

# Laskennallisen tieteen kehittäminen Suomessa

Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2007:23

# Laskennallisen tieteen kehittäminen Suomessa

Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2007:23



OPETUSMINISTERIÖ

*Undervisningsministeriet*

MINISTRY OF EDUCATION

*Ministère de l'Éducation*

Opetusministeriö / Undervisningsministeriet

Koulutus- ja tiedepolitiikan osasto / Utbildnings- och forskningspolitiska avdelningen

PL / PB 29

00023 Valtioneuvosto / Statsrådet

<http://www.minedu.fi/julkaisut>

Taitto / Ombrytning: Mari Soini

Yliopistopaino / Universitetstryckeriet, 2007

ISBN: 978-952-485-351-4 (nid.)

ISBN: 978-952-485-352-1 (PDF)

ISSN: 1458-8102

Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä /

Undervisningsministeriets arbetsgruppspromemorior och utredningar 2007:23

**Kuvailulehti****Julkaisija**

Opetusministeriö

**Julkaisun päivämäärä**

5.4.2007

<b>Tekijät</b> (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri) <b>Työryhmä laskennallisten tieteiden kansalliseksi kehittämiseksi</b>		<b>Julkaisun laji</b> Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä	
<b>Puheenjohtaja:</b> Erja Heikkinen <b>Sihteerit:</b> Juha Haataja, Tomi Halonen		<b>Toimeksiantaja</b> Opetusministeriö	
		<b>Toimielimen asettamispvm</b> 31.10.2006	<b>Dnro</b> 72/040/2006
<b>Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)</b> Laskennallisen tieteen kehittäminen Suomessa Utveckling av beräkningsvetenskapen i Finland			
<b>Julkaisun osat</b> muistio + liitteet			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Opetusministeriö asetti 31.10.2006 työryhmän, jonka tehtävänä oli edistää laskennallisen tieteen tutkimusta ja opetusta yliopistoissa sekä laatia ehdotus laskennallisen tieteen kansalliseksi kehittämiseksi. Työryhmän tuli erityisesti tehdä ehdotuksia alan perus- ja jatkokoulutuksen parantamisesta sekä laskennallisen tieteen kehittämisestä ja entistä suunnitelmallisemmasta integroimisesta osaksi tutkimusalojen menetelmästä ja tulosohjausta. Lisäksi työryhmän tuli pohtia julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyön edistämistä.</p> <p>Laskennallisen tieteen kehittäminen on strategisesti tärkeää Suomen kilpailukyvyille. Laskennallisella lähestymistavalla voidaan lisätä ymmärrystä yhteiskunnallisesti merkittävillä alueilla. Laskennallinen lähestymistapa vahvistaa moni- ja poikkitieteellistä tutkimusta sekä nopeuttaa ja tehostaa tuotekehitystä. Samalla vähennetään raja-aitoja tutkimusalojen välillä sekä julkisella että yksityisellä sektorilla. Tämä lisää innovatiivisuutta ja tuottaa uusia läpimurtoja tutkimuksessa ja tuotekehityksessä.</p> <p>Jotta laskennallista tiedettä voidaan täysipainoisesti hyödyntää, osaamista tulee kasvattaa kautta linjan peruskoulusta tutkijoihin ja professoreista toimitusjohtajiin. Lisäksi täytyy huolehtia laskennallisen lähestymistavan tarvitsemien infrastruktuurien rakentamisesta, ylläpidosta ja niiden tukipalveluista. Kansallista ja kansainvälistä yhteistyötä tulee vahvistaa. Lisäksi yliopistojen tulee edistää laskennallisen tieteen tutkijanuramahdollisuuksia. Työryhmä näkee, että digitaalisten tietoaisteistojen tuottamiseen ja infrastruktuuriin tulisi panostaa merkittävästi nykyistä enemmän. Tähän liittyvät kysymykset on ratkaistava kansallisesti hallinnonalojen välisenä yhteistyönä.</p> <p>Työryhmä ehdottaa, että opetusministeriö ja muu julkinen sektori rahoittavat poikkitieteellisiä laskennallisen tieteen hankkeita sekä menetelmätieteissä että sovellusalueilla vuosina 2009-2012. Tekesin ja Suomen Akatemian tulisi vahvistaa laskennallisen tieteen tutkimusrahoitusta ja kehittää asiantuntemustaan laskennallisessa tieteessä. Rahoittajien, tutkimusorganisaatioiden ja yritysten tulisi käynnistää laskennallisen tieteen osajien tutkijanvaihto-ohjelma yritysmailman ja akateemisen maailman välillä. Laskennalliselle tieteelle välttämätöntä tietoteknistä infrastruktuuria tulee kehittää ja ylläpitää yhteisvastuullisesti ja kansallisena tasapainoisena kokonaisuutena. Yliopistojen ja sektoritutkimuslaitosten yhteistyötä infrastruktuurien rakentamisessa ja hyödyntämisessä tulee tiivistää. Lisäksi tulee varmistaa laskennallisen tieteen hyödyntämismahdollisuudet käynnistyvissä strategisen huippuosaamisen keskitymissä (SHOK). Erityisesti tulee huolehtia siitä, että syntyvän ICT-alueen keskittymän yhteyteen perustetaan geneeristä laskennallisen tieteen osaamista edistävää toimija.</p>			
<b>Avainsanat (asiasanat)</b> Laskennallinen tiede			
<b>Muut tiedot</b>			
<b>Sarjan nimi ja numero</b> Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2007:23		<b>ISSN</b> 1458-8102	<b>ISBN</b> 978-952-485-351-4 (nid.) 978-952-485-352-1 (PDF)
<b>Kokonaissivumäärä</b> 49	<b>Kieli</b> suomi	<b>Hinta</b>	<b>Luottamuksellisuus</b> julkinen
<b>Jakaja</b> Yliopistopaino		<b>Kustantaja</b> Opetusministeriö	

## Presentationsblad

**Utgivare**  
Undervisningsministeriet

**Utgivningsdatum**  
5.4.2007

<b>Författare (uppgifter om organet: organets namn, ordförande, sekreterare)</b>	<b>Typ av publikation</b> Undervisningsministeriets arbetsgruppspromemorior och utredningar		
<b>Arbetsgrupp för att utveckla forskning och undervisning i beräkningsvetenskap i Finland</b>	<b>Uppdragsgivare</b> Undervisningsministeriet		
	<b>Ordförande:</b> Erja Heikkinen <b>Sekreterare:</b> Juha Haataja, Tomi Halonen	<b>Datum för tillsättandet av organet</b> 31.10.2006	<b>Dnro</b> 72/040/2006
<b>Publikation (även den finska titeln)</b> Utveckling av beräkningsvetenskapen i Finland Laskennallisen tieteen kehittäminen Suomessa			
<b>Publikationens delar</b> promemoria samt bilagor			
<b>Sammandrag</b> <p>Undervisningsministeriet tillsatte den 31 oktober 2006 en arbetsgrupp med uppgift att främja forskningen och undervisningen i beräkningsvetenskap vid universiteten samt lägga fram ett förslag till nationella åtgärder för att utveckla beräkningsvetenskapen. Arbetsgruppen skulle särskilt lägga fram förslag för att förbättra grund- och vidareutbildningen inom branschen och utveckla och mer systematiskt integrera beräkningsvetenskapen i metodapparaten och resultatstyrningen inom forskningsområdena. Arbetsgruppen skulle också fundera på åtgärder för att främja samarbetet mellan den offentliga och privata sektorn.</p> <p>Det är strategiskt viktigt för Finlands konkurrensförmåga att beräkningsvetenskapen utvecklas. Ett angreppssätt baserat på vetenskapliga beräkningar kan leda till ökad förståelse på samhällsligt viktiga områden. En sådan approach stärker den mång- och tvärvetenskapliga forskningen samt påskyndar och effektiviserar produktutvecklingen. Samtidigt minskas gränserna mellan forskningsområdena både inom den offentliga och privata sektorn. Detta ökar den innovativa verksamheten och leder till genombrott inom forskningen och produktutvecklingen.</p> <p>För att beräkningsvetenskapen skall kunna utnyttjas till fullo bör kompetensen utökas över lag, från grundskola till forskare och från professorer till verkställande direktörer. Dessutom bör man se till att den infrastruktur som behövs för vetenskapliga beräkningar byggs upp, upprätthålls och får stödtjänster. Det nationella och internationella samarbetet bör stärkas. Universiteten skall också främja möjligheterna till en forskarkarriär inom beräkningsvetenskap. Enligt arbetsgruppen bör det satsas betydligt mer än förut på produktionen av digitalt informationsmaterial och infrastrukturer. Frågor som anknyter till detta bör lösas nationellt via samarbete mellan förvaltningsområdena.</p> <p>Arbetsgruppen föreslår att undervisningsministeriet och den övriga offentliga sektorn finansierar tvärvetenskapliga projekt inom beräkningsvetenskap såväl i metodvetenskaper som i tillämpningsområden åren 2009-2012. Tekes och Finlands Akademi bör stärka forskningsfinansieringen för beräkningsvetenskap och utveckla sin sakkunskap på området. Finansiärerna, forskningsorganisationerna och företagen bör starta ett forskarutbytesprogram inom beräkningsvetenskap mellan företagsvärlden och den akademiska världen. Den datatekniska infrastruktur som beräkningsvetenskapen behöver bör förstärkas och möjliggöra sambruk, även med beaktande av sektorsforskningsinstituterna. Datateknisk infrastruktur som är nödvändig för beräkningsvetenskapen bör utvecklas och upprätthållas solidariskt och som en nationell, balanserad helhet. Universitetens och sektorsforskningsinstitutens samarbete vid uppbyggnaden och utnyttjandet av infrastrukturerna bör intensifieras. Därtill bör man säkerställa möjligheterna att utnyttja beräkningsvetenskapen i de strategiska kompetenskluster på toppnivå som håller på att startas. Det gäller särskilt att se till att det i samband med det samlade ICT-område som uppstår grundas en aktör för att främja generisk kompetens i beräkningsvetenskap.</p>			
<b>Nyckelord</b> Beräkningsvetenskap			
<b>Övriga uppgifter</b>			
<b>Seriens namn och nummer</b> Undervisningsministeriets arbetsgruppspromemorior och utredningar 2007:23	<b>ISSN</b> 1458-8102	<b>ISBN</b> 978-952-485-351-4 (htf) 978-952-485-352-1 (PDF)	
<b>Sidoantal</b> 49	<b>Språk</b> finska	<b>Pris</b>	<b>Sekretessgrad</b> offentlig
<b>Distribution</b> Universitetsstryckeriet		<b>Förlag</b> Undervisningsministeriet	

**Description**

<b>Publisher</b> Ministry of Education		<b>Date of publication</b> 5.4.2007	
<b>Committee on the development of computational Science in Finland</b>  <b>Chair:</b> Erja Heikkinen <b>Secretary:</b> Juha Haataja, Tomi Halonen		<b>Type of publication</b> Reports of the Ministry of Education, Finland	
		<b>Contracted by</b> Ministry of Education	
		<b>Committee appointed on</b> 31.10.2006	<b>Dnro</b> 72/040/2006
<b>Name of publication</b> Development of computational Science in Finland			
<b>Parts</b> memorandum + appendices			
<b>Abstract</b>  The Ministry of Education appointed a committee on 31 October 2006 to promote university research and education in computational science and to put forward a proposal for national development of the field. In particular, the committee was to make proposals for improving undergraduate and postgraduate education in computational science and for developing computational science and integrating it in a more planned manner into the methodology and performance management in different disciplines. Further, the committee was to explore ways to promote cooperation between the public and private sectors. The development of computational science is of strategic importance for Finland's competitiveness. A computational approach may enhance understanding in areas of societal significance. It strengthens multi- and cross-disciplinary research and steps up product development. At the same time it lowers disciplinary boundaries in both the public and private sectors. This adds to innovativeness and new breakthroughs in R&D. For computational science to be exploited to the full, knowledge must be increased across the board, from basic education to researchers and from professors to CEOs. In addition, care must be taken to build and maintain infrastructures and support services needed for the computational approach. National and international cooperation must be stepped up. The committee sees that input into the production and infrastructures of digital information materials must be increased substantially from the present level. The questions involved must be resolved nationally in cross-sectoral cooperation. The committee proposes that the Ministry of Education and other public sector finance cross-disciplinary projects in computational science both in methodology sciences and in applied sciences from 2009 to 2012. The Finnish Funding Agency for Technology and Innovation and the Academy of Finland should increase funding for computational science research and develop their expertise in computational science. Funding bodies, research organisations and business enterprises should initiate an exchange programme for computational science researchers between the business world and the academia. The necessary information technology infrastructure for computational science must be developed and maintained jointly and severally as a balanced national entity. Measures must be taken to intensify cooperation between universities and sectoral research institutes in the construction and utilisation of infrastructures. Further, efforts must be made to ensure access to computational science in the Strategic Centres of Excellence to be set up. Particular care must be taken that the strategic centre in ICT will include an operator promoting generic knowledge in computational science.			
<b>Keywords</b>			
<b>Other information</b>			
<b>Name and number of series</b> Reports of the Ministry of Education, Finland 2007:23		<b>ISSN</b> 1458-8102	<b>ISBN</b> 978-952-485-351-4 (pbk) 978-952-485-352-1 (PDF)
<b>Number of pages</b> 49	<b>Language</b> Finnish	<b>Price</b>	<b>Degree of confidentiality</b> public
<b>Distributed by</b> Helsinki University Press		<b>Published by</b> Ministry of Education	

# Opetusministeriölle

Opetusministeriö asetti 31.10.2006 työryhmän, jonka tehtävänä oli edistää laskennallisen tieteen tutkimusta ja opetusta yliopistoissa sekä laatia ehdotus laskennallisen tieteen kansalliseksi kehittämiseksi. Työryhmän tuli erityisesti tehdä ehdotuksia alan perus- ja jatkokoulutuksen parantamisesta sekä laskennallisen tieteen kehittämisestä ja entistä suunnitelmallisemmasta integroimisesta osaksi tutkimusalojen menetelmästä ja tulosohjausta. Lisäksi työryhmän tuli pohtia julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyön edistämistä.

Laskennalliset menetelmät tutkimuksessa ja opetuksessa ovat osa nykyaikaista kokonaisvaltaista menetelmästä. Laskennallisen tieteen koordinoitu kansallinen kehittäminen parantaa pienen maan mahdollisuuksia. Laskennallisen tieteen entistä painokkaampi sisällyttäminen opetukseen ja tutkimukseen eri aloilla sekä julkisella että yksityisellä sektorilla parantaa tuloksellisuutta ja laatua sekä edistää kansainvälistymistä.

Työryhmän kokouksissa kuultiin neljä alustusta (Heikki Mannila, Ralph Back, Jussi Nuorteva ja Eeva Ikonen). Työryhmä kiittää alustajia työtään edistäneistä vaikutteista ja kommentteista. Lisäksi työryhmälle toimittivat taustamateriaalia Pekka Silvennoinen, Matti Heiliö, Pekka Taskinen ja Timo Tiihonen sekä Tieteen tietotekniikan keskus CSC:n asiantuntijat.

