituminen, joka tekee arviointi-kokonaisuudesta käytännön tarpeita varten hyvinkin käyttökelpoisen instrumentin.

Erityisen vaikeuden CODE-ohjelman arviointiin tuotti se, että ohjelman projektit olivat sangen pieniä kokonaisuuksia. Niinpä kehitystyötä eri tahoilla tekevillä oli vaikeuksia erottaa, ”mikä on aiheutunut mistäkin ja mikä erityisesti pienestä CODE:n projektimurusta”. Osa tapahtumista oli haastattele-/kyselyhetkellä jo neljän vuoden takaisia asioita, joten muistikin oli koetuksella.

Ikuisena akilleen kantapäänä verbaalisiin osallistujien arviointeihin perustuvassa arviointiprosessissa on luonnollisesti vastaajien paneutuminen ja rehellisyys sekä tutkimustahon intressi projektien onnistumiseen. – Kuten todettua, on perusteltua kuitenkin olettaa, että kaiken kaikkiaan arviointitulokset ovat käyttökelpoisia.

## 2 Arvioinnin perusteet

### 2.1 Mallinnus insinööriyön osana

Useimmilla sovellusalueilla nk. insinööriyö, eli teknisten käytännön ratkaisujen kehittäminen, suunnittelu ja käyttö, on perustunut alkujaan kokeelliseen työhön. Teoriat on yleensä kehitetty myöhemmin jatkuvasti tarkentaen ja korjaten. Näin niiden selitysvoima on jatkuvasti lisääntynyt. Kun fysikaalisia ja/tai kemiallisia perusilmiöitä ja niiden lainalaisuuksia hallitaan riittävästi, käy mahdolliseksi soveltaa laskentaa ja laatia malleja tietyn kohteen käyttäytymisestä. Näin mallinnus on saanut ja saa enenevästi sijaa kokeellisen insinööriyön rinnalla kohottaen insinööriyön ja -ajattelun tasoa kautta linjan.

Tietokoneiden kapasiteetin jatkuva, eksponentiaalinen kasvu, on olennaisella tavalla mahdollistanut ja kiihdyttänyt mallinnusta tekniikan eri sovellusalueilla. Taloudellisesti saatavilla oleva, yhä suurempi laskentakapasiteetti onkin ollut ja on edelleen voimakkain mallinnusta eteenpäin vievä ajo-

voima. Se on välittömästi vauhdittanut ohjelmistotuotantoa siten, että eri fysikaalis-kemiallisia perusilmiöitä kuvaamaan ja selittämään on laadittu eräänlaisia geneerisiä koodeja. Nämä ovat markkinoilla kaikkien saatavilla nk. kaupallisina koodeina.

Tietyissä, spesifissä sovelluskohteessa edellä mainitut koodit ovat kuitenkin liian yleisiä, joten tarvitaan räätälöintiä. Sovittamista tarvitaan niin koodin täydentämiseen alimalleilla kuin sen hyväksikäytönkin osalta. Ensin mainitussa työssä on vaatimuksena vahva laskennallinen osaaminen sekä sovelluskohteen kohtuullinen tuntemus. Jälkimmäisessä työssä tarvitaan paitsi sovelluskohteen täydellistä tuntemista, myös kohtuullista ymmärrystä mallinnuksen perusteista, jotta mallin rajoitukset ja mahdollisuudet voi ymmärtää.

Teoreettista osaamista ei kyetä täysimittaisesti hyödyntämään käytännön ratkaisuja etsittäessä ilman mallinnusta. Mallit eivät kuitenkaan voi kor-

TUTKIJOIDEN YMMÄRRYS JA TEORIAMALLIT  
FYSIKAALISISTA JA/TAI KEMIALLISTA ILMIÖISTÄ

MALLINTAJIEN  
SOVELLUSKOHDE JA LASKENTAOSAAMINEN

KÄYTTÄJIEN / HYÖDYNTÄJIEN  
YMMÄRRYS MALLIEN KÄYTETTÄVYYDESTÄ

TALOUDELLISESTI SAATAVILLA OLEVA  
LASKENTAKAPASITEETTI

TARJOLLA OLEVAT  
NK KAUPALLISET KOODIT

**Kuva 1.** Mallinnuksen onnistunut hyödyntäminen vaatii edellytustekijöiden tahdistettua etenemistä.

vata puutteita teoreettisessa ilmiöiden hallinnassa. Vajalle perusymmärrykselle rakentuva malli voi sen sijaan olla harhaanjohtavuudessaan hyvinkin vaarallinen. Kehittyneitä malleja ei puolestaan kyetä käytännössä hyödyntämään ilman mittavaa ja taloudellista laskentakapasiteettia. Kehittyneestäkään mallista ei ole apua ymmärtämättömän hyödyntäjän käsissä jne. Kaiken kaikkiaan mallinuksen onnistunut hyödyntäminen vaatii kaikkien edellytystekijöiden tahdistettua etenemistä (kuva 1). Kehityksen eteneminen tiettyssä sovelluskohteessa määräytyy heikoimman lenkin mukaan.

Tahdistusvaatimus merkitsee myös korostettua yhteistyön ja yhteisymmärryksen tarvetta tutkijoiden, mallintajien ja käyttäjien välillä. Itse asiassa yhteisymmärryksen tarve ulottuu vielä pidemmälle, myös asiakkaisiin ja viranomaisiin. Mikäli tietyn laitteen tai prosessin muuttujien arvot perustuvat mallinuksen hyödyntämiseen, on myös kyseisen laitteen tai järjestelmän ostajan ymmärrettävä mallinuksen mahdollisuudet ja rajoitukset kohteessa. Sama vaatimus koskee myös viranomaisia esimerkiksi normien laatijoina.

Tietokoneiden nopeasti lisääntyvän laskentakapasiteetin ollessa ensisijaisena kehityksen ajovoiamana, on ilmeisenä vaarana käyttäjien /hyödyntäjien jääminen heikoimmaksi lenkiksi. Suuri laskentakapasiteetti mahdollistaa yhä uusien piirteiden mukaan ottamisen kyseiseen malliin. Tämä puolestaan asettaa koetukselle kokeellista työtä tekevän suunnittelijan tai käyttäjän tulkinta- ja arviointikyvyn a.o. tilanteessa. Kun perusilmiöitä kuvaavia tekijöitä lisätään, lisääntyy kuvattavien prosessien kompleksisuus tekijöiden lukumäärän neliössä. Tunnettu kilpajuoksu tietokoneiden laskentakapasiteetin ja ohjelmistojen vaatiman kapasiteetin kesken näyttäisi siis jatkuvan. – Eräänlaisena vankiona on siedettäväksi koettu laskenta-aika.

## 2.2 Mallinnusosaamisen ja -kulttuurin vahvistuminen

Insinööriyön kehitys tekniikan eri sovellusalueilla etenee kohti ekstensiivisempää ja intensiivisempää, so. laaja-alaisempaa ja selitysvoimaisempaa mallinuksen hyväksikäyttöä. Näin tapahtuu myös

polttoprosessien kohdalla. Insinööriyössä tämä merkitsee kaikessa mielessä korkeampaa tavoitetasoa. Kyse on insinööriyön osaamistasosta ja kulttuurista, modernimmin ilmaistuna ”tietämyksestä” (knowledge) ja tavoitetasosta.

Japanilaiset Nonaka & Takeuchi analysoivat ja käsitteellistivät 1980-luvulla em. osaamis- ja kulttuuri-ilmiötä sittemmin käyttökelpoiseksi osoittautuneella ”tietämys”-tarkastelullaan. He nimenomaan myös mallinsivat tietämyksen luonti- ja kasvuprosessia SECI-mallillaan. SECI-mallin mukaisessa hahmottamistavassa ”tietämys” sisältää sekä eksplisiittisen tiedon, että ammattikunnan t. kohdeorganisaation piirissä omattavan ”hiljaisen tiedon” (tacit knowledge). Mallin erityinen ansio on juuri hiljaisen tiedon olemassaolon sekä sen synty- ja tiedostamisprosessin tunnistaminen.

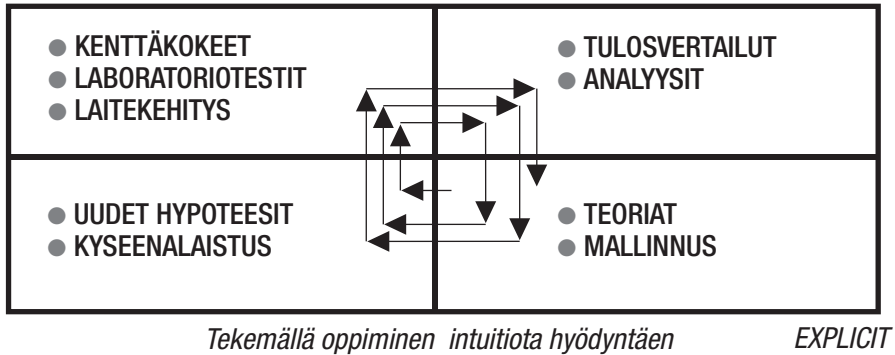
Hiljaista tietoa ei ole dokumentoitu eikä yleensä edes tunnistettu, mutta siitä huolimatta sitä käytetään aktiivisesti hyväksi. Mallin dynamiikassa on olennaista toisaalta se, miten hiljainen tieto tulee eksplisiittiseksi, sekä se, miten kokemus syvenee (kollektiivisesti omattavaksi) hiljaiseksi tiedoksi (kuva 2).

Pyrittäessä siis kansallisella tasolla kohottamaan tietyn osaamisalueen – tässä tapauksessa polttoprosessien – ”insinööriyön ja -ajattelun” tietämystä, on olennaista huolehtia kahdesta seikasta. Ensimmäinen on huolehdittava jatkuvasta pitkäaikaisprosessista, jossa hallitusti vuorotellaan painotusta kyseenalaistavan, kokeellisen työn (vrt. hiljainen tieto) sekä teoriaa kiteyttävän ja mallintavan työn (vrt. eksplisiittinen tieto) välillä. Toiseksi on erityisesti huolehdittava em. pitkäaikaisprosessin puitteissa siitä, että dialogi on määrällisesti riittävää ja oikeanlaatuista. Käytännössä dialogin tulee tapahtua nimenomaan laaja-alaisen verkoston puitteissa ja olla luonteeltaan intensiivistä ja ensisijaisesti epämuodollista. Hiljaisen tiedon eksplikoitumista edistävissä dialogissa *asiantuntijat* keskustelvat myös siitä, mitä he luulevat, miltä heistä *tuntuu*.