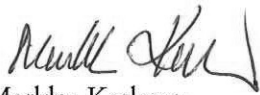
Suoritettuaan tehtävänsä työryhmä jättää muistionsa kunnioittavasti opetusministeriölle.  
Helsingissä 5. maaliskuuta 2007



Erja Heikkinen  
työryhmän puheenjohtaja



Juha Haataja  
työryhmän sihteeri



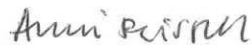
Markku Karlsson



Kaisa Miettinen



Risto Nieminen



Anni Reissell



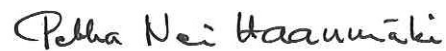
Markku Suvanen



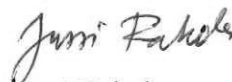
Tomi Halonen  
työryhmän sihteeri



Kimmo Kaski



Pekka Neittaanmäki  
työryhmän varapuheenjohtaja



Jussi Rahola



Ulla Ruotsalainen



# Sisältö

<b>Opetusministeriölle</b>	<b>6</b>
<b>1 Yhteenveto ja toimenpide-ehdotukset</b>	<b>10</b>
<b>2 Laskennallisen tieteen merkitys</b>	<b>12</b>
2.1 Laskennallinen tutkimusmenetelmä	13
2.2 Läpimurtoja laskennallisella tutkimuksella	14
2.3 Tarve laskennallisen tieteen osaamiselle	16
<b>3 Laskennallisen tieteen perus- ja jatkokoulutus</b>	<b>18</b>
3.1 Laskennallisen tieteen maisteriohjelmat ja tutkijakoulutus	18
3.2 Laskennallisen tieteen erikoiskurssit	19
3.3 Muiden tieteenalojen koulutukseen liittyvä laskennallisen tieteen koulutus	19
3.4 Koulutuksen saavutettavuus ja oppimisympäristöt	20
3.5 Opiskelijoiden perusosaaminen sekä suuntautuminen laskennalliseen tieteeseen	20
3.6 Toimenpide-ehdotuksia	21
<b>4 Laskennallisen tieteen kehittäminen eri tutkimusalueilla</b>	<b>22</b>
4.1 Tieteenalojen yhteiset ja monitieteiset kehittämiskohteet	22
4.2 Panostaminen ohjelmistotuotantoon	23
4.3 Tiedealakohtaisia kehittämissuunnitelmia	24
4.4 Osaamisen siirto	24
4.5 Tutkimuslaitosyhteistyö	24
4.6 Tutkimuksen infrastruktuuritarpeet	26
4.7 Kansainvälistyminen ja verkostoituminen	27
4.8 Eurooppalainen yhteistyö ja infrastruktuurit	28
4.9 Toimenpide-ehdotuksia	29
<b>5 Julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyö</b>	<b>30</b>
5.1 Julkinen tutkimusrahoitus (Tekes, Suomen Akatemia ym.) ja yhteisrahoitteiset tutkimusprojektit	30
5.2 Strategisen huippuosaamisen keskittymät	31
5.3 Palvelusuuntautunut yritystoiminta	31
5.4 Ohjelmistotuotanto ja ohjelmistoihin pohjautuva yritystoiminta	32
5.5 Julkisen tutkimusosaamisen hyödyntäminen elinkeinoelämässä	32
5.6 Toimenpide-ehdotuksia	34

<u>Liite A: Esimerkkejä laskennallisen tieteen sovelluskohteista</u>	<u>35</u>
<u>Liite B: Tiedevalakohtaisia kehittämiskohteita</u>	<u>41</u>
<u>Liite C: Käsitteistöä</u>	<u>43</u>
<u>Liite D: Viitteet</u>	<u>48</u>

# 1 Yhteenveto ja toimenpide-ehdotukset

Laskennallisen tieteen kehittäminen on strategisesti tärkeää Suomen kilpailukyvyille. Laskennallisella lähestymistavalla voidaan lisätä ymmärrystä yhteiskunnallisesti merkittävillä alueilla, kuten geenitiedon hyödyntämisessä terveydenhuollossa ja ilmastonmuutoksen vaikutusten arvioinnissa talouselämälle. Laskennallisen tieteen avulla voidaan analysoida suuria tietomääriä ja tarkastella vuorovaikutussuhteita kompleksisissa ilmiöissä ja prosesseissa sekä näin saada niihin uusia näkökulmia ja etsiä optimaalisia ratkaisuja. Laskennallinen lähestymistapa vahvistaa moni- ja poikkitieteellistä tutkimusta sekä nopeuttaa ja tehostaa tuotekehitystä. Samalla madalletaan raja-aitoja tutkimusalojen välillä sekä julkisella että yksityisellä sektorilla. Tämä lisää innovatiivisuutta ja tuottaa uusia läpimurtoja tutkimuksessa ja tuotekehityksessä.

Laskennallisessa tieteessä kyetään tutkimaan ilmiöitä, joita ei voi tutkia tai ymmärtää perinteisellä teoreettisella tai kokeellisella metodilla suuren datamäärän sekä ilmiöiden laajuuden ja kompleksisuuden vuoksi. Tietotekniikan kehityksestä johtuen laskennallisen tieteen merkitys kasvaa jatkuvasti, ja se on tunnustettu kilpailutekijäksi Yhdysvalloissa, Euroopassa, Kiinassa ja Japanissa.

Jotta laskennallista tiedettä voidaan täysipainoisesti hyödyntää, osaamista tulee kasvat-  
taa kautta linjan peruskoulusta tutkijoihin ja professoreista toimitusjohtajiin. Lisäksi täy-  
tyy huolehtia laskennallisen lähestymistavan tarvitsemien infrastruktuurien rakentamisesta,  
ylläpidosta ja niiden tukipalveluista. Samalla kansallista ja kansainvälistä yhteistyötä tulee  
vahvistaa.

Suomeen tulee luoda opetusministeriön aiemman työryhmän ehdotuksen (työryhmä-  
muistio 2007:7) mukaisesti kansallinen yhteisrahoitteinen eScience-ohjelma, joka tarjoaa  
puitteita laskennallisen tieteen osaamisen kehittämiseksi ja infrastruktuurien vahvistamiselle.

Seuraavassa on lueteltu yleisen tason toimenpide-ehdotuksia. Näitä täydentävät kohdis-  
sa 3.6, 4.9 ja 5.6 esitetyt yksityiskohtaisemmat toimenpide-ehdotukset.

- Kaikki koulutustasot peruskoulusta tutkijakouluhin kehittävät **laskennallisen tieteen koulutusta** ja opetussisältöjä ja kasvattavat niihin tarvittavia resursseja. Yliopistot käynnistävät laskennallisen tieteen **tutkijankoulutusohjelman**, joka täydentää olemassa olevia tutkijakouluja.
- Yliopistot ja Tieteen tietotekniikan keskus CSC järjestävät ammatissa työskenteleville **tutkijoille ja tuotekehittäjille** täydennyskoulutusta laskennallisessa tieteessä ja tekniikassa.
- Parannettaessa **tutkijoiden urakehityksen mahdollisuuksia** Tiede- ja teknologianeuvoston linjausten mukaan yliopistot, Suomen Akatemia ja opetusministeriö ottavat huomioon laskennallisen tieteen ja sen merkityksen.
- **Opetusministeriö ja muut julkiset rahoittajat** kohdistavat erityistukea poikkitieteellisille laskennallisen tieteen hankkeille sekä menetelmätieteissä että sovellusalueilla vuosina 2009–2012.
- **Tekes ja Suomen Akatemia** vahvistavat laskennallisen tieteen tutkimusrahoitusta MASI-tekniologiaohjelman ja MaDaMe-tutkimusohjelman kaltaisesti 2–4-kertaisella rahoitusmäärällä.
- **Suomen Akatemia ja Tekes** kehittävät laskennallisen tieteen asiantuntemustaan ja ottavat huomioon laskennallisen tieteen merkityksen sekä erillisenä tutkimusalueena että integroituna eri sovellusalueisiin.
- Rahoittajat, tutkimusorganisaatiot ja yritykset edistävät laskennallisen tieteen osaajien **tutkijanvaihtoa** yritysmaailman ja akateemisen maailman välillä.
- **Digitaalisten tietoaisteiden** tuottamiseen ja infrastruktuureihin panostetaan merkittävästi nykyistä enemmän, ja näihin liittyvät kysymykset ratkaistaan kansallisesti hallinnonalojen välisenä yhteistyönä.
- Laskennalliselle tieteelle välttämätöntä **tietoteknistä infrastruktuuria** kehitetään ja ylläpidetään yhteisvastuullisesti ja kansallisena tasapainoisena kokonaisuutena. Yliopistojen ja sektoritutkimuslaitosten yhteistyötä infrastruktuurien rakentamisessa ja hyödyntämisessä tiivistetään.
- Tieteen tietotekniikan keskus CSC järjestää yhteistyössä yliopistojen kanssa **tietoisuuskampanjan** laskennallisen tieteen merkityksestä ja mahdollisuuksista.
- Varmistetaan laskennallisen tieteen hyödyntämismahdollisuudet käynnistyvissä **strategisen huippuosaamisen keskittymissä** (SHOK). Erityisesti huolehditaan siitä, että syntyvän ICT-alueen keskittymän yhteyteen perustetaan geneeristä laskennallisen tieteen osaamista edistävä toimija.

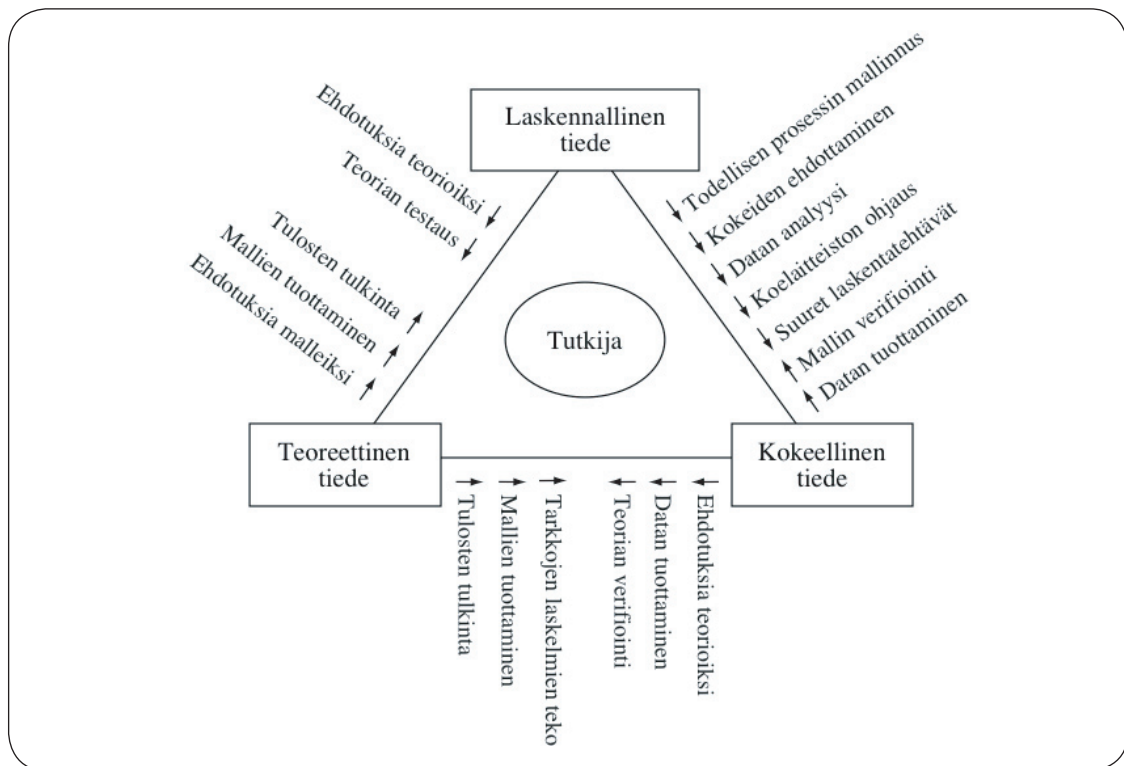
## 2 Laskennallisen tieteen merkitys

Laskennallisen tieteen kehittäminen on kansainvälisesti todettu strategisesti tärkeäksi tekijäksi kilpailukyvyn kannalta. Laskennalliseen tieteseen ja tekniikkaan on panostettu mm. Yhdysvalloissa, Japanissa, Englannissa ja Kiinassa. Tämän nopeasti kehittyvän tutkimusalueen merkitys korostuu osaamis- ja tietointensiivisessä, globaalisti verkostoituneessa innovaatiojärjestelmässä. Laskennallisen tieteen keinoin on mahdollista parantaa tutkimuksen ja tuotekehityksen tuottavuutta ja kansainvälistä kilpailukykyä.

Laskennallisten menetelmien keskeistä asemaa korostavat jatkuvasti lisääntyvät haasteet ratkaista yhä kompleksisempia ongelmia. Tietotekniikan nopea kehitys sekä menetelmäosaamisen kehittyminen ja laajeneminen eri tutkimusalueilla parantavat mahdollisuuksia ottaa käyttöön entistä realistisempia malleja monimutkaisten tutkimusongelmien ratkaisemiseksi, mikä puolestaan voi useilla alueilla merkittävästi vähentää kalliiden kokeiden tarvetta.

Laskennallisten menetelmien, analyysin, mallinnuksen, simuloinnin, optimoinnin ja tiedonhallinnan avulla on mahdollista perehtyä asioiden riippuvuussuhteisiin sekä hallita paremmin kokonaisuuksia, riskejä ja epävarmuutta. Näiden menetelmien avulla voidaan entistä tehokkaammin vastata nykypäivän haasteisiin. Laskennallisten menetelmien soveltamisessa tarvitaan myös syvällistä sovellusalueen ymmärrystä, jotta tuloksilla on merkitystä. Tämä korostaa eri alojen osaajien yhteistyön ja osaamisen siirron merkitystä.

Suomalaisen tutkimuksen ja tuotekehityksen kilpailukyvyn takaaminen vaatii laskennallisen tieteen osaamisen ja toimintaedellytysten parantamista. Laskennallisen tieteen osaamista tulee kehittää poikkitieteellisesti tiiviissä vuoropuhelussa sovellusalojen ja menetelmätieteiden kesken. Tarvitaan pitkäjänteisiä panostuksia sekä infrastruktuureihin (esimerkiksi laskenta- ja datantallennusympäristöt, ohjelmistot ja tietokannat) että osaamiseen (menetelmäosaaminen, soveltamistaidot, laskennallisen lähestymistavan hyödyntäminen, tiedon hallinta ja tiedon louhinta).