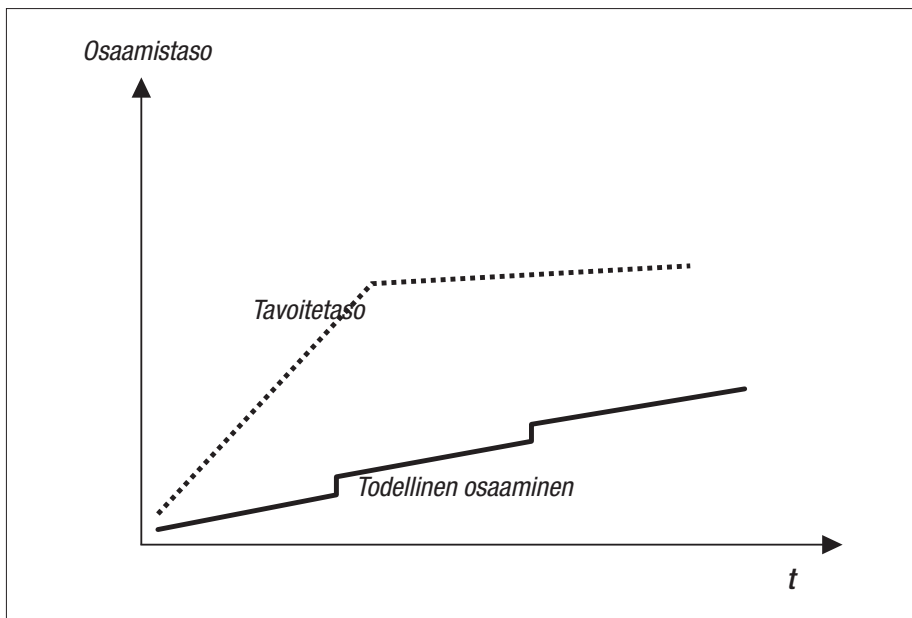
SECI-malli toimii muilta osin varsin kattavana selitys- ja tarkastelukehikkeenä tietynlaisen ammatillisen ”kulttuurin” kehittymiselle, mutta se ei sisällä kyseisessä ammattikunnassa tai kohdeorganisaatiossa omattavaa ja omaksuttavaa ”tavoitetasoa”.

TACIT

Laaja-alainen ja intensiivinen dialogi



**Kuva 2.** Tietämyksen kasvuspiraali jatkuvan kokeellisen ja mallintavan toiminnan kehänä. (I. Nonaka & H. Takeuchi, muk.)



**Kuva 3.** ”Tavoitteiden oppiminen” hyvässä oppimisprosessissa.

Kuitenkin tietyn ammatillisen kulttuurin kehittymisen ja nimenomaan kehittymisnopeuden kanalta on olennaista se, mitä ja miten korkealle tavoitellaan.

Nonakan & Takeuchin mallia täydentääkin hyödyllisellä tavalla tavoitteiden oppimismalli, koska tietyn teknologia-alueen kehityksessä ja kehittämisessä on erittäin olennaista se, mihin pyritään, mikä on tavoitetaso. Ytimenä po. mallissa on se,

että hyvässä oppimisprosessissa oma tavoitetaso kohoaa olennaisesti nopeammin kuin todellinen osaaminen. Liiketoiminnan kannalta on olennaista, että tulemme tietoisiksi käyttämättömistä mahdollisuuksista (vrt. opportunity costs). Tutkimuksen kannalta on olennaista saada jatkuvasti muistutus siitä, että emme tiedä, mitä emme tiedä. Tähän tulee pyrkiä myös tietyn teknologia-alueen ammatillista kulttuuria kehitettäessä (kuva 3).

Polttoprosessien teknologian osalta toimivat LIEKKI 1 & 2 -ohjelmat todella mittavina ja merkittävinä kansallisina instrumentteina ao. ammatillisen alueen tietämyksen luontispiraalissa. SECI-malliin peilaten kattoivat mainitut teknologiaohjelmat kaikki muut ruudut, paitsi ei ”MALLINNUS”-ruutua. Nyt tarkasteltavan CODE-ohjelman tavoitteena olikin – SECI:n avulla tulkittuna – nimenomaan saattaa LIEKKI-ohjelmissa luotu tietämys eksplisiittiseen, kaupallisiin koodeihin aliohjelmiksi kiitetyttyyn muotoon.

### 2.3 Mallinnusohjelman vaikuttavuuden olennaiset osa-alueet

Edellä sanottuun (kohdat 2.1. ja 2.2.) viitaten, on todettava, että mallinnukseen tähtäävän ohjelman vaikuttavuuden arvioinnissa on polttopisteen oltava nimenomaan ”mallinnuskulttuurissa”. Toisin sanoen siinä, mitkä ovat ohjelman kaikkinaiset vaikutukset tarkasteltavan kohdealueen – tässä siis polttoprosessien – ”mallinnuskulttuurin”, so. tietämyksen ja tavoitetason vahvistumiseen.

Oleennaista on tällöin arvioida, edetäänkö tietyssä kohteessa oikein tahdistetusti eli vastaako mallien käyttäjien vastaanotto kyky ja -halu sen mallinnuksen antia, jonka tutkijat, mallintajat ja kaupallisten koodien myyjät tarjoavat. Toisin sanoen onnistuuko vuorovaikutus, löytyykö *yhteistä kieltä*. Epätahdissa edeten yhteistä kieltä ei löydy.

Oleennaista niin ikään on arvioida, ohjelman puitteissa käytävän *dialogin* laajuutta ja luonnetta. Tällöin tarkastelun kohteena on verkottuminen sekä eri osapuolten välisen vuorovaikutuksen intensiivisyys, avoimuus ja innostavuus. Mikäli tietyssä vuorovaikutussuhteessa yhteinen kieli löytyy ja dialogi on kaikilta osin onnistunutta, on todennäköistä, että myös mallintamisen *tavoitetaso* kohoaa.

Aivan erityisen tähdellistä on arvioida edellä mainittuja seikkoja, yhteisen kielen löytymistä, dialogin laajuutta ja laatua sekä mallinnukselle asetettavaa tavoitetasoa *pk-yrityksissä*. Niissä lähtötaso ja kokemus näissä arvioitavissa seikoissa on todennäköisesti erittäin alhainen.

Liiketoiminnalliset hyödyt ovat luonnollisesti myös arvioinnin välttämättömiä kohteita. Olenaista on tällöin kehitystyön kohteena olevien polttoprosessien mallinnuksen *relevanssi liiketoiminnan kannalta*. Tämä arvioidaan sekä strategiselta kannalta, että spesifien operatiivisten hyötyjen kannalta. Liiketoiminnallinen relevanssi / hyödyllisyys on ilmeisesti myös kynnysehto sille, että yhteinen kieli ja hyvä dialogi ylipäänsä syntyy.

*Tutkimustaholla* on arvioinnin kohteena työn haastavuus tutkimustavoitteiden osalta sekä virikkeisyys jatkotutkimusta ajatellen. Niin ikään tutkimustahon kannalta on oleennaista luoda ja ylläpitää yhteyksiä alan johtaviin kansainvälisiin tutkijoihin ja tutkimusinstituutioihin. Näitä on arvioitava.

Summaten edellistä, todetaan polttoprosessien mallinnusohjelman arvioinnin kohdistuvan:

1. Kehityskohteiden liiketoiminnalliseen relevanssiin ja yhteisen kielen löytymiseen yrityksissä (vrt. tahdistus!).
2. Verkottumiseen ja dialogin onnistumiseen ohjelman puitteissa.
3. Muutoksiin yritysten mallinnukselle asettamissa tavoitteissa ja odotuksissa.
4. Tutkimustahojen vahvistumiseen polttoprosessien mallinnusosaamisessa.

## 3 Vaikuttavuus eri osa-alueilla

### 3.1 Relevanssi ja soveltuvuus suuryrityksissä

Kaikki ohjelmassa mukana olleet kuusi (6) suurempaa yritystä arvioivat CODE:n tavoiteasettelun oman liiketoimintansa kanalta relevantiksi. Yritykset olivat myös erittäin tyytyväisiä ohjelmassa saavutettuihin tuloksiin, vaikkakin eri syistä. Odotukset ohjelman vaikuttavuuden suhteen vaihtelivat näet jossain määrin yrityksestä toiseen.

Jossain määrin odotukset vaihtelivat myös sen suhteen, missä määrin tavoiteasettelussa tulisi painottaa ”ongelmien ratkaisua” ja missä määrin ”osaa-  
misalustoja” (ks. kohta 3.6.).

Yhdessä yrityksessä oli odotus siitä, että ”CODE vie meidät seuraavan sukupolven mallinnuksiin”. Tässä koettiin pettymys: ”tätä loikkaa ei tullut, vaan ajaututtiin nykymallien inkrementaaliseen paranteluun”. Toisessa yrityksessä todettiin myös, että ”oli se pieni pettymys, kun emme saaneet yleistä koodia, mutta olemme saaneet käytännöllisen mallin tuotemme suunnitteluun”. Kaiken kaikkiaan nämäkin yritykset totesivat olevansa varsin tyytyväisiä ohjelmaan kokonaisuutena ja pitivät saavutettuja tuloksia kannaltaan erittäinkin hyödyllisinä.

Ylisummaan odotukset ja toteutunut todellisuus olivat ”pienen askelten puurtamisen” puolella. ”Haimme työvoittoja enemmän kuin läpimurtoja ja onnistuimme tavoitteissamme”. ”Suurella työllä virtauslaskennan soveltaminen liikahti eteenpäin ja päästölaskennassa jopa harppasimmekin”. ”Mennimme pienin askelin eteenpäin, joten voimme nyt tehdä parempia arvauksia. Suuria oivalluksia emme saaneet, mutta jonkin verran kylläkin tuoretta kyseenalaistamista”.

Muutamat yrityksistä olisivat olleet halukkaita painottamaan enemmän mittaustekniikan kehittämistä ohjelman itsenäisenä osana. Toisaalta todettiin kuitenkin, että merkittävien kehittämisaskelten saaminen esim. optisessa mittausteknologiassa olisi syö-

nyt olennaisen osan koko ohjelman resursseista. Näin ollen valittiin mittauksen suhteen ”suhteellisen konservatiivinen linja”.

Esimerkkeinä jonkinlaisista hyppäyksistä todettiin muun muassa se, että ”nyt voimme polttoainenäytteen perusteella päätellä tuhkan koostumuksen”. Yksi yritys totesi kaivanneensa ”ehkä hieman enemmän kipinöintiä, vaikka kokonaistulos onkin kannaltamme erittäin onnistunut”. CODE-ohjelma tavoitteli ensisijaisesti pienten askelten etenemistä, ”työvoittoa”, mutta tuotti toki tuloksina myös patenttihakemuksia esim. erilaisista NOx-päästöjen rajoittamismenetelmistä.

Kiinnostava arviointitulos mallinnusajattelun edelleen kehittämisen kannalta on se, että yritykset korostivat ”yleistä uskottavuutta markkinoilla” tietyllä tavalla konkreettisimpana kilpailukykytekijänä, jota mallinnus vahvistaa. Tämä voitaneen tulkita siten, että samalla, kun mallintava työtapana nähdään itsessään parempana työtapana, sen katsotaan myös indikoivan modernia ja uudistuvaa toimintatapaa yleisemminkin. Toki myös ”parempi tuote” ja ”nopeampi suunnitteluprosessi” olivat konkreettisesti ilmenneitä tuloksia, mutta edellä mainittu ”uskottavuus” kohosi selkeästi tärkeimmäksi konkreettisesti kilpailukykyä kohottaneeksi tekijäksi yrityksissä.