**Kuva 1.** Laskennallinen, teoreettinen ja kokeellinen tutkimusmenetelmä täydentävät toisiaan.

## 2.1 Laskennallinen tutkimusmenetelmä

Laskennallinen tiede voidaan nähdä kolmantena tutkimusmenetelmänä kokeellisen ja teoreettisen rinnalla (kuva 1). Laskennallisen tieteen voidaan katsoa sisältävän kolme eri osaluetta, joita ovat *mallinnus- ja simulointiosaaminen* sekä *algoritmit ja ohjelmistot, tietotekniikkaan liittyvät tieteet ja tietotekninen infrastruktuuri* (laatikko 1).

Laskennallinen tiede voidaan myös kuvata iteratiivisena prosessina, joka alkaa tutkitavan ilmiön mallintamisesta ja päättyy tulosten tulkintaan ja arviointiin. Kompleksisten systeemien kyseessä olleen laskennallinen tiede sisältää data-aineistojen tai tarkasteltavan ilmiön analyysin, mallin rakentamisen, simulaation sekä lopuksi tulokinnan ja vertailun datan analysointituloksiin. Laskennallinen tiede kattaa myös menetelmät (data-analyysi, mallinnus, simulointi ja optimointi) ja menetelmäkehityksen algoritmeineen ja ohjelmistoineen. Tavoitteena on ratkaista haastavia tutkimusongelmia luonnontieteissä, teknillisissä tieteissä, yhteiskuntatieteissä ja humanistisissa tieteissä.

Laskennallisen tieteen geneerisessä tutkimuksessa kehitetään välineitä, kuten ohjelmistoja, simulointimenetelmiä ja datan käsittelyn välineistöä, laskennallisesti haastavien ongelmien ratkaisemiseen. Kasvavan datamäärän hallinta käy yhä haastavammaksi entistä nopeampien ja tarkempien mittalaitteiden ansiosta. Laskennalliset menetelmät tarjoavat keinoja myös visualisointiin, markkinointiin ja käyttäjien koulutukseen (esim. koulutussimulaattorit).

Mallinnuksessa voidaan erottaa useita osa-alueita, jotka kukin edellyttävät omaa erityisosaamistaan ja -menetelmiä. Erityisen tärkeää on uusien matemaattisten menetelmien kehittäminen moniskaalaisten ongelmien ratkaisemiseksi. Jotta ilmiöitä voidaan tietotekniikan keinoin käsitellä, täytyy matemaattinen malli muokata laskennalliseen muotoon. Tämän jälkeen voidaan laskennallisen mallin avulla esimerkiksi simuloida ja optimoida ja

käyttää sovellusalojen menetelmiä. Lopulta voidaan etsiä esimerkiksi parhaat mahdolliset eli optimaaliset säädöt.

Laskennallisen tieteen osaaminen lisää yritysten kilpailukykyä nopeuttamalla tuotekehitystä (virtuaalimallinnus, simulointi ja optimointi) ja mahdollistamalla kerättyjen tietoa-aineistojen paremman hyödyntämisen (tiedon louhinta). Lisäksi laskennallisen tieteen alueelta syntyy uutta osaamiseen ja ohjelmistoihin perustuvaa palveluliiketoimintaa, jolla on maailmanlaajuiset markkinat. Samalla voi syntyä kansainvälisesti merkittävää tuoteliiketoimintaa uusien innovatiivisten yritysten perustamisen kautta.

**Laatikko 1.** Työryhmän näkemys laskennallisen tieteen määritelmästä (johdettu ns. PITAC-raportista *Computational Science: Ensuring America's Competitiveness*). Täydentäviä näkökulmia laskennalliseen tieteeseen löytyy kuvista 1–4.

#### Laskennallinen tiede

- Mallintamis- ja simulointiosaaminen sekä algoritmit ja ohjelmistot, jotka on kehitetty ratkaisemaan tieteen tutkimusongelmia.
- Tietotekniikkaan liittyvät tieteet, jotka kehittävät laskennallisesti haastavien ongelmien ratkaisemisessa tarvittavia laitteistoja, ohjelmistoja, tietoliikennetekniikkaa ja datan käsittelyn komponentteja.
- Tietotekniikan infrastruktuuri, joka tukee sekä tieteen ja käytännöllisemmän suunnittelun ongelmanratkaisua että tietotekniikkaan liittyvien tieteiden kehittymistä.

## 2.2. Läpimurtoja laskennallisella tutkimuksella

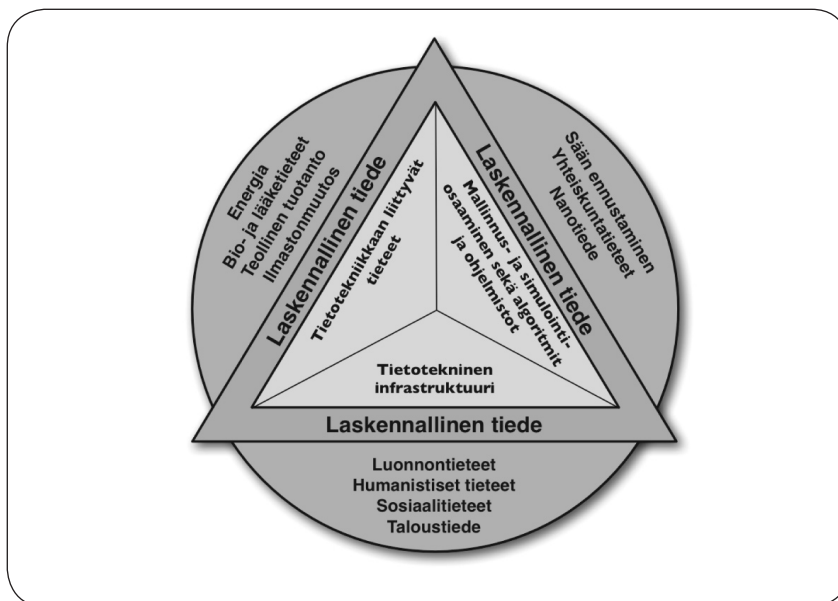
Yhdysvalloissa julkaistiin kesällä 2005 vaikutusvaltainen raportti *Computational Science: Ensuring America's Competitiveness*, jonka mukaan laskennallinen tiede on olennainen kansainvälistä kilpailukykyä turvattaessa. Tässä ns. PITAC-raportissa käsiteltiin muun muassa pyörremyrskyn uhkaa ja simulointia laskennallisilla menetelmillä ennen kesän 2005 pyörremyrskykatastrofeja Yhdysvalloissa. Vaikka laskennallisilla menetelmillä ei voida kahlita luonnonvoimia, myös päättäjien tulee ymmärtää laskennallisen tieteen mahdollisuuksia ja merkitystä esimerkiksi erilaisiin uhkiin varautumisessa.

Yhdysvaltain energiaviraston tiedeosaston strategisessa suunnitelmassa (*Office of Science Strategic Plan, Department of Energy*) uusien laskennallisten menetelmien kautta tehtävät tieteelliset innovaatiot ja läpimurrot ovat yksi tiedeosaston seitsemästä prioriteettialueesta. Merkittävää on, että tavoitteiden saavuttaminen muilla prioriteettialueilla perustuu laskennallisten menetelmien, mallinnuksen ja simulaatioiden käyttöön ja kehitykseen.

Laskennallisen tieteen avulla on saavutettu lukuisia tutkimuksellisia läpimurtoja, kuten esimerkiksi ihmisen laskennallisen genomin selvittäminen, globaalin ilmastonmuutoksen mallintaminen, epidemioiden mallintaminen ja toimenpidesuunnittelu sekä uusien nanoteknologisten rakenteiden suunnittelu. Soveltamiskohteita löytyy kosmologiasta lääketieteelliseen kuvantamiseen ja kielitieteestä matkapuhelinten suunnitteluun. Kehittyneellä laskennallisen tieteen osaamisella voidaan vastata kasvavaan tietotarpeeseen (kuva 2).

Seuraavassa on lueteltu esimerkkejä laskennallisen tieteen sovelluskohteista. Lyhyet kuvaukset esimerkeistä löytyvät liitteestä A.

1. Fuusioreaktorin mallintaminen
2. Tehokkaampien syöpälääkkeiden kehittäminen
3. Globaalit epidemiamallit: taudin puhkeaminen kaupungissa, lentoliikenneverkoston vaikutus
4. Mp3-musiikki
5. Telediagnostiikka
6. Mittaus- ja instrumenttitekniologia
7. Ympäristötiedon, bioenergiavarojen ja raaka-aineiden kaukokartoitus
8. Metsät ja nanoskaalan aerosolit, tulevan ilmastomme tekijät
9. Maailmankaikkeuden iän ja koostumuksen määrittäminen tarkasti satelliittihavainnoista
10. Elintarviketeollisuuden laadunvarmistus
11. Prosessidiagnostiikka
12. Puun kuivuminen
13. Sääntösovellukset
14. Parempaa, nopeammin, halvemmalla virtausten laskennan avulla
15. Liikennevirran dynaaminen ohjaus
16. Uudet ympäristöystävälliset sellunvalkaisukemikaalit
17. Kielitekniologia ja tietokonekielintieteet
18. Paleontologia: fossiilihavaintojen järjestely
19. Prosessien ja tuottavuuden kehittäminen
20. Sijoitussalkkujen hallinta sekä johdannaisten hinnoittelu



**Kuva 2.** Laskennallisella tieteellä on keskeinen osuus moni- ja poikkitieteellisessä tutkimuksessa.

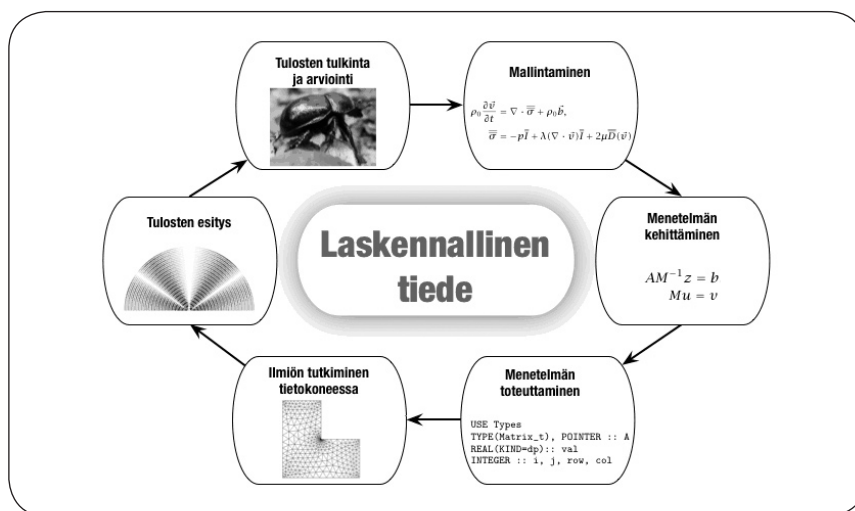


## 2.3 Tarve laskennallisen tieteen osaamiselle

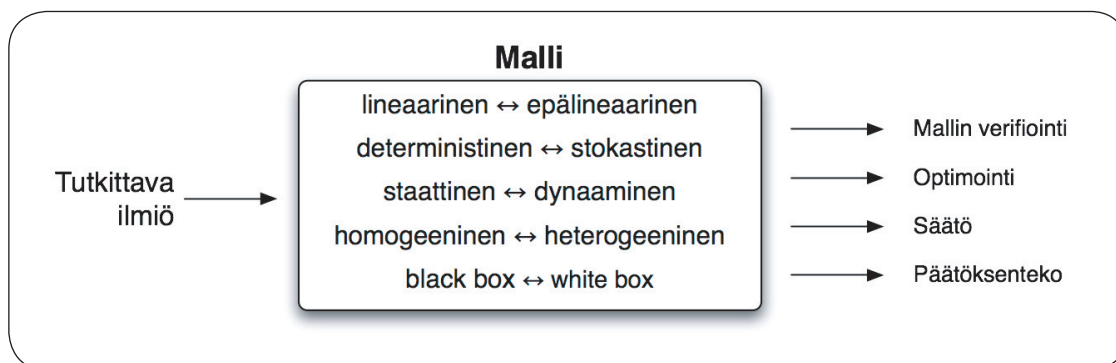
Laskennallisen tieteen osaamista tarvitaan käsiteltäessä tutkimuksellisesti ja yhteiskunnallisesti tärkeitä tutkimusongelmia kaikilla Suomen innovaatiojärjestelmän sektoreilla.

Yliopistokoulutuksen ja -tutkimuksen tulee tuottaa riittävästi laskennallisen tieteen osaajia. Osaamistarpeet kehittyvät nopeasti, sillä laskennalliseen tutkimusparadigman käyttö lisääntyy voimakkaasti kaikilla tieteenaloilla. Tämä muokkaa tutkimuksen tekemistä perustavalla tavalla (poikkitieteellisyys). Näin syntyy jatkuvasti kasvavaa kysyntää sekä laskennallisen tieteen sovellusalueiden että tietotekniikan, matematiikan ja tilastotieteen osaajille. Ohjelmointiin ja ohjelmistoihin liittyvät osaamistarpeet kasvavat ja kytkeytyvät menetelmäosaamiseen. Samalla syntyy palvelutoimintaa, jossa yhdistetään sovellusalan osaaminen menetelmiin ja tietotekniisiin työkaluihin.

Laskennallisessa tieteessä voidaan etsiä ratkaisuja laskennallisiin ongelmiin tilanteissa, joissa tarkkaa ratkaisua ei teoreettisesti pystytä löytämään järkevässä ajassa. Tällöin joudutaan kehittämään uusia malleja ja ratkaisumenetelmiä, jotka tuottavat ratkaisuja tai antavat vastauksia kysymyksiin pienemmällä laskennallisella työllä (kuvat 3 ja 4).



Kuva 3. Laskennallinen tie prosessina ilmiön mallintamisesta tulosten tulkintaan ja arviointiin.



Kuva 4. Laskennallisten mallien tyyppjä ja mallien käyttökohteita.

Perinteiseen tutkimusmenetelmään verrattuna laskennallinen lähestymistapa antaa mahdollisuuden vastata uudenvälisiin kysymyksiin ja tehdä ongelmanasetteluja, joihin teoreettisella tai kokeellisella lähestymistavalla ei kyetä. Laskennallisen tieteen etuna on myös luonnostaan poikkitieteellinen näkökulma, sillä tietokoneille voidaan kytkeä toisiinsa ja digitaalisia aineistoja hyödyntää useilla eri tutkimusalueilla. Lisäksi laskennallinen tiede tarjoaa mahdollisuuden laajojen malli- ja aineistokokonaisuuksien hallintaan, mikä johtaa uusiin tutkimuksellisiin läpimurtoihin.

Laskennallisen tieteen vahvuutena on ymmärryksen tuottaminen muuten vaikeasti lähestyttävistä ilmiöistä. Samalla tarjoutuu uusia näkökulmia. Esimerkiksi matkapuhelimen antennin suunnittelussa laskennallinen lähestymistapa on tehokas.

Poikkitieteellisen tutkimuksen merkitys kasvaa, sillä uusia innovaatioita syntyy tutkimusalueiden menetelmiä ja ymmärrystä yhdistämällä. Laskennallinen lähestymistapa mahdollistaa sekä simulaatioiden että data-aineistojen yhdistämisen poikkitieteellisesti. Tämän kaltaista kehitystyötä on tehty muun muassa Tekesin MASI-teknologiaohjelmassa ja Suomen Akatemian suunnatussa MASI-haussa. Vastaavia monitieteellisiä ja moniteknologisia tutkimusohjelmia tarvitaan jatkossakin.

Ulkomailla on käynnistetty laajoja kehittämisohjelmia muun muassa eScience-nimikkeellä. Vuoden 2007 alussa ilmestyneessä Suomen eScience-ohjelmamuistiossa (Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2007:7) ehdotetaan Suomeen räätälöityä kehittämisohjelmaa. Suomeen sovelletun eScience-ohjelman perustaminen tarjoaisi puitteet laskennallisen tieteen osaamisen kehittämiseen sekä tarvittavien infrastruktuurien vahvistamiseen. Lisäksi on tarpeen kehittää ja vahvistaa poikkitieteellisiä verkostoja, jotka yhdistävät sovellusalueiden osaamisen menetelmätieteisiin ja käytännön tietotekniseen osaamiseen.

Monet laskennalliset menetelmät ja lähestymistavat ovat sovellusriippumattomia ja siten hyödynnettävissä monilla aloilla, kun tietoisuus menetelmien tarjoamista mahdollisuuksista leviää. Laskennallisen osaamisen kysyntä kasvaa niin tutkimuslaitoksissa, teollisuudessa kuin vaikkapa terveydenhuollossa. Tarvitaan sekä uusia osaajia että nykyisten osaajien ymmärryksen ja taitojen laajentamista kattamaan laskennallista lähestymistapaa.

Investointi pelkkiin laitteisiin, ohjelmistoihin ja tietokantoihin ei riitä. Suomessa on pitkäjänteisesti kehitetty laskennallisen tieteen infrastruktuuria huomioiden tukipalvelujen tarve ja panostaen laskennallisen tieteen osaamisen siirtoon tutkimusryhmiin. Ryhmistä osaaminen siirtyy tutkimuslaitoksiin ja teollisuuteen. Osaamisen täysipainoisessa hyödyntämisessä ja osaamisen siirrossa on kuitenkin runsaasti parannettavaa.

# 3 Laskennallisen tieteen perus- ja jatkokoulutus

## 3.1 Laskennallisen tieteen maisteriohjelmat ja tutkijakoulutus

Laskennallisen tieteen osaamisen kehittämisessä on nähtävissä kaksi päälinjaa: laajasti käyttökelpoisten laskennallisten menetelmien peruskoulutus ja laskennallisten valmiuksien lisääminen eri tutkimusalueiden koulutusohjelmissa niiden sisältöjä päivittämällä. Laskennallisten menetelmien kehitys edellyttää riittävän laajaa ja syvää pohjakoulutusta. Laajemman osaamisen kehittämistyön tulee rohkaista aktiiviseen vuoropuheluun sovellusalueiden ja menetelmäosaajien välillä (matematiikka, tilastotiede ja tietojenkäsittelytiede). Sovelluskohteen problematiikan ymmärtämistä on kehitettävä laskennallisen lähestymistavan näkökulmasta.

Laskennallisen tieteen maisteri- ja tutkijankoulutus on hajanaisesti järjestetty ja on tarpeeseen nähden riittämätöntä. Yliopistojen tulee systemaattisesti suunnitella ja lisätä alan koulutusta ja suunnata sille tarvittavat resurssit.

Laskennallisen tieteen strategisen merkityksen ja uusien mahdollisuuksien tulee vaikuttaa koulutukseen ja tutkimukseen suuntautumiseen ja painopisteisiin. Osaajilta ja osaajaryhmiltä edellytetään useiden alueiden kompetenssia: sovellusalueen tuntemus, tiedonhallinta, ohjelmistotekniikka ja algoritmit. Koulutuksessa tavoitteena tulee olla sisältöjen ajanmukaistaminen, muun muassa matematiikan, tilastotieteen ja tietojenkäsittelytieteen kytkeminen sovellusalueiden osaamiseen. Useilla laskennallisen tieteen sovellusalueilla osaajia on tarjolla hyvin vähän verrattuna jatkuvasti kasvaviin tarpeisiin. Erityisen tärkeää on oppia tunnistamaan niitä ongelmia, joihin laskennalliset menetelmät voivat tarjota uusia ratkaisuja.

Tietojenkäsittelyyn liittyvät tieteet tarjoavat laskennalliselle tieteelle välineitä tutkimusongelmien käsittelyyn. Tällaisia ovat muun muassa algoritmit, tiedonhallinta ja ohjelmistotekniikka. Datalähtöiset sovellusalueet, kuten biologia ja yhteiskuntatieteet, kasvattavat tiedonhallinnan merkitystä. Suurten aineistojen määrä ja niiden hallinta on noussut kynnyskysymykseksi humanistisilla, yhteiskuntatieteellisillä, käyttäytymistieteellisillä ja kauppatieteellisillä aloilla. Aiemmin laskennallisia menetelmiä on käytetty pääsääntöisesti tilastoaineistoissa, mutta uudet sähköiset järjestelmät mahdollistavat menetelmien huomattavasti monipuolisemman soveltamisen tutkimuksessa. Informaatiotieteissä on tapahtunut vahvaa kehitystä, esimerkkeinä metatietomallit, indeksointi, laatuluokitteet ja pitkäaikaistallennukseen liittyvät kysymykset.

Esimerkiksi historia- ja perinnetieteissä voidaan hyödyntää tehokkaasti laajoja sähköisiä aineistoja. Erityisesti sähköisten aineistojen takautuvassa digitoinnissa Suomi on jäänyt jälkeeseen kansainvälisestä kehityksestä.

Usein laskennallinen tiede jää piiloon lopullisten sovellusten taustalle, mikä vaikeuttaa laskennallisten alojen opiskelijarekrytointia, sillä laskennallisen tieteen merkitystä ei tiedosteta. Menetelmätutkijan kehittämä laskentamenetelmä on piilossa teollisuuden suunnittelujärjestelmässä, eikä käyttäjä edes tiedä millaiseen menetelmään simulaatio perustuu (esimerkiksi paperikoneen tai matkapuhelimen suunnittelu), eikä hänen välttämättä tarvitsekaan tietää. Monifysikaaliseen mallintamiseen kehitetyn työkalun lopullinen käyttäjä voi olla yhtä lailla insinööri, joka simuloi mikromekaanista anturia, kuin jäätikkötutkija, joka on kiinnostunut Etelämantereen mannerjäätikön kohtalosta.

Koulutuksellisesti työelämässä tarvitaan monenlaisia osaamistasoja. Teollisuudessa suurin osa laskennallisen tieteen tarpeesta muodostuu tutkimusta tekevien joukosta, joille tärkeimpiä ominaisuuksia ovat moniosaajuus, dynaamisuus ja uuden omaksuminen. Laskennallisen tieteen osaamista tarvitaan erityisesti oman erikoisalan tukena.

### **3.2 Laskennallisen tieteen erikoiskurssit**

Osaamisen kehittämistä hankaloittaa erikoiskurssien järjestämisen raskas organisointi, vaikea tiedonsaanti eri alojen kurseista sekä heikko osallistumismahdollisuus niihin. Yliopistot ja tutkijakoulut järjestävät laskennalliseen tieteeseen ja menetelmiin liittyviä erikoiskursseja, mutta tyypillisesti ne jäävät kansallisesti hyödyntämättä, sillä tieto ei välity. On kuitenkin tärkeää että kaikki kiinnostuneet saavat mahdollisuuden osallistua esimerkiksi Suomessa vieraillevien ulkomaisten huippuosaajien pitämille kurseille. Tarvitaan selkeä, keskitetty tapa välittää tietoa ja mahdollisuus suorittaa erikoiskursseja muissa yliopistoissa ilman nykyistä raskasta byrokratiaa.

Kansallista yhteistyötä tulee lisätä perus- ja jatkokoulutuksessa ja kansainvälisten vierailujen osalta. Kurseista ja vierailijoista tulee tiedottaa hyödyntämällä esimerkiksi CSC:n ylläpitämää kurssikalenteria.

### **3.3 Muiden tieteenalojen koulutukseen liittyvä laskennallisen tieteen koulutus**

Tutkintojen sisältöihin tulee saada valinnanvaraa laskennallisen osaamisen kasvattamiseksi. Laitosten välinen aktiivinen yhteistyö ja joustavat opintokokonaisuudet edesauttavat tutkintojen monipuolistumista.

Laskennallisen lähestymistavan käyttö edellyttää matematiikan, tilastotieteen ja tietojenkäsittelyn perustaitojen vahvistamista. Koulutusohjelmia tulee saattaa ajan tasalle tästä näkökulmasta ja samalla kehittää sivuainekoulutusta. Laskennallisen tieteen hyödyntämiseksi muilla tieteenaloilla tulee räätälöidä sekä peruskoulutusvaiheeseen että tutkijankoulutukseen integroituja opintokokonaisuuksia, jotka sisältävät tarvittavat perustiedot.

Myös käytännön tietoteknisiin valmiuksiin tulee kiinnittää huomiota. Tutkimustyötä, esimerkiksi tiedonhakua, voidaan tehostaa, jos ymmärretään miten tietotekniikalla voidaan automatisoida usein toistuvia ja rutiiniluonteisia operaatioita. Tämän lisäksi tulee pyrkiä huolehtimaan siitä, että uusin tietotekninen osaaminen on käytettävissä tukemaan uusia tutkimusalueita (esim. ohjelmointi ja datan käsittely). Tutkijoiden tarpeita vastaavien oh-

jelmistojen saatavuus (ja tarvittaessa kehittäminen) muodostuu helposti pullonkaulaksi haastavia tutkimusongelmia ratkottaessa. Siten ohjelmistotuotannon osaamiseen ja osajien saatavuuteen tulee panostaa.

### **3.4 Koulutuksen saavutettavuus ja oppimisympäristöt**

Laskennallisen tieteen koulutusmateriaali tulee inventoida ja samalla luoda puitteet tarpeita vastaavan materiaalin tuottamiselle jatkossa. Tällä nopeasti kehittyvällä alueella on kansallisella tasolla tärkeää tuottaa ja ottaa käyttöön uusinta koulutusmateriaalia ottaen huomioon niin opiskelijoiden, opettajien kuin tutkimuksessa jo työskentelevien asiantuntijoiden tarpeet. Toimintamalliksi soveltuu materiaalituotannon keskittäminen kansallisella tasolla, jolloin toimintakulttuurin tulee kannustaa osajia tuotteistamaan ja levittämään osaamistaan muiden käyttöön kurssien, oppikirjojen ja esimerkiksi www-pohjaisten ympäristöjen välityksellä. Virtuaaliyhteisöjen tukemiseen tarvitaan teknisten alustojen ja niiden tukipalvelujen lisäksi myös puitteet verkostoitumiselle ja yhteisöllisille toimintamalleille. Infrastruktuurien avulla tulee lisätä sekä kansallista että kansainvälistä yhteistyötä eri tieteenalojen välillä.

Tietoteknisten apuvälineiden käyttöä tulee kehittää, esimerkkeinä oppimisalustat ja yhteistyöympäristöt, joita tarvitaan osaamisen siirron tukemiseen kansallisella ja kansainvälisellä tasolla. Toimintamallia voidaan hakea esimerkiksi matemaattisen mallinnuksen verkkoperusteisesta oppimisympäristöstä, jota on kehitetty vuodesta 2000 alkaen. Verkkopohjaisia työskentelytapoja on muutenkin syytä kehittää ja vahvistaa. Esimerkiksi tutkimuksen tiedonhallinnan alueelta löytyy runsaasti tarpeita niin kansalliseen kuin kansainväliseen yhteistyöhön tietoteknisten ratkaisujen kehittämisessä.

Suomessa tulee ratkaista kysymys siitä, kenellä on oikeus hyödyntää julkisin varoin tuotettuja tietovarantoja. Tällä hetkellä opiskelijoilla ja tutkijoilla on usein vaikeuksia päästä hyödyntämään laajoja aineistokokonaisuuksia. Lisäksi tulee turvata opetuksessa ja tutkimuksessa tarvittavien tieteellisten sovellusten käyttömahdollisuus.

### **3.5 Opiskelijoiden perusosaaminen sekä suuntautuminen laskennalliseen tieteeseen**

Peruskoulun ja lukion opetukseen tulee lisätä simulointia ja muita vastaavia havainnollistuksia, jotka lisäävät menetelmäosaamisen kiinnostavuutta sekä osoittavat konkreettisesti matemaattisten taitojen käyttökelpoisuuden. Opettajille tulee antaa ajankohtaisia esimerkkejä sekä laskennallisen tieteen menetelmien soveltamisesta eri tieteenaloilla että myös poikkitieteellisesti. Esimerkiksi biologian opettajille voisi antaa tietoa siitä, miten alalla voidaan hyödyntää laskennallista lähestymistapaa niin molekyyli-, yksilö-, kuin populaatiotasolakin. Matematiikan sovellusmahdollisuuksia korostavaa koulutusta tulee tarjota kaikille opettajiksi aikoville (aiheena esimerkiksi ”matematiikka ja yhteiskunta”). Samalla opettajien valmiuksia voidaan parantaa ja yliopistopedagogiikkaa kehittää opetuskäytäntöjen osalta, esimerkiksi opetushenkilöstölle suunnatulla täydennyskoulutuksella.

Laskennallisen tieteen edellyttämää pohjaosaamista tulee vahvistaa peruskoulujen ja lukioiden koulutuksessa. Simulaationäkökulma pitää tuoda mukaan opetukseen, jolloin syntyy fysiikan, matematiikan ja tietojenkäsittelyn kokoava näkökulma. Yliopistojen lisäksi myös ammattikorkeakouluissa on syytä panostaa laskennallisiin menetelmiin.

Yhdysvalloissa on otettu opiskelijoita ja nuoria kesätöihin tutustumaan simulaatioiden tekemiseen, ja tämänkaltainen toiminta houkuttelee nuoria hakeutumaan alalle. Tätä voivat Suomessa soveltaa yliopistot ja CSC. Kiinnostusta tulee lisätä myös tuottamalla opetusta tukevaa materiaalia alemmille koulutusasteille. Yliopistoja kannustetaan säännölliseen ja pitkäjänteiseen yhteistyöhön esimerkiksi lukioiden kanssa kiinnostuksen herättämiseksi laskennalliseen tieteeseen.

Laskennallisen tieteen profilia ja kiinnostavuutta täytyy aktiivisesti edistää. Vertailukohdaksi soveltuvat eri maissa toteutetut awareness-ohjelmat, esimerkiksi eurooppalainen NE-TIAM-projekti. Keinoksi soveltuu yhteiskunnallisesti merkittävien käytännön sovellusten esille tuominen, esimerkiksi epidemiamallien käyttö simulaatiolähestymistavan popularisoinnissa: kuinka sairaus leviää suurkaupungissa ja miten eri toimenpiteillä voidaan vaikuttaa epidemian kulkuun ja laajuuteen.