Olennaisena vaikutuksena nähtiinkin työ- ja ajattelutavan muutokset osallistujayrityksissä: ”Ohjelma on ollut meille erinomainen alusta kehittää mallinnuskompetenssejamme”. ”Nyt mallintamisesta on tullut talossamme itsestään selvyys”. Vaikka tulokset nähtiinkin ”kvalitatiivisina”, niin todettiin hyödyn tulleen siitä, että ”visuaalinen maailma on avannut uudella tavalla meille ilmiömaailmaa ja auttaa tekemään parempaa päättelyä”.

Oman yrityksen kulttuurimuutoksen rinnalla suuremmat yritykset korostivat ohjelman merkitystä myös ”kansallisena yhteistyön foorumina, jonka puitteissa eri tahojen kokemukset saadaan tiivistet-

tyä ja puettua selkeään muotoon”. Yleisesti katsottiin CODE:n olleen hyvä, konkretisoiva jatko Liekki-ohjelmille. Ohjelman ansioksi katsottiin se, että ”mallinnus ei enää ole yksinomaan joidenkin harvojen eksperttien asia, vaan nyt osajien rintama on laajentunut ja työkalujen tullessa helppokäyttöisemmäksi mallinnuksen hyödyntäminen voi entistä nopeammin yleistyä”.

Mallinnuksen diffusoitumisessa teollisuuteen nähtiin myös ikäpolvi-ilmiöitä: ”Nuoremmat kokevat mallinnustyökalujen käytön tutumpana”. ”Mallinnus on tuonut alallemme glamouria, joka vetoaa erityisesti myös nuoriin”. Useammassa yrityksessä pelätäänkin Liekki-ohjelmista alkaneen yhteistyön ketjun katkeamista, mikä ”merkitsisi nuorten irtautumista klusterista”. Liekki-ohjelmien pohjalta syntyneen verkoston ylläpito ja edelleen hyödyntäminen nähtiin ensiarvoisen tärkeänä kansallisen haasteena.

CODE-ohjelma soveltui paitsi tavoitteiltaan myös toteutustavaltaan mukana olleille suuremmille yrityksille. Yhteisen kielen löytäminen ei enää tuottanut vaikeuksia. Mallintajat puhuvat vähemmän matemaattisesti ja suurempien yritysten käyttäjät ymmärtävät verraten hyvin mallinnuksen idean. Eteneminen vuosina 1995–1999 toteutetusta Virtausdynamiikan teknologiaohjelmasta on tässä suhteessa merkittävä. Kyseisen teknologiaohjelman aikana muodostivat yritysten harvalukuiset mallinnusekspertit vielä oman ”papistonsa”, jolla oli vaikeuksia puhua muille ymmärrettävää kieltä.

### **3.2 Relevanssi ja soveltuvuus pk-yrityksissä**

Kaikki kahdeksan (8) pk-yritystä pitivät ohjelmaa kannaltaan hyödyllisenä, useimmat erittäin hyödyllisenä. Tavoitteiden relevanssi itse kehityskohteiden osalta oli osallistuneille pk-yrityksille ilmeinen. Pienemmät aineelliset resurssit ja suppeamman osaamis pohjan omaavien yritysten osalta tähdellisin arviointikysymys onkin ohjelman soveltuvuus niiden arkipäivän realiteetteihin. Lisävaikeutena on pk-yritysten kirjava lähtötaso mallinnusosaamisessa. Eräät kuuluivat työtavasta/työkaluista en-

simmäistä kertaa. Joku yrityksistä oli soveltanut mallinnusta jo useita vuosia.

CODE-ohjelmassa pyrittiin erityisen pk-tukiryhmätoiminnan avulla varmistamaan soveltuvuus myös ko. yrityskenttään. Tässä onnistuttiin pk-yritysten omien arvioiden mukaan varsin hyvin, joissakin yrityksissä jopa erinomaisesti. Mielenkiintoista on, että suuremmat yritykset arvioivat pk-yritysten ohjelmasta saamat hyödyt selvästi pienemmiksi kuin pk-yritykset itse. Jossain suuremmassa yrityksessä nähtiin lähes turhaksi pk-yritysten mukaan vetäminen toteutetulla tavalla – pk-yritysten itsensä kannalta.

Selitys erilaisiin hyötyarvioihin on ilmeinen. Suuremmat yritykset ovat mallinnuskulttuurin viljelystä pidemmällä, ja niiden tavoitetaso on huomattavasti korkeammalla kuin esim. ”vasta heräävän” pk-yrityksen. Kuvaavaa on, että esim. eräs ohjelmasta kesken vetäytynyt pk-yritys totesi, että ”joka tapauksessa meillä kasvoi nälkä mallintamiseen ja saimmehan tietoa jo mallinnustyökaluistakin”. Lievimmässäkin hyötyarvioinnissa todettiin, että: ”Ihan positiivinen kokemus. Networkimme vahvistui erityisesti suuryrityksien suuntaan. Ellemme aivan heti sovelta, niin ainakin myöhemmin tiedämme, että mallinnus on mainio työkalu”.

Pk-yritykset raportoivat sekä välittömistä, konkreettista hyödyistä, että ajattelutavan muutoksista. ”Nyt suunnittelumme perustuu johonkin systemaattiseen pohjaan, jota opin karttuessa jatkuvasti korjaamme. Tämä auttaa sisällä oppimisen kumuloitumista ja ulkona markkinoilla uskottavuuttamme”. ”Saimme monenlaisia konkreettisia hyötyjä ohjelmasta, mutta ennen kaikkea ymmärryksemme lisääntyi aivan ratkaisevasti”.

Pk-kentässä on nopeasti opittu paitsi mallintamisen tarjoamista mahdollisuuksista, myös rajoituksista: ”Ohjelma antoi meille käytännön hyötyä ja asia on jo tuotesuunnittelussamme mukana, vaikkakin totesimme, että malli palamisesta arinalla oli aivan liian yksinkertainen. Kuitenkin uskottavuuden lisääntyminen on ollut meille erittäin tärkeä erityisesti vientimarkkinoilla”. Kaksi muuta yritystä oli samoilla linjoilla: ”Olemme saaneet tietoa

tulipesävirtauksista ja oppineet siinä hyödyntämään. Olemme huomanneet, että, vaikka matemaattinen mallinnus onkin melkoinen väline, niin NO<sub>x</sub>:ien osalta emme siihen luota – ei vastaa todellisuutta.” ”Ohjelma oli meille hyvä sateenvarjo mallinnusosaamisen kasvattamiseen. Työkaluja voimme hyödyntää taustatyössä, mutta ei varsinaisessa suunnittelussa”.

Pk-yritykset olivat ilmiselvästi oppineet nopeasti uudenlaisen tavoitetason sekä niin ikään oppineet oppimaan yhä enemmän mallinnuksesta. Ne välittivät osaltaan myös markkinoille uutta insinööri- ja -ajattelun tasoa. Pk-yritykset olivat myös oppineet verkostoitumaan ja sitä kautta oppineet ”tietämään kuka tietää”. Verkottumishyödyistä raportoivat paria pk-yritystä lukuun ottamatta kaikki muut: ”TKK:n kanssa meillä oli jotain jo aikaisemmin, mutta nyt verkosto laajeni ratkaisevasti”. ”Verkottuminen oli hyvää ja nyt teemmekin jo VTT:n kanssa omia juttujamme”.

Vaikkakin jotkut pk-yritykset olivat ajoittain kokeneet, että ”olemme vähän sivussa, kun toimitaan suuryritysten ehdoilla” ja, että ”alkuosa oli vähän teoreettista, eikä meillä ole aikaa semmoiseen”, niin kokonaisuudessaan erillinen pk-yritysten tukitoiminta arvioitiin hyväksi toimintamalliksi. Sitä suositeltiin ja toivottiin jatkossakin. Erityisen hyvänä piirteenä mainittiin mm ohjelman alkuvaiheessa järjestetty mallinnuspohjainen kattilasuunnittelun opastus Fortumissa. Pk-yritysten henkilöt näkivät demonstraatiossa konkreettisesti, miten nopeasti ja havainnollisesti voidaan laskentaa hyväksikäyttäen tuottaa ja arvioida erilaisia vaihtoehtoisia konstruktioita. Näin pk-yritykset omin silmin havaitsivat, että mallinnusta soveltamalla saadaan selkeitä hyötyjä jo aivan lyhyelläkin tähtäimellä.

Pk-yritysten osalta on summaten todettava, että ohjelma oli erittäin menestyksellinen. Se oli osallistujille tavoitteiltaan relevantti ja toteutukseltaan soveltuva. Suurempien yritysten oletukset siitä että, ”ohjelma oli pk:lle liian kunnianhimoisen”, eivät näyttäisi olevan päteviä. Joka tapauksessa suuremmat yritykset kautta linjan pitivät pk-yritysten mukana oloa tärkeänä ja toivoivat jatkossa niiden osallistumisen vieläkin voimakkaampaa tukemista.

### 3.3 Relevanssi ja soveltuvuus neljällä sovellusalueella

Arviointiprosessin osana toteutettiin erityinen arviointipaneeli, jossa neljän eri sovellusalueen (ohjelmasta riippumattomat) asiantuntijat arvioivat ohjelman tavoitteita ja tuloksia oman sovellusalueensa kannalta. Näkökulmina olivat dieselmoottorit, soodakattilat (prosessiteollisuus), metallurgia sekä energiantuotanto. Näissä arvioinneissa tuotiin esiin muun muassa seuraavia kommentteja, arvioita ja ehdotuksia.

*Dieselvoimaloiden* osalta esitettiin tuotekehityksessä ja -suunnittelussa esiin tulevana konkreettisen haasteina, joihin vastaamisessa matemaattinen mallinnus voi vastata, seuraavat viisi kysymystä:

1. Tarvitaanko deNO<sub>x</sub>-järjestelmää vai ei?
2. Paljonko tietystä moottorista tulee partikkelipäästöjä?
3. Mikä on lentotuhkan koostumus ja onko se myrkyllinen?
4. Ovatko edellä mainitut päästöt stabiileja (veteen liukeneminen) vai ei?
5. Kuinka nopeasti kattila likaantuu?

Näihin kysymyksiin CODE-ohjelma tuotti yleistä tietämystä, jota voidaan hyödyntää, ja oli tässä suhteessa relevantti kyseessä olevan sovellusalueen kannalta. Konkreettinen mallinnus em. alueilla ei sisällynyt ohjelman aihepiiriin eikä tavoitteisiin.

Sovellusalueen kannalta olisi toivottavaa, että mitaustekniikan kehittämiseen panostettaisiin aiempaa enemmän. Noin neljäsnes kaikista moottorien kehittämisaktiviteeteista on sidoksissa nimenomaan juuri mittauskysymyksiin. Ilman riittävää mittauskykyä ei mallien validointia voida tehdä ja mallinustyö jarruntuu tai rakentuu harhaisille oletuksille. Täysin kehittämätön alue on esimerkiksi raskasmetallien mittaus, johon käytännössä on kasvava paine.

Toinen sovellusalueen kannalta tähdellinen painotus olisi ongelmalähtöisten tutkimus- ja kehityshankkeiden ottaminen niin kutsutun ilmiötutkimuksen rinnalle. Olisi myös syytä dokumentein ja muin keinoin levittää käytännön tietoa saatavilla

olevista mallinnuksen työkaluista sekä tukea käyttäjiä niiden käyttöönotossa eri tavoin.

*Soodakattiloiden (prosessiteollisuuden)* kannalta kiinnitettiin huomiota siihen, että vaikka suuri osa ohjelman työstä suuntautuu kemiallisen metsäteollisuuden prosesseihin, ei ko. teollisuudella ollut edustajaa ohjelman johtoryhmässä. Kuitenkin, ohjelman tulokset ja vaikutukset ovat prosessiteollisuuden kannalta ehdottomasti relevantteja ja nimenomaan myös myönteisiä.

Esim. mustalipeän polttotutkimuksen taustaksi tulisi prosessiteollisuuden asiantuntijoiden tehdä tulevan liiketoimintaympäristön ennakoiteja. Tältä pohjalta kyettäisiin sitten kohdentamaan kyseinen tutkimus tulevaisuudessa todennäköisimpiin mustalipeätyyppeihin. Prosessiteollisuuden kannalta keskeistä olisi myös puutuhkan kadmiumpitoisuuden tutkimus mm lannoituskäyttöä ajatellen sekä savukaasujen furaani- ja dioksiinipitoisuuksien tutkimus, joita tietoja lupakäytäntökin jo vaatii.

Edelleen, prosessiteollisuuden kannalta olisi toivottavaa tutkia hiilen ja biopolttoaineiden sekapolttoa. Tutkimus tulisi kuitenkin rajata vain muutamaaan määrällisesti merkittävään biojakeeseen, todennäköisimmin puuhun ja jätepaperiin.

*Metallurgian* sovellusten kannalta CODE-ohjelman projekti ”hiukkas-kaasu-suspensioiden säteilylämmönsiirto” on tuottanut erittäin merkittävän hyödyn. Liekkisulatusuunin mallista poistui ratkaiseva puute eli säteilylämmönsiirron luotettava mallintaminen. Muiltakin osin CODE-ohjelma on tukenut metallurgia-alueen sovelluksia, vaikka ko. sovellusalueilla onkin jo pitkä perinne mallinnoissa.

Metallurgian sovellusalueen kannalta relevantiksi kysymykseksi on noussut oikean tasapainon t. suhteen löytäminen mallinnustyössä, kun samanaikaisesti pyritään tarkempiin malleihin ja suunnittelun nopeuttamiseen. On havaittu oireita siitä, että tietokoneiden laskentakapasiteetin voimakas kasvu voi ajaa eräänlaiseen itsetarkoitukselliseen mallinnukseen t. ”perfektionismiin”. Tällöin nopeus ja kokonaisuuksien hallinta kärsivät. – Erääksi suositeltavaksi lääkkeeksi tähän pulmaan on metallurgi-

an sovellusalueella havaittu entistä läheisempi yhteistyö mallintajien sekä teknologian ja liiketoiminnan kehittäjien välillä.

Merkittävää on, että suhteellisen pitkästä mallinlusperinteestä huolimatta, ovat metallurgia-alkan suurimmat mallinnuksen käyttökohteet edelleen erilaisissa asiakasprojekteissa lähinnä myynnin tukena. Tässä valossa CODE-ohjelman nelivuotisjaksokin on osattava oikein arvioida: se on lyhyt aika.

*Energiatuotannon* sovellusalueella on tuottajalla lähinnä paikallinen näkökulma kun taas laitevalmistajalla on välttämättä oltava globaali tarkastelukehys. Molemmista näkökulmista relevantteja, konkreettisia haasteita mallinnukselle ovat mm.

- käytön ongelmien syiden kohdentaminen
- ongelmallisten polttoaineiden (puu, liete, jätteet) polton lisääntyminen
- ilmanjakojen ja syötön testaus.

Koska energia-alalla toimialarakenteet muuttuvat siten (ks. 3.6.), että tarvittava teknologia ostetaan enenevästi ulkoa, tulisi teknologian kehityspanokset kohdistaa lisääntyvästi selitysmallien tuottamiseen, eikä pyrkiä yksinomaisesti sovelluksiin. CODE:n välitön hyödyntäminen energiantuotantoyrityksissä jää osin riippumaan tekeillä olevista yritysraakenteiden järjestelyistä. Energia-alan kannalta olisi ollut myös hyödyllisempää keskittyä harvempiin projekteihin, jolloin niissä olisi ehditty liittämään aliohjelmat kaupallisiin koodeihin.

### **3.4 Verkottuminen, vuorovaikutus ja tavoitetason muutokset**

Sekä suurempien, että pk-yritysten arvioissa korostettiin, että mallinnoissa on arvokkainta – ja siksi keskeisin tavoite – pyrkiä työ- ja ajattelutapojen muuttamiseen. Matemaattinen mallinnus – jo siihen pyrkiminen – johtaa väistämättä tavoitetason kohoamiseen teknisissä ratkaisuissa. Asenoituminen omaan työhön sisältyviä kehityshaasteita kohtaan muuttuu. Samoin muuttuu asenne ja odotukset muiden toimittamia tai ehdottamia ratkaisuja kohtaan. Uusi, korkeampi vaatimustaso tu-

lee vastaan kaikkialla, markkinoilla asiakassuh-teissa, hankinnoissa toimittajasuhteissa sekä kehi-tystyössä tutkimuslaitosten ja muiden partnerei-den kanssa. Niin ikään uusi vaatimustaso kohda-taan normeissa ja normitustyössä yhdessä viran-omaisten kanssa.

Lähes kaikissa CODE-ohjelmaan osallistuneissa yrityksissä, niin suuremmissa kuin pienemmissä-kin, havaittiin ja noteerattiin edellä kuvattu työ- ja ajattelutapojen muutos.

CODE-ohjelmassa tunnistettu muutos on itse asi-assa ammatillisen kulttuurin muutos, sillä tärkeinä pidettävät asiat (arvot) sekä sitä tukevat asenteet ja toimintatavat, käytettävä kieli ja välineet muuttu-vat. Toteutunut muutos oli suurelta osin tulosta sii-tä hyväksi arvioidusta verkottumisesta ja kanssa-käymisestä, mikä oli tunnusomaista CODE-ohjel-massa. Tiedetään, että mikä tahansa kulttuurimu-utos edellyttää intensiivistä vuorovaikutusta koko ao. kohdeorganisaation sisällä. Tässä tapauksessa ”kohdeorganisaationa” siis olivat ja ovat itse asias-sa kaikkien polttoprosesseja käyttävien sovellus-alueiden muodostamat teolliset klusterit.

Verkottuminen arvioitiin lähes kaikkien ohjelman osapuolten kannalta onnistuneeksi. Parhaiten on-nistui yritysten (koosta riippumatta) välinen sekä yritysten ja tutkimusyksiköiden välinen yhteistyö, vaikka jossakin yrityksessä koettiin ”tutkimustu-lostien siirron yrityksiin välillä hieman tökkivän”.

Jonkin verran jäykkyyttä oli tutkimusyksiköiden keskinäisessä vuorovaikutuksessa, niin saman kor-keakoulun sisällä kuin eri korkeakoulujen välillä-kin. Kuitenkin, Tekesin toimesta tehdyt ”pakko-avioliitot” muodostuivat näissäkin suhteissa lopul-ta kohtuullisen hyvin toimiviksi.

Ainoa, mutta sitäkin selvempi epäonnistuminen CODE-ohjelman sisäisessä verkottumisessa oli ohjelmistoyritysten suuntaan: ”Kesti kaksi vuotta saada minkäänlaista kontaktia kaupallisen koodin tarjoajiin.” ”Muuten verkottuminen oli erinomaista, mutta ohjelmistoyritykset eivät integroituneet ohjelman toimintaan millään tavalla”. ”Ohjelmis-totalot käyttäytyivät pulmallisesti, ne eivät kuun-

nelleet. Ohjelman toimintatapa oli niille ilmeisesti täysin vieras.” Ohjelmistotalojen toimintaan oltiin muutenkin tuskastuneita: ”Softataloilta tulee yhä uusia softaversioita, joista me käyttäjät saamme metsästää bugeja ja käyttää aikaa softatalojen vir-heiden korjaamiseen”.

Kuitenkin, näiltäkin osin CODE-ohjelma sai lo-pulta parannettua tilannetta. Ohjelman viimeisten viikkojen aikana onnistuttiin vihdoin luomaan malli (!) ohjelmistoyritysten linkittämisestä tule-vaisuudessa mallinnuksen kehittämistyöhön.

### 3.5 Ohjelmassa tehty tutkimus

CODE teknologiaohjelmassa oli mukana kaikki-aan 32 tutkimusprojektia ja 13 yrityshanketta. Tut-kimusprojektit ryhmiteltiin ohjauksellisesti nel-jään ”seurantaryhmään”: polttoaineet, päästöke-mia, tuhka sekä virtaus & lämmönsiirto. Projektit olivat voittopuolisesti painottuneet sovellusten ai-kaan saamiseen. Osa projekteista oli kuitenkin myös tieteellisen tutkimuksen kannalta haasteellisia. Tutkimustyössä olivat mukana Åbo Akademi, TKK, TTKK, LTKK, VTT sekä Satakunnan AMK. Korkeakouluista ja VTT:Itä ohjelmaan osallistui useampia yksiköitä.

Tutkimustyön taso on kaikilla tahoilla arvioitu kii-tettäväksi: ”Ehdottomasti kansainvälistä huip-pua”. Tuloksena on ollut lukuisia väitöskirjoja ja muita opinnäytteitä, sekä julkaisuja ja esiintymi-siä, joiden myötä myös uusia, nuoria tutkijoita on sitoutunut alalle. Tutkijat olivat kansainvälisesti hyvin verkottuneita (Liekki-ohjelmien tuloksena) jo CODE:n alkaessa. CODE:n puitteissa on vuoro-vaikutusta jatkettu aiemmin luodussa verkostossa. Ei nähty aiheelliseksi uusien kontaktipintojen muodostamista. Tosin Ranska nähdään ”verkoston mustana aukkona, jossa olisi paljon opittavaa”.

Tutkimustyö eteneminen eri seurantaryhmien pro-jekteissa arvioitiin suhteellisesti ottaen ”yhtä hyväk-si, joskin lähtötasot ovat erilaiset”. Nimenomaan tuhkatutkimuksen osalta arvioitiin lähtötaso hyvin-kin matalaksi: ”Aivan perusasioita on vieläkin pal-jon selvittämättä”. Likaantumis- ja päästökemian

kysymyksissä arvioidaan suomalaisen tutkimuksen tason olevan kiistattomasti maailman huippua. Virtaus & lämmönsiirron alueella ”ollaan melko pitkällä, mutta maailmalla ollaan vielä paljon pidemmällä”. Mittaustekniikan osalta olisivat omattavat tutkimusvalmiudet riittäneet huomattavasti haasteellisempiinkin projekteihin. Näitä ei kuitenkaan sisällytetty ohjelmaan.