### 3.6 Toimenpide-ehdotuksia

- Eri koulutustasot panostavat opetuksessaan tietoisuuden lisäämiseen laskennallisesta tieteestä. Yliopistot, CSC, tutkimuslaitokset ja yritykset kehittävät laskennallisen tieteen koulutusta kansallisella ja kansainvälisellä yhteistyöllä sekä räätälöivät koulutusta eri tutkimusalueille. Yliopistot sisällyttävät opinto-ohjelmiin, muun muassa luonnontieteiden, lääketieteen, teknisten tieteiden, taloustieteen, humanististen tieteiden ja yhteiskuntatieteiden koulutukseen, entistä enemmän laskennallisten menetelmien koulutusta. Nykyistä laajemmalle opiskelijajoukolle tulee turvata matematiikan, numeeristen menetelmien ja tietojenkäsittelytieteen perustaidot.
- Yliopistot yhdessä muiden toimijoiden kanssa kehittävät laskennallisen tieteen tutkijankoulutusta vahvistamalla poikkitieteellisyttä ja teoreettista osaamis pohjaa sekä suuntaamalla koulutusta yliopistojen strategioissaan valitsemille painoaloille. Tutkijakouluja tuetaan ja kannustetaan toimivaan yhteistyöhön mm. vierailijoiden pitämien erikoiskurssien järjestämisessä. Tutkijankoulutus tulee liittää osaksi eurooppalaista koulutusta. Yliopistot tukevat tutkijanuran etenemistä laskennallisessa tieteessä.
- Opettajankoulutuslaitokset tuovat esille laskennallista tiedettä moni- ja poikkitieteellisestä näkökulmasta, vahvistavat asian käsittelyä ja tuottavat aihetta käsittelevää opetusmateriaalia yhdessä yliopistojen kanssa. Opettajille tulee saada mielikuva matematiikan merkityksestä sovelluksissa. Laskennallisten esimerkkien käyttö opetuksessa lisää oppilaiden kiinnostusta näitä aineita kohtaan.
- Yliopistot, täydennyskoulutuskeskukset ja muut kouluttajat ottavat laskennallisen tieteen opetuksessa huomioon elinikäisen oppimisen näkökulman järjestämällä ammatissa työskenteleville tutkijoille ja tuotekehittäjille täydennyskoulutusta ja seminaareja uusista menetelmistä ja ohjelmistoista sekä niiden soveltamisesta.
- Yliopistot ja CSC inventoivat laskennallisen tieteen koulutusmateriaalin. Samalla luodaan puitteet tarpeita vastaavan materiaalin tuottamiselle ja jakelulle. Lisäksi tulee ratkaista kysymys siitä, kenellä on oikeus hyödyntää julkisilla varoilla tuotettuja materiaaleja.
- CSC ja yliopistot laativat tiedotusstrategian laskennallisen tieteen merkityksestä ja järjestävät yhteistyössä tietoisuuskampanjan. Nuoria innostetaan laskennallisen tieteen pariin hyödyntämällä tietoverkkoa. Laskennallisen tieteen tarjoamien mahdollisuuksien esittelemiseen ja tiedottamiseen käytetään useita eri kanavia ja viestintä räätälöidään eri kohdeyleisöille (tutkijat, poliitikot, media, suuri yleisö jne.). Laskennallisen tieteen teemaa nostetaan esille eri alojen kokouksissa. Tietoisuuden herättämiseen haetaan mallia LUMA-ohjelmasta saaduista kokemuksista.

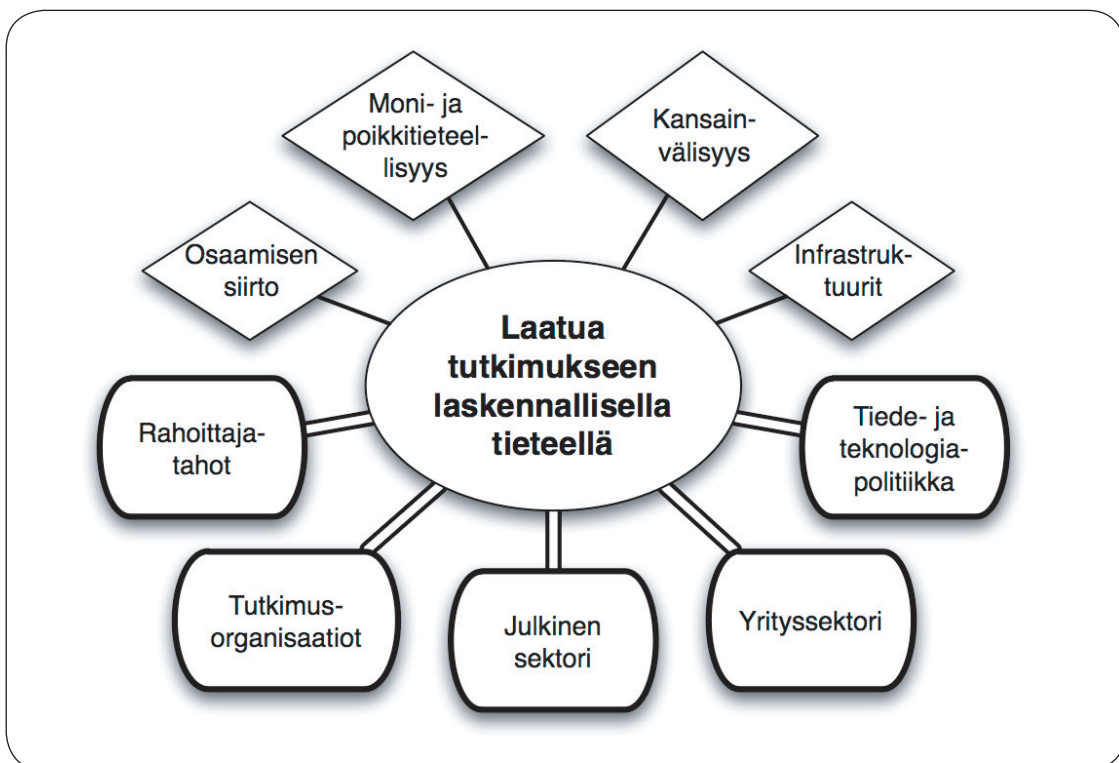
# 4 Laskennallisen tieteen kehittäminen eri tutkimusalueilla

## 4.1 Tieteenalojen yhteiset ja monitieteiset kehittämiskohteet

Laskennallinen lähestymistapa on nopeasti kehittyvä ja kilpailukykyinen tutkimusmetodi. Uusien mahdollisuuksien hyödyntäminen edellyttää paitsi panostusta osaamisen kehittämiseen myös alueen rahoitustarpeiden huomiointia tutkimusrahoituksessa (kuva 5). Kehittämisessä tulee korostaa matematiikan, tietojenkäsittelytieteen ja sovellusten välistä vuoropuhelua ja yhteistyötä. Samalla tulee vahvistaa laskennallisen tieteen tarvitsemia infrastruktuureja ja toimintamalleja.

Vaativa ja tärkeä kehittämiskohde on tutkimustiedon tuottaminen, jakelu ja hyödyntäminen. Datan käsittelyyn ja analyysiin tarvitaan sekä kansallisen että kansainvälisen tason laajoja infrastruktuureja. Näiden kehittämiseen tulee panostaa kansallisista tarpeista lähtien ja samalla painottaa niiden hyödyntämistä (tukipalvelut ja osaamisen siirto).

Aineistonhallinnan edellyttämät infrastruktuuriratkaisut ovat tekemättä. Tulee pikaisesti määrittää, kenellä on vastuu tutkimusaineistoihin kohdistuvissa tietopalveluissa ja pitkäaikaiskäilytyksessä. Suomessa tehdään huomattavan vähän aineistojen takautuvaa digitointia (Digitalia-hanke). Suomessa digitointia tehdään vuositasolla saman verran kuin esimerkiksi Ruotsissa viikossa.



**Kuva 5.** Laskennallisen tieteen kehittämiseen liittyviä keinoja ja intressitahoja.

## 4.2 Panostaminen ohjelmistotuotantoon

Laskennallisten menetelmien hyödyntäminen edellyttää niiden toteuttamista ohjelmistoina. Ohjelmistotuotannolla on keskeinen merkitys koko yhteiskunnan tietotekniselle infrastruktuurille ja kilpailukyvyllä. Ohjelmistojen tuottaminen on kallista, aikaa vievää ja niiden laatu voi olla heikkoa. Liian suuri osa isoista ohjelmistoprojekteista epäonnistuu, muun muassa siksi, että erittäin laajojen ohjelmistojen kompleksisuutta ei pystytä hallitsemaan. Usein ongelmana on, ettei ohjelmistotuotantoon panosteta riittävästi eikä sitä arvosteta akateemisesti.

Koska ohjelmistot ovat laskennallisen tieteen keskeinen työväline, tulee löytää toimintamalli, jossa kyetään toteuttamaan tehokkaasti ja luotettavasti tutkimusympäristöstä nousevia ohjelmistokehitystarpeita käyttäen hyväksi ohjelmistotuotannon huippuosaamista ja parhaita käytäntöjä. Ohjelmankehityksessä täytyy huolehtia toisaalta osaamisen siirtämisestä alueelta toiselle ja toisaalta osaamisen kumuloimisesta (menetelmäosaaminen sekä sovellusalueilla että ohjelmistotuotannossa). Tämä edellyttää pitkäjänteistä panostusta ohjelmistotuotannon osaamisen kumuloimiseen ja samalla perusinfrastruktuuria, jolla voidaan nostaa ohjelmistotuotannon luotettavuutta ja tehokkuutta.

Hyödyllinen lähestymistapa asiaan on ohjelmistojen elinkaariajattelu alkaen ohjelmiston konseptoinnista ja spesifioinnista päätyen ylläpitoon, tukipalveluihin ja jatkokehitykseen. Vaativien tutkimusprojektin tarvitsemat ohjelmistot tulee saada rakennettua nopeasti ja luotettavasti.

Tutkimuksessa kehitetään tieteellisiä sovelluksia kansainvälisinä yhteistyöprojekteina, joissa laajasti hyväksyttynä yleisenä periaatteena on *open source* -lähestymistapa (GPL-lisenssi). Verkostomallin ansiosta kehitystyötä voidaan tehdä rinnakkain globaalisti hajautettuna yhteistyönä. Osallistuminen kehitystyöhön edellyttää osaamista sekä kyseiseltä tutkimusalueelta että ohjelmistokehityksen menetelmistä ja käytännöistä. Avoimeen *open source* -periaatteen pohjautuva tieteellinen ohjelmankehitys on muodostumassa vallitsevaksi käytännöksi monilla tutkimusalueilla. Suomalaisia esimerkkejä tästä ovat muun muassa mallinnus- ja simulointiohjelmistot Elmer ja MIKA/GPAW.

Koodien kehittäminen hajautetusti edellyttää edistynyttä sovellusten kehitysprosessia, jossa pystytään luotettavasti ja tehokkaasti hoitamaan sovellusten versionhallinta, dokumentaatio, testaus ja jakelu käyttäjille. Jotta kehitystyö on mahdollista, tarvitaan pitkäjänteistä sitoutumista osaamisen kehittämiseen ja kehitystyön koordinointiin.

Ohjelmistotutkimuksen alalla ongelmana se, että monilla muilla aloilla toimiva kokeellinen menetelmä ei toimi kunnolla. Käytännössä ohjelmistotuotannon tutkijoilla ei ole sellaista ympäristöä, jossa voidaan kokeilla ja tutkia toimintaa. Tämä voi aiheuttaa vakavan kuilun teorian ja sovellusten välillä.

Akateemisessa ympäristössä ohjelmistojen tuottaminen voi olla hankalaa. Opiskelijoilla on vähän kokemusta varsinkaan suurten ohjelmistojen tuottamisesta ja niitä rakennetaan usein *ad-hoc* -periaatteella. Vaikka tutkimusprojekteissa voidaan ottaa ohjelmistojen rakentajat mukaan julkaisujen kirjoittajiksi, näin ei läheskään aina tapahdu.

Usein ketju tutkimusinnovaatioiden viemisestä käytäntöön katkeaa siinä, että menetelmien kehittäjät luovat ohjelmiston koeversion, jota muut eivät voi hyödyntää. Käyttöliittymien ja käytettävyyden huomioiminen on olennaista, jotta sovelluksesta on hyötyä laajemmalle käyttäjäkunnalle. Ohjelmankehityksessä olennaista on toimiva yhteistyö sovellusalueen osajien, menetelmäosaajien ja ohjelmistotuotannon osajien kesken. Tarvitaan panostusta ohjelmistotuotantoon ja käyttöliittymiin, jotta ohjelmistoja voidaan laajasti hyödyntää ja menetelmännovaatioiden kautta tuleva osaaminen todella siirtyy soveltajien käytettäväksi.



### 4.3 Tiedealakohtaisia kehittämissuunnitelmia

Työryhmän tehtäviin ei kuulunut kattavan tieteenalakohtaisen esityksen tekeminen laskennallisen tieteen kehittämiskohteista. Työryhmä toteaa tiedealakohtaisten tarvekartoitusten ja kehittämissuunnitelmien tekemisen tarpeelliseksi. Liitteessä B on esimerkinomaisia pöytäkirjoja kehittämiskohteista kahdelta tutkimusalueelta.

### 4.4 Osaamisen siirto

Tutkimusmaailmassa tarvitaan uusien tutkijoiden koulutuksen lisäksi koulutusta jo valmistuneille ja tutkimusta tekeville osaajille. Laskennallisen tieteen nopean kehityksen takia koulutuksen sisältöä ja painotusta tulee jatkuvasti kehittää ja uusiin osaamistarpeisiin tulee vastata ripeästi. Esimerkin mahdollisesta toimintamallista tarjoaa CSC:n laskennallisen tieteen täsmäkoulutus, jonka puitteissa kansallisen ja kansainvälisen tason huippuosaajat opettavat uusien menetelmien, tietokantojen ja ohjelmistojen käyttöä näitä taitoja tarvitseville tutkijoille. Kursseja toteutetaan kansallisen ja kansainvälisen tason yhteistyönä, jossa kumppanina ovat esimerkiksi Euroopan bioinformatiikkainstituutti EBI ja tieteellisten sovellusten kehittäjät (esimerkkeinä Gromacs ja OpenFOAM).

Teollisuuden kiinnostusta uusiin mahdollisuuksiin voidaan herättää tarkasti suunnatuilla kansallisilla ja kansainvälisillä työpajoilla. Esimerkkejä löytyy muun muassa EU:n rahoittaman laajan EGEE-projektin Industry Days -toiminnasta ja teollisuusmatematiikan ESGI-työpajatoiminnasta. Tuomalla teollisuus, osaajat ja opiskelijat samaan tilaisuuteen saadaan aikaan rakentavaa vuoropuhelua osaamistarpeista ja uusien työkalujen tarjoamista mahdollisuuksista. Tähän kaksisuuntaiseen vuorovaikutukseen tulee entisestään panostaa.