Tutkimusyksiköiden yhteistyö suurempien yritysten kanssa sujui yleisesti ottaen erittäinkin hyvin. Pk-yritykset jäivät suurimmalle osalle tutkijoita vieraiksi. Edellä on jo todettu ohjelmistoyritysten irrallaan olo ohjelman muista osapuolista. Tämä vuorovaikutuksen puute aiheutti tietyllä tavalla (huippu-)tutkimusresurssien hukkakäyttöä.

Eräänlainen pysyvä ongelma suomalaisen teknologiakehityksen verkottumisessa näyttää olevan eri tutkimusyksiköiden välinen yhteistyö. Spontaanisti sitä ilmenee äärimmäisen vähän. Näin myös CODE:n puiteissa. ”Pakkoavioliitoilla” saadaan yhteistyö yleensä parhaimmillaan tasolle, joka kiteytyy erään CODE-tutkijan kommentissa: ”Yhteistyö sujui mainiosti, koska jokaiselle osapuolelle irtosi projektista sopivasti oma pala, eikä tarvittu enempää yhteistyötä”. Tämä on valitettavaa, kun tiedetään, miten hedelmällistä luovan toiminnan kannalta on eritaustaisten ajatusten yhdistely. – Erinomaisena poikkeuksena vallitsevasta käytännöstä on ÅA:n ja TTKK:n pitkä yhteistyön perinne. Siinä on spontaaniutta, josta on kummunnut ja kumpuaa myös luovaa toimintaa.

### **3.6 Vaikuttavuus turbulentissa liiketoimintaympäristössä**

CODE:n arviointipaneelissa käytiin keskustelua siitä, olivatko ohjelman tavoitteet painottuneet tarkoituksenmukaisesti ”tutkimuksen ja soveltavan insinöörityön” kesken. Tällöin kiinnitettiin huomiota mm siihen epäjohtonmukaisuuteen, että Tekesin rahoitusosuus ohjelmassa oli huomattavasti yli puolet, vaikka ohjelman tavoitteiden painotus oli selkeästi soveltavalla puolella. Kysyttiin: ”Eivätkö ongelmat olekaan yrityksille merkittäviä, kun Teke-sin täytyy maksaa niiden ongelmanratkaisukin?”

Osaltaan saman problematiikan ovat ohjelman ku-luessa tuoneet pintaan eräät CODE-ohjelman osallistujayrityksissä toteutetut omistusjärjestelyt. Ne ovat konkreettisella tavalla osoittaneet, että liiketoimintasykliä lyhentäminen on luonut uuden riskityypin teknologian kehittämishankkeisiin. Kun yritysten omistus- ja hallintorakenteet muuttuvat nopeasti ja, kun teknologian ja ao. kompetenssien kehittäminen on väistämättä pitkäjänteistä työtä, syntyy jännitteitä. Tämä merkitsee uutta riskiä teknologian kehityksen vaikuttavuudelle.

Uusi omistaja, uusi hallitus tai uudet avainhenkilöt omaavat kenties uudenlaiset liiketoimintaintressit, joihin aiemmin käynnistetty (pitkäkestoinen) teknologian kehitystyö ei istu. Kehitysprojektit saattavat olla onnistuneita sekä teknologisesti että kaupallisesti, mutta ne ovat muutosten jälkeen äkisti rakenteellisesti ”väärässä paikassa”. Uusi omistaja tai johto ei ole kiinnostunut kyseisestä liiketoimintalu-alueesta. Näin teknologiakehityksen vaikuttavuus joutuu kyseenalaiseksi. Aina ei kyseisen tilanteen syntymiseen tarvita edes omistaja- tai hallintomuutoksia. Päinvastoin, yhä tavallisempaa on, että liiketoimintaympäristön muutokset pakottavat nopeisiin strategialinjausten muutoksiin.

Syntyneet tilanteet saatetaan hyvässä tapauksessa ratkaista siten, että tietty teknologinen kompetenssi(yksikkö) sellaisenaan, tärkeine sisäisine suhdeverkostoineen, siirtyy sellaisen omistus- ja hallintorakenteen osaksi, joka täysimittaisesti hyödyntää ja kehittää ko. teknologiaa. Tavanomaisempaa kuitenkin on, että synnytetty kompetenssiyksikkö sirpaloituu järjestelyissä siten, että organisaatiossa oleva tietämyskokonaisuus kärsii tai jopa hajoaa täysin.

Yrity maailman ensireaktio näiden tilanteiden ennalta ehkäisemiseen näyttäisi olevan se, että tarvittava teknologia pyritään enenevästi ostamaan ulkoa. Näin varmistetaan, ettei tehdä turhia investointeja (omaan) teknologian kehittämiseen. Viime kädessä halutaan omassa kontrollissa pitää vain liiketoimintakonseptit, brändit ja asiakkuudet. Vastaavasti omia R&D-yksiköitä ulkoistetaan. Näin yrity maailman verkottuminen jatkuu myös teknologian kehittämisfunktion osalta.

CODE:n kaltaisten teknologiaohjelmien osalta kuvattu ”Corporate Governance” -riski nostaa kysymyksen, pitäisikö ohjelmissa painottaa enemmän ongelmanratkaisua vai niin kutsuttua ilmiöiden tutkimista eli ”luodaanko osaamisplatformeja vai ratkotaanko ongelmia”.

Molempia luonnollisesti tarvitaan, kyse on siitä, missä rahoituksellisessa kontekstissa ne tulisi toteuttaa. Ongelmallisinta on tukea ohjelmilla voimakkaasti sellaista ilmiöiden tutkimusta, jossa olennainen osaaminen on yritysten, ääritapauksessa yhden monialayrityksen hallussa. Tällöin Corporate Governance -riski on suurin.

Mikäli kuvattua riskiä halutaan minimoida, tulisi CODE:n kaltaisilla ohjelmilla siis ensisijaisesti tukea ilmiöiden tutkimista sellaisissa vahvoissa kompetenssiyksiköissä, joissa pitkäjänteinen työ ja osaamisen kumuloituminen on mahdollista. Nyky-Suomessa tällaisia yksiköitä ovat yliopistot, korkeakoulut ja VTT. Tulevaisuudessa yhä enemmän ja yhä suuremmat fokuoituneiden konsernien ”excellence”-keskukset sekä yksityiset R&D-yritykset, joita kasvaa mm ulkoistettujen R&D-osas-

tojen pohjalta. – Samanaikaisesti tulisi rajoitetusti tukea yrityksissä tapahtuvaa ongelmanratkaisua. Tutkimusyksiköissä tai oppilaitoksissa tehtävää ”ongelmanratkaisupalvelua” ei pidä tukea, sillä se synnyttää riskin vaativan tutkimuksellisen kyvykkyyden rappeutumisesta asianomaisissa yksiköissä.

CODE:n osalta voidaan todeta, että ohjelman tavoitteiden painottamista ja Tekesin rahoitusosuutta voidaan pitää perusteltuna. Näin siksi, että kyseessä ei yrityksissä lopultakaan ollut teknologinen ”ongelmanratkaisu” tavanomaisessa mielessä, vaan insinööriyön ja -ajattelun tasokorotus, kulttuurimuutos. CODE:ssa tehtyjen linjausten oikeellisuutta puoltaa myös se, että useimmat osallistuneet suuryritykset ovat fokuoituneita konserneja, joiden puitteissa on todennäköistä saada Suomeen yhä vahvempia ”excellence”-yksiköitä ilman suurta Corporate Governance -riskiä. Ulkoistetun R&D-toiminnan osalta on hyvänä vaihtoehtona entistä voimakkaamman, itsenäisen R&D-yrityksen kasvu Suomeen. Huonona vaihtoehtona on (julkisinkin varoin) kasvatetun osaamisen hajautuminen ja haihtuminen ”väärin rakenteisiin”.



pitkäkestoisessa kulttuurimuutoksessa kohti modernia, kunnianhimoisempaa insinööriyön ja -ajattelun tasoa. Ohjelma rakentui merkittävässä määrin sen tietämyksen ja yhteistyöverkoston varaan, jota luotiin mm LIEKKI 1&2- ja Virtausdynamikan teknologiaohjelmilla (kuva 4).

CODE oli myös kohtuullisen kattava sovellusalueiltaan. Kohteina olivat pöly-, ja leijupolttot sekä soodakattilat, samoin arinapolttot. Polttomootorisovellukset (diesel) olivat omassa PROMOTOR-ohjelmassaan. Prosessiteollisuuden sovellukset (kemian teollisuus) metsäteollisuutta lukuunottamatta olivat ohjelman ulkopuolella. Tutkimuskohteena olisi voinut ehkä harkita suurempaa painoa mitaustekniikalle. Nyt se nähtiin lähinnä avustavan ”rengin” asemassa.

Vaikuttavuutta tarkasteltaessa ohjelmaa voidaan pitää varsin menestyksellisenä siitä huolimatta, että sinänsä selkeätä ja konkreettista ohjelmatavoitetta ”liittää polttoprosessien tietämys aliohjelmiin kaupallisiin koodeihin” ei tarkasti ottaen saavutettu. Opittiin matkalla, että lopulta olennaista onkin työ- ja ajattelutavan muutos sinänsä. Kooditasolle pääseminen edellytti arvioitua paljon enemmän nk. raakaa työtä, johon ohjelmassa ei osattu varautua. Yhä tarkemmat aliohjelmat syntyvät ajan kuluessa yritysprojekteissa, kun oikea ajattelutapa vain hallitaan. Ohjelmassa nyt valittua resurssien kohdentamista voidaan näin ollen pitää tarkoituksenmukaisena.

Ohjelma oli menestyksellinen myös lähes kaikilta osa-alueiltaan. Mukana olleet suuremmat yritykset saivat mallinnuskompetenssien vahvistumisen lisäksi konkreettisia hyötyjä tuotekehityksensä ja markkinointinsa tueksi. Erityisellä tukitoiminnalla autettu pk-yritysten ryhmä hyötyi niin ikään monin tavoin. Niiden tavoitetaso kohosi mallinnustietoisuuden myötä ratkaisevasti. Edellytykset mallinnusta hyödyntävään työtapaan vahvistuivat verkottumisen ja työkalutuntemuksen avulla. Useat pk-yritykset ovat nopeasti ryhtyneet rajatuissa kohteissa mallinnuksen soveltamiseen ja havainneet uskottavuutensa koti- ja etenkin vientimarkkinoilla vahvistuneen.

Ohjelman puitteissa tehty tutkimustyö on arvioitu kauttaaltaan korkeatasoiseksi. Ohjelman projek-

tien sovelluskeskeisyydestä huolimatta on myös tuntuvia tutkimuksellisia edistysaskeleita otettu kaikilla ohjelman tutkimuslinjoilla: polttoaineet, päästökemia, tuhka sekä virtaus ja lämmönsiirto. Väitöskirjoja ja muita opinnäytteitä ja julkaisuja on tuotettu varsin runsaasti. Niiden myötä on uusia tutkijoita sitoutunut alalle ja LIEKKI-ohjelmissa käynnistettyä kansainvälistä vuorovaikutusta on jatkettu.

Verkottumisessa on hyödynnetty ja vahvistettu LIEKKI-ohjelmissa luotua yhteistyön kanavistoa ja tapaa. Rekrytoitumista tutkimuksesta teollisuuteen on tapahtunut sopivassa määrin. Selvänä epäonnistumisena odotuksiin nähden oli CODE:ssa kuitenkin ohjelmistoyritysten integroitumattomuus ohjelmaan. Tämä vaikutti ratkaisevasti siihen, että aliohjelmiä ei ennätetty liittää kaupallisiin koodeihin. Tämäkin epäonnistuminen rajoittui lopulta vain ohjelman aikaiseen vuorovaikutukseen, sillä ohjelman viimeisillä viikoilla onnistuttiin luomaan yhteisesti hyväksytty malli tulevalle yhteistyölle. Näiltä osin lopputulos muodostui siis hyväksi. – CODE:ssa ei myöskään onnistuttu murtamaan sitä melko jäykkää yhteistyöperinnettä, joka vallitsee suomalaisten tutkimusyksiköiden välillä. Toimeen tullaan kunhan tarkasta työjaosta ensin sovitaan, parempaan ei pyritä.

Voimakkain kritiikki CODE-ohjelmassa kohdistui ”yliorganisoituun ohjaustapaan, joka oli liian arvokas ja raskas näin pieneen ohjelmaan”. Keskimääräinen projektikoko oli varsin pieni, noin 1 htv. Ohjaus sinällään arvioitiin systemaattiseksi ja selkeäksi, monen mielestä jopa esimerkilliseksi, mutta ehdottomasti liian raskaaksi. Osin se koettiin myös siten kahlitsevana ja säädeltynä, että ”luova kipinä ei sen puitteissa helposti syty”. Raportointi- ja kokoustiheys arvioitiin liian suureksi ja työllistäväksi. Verkkoraportointi ei toiminut. Tekesin hidasta päätöksentekotapaa arvosteltiin kärkevästikin.

Ohjelmajohdon, ohjelmapäälliköiden ja tieteellisen asiantuntijan toiminta arvioitiin erittäin hyväksi, joka onnistui kohtuullisesti ohjauksessaan, ohjelman kuluessa toteutetusta resurssien uudelleen kohdentamisesta huolimatta. Seminaarit ja vuosikirjat arvioitiin korkeatasoisiksi.

## 4.2. Suositukset

### 1. Liekki-Virtausdynamikka-CODE-ohjelmaketju on jatkettava.

Em. ohjelmaketju jäi CODE-ohjelmankin jälkeen sillä tavoin kesken, että nimenomaan Liekki-ohjelmissa luotu merkittävä kansallinen tietämys jää kapitalisoimatta ja syntynyt yhteistyöverkosto hyödyntämättä, ellei samalta alustalta tehdä jatkokehitystä. Olisi erittäin suotavaa, että energiaklusterin piiristä koottaisiin ”iteroiva foorumien sarja”, jolla jatkokehityksen kohteita ideoitaisiin ja priorisoitaisiin. Kyseisissä foorumeissa tulisi tutkijoiden ja yritysten teknologiajohdon ohella olla myös ao. yritysten liiketoiminta- ja markkinointistrategioita muokkaavia ja toteuttavia henkilöitä.

### 2. Kulttuurimuutosta mallintavaan työ- ja ajattelutapaan on jatkettava useilla eri rintamilla polttoprosessi-sovellusten ohella

Tekesin erilaisten rahoituspäätösten kriteerien joukkoon on syytä lisätä mallintava toimintatapa erityisenä puoltavana seikkana.

### 3. Geneeristä virtauslaskennan osaamista on vahvistettava sovellusten, tutkimuksen ja peruskoulutuksen tasoilla.

Ajantasainen virtauslaskenta-osaaminen muodostaa perustan kehittyvässä mallintamiskäytännössä menestymiselle. Erityisesti tulisi vastata myös siihen kasvavaan ongelmaan, mikä syntyy perusopeuksissa, kun matemaattinen mallinnus vaatii entistä enemmän matemaattista osaamista, mutta saman aikaisesti korkeakoulut ovat pakotettuja helpottamaan sisäänpääsyä kyseisten taitojen osalta. Korkeakoulujen/yliopistojen on tästäkin näkökulmasta katsoen tehtävä selvä valinta: annetaanko valmistuvien tason laskea vai pidetäänkö kiinni osaamistasosta, jolloin sisäännotot väistämättä supistunevat.

### 4. Pk-yrityksille tulisi CODE-ohjelman päätteeksi järjestää vielä erityistä perehdyttämiskoulutusta saatujen tulosten pohjalta.

Ei ole syytä aliarvioida sitä vaikeutta, mikä pk-yrityksillä on, kun ne koettavat rajallisten resurssien puitteissa nyt ”herätyksen jälkeen” edetä mallinnuksen hyödyntämisessä. Pk-kentässä on nyt ”momentum”, ikkuna auki! CODE-ohjelman alkuvaiheissa järjestetyn Fortum demonstraation kaltaiset tilaisuudet voisivat muodostaa mainion ytimen po. koulutustilaisuuksille. On huomattava, että jopa samankin demonstraation ympärille rakentuu uusi koulutuskokonaisuus yksinomaan jos siksi, että pk-osanottajat osaavat tehdä CODEn ansiosta tehdä uudenlaisia havaintoja ja kysymyksiä.

### 5. Mittaustekniikan alue tulisi nähdä itsenäisenä tutkimus- ja siis panostuskohteena.

Mittaustekniikka on ”rengin” ohella myös geneerinen osaamisalue itsessään, jossa on hyvät lähtökohdat esim. optisen mittaustekniikan kehitystyöhön. Sen kehittämisessä ei tulisi rajoittua myöskään yksinomaan polttoprosessien sovelluksiin.

## Liite 1

### Luettelo haastatelluista ja kyselyyn vastanneista

#### Suuremmat yritykset

Timo Hyppänen	Foster Wheeler Energia
Kauko Janka	(Kvaerner Pulping)
Tommy Jacobson	(Fortum Engineering)
Kari K. Koskinen	Fortum Engineering
Markku Kytö	Outokumpu Technology
Petri Nieminen	Vattenfall
Jatta Partanen	(Fortum Engineering)
Pekka Taskinen	Outokumpu Research
Esa K. Vakkilainen	Andritz-Ahlström

#### Pk-yritykset

Kenneth Eriksson	Process Flow Ltd Oy
Jukka Hannuniemi	Putkimaa Oy
Juha Huotari	Sermet Oy (Wärtsilä BioPower)
Keijo Jaanu	Envofire Oy
Matti Kytö	Oilon Oy
Martti Luukka	Timarcon Oy
Jukka Salmi	Nakkilan Konepaja Oy
Matti Sillanpää	Thermia Oy

#### Tutkimusyksiköt

Rainer Backman	ÅA
Rolf Hernberg	TTKK
Martti Honkasalo	SAMK
Mika Horttanainen	LTKK
Jouni Hämäläinen	VTT
Jorma Jokiniemi	VTT
Ari Kankkunen	TKK
Pia Kilpinen	(ÅA)
Lars Kjälldman	VTT
Mikko Manninen	VTT
Markku Orjala	VTT
Jouni Pyykönen	VTT
Risto Raiko	TTKK
Veikko Taivassalo	VTT
Antti Tourunen	VTT

## Liite 2

### Haastattelukehys

#### Miten ”CODE” sujui ja mitä saavutettiin?

#### Kysymyksiä tutkimusyksiköiden ja yritysten edustajille projektien kulusta ja vaikuttavuudesta

Huom! Vastaukset ovat luottamuksellisia ja jäävät sellaisenaan vain arvioitsijan (Lasse Kivikko) tietoon.  
Arviointiraportissa ei esitetä tiedon lähdettä.  
Raportin arviot ovat arvioitsijan yleistyksiä ja päätelmiä.

#### 1. Tavoiteasettelu? OK?

Tutkimuksellisesti sopivan kunnianhimoinen? Sovellusten kannalta relevantti? Oikeassa suhteessa resursseihin? Jne.

#### 2. Saavutettiiniko tavoitteet tutkimukselliselta kannalta?

Teoreettinen osaaminen? Tieteellisiä julkaisuja? Uusia tutkimuskysymyksiä? Opinnäytteitä? Lisää nuoria tutkijoita alalle? Kansainvälistä tunnustusta? Jne.

#### 3. Saavutettiiniko tavoitteet yrityssovellusten kannalta?

Tutkittiin oikeita kysymyksiä? Pilotteja? Yritykset oppivat? Päästiin kilpailijoita edelle / tasoihin /lähelle?  
Pk-yritysten valmiudet mallinnustyökalujen käyttöön? Jne.

#### 4. Miten sujui yhteistyö- ja verkostoituminen yleensä?

Tutkimukseen osallistuneiden tutkimusyksiköiden kesken? Tutkimuksen ja soveltajayritysten välillä? Työkaluyritysten yhteistyö muiden kanssa? Pk-yritysten yhteistyö muiden osapuolien kanssa? Rekrytoituminen tutkimuksesta yrityksiin? Kansainvälinen yhteistyö; riittävää, tasokasta, tutkijavaihtoa? Jne.

#### 5. Luovan toiminnan ilmentyminen?

Arvioitko projektin olleen ”luova projekti”? Merkittäviä oivalluksia, läpimurtoja? Innostunutta, toinen toistaan sytyttävää yhteistyötä? Erialaisten osaamisten/tahojen tuoretta yhdistelyä? Rohkeata ajattelua? Jne.

#### 6. Ohjelman ohjaus ja resurssit?

”Ohjausbyrokraatiaa” sopiva määrä? Jotakin opiksi otettavaa seuraavissa ohjelmissa? Laskentakapasiteettia ym resurssija riittävästi? Jne.

## Liite 3

### Arviointipanelisteille esitetyt kysymykset

- 0 Peruskysymys: Mikä on raportoitujen tulosten liiketoiminnallinen ja teknologinen relevanssi/arvo sovellusalueellasi (energia, metsä, moottorit, metallurgia) ja mihin suuntaan jatkossa tulisi edetä – ja millä vauhdilla?  
Em. peruskysymyksen lisäksi antavat tähän mennessä kerätyt arvioinnit (10 kpl yrityksistä ja 14 kpl tutkimustaholta) aihetta mm seuraavanlaisiin lisäkysymyksiin:
  - 1 Oliko tavoiteasetannan peruslinja, so suoraviivainen pyrkimys sovelluksiin tarkoituksenmukainen eri projektien osalta?
  - 2 Olisiko pitänyt keskittyä harvempiin projekteihin ja a) siten varmistaa niissä aliohjelmien liittäminen nk kaupallisiin koodeihin tai b) pyrkiä niissä peräti jonkinlaiseen ”loikkaan”, ikäänkuin seuraavan sukupolven malleihin nyky-mallien inkrementaalisen parantelun sijaan?
  - 3 Onko teoreettisessa osaamisessa jokin ilmeinen aukko, johon olisi ohjelmassa tullut kiinnittää olennaisesti suurempi huomio? Onko ohjelmassa ylisummaan yhdistetty onnistuneella tavalla palamiskemian ja virtauslaskennan osaamista?
  - 4 Jos Suomessa olemme päästökemiassa sekä pintojen likaantumisen ymmärtämisessä tieteellisen maailman huipulla (olemmeko?), niin olisiko näiden osalta tullut panostaa enemmän/vähemmän ja toisin tavoittein?
  - 5 Jos päästökemiassa osaamisemme on maailman huippua, niin miksi ei NOx:ien ennustamisessa onnistuttu paremmin? Mistä (ehkä) kiikastaa?
  - 6 Jos virtausten osaamisessa olemme Suomessa jonkinlaisia seurailijoita – jopa jälkeijääneitä – massiivisin panoksin maailmalla tehtäville tutkimuksille (onko näin?), niin olisiko ko. alueelle (=hankeryhmä 4) tullut panostaa määrällisesti enemmän/vähemmän ja toisenlaisin tavoittein? (Edellinen ei välttämättä koske lämmönsiirtoa)
  - 7 Olisiko ollut aihetta nostaa ”mittausmenetelmät” yhdeksi tärkeäksi hanke-alueeksi? Rajoittaako mittausmenetelmien kehittymättömyys kehitystyön etenemistä käytännössä?
  - 8 Olisiko ”Optiselle diagnostiikalle” pitänyt osoittaa enemmän resursseja (projekteja)?
  - 9 Olisiko ”polttoaine”-ryhmän projekteissa pitänyt edetä toisin, jotta polttoaineiden epähomogeenisuuden vaikutukset olisi saatu paremmin hallintaan? Miten esimerkiksi?