Jotta kurssien järjestämiseen tarvittava työ saadaan hyödynnettyä mahdollisimman hyvin, on niitä hyvä täydentää verkkojakeluun perustuvilla oppailla ja muulla kurssimateriaalilla. Erityyppisten yhteistyötapojen ja oppimisympäristöjen soveltuvuutta laskennallisen tieteen tarpeisiin tulee selvittää nykyisistä toimintamalleista kokemuksia ammentavien pilottiprojektien avulla. Aineistojen tuotannossa tulee suosia avointa toimintamallia, joka rakentuu *open source*- ja *open access* -periaatteille.

Laskennallisen lähestymistavan osaamista tulee kehittää elinikäisen oppimisen näkökulmasta. Tutkimusmaailmassa, niin julkisella sektorilla kuin yrityksissä työskentelevien osaamista tulee kehittää esimerkiksi työpajatoiminnan ja eri kohdealueille suunnattujen poikkitieteellisten kurssien avulla.

### 4.5 Tutkimuslaitosyhteistyö

Laskennallisen tieteen näkökulman avulla voidaan löytää sektorirajat ylittäviä yhteistyömahdollisuuksia yliopistojen, tutkimuslaitosten ja yritysten kesken. Rahoitusratkaisuisa tulee pyrkiä kannustamaan osaamisen siirtoon, yhteisiin kehityshankkeisiin ja infrastruktuurien yhteiskäyttöön, jotta tieteenalojen välialueilta löytyvät innovaatiomahdollisuudet eivät jää hyödyntämättä. Rahoittajien kuten ministeriöiden, Tekesin ja Suomen Akatemian tulee perustaa tutkimussektoreiden ja tieteenalojen rajat ylittävä poikkitieteellinen ja -teknologinen laskennallisen tieteen kehittämisohjelma, jossa pystytään hyödyntämään löydettyjä innovaatioita yhteistyössä eri toimijoiden kanssa. Samalla tulee huolehtia uusien osaajien

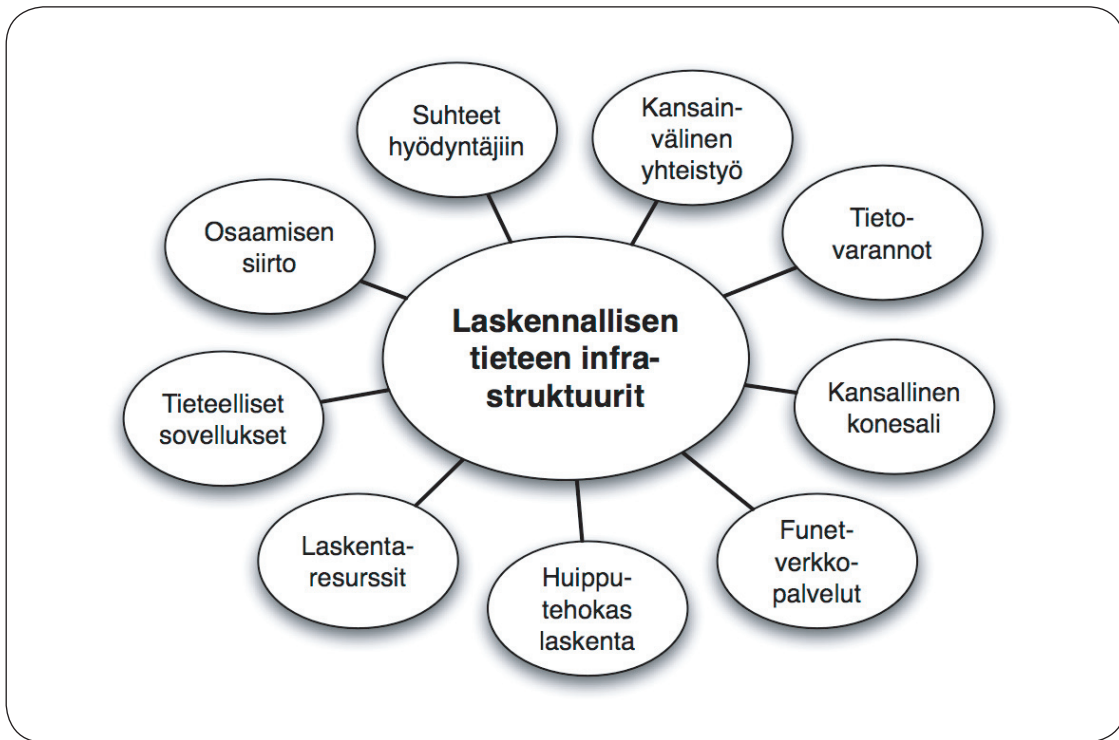
tuottamisesta ja osaamisen siirrosta lähelle elinkeinoelämää ja elinkeinoelämästä akateemiseen maailmaan. Myös julkinen sektori voi hyötyä laskennallisesta tieteestä, esimerkkinä laskennallisen tieteen sovelluskohteet terveydenhuollossa.

Kuten muun muassa niin kutsutussa Neuvon raportissa on todettu (Sektoritutkimustyöryhmän mietintö, Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 21/2006), tutkimuslaitossektoreilla on havaittu merkittäviä tarpeita rakenteelliseen kehittämiseen. Laskennallinen tiede tehostaa kehittämistoimia ja samalla madaltaa raja-aitoja sektoritoimijoiden välillä. Sektoritutkimuksen tilaaja-tuottajakonsortioita perustettaessa tulee ottaa huomioon laskennallisen lähestymistavan mahdollisuudet. Esimerkkejä potentiaalisista yhteistyömahdollisuuksista ovat ilmastonmuutoksen tutkimuksessa tarvittavat kytketyt mallijärjestelmät ja bioinformatiikan tiedonhallintaan rakennettavat infrastruktuurit.

Laskennallisen tieteen tutkimusongelmia esiintyy runsaasti tutkimuslaitosten toimialueilla. Näitä ongelmia tulee ratkaista tutkimuslaitosten keskinäisessä ja yliopistojen kanssa tehtävässä yhteistyössä ongelmalähtöisesti. Laskennallisen tieteen osaamisen hyödyntäminen tarjoaa lukuisia läpimurtomahdollisuuksia kansainvälisellä tasolla. Tärkeitä sovelluskohteita ovat esimerkiksi:

- globaaliin ilmastonmuutokseen liittyvä mallinnus, simulointi ja tiedonhallinta
- ympäristön tilan ja luonnonvarojen, kuten esimerkiksi biomassan, saatavuuden analysointi satelliittitiedon pohjalta
- reaktiivisten monifaasijärjestelmien ja -ilmiöiden mallinnus (kemian, biotekniikan, metsäteollisuuden prosessit, tulipalot jne.)
- bioinformatiikka, geenisekvenssit ja lääkeainesuunnittelu
- radioaaltojen eteneminen ja sähkömagneetiikka
- tilastolliset mallit, esimerkiksi tietoliikenteen mallintaminen ja Monte Carlo -mallinnus ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuusanalyseissä
- laajat optimointimallit, sovelluskohteina esimerkiksi sähköntuotantojärjestelmät ja sähkön hinnoittelu
- tuotantolaitosten virtuaalisimulointi
- globaalin liiketoiminnan hallinta: T&K-toiminta, tuotanto, logistiikka ja asiakkuuksien hallinta
- riskitilanteiden tiedonlouhinta, sovelluskohteina esimerkiksi terveydenhuolto, lentoliikenne ja raskaan liikenteen ajoneuvoihin asennettavat mustat laatikot.

Tutkimuslaitoksilla on runsaasti yhteistyömahdollisuuksia yliopistojen kanssa muun muassa ohjelmistotuotannossa ja menetelmäkehityksessä. Kehitettyjen sovellusohjelmistojen hyödyntäminen yritysten tuotekehityksessä tarjoaa mahdollisuuksia siirtää uusinta osaamista kaupalliselle sektorille. Kehitystoimissa tulee huomioida julkisella rahoituksella tuotettujen innovaatioiden hyödyntäminen.



**Kuva 6.** Laskennallisen tieteen tarvitsemia infrastruktuuripalveluja.

## 4.6 Tutkimuksen infrastruktuuritarpeet

Hyödyllinen näkökulma infrastruktuureihin ja palvelutoimintaan on *service-oriented science*, tutkimukseen liittyvän osaamisen, aineistojen ja ohjelmistojen tarjoaminen palveluna niin yritys- kuin tutkimusyhteistyönäkin (kuva 6). Tuotettuja palveluita voidaan hyödyntää maailmanlaajuisesti tietoverkon kautta.

Euroopassa kehitetään yhteistyössä tutkimuksen infrastruktuureja muun muassa grid-teknologioiden hankkeissa. Suomi on ollut mukana näistä merkittävimmistä CSC:n kautta, esimerkkeinä EU-tason kehityshankkeet DEISA, EGEE II ja Embrace sekä pohjoismainen NDGF-yhteistyö. Osallistumalla tämän kaltaisten kansainvälisten tietoteknisten ympäristöjen kehittämiseen voidaan varmistaa suomalaisille tutkijoille mahdollisuus ja kyky hyödyntää kehitettyjä ympäristöjä omassa tutkimuksessaan. Hyödyntämiseen vaikuttaa ratkaisevasti ammattitaitoinen tukipalvelu, jonka rakentaminen edellyttää pitkäjänteistä panostusta osaavaan henkilöstöön. Simulointimallien hienojakoistuminen sekä kytkettyjen mallijärjestelmien käyttöönotto lisäävät vaatimustasoa sekä osaamisen että laiteympäristön suhteen.

Useilla alueilla merkittäväksi haasteeksi nousee datan käsittely ja analyysi tutkimuksessa. Tiedon tallentamisen, jakelun ja yhdistelyn tarpeet kasvavat vahvasti. Esimerkkejä tästä löytyy biologiasta, lääketieteestä, ympäristötieteestä ja tähtitieteestä. Osa kokeellisesta tutkimuksesta etenee perinteisen hypoteeseihin pohjaavan tutkimuksen sijasta kohti *discovery-driven science* -toimintamallia, jossa dataa kerätään ja yhdistellään laajasti, eikä etukäteen tiedetä, minkä tyyppisiä ilmiöitä aineistosta löytyy. Tämän vuoksi ratkaisuihin tulee huomioida alusta lähtien standardoinnin merkitys ja aineistojen yhteiskäytön tarpeet. Vapaasti käytettäviä (*open access*) tietoaaineistoja tarvitaan uusien simulointimallien kehittämiseen ja testaamiseen, mikä kehittää sovellutusalan teoreettista ymmärtämistä.

Suomessa tarvitaan jatkossa entistä vahvempi, tasapainoinen tietotekninen infrastruktuuri laskennallisen tutkimuksen tarpeisiin. Se tulee rakentaa yhteisvastuisesti ja -rahoitteisesti eri hallinnonalojen kesken. Yliopistojen ja sektoritutkimuslaitosten tulee osallistua yhteisen infrastruktuurin rakentamiseen, jota täydennetään kansallisen tason hankkeilla (Tieteen tietotekniikan keskus CSC, Funet jne.).

Ratkaisujen rahoituksessa tulee käyttää kokonaiskustannusmallia ja elinkaariajattelua. Pääallekkäisyyksistä tulee pyrkiä eroon. Infrastruktuurien rakentamisessa, ylläpidossa ja tukipalveluissa tulee pyrkiä tehokkaaseen ja koordinoituun toimintamalliin. Infrastruktuurien yhteiskäytöllä esimerkiksi grid-tekniikoiden avulla voidaan välttää resurssien pirstoutumista ja kehittää monitieteellistä ja -teknologista yhteistyötä.

Kansallisella tasolla tulee taata pitkäjänteinen rahoitus laskenta- ja tallennuskapasiteetin, nopeiden ja luotettavien tietoverkkojen (Funet) sekä näihin liittyvien tukipalvelujen kehittämiseksi. Erityisesti tulee ottaa huomioon kansainvälisen tason laskennallisen tieteen suurten haasteiden tarpeet, kuten biotieteisiin tai fuusioenergian tutkimukseen liittyvä laskennallinen infrastruktuuri. Uutena kehittämiskohteena tulee ottaa esille suurten ja monimutkaisten data-aineistojen hallinta ja käsittely, mihin liittyy sekä algoritmista problematiikkaa että vaativaa tietoteknistä kehitystyötä. Olemassa olevia grid-teknologioita ja verkostomaista toimintamallia hyödyntäviä ratkaisuja tulee tukea.

## 4.7 Kansainvälistyminen ja verkostoituminen

Suomen tulee osana kansallisia kehittämistoimia hyödyntää jo tehtyä ja käynnissä olevaa kansainvälistä kehittämistyötä. Suunnitteilla on muun muassa pohjoismaisen tason eScience-ohjelma, jossa Suomella on mahdollista toimia näkyvässä roolissa johtuen tehokkaasta ja keskitetystä kansallisesta tieteen tietotekniikan infrastruktuurista. Pohjoismaisella tasolla tehtävää yhteistyötä tulee entisestään tiivistää ja laajentaa. Toimintamallia voidaan hakea esimerkiksi pohjoismaisesta NDGF-yhteistyöstä. Suomen tulee aktiivisesti rakentaa näkyvyyttä kansainvälisissä osaamis- ja tutkimusverkostoissa sekä olla kehittämässä näitä tukevia infrastruktuureja, jotta tutkijamme pääsevät hyötymään yhteistyön kautta avautuvista kansainvälisen yhteistyön mahdollisuuksista.

Suomen tutkimusyhteisön ja teollisten klustereiden verkostoituminen kansainvälisellä tasolla tarjoaa mahdollisuuksia hyödyntää globaalissa mittakaavassa tehtävää kehitystyötä ja päästä yhteistyöhön eri alueiden huippuosaajien kanssa. Suomen kaltaisella pienellä maalla voi olla vaikeuksia toimia yhteistyökumppanina laajoissa kansainvälisissä hankkeissa, joten sisäinen kansallinen yhteistyö ja tehokas verkostoituminen on välttämätöntä osaamisen tason ja määrän turvaamiseksi.

Esimerkkejä mahdollisista organisointimallista tarjoavat huippuyksikköohjelmat sekä strategisen huippuosaamisen keskittymien (SHOK) perustaminen. ICT-alueella tällaisen keskittymän pohjaksi on kaavailtu DIMES-organisaatiota, joka yhdistää yrityssektorin ja julkisen sektorin keskeisiä kansallisia toimijoita. ICT-alueelle syntyvän SHOK:n yhteyteen tarvitaan geneerinen laskennallisten menetelmien tutkimus- ja kehityskeskittymä. Euroopallisella tasolla tulee hakeutua yhteistyöhön teknologiaplatformien kuten NESSI:n kanssa.

Laskennallisen tieteen osaamisen hyödyntäminen projekteissa voi olla kansallisesti tärkeä mahdollisuus yhteistyöhön eri puolilla maailmaa. Erityisiä kohdealueita ovat mm. Itä-Euroopan maat, Venäjä, Afrikka, Intia ja Aasia. Yhteistyö ja osaamisen siirto kehitysmaiden kanssa tuo uusia projekteja ja lisää Suomen merkitystä kansainvälisessä tutkimuksessa. Tällä on myös merkitystä yksityiselle sektorille.

## 4.8 Eurooppalainen yhteistyö ja infrastruktuurit

ESFRI (European Strategic Forum for Research Infrastructures) on laatinut tiekartan tulevaisuuden tutkimusinfrastruktuureista Euroopassa. Suunnitelmissa on otettu huomioon laaja kokoelma tutkimusalueita mukaan lukien biotieteet ja lääketiede sekä humanistiset ja yhteiskuntatieteet. Tiekartalla on 35 hanketta, joiden on mahdollista hakea tukea 7. puiteohjelmassa EU:n komissiolta kansallisen tason rahoituksen ohella. ESFRI on asettanut uudet työryhmät suunnitelmien tarkistamista varten.

Laskennalliseen tieteeseen liittyviä kehityskohteita löytyy runsaasti EU:n tutkimuksen 7. puiteohjelman suunnitelmista. Erityisen tärkeää ohjelman käynnistymisvaiheessa on tehdä päätöksiä kansallisista panostuksista ja rooleista liittyen ESFRI:n ehdottamiin tieteen suurhankkeisiin. Suomen kannalta kiinnostavia hankkeita ovat muun muassa biopankit, EBI:n bioinformatiikkainfrastruktuuri, kieliteknologian hanke CLARIN sekä Eurooppalainen suurteholaskennan huippuinfrastruktuuri.

Suurteholaskennan eurooppalaisessa infrastruktuurissa Suomella on mahdollisuudet nousta keskeiseen rooliin. Biopankkihankkeessa Suomi tavoittelee jo kerättyjen biopankkien koordinaattorin roolia.

Infrastruktuurien rakentamiseen liittyy kasvava koulutustarve ja niihin voidaan myös tehokkaasti liittää tutkijakoulutusta. Jos Euroopassa ei ole tarjolla kilpailukykyistä tutkimusinfrastruktuuria, tutkijat hakeutuvat muualle parempia tutkimusedellytyksiä tarjoaviin ympäristöihin.

## 4.9 Toimenpide-ehdotuksia

- Yliopistojen tulee panostaa tutkimusstrategioissaan moni- ja poikkitieteisen ajattelun edistämiseen ja laskennallisen tieteen kehittämiseen. Kehitystoimia edistetään yhteisrahoitteisissa projekteissa erityyppisten organisaatioiden kesken.
- Yliopistot suuntaavat opetus- ja tutkimustoimintansa sisällöllisissä määrittelyissä rakenteellisen kehittämisen ja tuottavuusohjelman toteuttamisen vapauttamina resursseja laskennallisen tieteen tarpeisiin kannustaen kansalliseen yhteistyöhön.
- Opetusministeriö rahoittaa vuosina 2009–2012 laskennallisen tieteen kehittämiseen suunnattuja kansallisia rakenteellisen kehittämisen hankkeita sekä menetelmätieteissä että sovellusalueilla.
- Julkiset rahoittajat jatkavat hyviksi osoittautuneita käytäntöjään (esimerkkinä Tekesin MASI-teknologiaohjelma ja Suomen Akatemian MaDaMe-tutkimusohjelma) monitieteisen tutkimuksen ja tuotekehityksen edistämiseksi.
- Yliopistojen tulee kehittää asiantuntemustaan laskennallisessa tieteessä. Esimerkiksi Suomen Akatemian tieteenalaluokitteluja tulee kehittää niin, että ne ottavat huomioon laskennallisen tutkimuksen.
- Tekesin tulee huomioida soveltuvin osin sekä julkisessa että yritysten hankerahoituksessa laskennallinen menetelmäosaaminen yhtenä rahoituskriteerinä.
- Laskennallisen tieteen näkökulma tulee ottaa huomioon, kun rakennetaan huippututkimuksen osaamiskeskittymiä ja rahoitetaan huippuyksiköitä. Poikkitieteellisten ja -teknologisten konsortioiden löytämistä ja muodostamista tulee tukea.
- Eri tutkimusalueiden välistä kiulua tulee kaventaa. Yliopistojen tulee rakenteitaan uudistaessaan huomioida tutkimusalueiden välisen yhteistyön edistäminen. Laskennallisen tieteen soveltajien sekä matematiikan ja tietojenkäsittelyopin tutkijoiden yhteistyötä tulee lisätä.
- Pyritään hyödyntämään ja hyödyttämään EU:n projekteja, joissa panostetaan laskennallisen tieteen osaamisen ja infrastruktuurien kehittämiseen. Tällaisia ovat ESFRIn tiekartalta löytyvät hankkeet, joista kansallisen panostuksen kohteiksi valitaan Suomen tutkimusyhteisölle arvokkaimmat.
- Opetusministeriö, muut rahoittajatahot ja aineistojen tuottajat panostavat kaikilla tutkimusaloilla kansallisesti digitaalisten tutkimusaineistojen tuottamiseen, käsittelyyn ja pitkäaikaistallennukseen huomioiden aineistojen elinkaari sekä tarvittavien infrastruktuurien ylläpito ja aineistoihin liittyvät tukipalvelut.
- Tietoteknisiä infrastruktuureja vahvistetaan laskennallisen tieteen suurten haasteiden ratkaisemiseksi panostamalla huippulaskentaan ja tieteen ohjelmankehitykseen. Toimintamallin tulee kannustaa kansainvälisen ja kansallisen tason yhteistyöhön ja tutkimusalueiden välisten raja-aitojen poistamiseen. Kansallisia infrastruktuureja täydennetään alueellisilla erikoistumiskeskuksilla, jotka toimivat valtakunnallisesti. Kehitystyössä suositetaan open source - ja open access -toimintamalleja. Samalla pyritään karsimaan päällekkäisiä toimintoja ja infrastruktuureja sekä hyödyntämään monikansallista kehitystyötä suomalaisten tutkijoiden tarvitsemien infrastruktuurien kehittämisessä, ylläpidossa ja tukipalveluissa.

# 5 Julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyö

## 5.1 Julkinen tutkimusrahoitus (Tekes, Suomen Akatemia ym.) ja yhteisrahoitteiset tutkimusprojektit

Muun muassa Tekesin MASI-teknologiaohjelmassa on pyritty vahvistamaan laskennallisen tieteen menetelmäosaamisen soveltamista ja siirtymistä yliopistojen, tutkimuslaitosten ja teollisuuden välillä. Tämän kaltaiselle osaamisen siirrolle ja innovatiiviselle kehitystyölle tarvitaan jatkuvuutta, jotta lähivuosina pystytään hyödyntämään laskennallisen tieteen innovaatioita yhä uusilla alueilla. Suomen tulee kiinnittää suurta huomiota siihen, että laskennallisen tieteen osaaminen siirtyy perustutkimuksesta teollisuuden ja yhteiskunnallisten toimijoiden käyttöön. Välineiksi sopivat MASI-teknologiaohjelman kaltaiset rahoitusinstrumentit. Lisäksi tarvitaan pitkäjänteisesti rahoitettuja tukirakenteita, joilla tehostetaan kehitystyötä ja osaamisen siirtoa.

Laskennallinen tiede ja menetelmäosaaminen on viime vuosina otettu huomioon Suomen Akatemian rahoitusinstrumenteissa. Laskennallisen tutkimuksen edellyttämiin infrastruktuureihin ja osaamisen siirtoon tarvitaan jatkuvaa panostusta, jotta kehitystyötä voidaan tehdä ilman, että tulokset valuvat hukkaan projektien päättyessä. Rahoittajien tulee huomioida nykyistä laajemmin ja syvällisemmin moni- ja poikkitieteellisyyttä ja laskennallisten tieteiden merkitystä tutkimuksessa, jotta ne pystyvät tekemään aloitteita uusien tutkimusalojen aktivoimiseksi hyödyntämään laskennallista tiedettä. Lisäksi laskennallisen tieteen pullonkauloja tulee poistaa, esimerkkinä ohjelmankehityksen luotettavuusongelmat ja ohjelmistotuotannon hitaus, mihin ratkaisuna on ohjelmistotuotannon menetelmäosaamisen kehittäminen ja uusien algoritmien kehittämisen tukeminen.

Yhteisrahoitteisten tutkimusprojektien tuloksia on nykyistä tehokkaammin pyrittävä siirtämään liiketoiminnallisesti hyödynnettäväksi muuttuneen korkeakoulukeksintölain pohjustaman prosessin kautta. Käyttöoikeuksien siirtämisessä on syytä hyödyntää yliopistojen tutkimus- ja innovaatiopalveluyksiköiden toimivaa verkostoa. Tutkimustuloksen hyödyntämisoikeus voidaan siirtää yhteisrahoitteisen tutkimusprojektin projektiosapuolelle, muulle olemassa olevalle yritykselle tai keksinnöllistä tutkimustulosta voidaan viedä eteenpäin tutkijan tai yliopiston perustamassa uudessa yrityksessä.

Osaamisintensiivinen innovaatioihin nojaava toiminta on Euroopan ja Suomen selviämisen ehto. Laskennallisten tieteiden sovelluskohteita ei löydy yksinomaan uusilta huipputeknisiltä alueilta, vaan myös vanhaa ja vakiintunutta teollista toimintaa voidaan tehostaa

laskennallisella lähestymistavalla. Esimerkki tästä on lasinvalmistus. Tavanomaisen teollisuuden sisältä löytyy kehittämismarginaaleja, kuten kilpailukykyä lisäävät älykkäät piensarjatoteutukset.

## 5.2 Strategisen huippuosaamisen keskittymät

Suomessa kootaan huippuosaamista kansallisesti, mikä mahdollistaa myös laskennallisen osaamisen kasvattamisen ja säilyttämisen yli yksittäisten projektien keston. Toisaalta osaamisen keskittymät edellyttävät pitkälle kehittyneitä yhteisiä infrastruktuureja toimiakseen tehokkaasti, liittyen esimerkiksi laskentainfrastruktuureihin ja tietovarantoihin.

Strategisen huippuosaamisen keskittymät (metsäklusteri, ICT-klusteri, energia ja ympäristö, terveys ja hyvinvointi, koneenrakennus ja valmistustekniikka) sisältävät elementtejä laskennallisesta tieteestä. Strategisten huippuosaamisen keskittymien yhteistyötä edistävät tutkimusportaalit, jotka mahdollistavat osaamisen jakamisen. Esimerkkinä voidaan mainita metsäklusterin yhteistyöportaalit (<http://www.forestclusterportal.fi>).

## 5.3 Palvelusuuntautunut yritystoiminta

Laskennallisen tieteen tutkimuksesta syntyvällä osaamisella sekä näihin liittyvillä tuotteilla kuten ohjelmistot ja data-aineistot on potentiaalisesti maailmanlaajuiset markkinat. Osaamiseen perustuvaa yritysten palvelutoimintaa tulee kannustaa kehittymään tavoitteena asiakaskunta globaalissa mittakaavassa. Toimintamalliksi sopii *service-oriented science* eli tutkimuksen tuloksena olevien tietoteknisten järjestelmien tarjoaminen palveluna muiden käyttöön tietoverkon välityksellä yhteistyössä esimerkiksi tietotekniikan palveluyrityksien kanssa. Esimerkiksi tällaisesta innovaatiosta sopii lääketehaille suunnattu huippuosaamiseen pohjautuva palvelu, jonka rinnalle syntyy ohjelmistokehitystä ja tehokas palveluinfrastruktuuri.

Palvelusuuntautuneessa yritystoiminnassa tulee kohdealueen lisäksi hallita tietojärjestelmien elinkaarikustannukset kehitettäessä palvelutoimintaa globaaliin mittakaavaan. Tarvitaan sekä nopeaa liikkeelle lähtöä että varautumista asiakaskunnan kasvamisen myötä tuleviin tietoteknisiin haasteisiin. Tutkimuksen kansantaloudellinen vaikuttavuus lisääntyy, kun laskennallisen tieteen huippuosaamista kyetään tätä kautta hyödyntämään eri kohdealueilla.

Kansallisella tasolla tulee kannustaa tutkimusryhmien ja infrastruktuuripalvelujen keskinäiseen työnjakoon sekä tietolähteiden ja analyysityökalujen kytkemiseen toisiinsa tietoverkon välityksellä, jolloin paitsi saadaan aineistot ja työkalut laajempaan käyttöön myös vältetään päällekkäistä kehitystyötä. Kansallisella tasolla tulee syntyä vireästi verkostoituvaa toimintaympäristöä. Tarvitaan kustannustehokkaita palveluja tutkimusryhmille, minkä lisäksi täytyy löytää ratkaisuja tutkimusryhmien itse tuottamien palvelujen toteuttamiseen sekä kannustaa osaamisen pohjalta syntyviin tutkimuspalveluihin sekä innovaatio- ja yrityspalveluihin.

Osaaminen voi siirtyä yliopistoista liike-elämään usealla eri tavalla. Muutaman vuoden syklillä osaamista siirtyy rekrytoinneilla suoraan yliopistosta tai tutkimuslaitoksesta. Lyhyemmällä aikavälillä osaamista siirtyy määräaikaisissa tutkijavaihdossa, joita tulee nykyisestä olennaisesti lisätä. Myös yritysten sisäiseen laskennallisten valmiuksien kouluttamiseen tulee kiinnittää huomiota. Osaamista siirtyy myös Tekesin kaltaisten rahoittajien tutkimusohjelmissa, joskin tutkimushankkeiden välistä osaamisen siirtoa tulee lisätä nykyisestä. Tavoitteen-



na on laskennallisiin menetelmiin erikoistuneiden yritysten syntyminen ja osaamispalvelujen tarjoaminen globaalissa mittakaavassa.

## 5.4 Ohjelmistotuotanto ja ohjelmistoihin pohjautuva yritystoiminta

Ohjelmistotuotannon osaaminen on keskeinen menestystekijä pyrittäessä hyödyntämään uusia menetelmällisiä innovaatioita ja siirrettäessä laskennallisen tieteen osaamista yritysmaailmaan.

Laskennallisen tieteen sovelluskehitystä on viime vuosina tehostanut skaalaetu, joka on syntynyt maailmanlaajuisesta kehitysyhteistyöstä. Tutkimusyhteisön ja yritystoiminnan kilpailukykyä tehostaa sopeutuminen toimimaan *open source* -ympäristössä ja avointen yhteistyöalustojen hyödyntäminen (wiki-tyyppiset alustat). Esimerkiksi Nokia Oyj on ottanut strategiseksi kilpailutekijäksi toimimisen avoimessa innovaatiojärjestelmässä.