- 10 Mikä on kehitetyn ”raskasmetallien mittausteknisen mallin/laitteen” arvo käytännössä?
- 11 Olivatko tutkijoiden kansainväliset foorumit, so tutkimuspartnerit, konferenssit, julkaisut jne riittävän tasokkaita ja relevantteja? Jäitkö kaipaamaan jotain tärkeää foorumia?

## Liite 4

### Arviointipaneelin osanottajat

**Aika ja paikka** 13.12.2002,  
Innopoli, Espoo

**Panelistit**

Stefan Gros	Wärtsilä
Jyrki Kettunen	(M-real)
Ilkka Kojo	Outokumpu Technology
Markku Raiko	Fortum Engineering

**Ohjelman ja projektien avainhenkilöt**

Ahokainen, Tapio  
Eriksson, Kenneth  
Hernberg, Rolf  
Hupa, Mikko  
Hyppänen, Timo  
Karvinen, Reijo  
Kilpinen, Pia  
Koskinen, Kari K.  
Mäki, Eerikki  
Nieminen, Petri  
Oksanen, Antti  
Partanen, Jatta  
Salmenoja, Keijo  
Salokoski, Pia  
Sierilä, Sanna  
Taskinen, Pekka  
Vakkilainen, Esa

**Tekes**

Gustafsson, Robin  
Korkiakoski, Martti  
Äijälä, Martti  
Kivikko, Lasse (pj)

## Liite 5

### CODE-teknologiaohjelman johtoryhmän itsearviointi ohjelman tuloksista ja vaikutuksista – ote johtoryhmän pöytäkirjasta

Muistion on laatinut Jatta Partanen

#### CODE-teknologiaohjelman johtoryhmän kokous

Aika ke 18.12.2002 klo 10–16

Paikka Radisson SAS Hotel, Runeberginkatu 2, Helsinki

Läsnäolijat Keijo Salmenoja / Kvaerner Pulping Oy  
Timo Hyppänen / Foster Wheeler Energia Oy (pj)  
Markku Raiko / Fortum Engineering Oy  
Björn Järnström / Process Flow Oy  
Mikko Hupa / IFRF Suomen osasto c/o Åbo Akademi  
Martti Korkiakoski / Tekes  
Pia Salokoski / IFRF Suomen osasto c/o VTT Prosessit  
Kari Koskinen / IFRF Suomen osasto c/o Fortum Engineering Oy  
Jatta Partanen / IFRF Suomen osasto c/o Fortum Engineering Oy (siht.)

#### CODEn arviointi

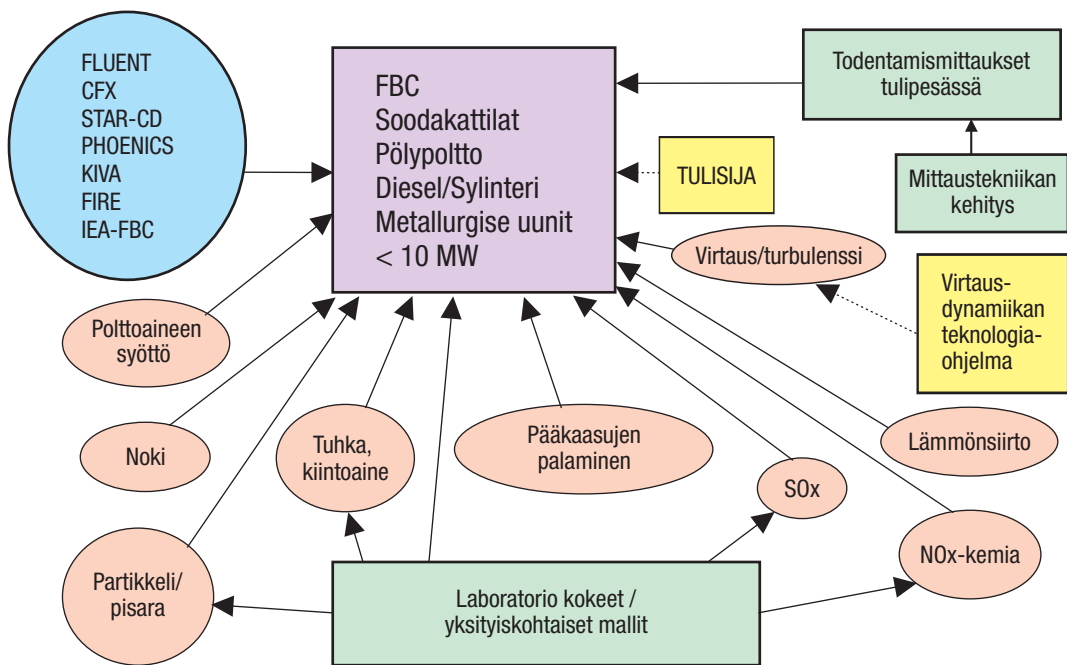
Tekesistä oli esitetty toivomus, että johtoryhmä ottaisi itse kantaa ohjelman onnistumiseen alussa asetettujen tavoitteiden kannalta. CODEn yleiset tavoitteet kirjattiin ohjelman alussa seuraavasti:

- kehittää polttoprosessien mallituksen menetelmiä ja työkaluja
- parantaa polttoprosessien alimallien tarkkuutta
- tutkimuslaitosten/yliopistojen ja yritysten yhteishankkeiden käynnistäminen
- merkittävän suuruisen ja haastavien hankkeiden käynnistäminen
- kansainvälisen tutkimustiedon hyödyntäminen ja tutkijanvaihto
- luoda pk-yrityksille hyvät valmiudet mallinnustyökalujen käyttöönottoon
- synnyttää uutta mallilaskentaan perustuvaa liiketoimintaa

Kaaviossa 1 on hahmotettu CODE-ohjelman tutkimuksen eri osa-alueet, kuten ne nähtiin ohjelmaa käynnistämisen aikoihin.

Jatta Partasen laatimat taulukot rahoituksen jakautumisesta CODE-ohjelmassa eri vuosina ja eri tutkimusalueilla (Liite 2) käytiin läpi, ja pohdittiin niiden avulla saavutettuja tuloksia. Todettiin, että CODE oli ohjelmassa äärellisen laajuinen ja että jotkin tutkimusalueet painottuivat enemmän ja toiset jäivät vähemmälle. Projektivalinnassa tehdyn priorisoinnin vaikutuksesta ongelmallisimmat alueet tulivat vahvemmin esiin:

*Päästökemian* puolella pääpaino CODE-ohjelman tutkimusprojekteissa on ollut NOxien mallinnuksessa sekä turbulenssin ja NOx-kemian kytkemisessä. CODE-ohjelman aikana edistysaskelia tällä alueella on otettu niin pöly- ja leijupoltossa kuin soodakattiloidenkin puolella. Myös öljyn ja kaa-



Kaavio 1. CODE-ohjelman eri osa-alueet.

sun polton kuvauksissa on paneuduttu NO<sub>x</sub>-päästöjen mallinnukseen.

*Polttoaineen* laadun vaihtelu näkyy edelleen vaativana haasteena erityisesti leijupolton tapauksessa. Soodakattilapuolella nykytrendinä on, että yksi tehdas ajaa yhtä raaka-ainetta; tosin erilaisia mustalipeitä on monenlaisia. Polttoaineiden moninaisuuden vuoksi työtä tarvitaan edelleen lähtien laboratoriomittauksista ja yksityiskohtaisten mallien laatimisesta yksinkertaistuksien kautta kohti polttoprosessin kokonaismallia. Polttoainespesifistä mallinnusta on CODEssa toteutettu esimerkiksi biomassojen ja mustalipeän osalta. Tulevaisuudessa haasteena on paitsi yksittäisten polttoaineiden käyttäytymisen mallinnus myös polttoaineseosten kuvaaminen.

Polttoaineiden standardoitu karakterisointi mallilaskelmien pohjaksi nähtiin myös merkittävänä tulevaisuuden haasteena. Vasta polttoaineen karakterisoinnin jälkeen on mahdollista ryhtyä kuvaamaan materiaalin ja hiukkasten käyttäytymistä tulipesässä. Kun ilmiökuvauksiin pystytään liittämään riittävän hyvä kuvaus polttoaineen karakteristisista ominaisuuksista, on mahdollista päästä

polton kokonaismallinnukseen ja laitoksen käyttäytymisen kuvaamiseen jo suunnitteluvaiheessa. Tällä sektorilla on CODE-ohjelmassa otettu erityisesti leijupoltossa merkittäviä edistysaskelia.

*Tuhkan* mallinnus oli ennen CODE-ohjelman alkua ollut varsin vähäistä, ja tällä sektorilla kehitys on ohjelman puitteissa ollut merkittävää. Polttoainekirjon laajenemisesta johtuen tuhkan käyttäytymisen kuvaaminen nähdään haasteena myös tulevaisuuden mallinkehitystyössä.

CODEn tutkimusalueella *Virtaus ja lämmönsiirto* on muun muassa saakan suspension kuvaamisessa saavutettuja tuloksia voitu hyödyntää yrityksissä omien mallien kehittämisessä. Metallurgisten uunien kohdalla merkittävin edistysaskel CODE-ohjelmassa liittyy säteilylämmönsiirron kuvaamiseen. Myös pölypoltossa lämmönsiirto osataan jo kuvata varsin hyvin, ja lisäksi ilmajaon muutoksien vaikutukset osataan ennustaa luotettavasti.

Todettiin edelleen, että kaupalliset ohjelmat eivät myöskään ole täysin valmiita. Malleissa itsessään voi ongelmia ilmetä konvergenssivaikeuksina, jotka johtuvat matemaattisista ongelmista. Todettiin,

että työkalun käyttäjän täytyy ymmärtää laskennan ongelmat ja vaatimukset, jotta tulosten luotavuuteen osataan suhtautua oikein. Nykyisillä ohjelmilla on vielä hyvin helppoa saada toisistaan poikkeavia tuloksia vaihtamalla konetta, ohjelmistoa tai laskijaa.

### **Verkottuminen ja hankekoko**

CODEn ohjelmassa on ollut mukana yhteensä 48 projektia, joista 32 oli tutkimusprojekteja ja 13 yrityshankkeita. Tutkimusprojektien katsottiin olleen jo itsessään hyvin verkottuneita erityisesti yritysten suuntaan. Ohjelman edetessä yrityshankkeita on tullut enemmän ja ne ovat myös olleet kooltaan tutkimusprojekteja suurempia. Tämä viitannee myös osaltaan siihen, että yhteistyö tutkimuslaitosten kanssa on kantanut hedelmää.

Toteutuneiden hankkeiden koon osalta todettiin yleisesti, että hankkeet ovat olleet pienehköjä. Tässä on tosin huomattava, että myös koko ohjelma on ollut pienehkö. Johtoryhmän näkemyksen mukaan ohjelmakokonaisuutta itsessään voidaan ajatella yhtenä vahvasti verkottuneena kansallisena projektina. Ohjelmatoiminta nähdään hyvänä foorumina toteuttaa osaamisen kehittämistä kansallisesti. Johtoryhmän näkemyksen mukaan kansallinen ohjelma on loistava "platformi" tieteen kehittämiseksi yhteisin toimintatavoin.

### **Kansainvälisyys**

Kansainvälisen yhteistyön arvioinnissa todettiin, että yhteistyöverkostot ovat olleet jo ennestään olemassa. CODEn eri osapuolet ovat olleet jo vuosia kiinteässä yhteistyössä useiden ulkomaisten tutkimuslaitosten kanssa, eikä ohjelman puitteissa ole juurikaan syntynyt uusia kontakteja. Tämä johtunee pitkälti siitä, ettei uusia merkittäviä tahoja ole noussut esiin, joiden suuntaan olisi ollut tarve tiivistää yhteistyötä. Todettiin edelleen yleisesti, ettei CODEn kokoisen ohjelman volyymi ole riittävä, jotta kansainvälisen yhteistyön tiivistämisessä voitaisiin edetä systemaattisella toimintatavalla. Systemaattisessa toimintatavassa tulee ohjelmatasolla koordinoita tietojen keräämistä verkostoista ja ohjata osaamisen siirtoa huippuosaamiskuksista ohjelman puitteisiin.

Ohjelmistotaloyhteistyön osalta todettiin, että ohjelman puitteissa on saatu luotua kontaktiverkko yhteistyön pohjaksi. Todettiin edelleen, että allekirjoittamalla Letter of Mutual Understanding -sopimukset on pyritty ottamaan kantaa siihen, missä eri muodoissa yhteistyötä voidaan tehdä. Nämä yhteistyömuodot pyritään loppuraportoinnin yhteydessä vielä kuvaamaan mahdollisimman yksiselitteisesti, jotta projektiokohtainen etenemistapa tulisi kaikille osapuolille selväksi. Johtoryhmä katsoi, että CODE-ohjelmassa on tämän alueen osalta päästy tavoitteeseen. Joskin nähtäväksi jää, kuinka paljon tulevaisuudessa todellisia yhteistyöhankkeita tutkijoiden ja ohjelmistotalojen välille syntyy. Ohjelman suhteellisen lyhyen keston vuoksi ei vaikutuksia vielä ole mahdollista kunnolla nähdä.

### **Pk-työryhmä**

Pk-sektorin suhteen ohjelmalle asetetut tavoitteet katsottiin saavutetuiksi varsin hyvin. Toki yrityksiä olisi voinut olla mukana laajemmalla rintamalla, mutta käytännössä pienten yritysten mukaan saaminen on todella vaikeaa. Tämän kokoluokan yrityksissä henkilö- ja taloudellisten resurssien riittävyys tulee helposti ongelmaksi. CODEssa käynnissä ollut pk-työryhmä on toteuttanut juuri niitä asioita, jotka sille tehtävänasettelussa annettiin. Tärkeimpänä saavutuksena nähtiin, että mukana olleille yrityksille on saatu vietyä viesti siitä, miten mallinnusta voidaan hyödyntää ja missä yhteistyötahot sijaitsevat. Edelleen on pk-sektorilla syntynyt CODE-ohjelman ansiosta uutta, mallilaskentaan perustuvaa liiketoimintaa.

### **Loppupäätelmät**

Arviointikeskustelun lopuksi johtoryhmä totesi, että CODE-ohjelma on yleisvaikutelman mukaan onnistunut odotuksien mukaisesti. Ohjelmassa on pitkälti tehty niitä asioita, joita ajateltiin. Keskustelussa CODE-ohjelman todellisista hyödyistä todettiin, että viimekädessä ainoa mittari, jolla vaikutuksia voidaan tarkastella, on verrata, kuinka ohjelmissa mukana olleet yritykset ovat pärjänneet markkinoilla kilpailijoihinsa verrattuna. Vaikutuksien arvioimisessa on hankaluutena kohtuullisen pitkä aikaviive, jolla hyödyt näkyvät. Nyt nähtävissä olevat hyödyt ovat monelta osin syntyneet aiemmin tehtyjen hyvien päätösten ja teknisten in-

novaatioiden ansioista. Keskusteltiinkin siitä, pitäisikö ohjelmista tehdä vaikuttavuusarvio esimerkiksi 5-10 vuoden kuluttua ohjelman päättymisestä. Nyt on esimerkiksi nähtävissä, että LIEKKI-ohjelmissa mukana olleet yritykset ovat pärjänneet markkinoilla ja heidän suhteellinen asemansa kilpailijoihin nähden vaikuttaa jopa kehittyneen. Eräänä vaikutuksena voitaneen nähdä myös se, että kansainvälisiin konserneihin kuuluvien yksiköiden toiminnot ovat säilyneet Suomessa. Johtoryhmän näkemyksen mukaan Suomessa vallitseva korkea teknologinen taso tietyillä sektoreilla vahvistaa suomalaisten yksiköiden olomassaolon perustaa.

CODE-ohjelman jopa tärkeimpänä merkityksenä nähtiin jo LIEKKI-ohjelmien aikaan syntyneen kansallinen yhteisön toiminnan jatkuminen. CODEn kaltaisessa ohjelmassa laitevalmistajan ja tuottajan yhteistyö hyödyttää molempia osapuolia, ja tieteen ja liiketoiminnan vuoropuhelu toimii kitkattomasti. Tulevaisuutta ajatellen johtoryhmä pitää valitettava, mikäli tämänkaltainen yhteisöllinen toiminta loppuu maassamme. Jatkossa ohjelmatoiminnan merkityksen nähdään jopa korostuvan, koska monissa yrityksissä oman kehitystoiminnan aikajän-

ne lyhentyä ja halukkuus pitkäjänteiseen kehitystyöhön vähentyy.

Tulevaisuuden uusia ohjelmakokonaisuuksia pohdittaessa nähtiin tarpeelliseksi laajentaa perspektiiviä. Uusien tieteenalueiden puolelta voitaisiin löytää uusia näkökulmia. Kemiallisten ilmiöiden tutkimus ja yhteistyön tiivistäminen prosessi- ja metsäteollisuuden suuntaan nähtiin tulevaisuuden haasteiksi. Uudet tekniikat tuovat myös vaatimuksia mallien kehittämislle; esimerkiksi polttokenojen mallinnuksessa on vielä kehittämisen varaa.

Yleisesti ottaen katsottiin, että viime vuosina mallinnukseen on alettu luottaa entistä enemmän teknologisen kehittämisen työvälteenä. CODEn aikana muun muassa mallien avulla tehtyjen skaalausten luotettavuus on kasvanut. Ilmiömaailman parempi ymmärrys tullee jatkossa olemaan teknologisen kehityksen pullonkaula skaalauspuolella saavutettujen edistysaskeleitten jälkeen. Vasta ilmiön ja syy-seuraussuhteen ymmärrys ja mallinnus mahdollistaa tieteellisen osaamisen hyödyntämisen laitesuunnittelussa ja esimerkiksi optimoinnissa.

# Tekesin teknologiaohjelmaraportteja

12/2003	Muuttuva insinööriyö- ja ajattelutapa. Polttoprosessien mallinnus CODE-teknoologiaohjelman vaikuttavuuden arviointi. Arviointiraportti. 32 s. Lasse Kivikko
11/2003	Osaamisen ja tiedonsiirron merkitys teknologiaohjelmissa – STAHA-, PRESTO- ja VÄRE-teknoologiaohjelmien arviointi. Arviointiraportti.
10/2003	VÄRE – Control of Vibration and Sound Technology Programme 1999–2002. Final Report.
9/2003	Terve talo -teknoologiaohjelma 1998–2002. Loppuraportti.
8/2003	Staattisen sähköän valinta, STAHA-teknoologiaohjelma 1999–2002. Loppuraportti.
7/2003	ProBuild – Kehittyvä rakentamisprosessi 1997–2003. Loppuraportti.
6/2003	Towards a competitive cluster – An evaluation real estate and construction technology programmes. Evaluation Report. 89 p. Petri Uusikylä, Ville Valovirta, Risto Karinen, Enno Abel and Thomas Froese
5/2003	Developing technology for large-scale production of forest chips. Wood Energy Technology Programme 1999–2003. Interim Report. 53 p.
4/2003	Code Technology Programme 1999–2002. Final Report.
3/2003	VÄRE – Värähtelyn ja äänen hallinta -teknoologiaohjelma 1999–2002. Loppuraportti. 90 s.
2/2003	Kenno – Kevyet levyt -teknoologiaohjelma 1998–2002. Loppuraportti.
1/2003	FFusion Technology Programme 1999–2002. Loppuraportti.
14/2002	Technology and Climate Change. CLIMTECH 1999–2002. 258 p. Sampo Soimakallio, Ilkka Savolainen (eds.)
13/2002	Avautuneet sähkömarkkinat ja jätteiden energiakäyttö – lainsäädännöllä synnytettyinä markkinoina. TESLA- ja Jätteiden energiakäyttö -teknoologiaohjelmien arviointiraportti. 62 s. Mervi Rajahonka, Lasse Kivikko, Mikko Valtakari, Matti Pulkkinen
12/2002	Information Technology and Electric Power Systems, TESLA Technology Programme 1998–2002. Final Report. 80 p.
11/2002	Informaatiotekniikka sähköjakelussa, TESLA-teknoologiaohjelma 1998–2002. Loppuraportti 102 s.
10/2002	Kilpailukykyä yritysten toimintatapoja kehittämällä – GPB-, ProBuild- ja Laatu-ohjelmien arviointi. Arviointiraportti 44 s. Mikko Valtakari ja Mervi Rajahonka
9/2002	Energiateknologia-yritykset liiketoimintaympäristön murroksessa. Materiaalit energiatekniikan palveluksessa, KESTO-teknoologiaohjelma 1997–2001. Arviointiraportti. 31 s. Lasse Kivikko

**Julkaisujen tilaukset:** [www.tekes.fi/Julkaisut](http://www.tekes.fi/Julkaisut)