Laskennallisiin menetelmiin liittyvien innovaatioiden tuotteistaminen ei ole suoraviivaista, sillä osaamisen siirto edellyttää tyypillisesti tuki- ja asiantuntijapalvelujen tarjoamista. Tässä on paljon mahdollisuuksia uudelle liiketoiminnalle. Onnistunut tuotteistaminen edellyttää nykyistä monipuolisempia tukimuotoja sille, miten laskennalliset innovaatiot käytännössä voidaan tuotteistaa.

Tutkimustuloksiin liittyvien immateriaalioikeuksien lisensointi tai myynti ennakoitavissa oleville markkinoille tähtäävälle hyödyntäjälle on perinteinen tapa edistää julkisen tutkimuksen käyttöä yhteiskunnassa. Entistä selvästi yleisempää on myös avoin tiedon tuottaminen yleisesti hyödynnettäväksi ja kehitettäväksi. Näillä menetelmillä syntyy myös tuotteita tai menettelytapoja, joiden markkinoita ei ole osattu ennakoida, kuten esimerkiksi Linux ja Wikipedia.

## 5.5 Julkisen tutkimusosaamisen hyödyntäminen elinkeinoelämässä

Elinkeinoelämässä käsiteltävät laskennallisen tieteen ongelmat ovat yhä monimutkaisempia ja laajempia, mikä aiheuttaa vaatimuksia sekä osaamiselle että laitteiden suorituskyvyille.

Laskennallista tiedettä ei tule kehittää irrallisena kokonaisuutena vaan liittämällä ja integroimalla kehittämistoimenpiteet muihin koulutusaloihin. Yritysmaailman ongelmien ratkaiseminen vaatii hyvän laskenta- ja mallinnusosaamisen lisäksi alakohtaista syvällistä osaamista. Tämän vuoksi laskennallisen tieteen koulutusta on sisällytettävä nykyistä enemmän muihin oppiaineisiin, kuten tekniikan, biotieteiden ja luonnontieteiden aloihin.

Mallinnusta ja simulointia voidaan käyttää sovelluksissa kahdella eri tavalla: ajatuksen ja oppimisen välineenä sekä tuotekehityksen ja suunnittelun välineenä. Näillä on merkittävä ero sekä tarvittavassa osaamisessa että osaamisen integroimisessa tuotekehitystoimintaan.

Yritysten näkökulmasta laskennallinen lähestymistapa edistää uusien tuotteiden ja palveluiden syntymistä. Esimerkiksi Googlen hakukoneen toiminta perustuu laskennallisen tieteen osaamiseen. Kyseessä on valtava laskennallinen tehtävä sekä nettisivuilla olevan datan keräämisessä tehokkaasti että datan indeksoimisessa ja palauttamisessa käyttäjille hakutuloksina. Googlen relevanssihakualgoritmi perustuu miljardeja muuttujia sisältävän ominaisarvotehtävän ratkaisemiseen.

Kun rakennetaan globaaleja internet-palveluja, tarvitaan laskennallisen tieteen näkemystä ja ymmärrystä, jotta toiminta on sekä luotettavaa että tehokasta. Nettitelevisiopalvelu Joost perustuu tehokkaiisiin vertaisverkkotekniikoihin, joissa hyödynnetään optimaalisella tavalla käytettävissä olevaa kaistanleveyttä ja hajautetaan videokuvan jakelu maantieteellisesti tehokkaasti. Lisäksi Joostissa käytetään hyväksi vahvaa tiedon salausta.

Teollisuudessa on puutetta alan osaajista ja mallinnukseen liittyvästä ymmärryksestä. Kaikkea osaamista ei voi ulkoistaa, ja laskennallinen tiede tulee nähdä yritysten ydinosaamisena ja strategisten kehittämistoimenpiteiden keskipisteenä.

Osaamisen siirtoa henkilöiden siirtymisen avulla tulee vahvistaa. Esimerkiksi tutkijoiden ja kokeneiden mallintajien siirtyminen instituutioiden ja elinkeinoelämän välillä on erittäin hankalaa molempiin suuntiin. Miten löytää joustavuutta ja houkuttelevuutta? Siirtymisessä hidasteina ovat muun muassa verotus, palkkaerot, eläkkeet, kapea-alainen osaaminen ja jopa pelko tietovuodosta.

Yritysten tulee itse tai yhdessä verkostonsa kanssa hallita kokonaisuutena ketju, joka alkaa tutkimuksesta, teknologian ja osaamisen kehittämisestä ja päättyy tuotekonsepteihin, tuotteisiin ja kaupallisten realiteettien hallintaan muuttuvassa toimintaympäristössä. Laskennallisen tieteen tarjoamalla näkökulmalla voidaan tukea ja tehostaa menestymisessä tarvittavaa verkottunutta kommunikaatiota ja eri vaiheissa tarvittavaa osaamista.

Laskennallisen tieteen osaamisen siirtämistä käytäntöön tulee tehostaa tuomalla opiskelijoita ja opinnäytetöiden tekijöitä sekä tutkijoita kontaktiin yritysten todellisen problematiikan kanssa.

Kehittämistoimenpiteiden tulee vahvistaa tiedon ja osaamisen siirtymistä korkeakouluista ja tutkimuslaitoksista teollisuuden käyttöön. Osaamista tulee siirtää sekä tulevaisuudessa valmistuvien, uusia taitoja oppineiden opiskelijoiden myötä että nopeammalla syklillä yhteisten projektien ja erityisten osaamisen siirtoon kehitettyjen toimintatapojen myötä. Tällaisia osaamisen siirtoa vahvistavia toimenpiteitä ovat muun muassa ongelmalähtöiset poikkitieteelliset työpajat sekä seminaarit ja workshopit, joissa osaajat ja osaamisen tarvitsijat kohtaavat toisensa. Osaamisen siirtoa voidaan tehostaa tukemalla siirtymistä akateemisen maailman ja tutkimusmaailman välillä, mistä esimerkkinä on Suomen Akatemian rahoitusohjelma tutkijoiden liikkuvuudelle.

## 5.6 Toimenpide-ehdotuksia

- Rahoittajat ja tutkimusorganisaatiot panostavat laskennallisen tieteen osaajien tutkijanvaihtoon yritysten ja akateemisen maailman välillä. Esteet tutkijanvaihdon toteutumiselta poistetaan. Yliopistot ja yritykset kannustavat työntekijöitään sektoreiden väliseen ja sisäiseen osaajien vaihtoon ja varautuvat vaihdosta aiheutuviin kustannuksiin. Tutkijoiden tulee olla yrityksissä töissä riittävän kauan, jotta he pääsevät sisälle ongelmiin ja nykykäytäntöihin. Vastaavasti edistetään yritysmaailmassa toimivien tutkijoiden mahdollisuuksia vierailla yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa.
- Panostetaan tutkijoiden elinikäiseen oppimiseen vahvistamalla laskennallisen tieteen osaamisen siirtoa. Tutkijoiden osaamistasoa tulee lisätä uran eri vaiheissa. Toimenpiteinä voi käyttää esimerkiksi laskennallisen tieteen osaajien ja teollisuuden T&K-henkilöstön työpajoja. Laskennallisen tieteen osaamista viedään yrityksiin seminaareilla ja Industrial days -toiminnalla. Myös rahoittajatahojen asiantuntemusta laskennallisesta tieteestä tulee nostaa.
- Rahoittajatahot ja tutkimusorganisaatiot tukevat laskennallisiin menetelmiin liittyvien innovaatioiden ja palveluiden tuotteistamista sekä uusien yritysten perustamista ja sitä kautta nopeuttavat laskennallisten menetelmien käyttöönottoa liike-elämässä. Edistetään yliopistolähtöisten yritysten syntymistä. Kannustetaan laskennallisia palveluita ja tuotteita tarjoavia yrityksiä kansainvälistymään.
- Yritysten tulee panostaa yhteistyössä yliopistojen kanssa pitkäjänteisiin laskennallisen tieteen tutkimusprojekteihin, jolloin on mahdollista toteuttaa haastavia hankkeita ja synnyttää innovaatioita.
- Etsitään toimintamalleja, joissa kansainvälistä laskennallisen tieteen osaamista tuodaan Suomeen siten, että Suomen teollisuus voi yhdistää oman osaamisensa muualta lisensioituun pohjaan.
- Rakennetaan syntyvän ICT-alueen SHOK:n yhteyteen geneerinen osaamiskeskittymä, joka hyödyntää laskennallista tiedettä sekä tarjoaa parhaille nuorille lahjakkuuksille mahdollisuuden rekrytoitua huippuyksiköihin ja osalle tutkijoista edelleen mahdollisuuden siirtyä yliopistoista osaamiskeskittymän kautta elinkeinoelämän palvelukseen.

# Liite A: Esimerkkejä laskennallisen tieteen sovelluskohteista

## 1. Fuusioreaktorin mallintaminen

Fuusioenergia pystyy kattamaan maailman energiatarpeen, mutta sen kaupallinen toteuttaminen vaatii fuusioplasman turbulenssin tukahduttamista riittävän matalalle tasolle sekä sellaiset seinämämateriaalit, jotka kestävät riittävän kauan seinämään kohdistuvaa valtavaa lämpötilaa. Sekä fuusioplasmaa että seinämämateriaaleja voidaan tutkia laskennallisin menetelmin.

## 2. Tehokkaampien syöpälääkkeiden kehittäminen

Lääkekehityksessä etsitään laajojen simulaatioiden avulla uusia molekyyliä, joilla on vaikutusta elimistön toimintaan. Molekyylien vuorovaikutusten tutkimisella on sovelluksia diagnostiikan ja lääkekehityksen lisäksi myös aineiden vaarallisuuden arvioinnissa. Syöpälääkkeiden kehitys on yksi hyvin tärkeä osa-alue tässä tutkimuksessa.

## 3. Globaalit epidemiamallit: taudin puhkeaminen kaupungissa, lentoliikenneverkoston vaikutus

SARS ja lintuinfluenssa korostavat tarvetta mallintaa ja simuloida tauti-infektioiden, epidemioiden ja pandemioiden kehittymistä. Mallit perustuvat vastustuskyvyttömiä, tartuttavia ja vastustuskykyisiä yksilöitä kuvaaviin osapopulaatioihin ja niiden välisiin muutoksiin. Uusimmat mallit huomioivat hyvin tarkasti koko sosiaalisen verkoston, esimerkiksi kaupungin rakenteen tiestöineen, kouluineen, kauppoineen ja työpaikkoineen (Portland, Chicago) tai koko maailmanlaajuisen lentoliikenneverkoston matkustajavolyymeineen ja aikatauluineen. Mallit mahdollistavat tautien leviämisen ennustamisen paikallisesti ja globaalisti, ja ehkäisevien toimenpiteiden suunnittelun ja päätöksenteon sairaaloissa, kaupungeissa sekä kansallisesti että kansainvälisesti. Samantyyppiset sosiaalisten verkkojen mallit ovat hyödynnettävissä kaupunkisuunnittelussa, markkinoinnissa ja informaation (tai esimerkiksi mielipiteiden) levittämisessä.

## 4. Mp3-musiikki

Mp3-formaatissa tarjottu musiikki tarjoaa esimerkin laskennallisen tekniikan ja sovellusalueen symbioosista. Mp3-standardi on muuttanut musiikkialan liiketoimintamalleja ja mahdollistanut uusia tuotekonsepteja. Menestyksen ytimestä löytyy toimivaksi osoittautunut pakatun äänisignaalin esitystapa, joka mahdollistaa erilaisten, kulloisenkin signaalin psykoakustisia piirteitä kunnioittavien, pakkausalgoritmien käytön niin, että pakatun signaalin käyttö on mahdollista vakioidulla purkualgoritmilla, joka on laskennallisesti riittävän kevyt toteutettavaksi pienissä ja halvoissa soittimissa. Pelkästään menetelmän lisenssinhaltijoille kyse on satojen miljoonien eurojen liiketoiminnasta. Laitevalmistajille ja sisällöntuottajille kyseessä on luonnollisesti vielä huomattavasti merkittävämpi toiminta.

## 5. Telediagnostiikka

Nykyaikainen elektroniikka, mobiilitekniikka ja kuvaviestien välitys ovat Suomen kannalta tärkeä innovaation kenttä. Kameran ja digitaalisen kuvankäsittelyn yhdistelmällä voidaan luoda näköjärjestelmä, jossa mekaaninen laite oppii havaitsemaan kuvista yksityiskohtia ihmissilmän korvaten. Teknologia nojaa mallinnukseen, signaalinkäsittelyyn ja laskentaan. Tunnistuksella on kasvava määrä soveltamiskohtia. Huoneilman haitalliset homesieni-itiöt heikentävät terveyttä. Ilman laadun seuraamiseksi rakennusten ilmaa suodatetaan ja suotiimeen jääviä hiukkasia tutkitaan mikroskoopilla. Automaattinen tunnistusjärjestelmä, joka havaitsee mikroskooppikuvasta homesienen itiöt, on hyvä apuneuvo. Vastaavia tehtäviä ovat bakteerinäytteiden analysointi lääketieteen laboratoriossa otetusta soluviljelyistä, tai syöpäsolujen ja epänormaalien solukon tunnistus kudoksenäytteistä.

## 6. Mittaus- ja instrumenttitekniikka

Erilaisten herkkien aistielinten, anturien ja mittausjärjestelmien kehitys on syntynyt puolijohdeiden, mikroelektroniikan, uusien materiaalien, optiikan sovellusten ja tietotekniikan yhteistuloksena. Kehitystyö nojaa laskennallisiin menetelmiin. Tyypillinen esimerkki on mikroskaalan komponenttien suunnittelu sekä materiaalien ja työstömenetelmien mallintaminen. Mittausten tietojenkäsittely on matemaattinen haaste erityisesti silloin, jos mitattava suure päätellään epäsuorasti havaituista suureista. Tällainen on mikroliuskan taipumiseen perustuva kiihtyvyyssanturi tai optisesti herkän materiaalin värimuutoksiin perustuva anturi. Erityisen haastava tiedonkäsittelyn ongelma ovat kuvantamis- ja tomografiasovellukset sekä kohdetta rikkomattomat testimenetelmät.

## **7. Ympäristötiedon, bioenergiavarojen ja raaka-aineiden kaukokartoitus**

Matemaattinen mallinnus kytketään yhä useammin havaintodatan tulkintaan. Esimerkkinä tästä on luonnonvarojen, kuten metsän ja muun biomassan sekä metallipitoisten malmioiden kaukokartoitus. Energian ja raaka-aineiden lähteitä voidaan epäsuorasti havaita lentokoneesta tai satelliiteista, mutta tällaisten mittausten tulkinta biomassana tai metallin määränä on mahdollista vain, kun mittausdata kytketään etsityn raaka-aineen säteilykäyttäytymistä kuvaavaan malliin. Mittaukset ja malli kytketään optimaalisesti toisiinsa bayesilaisin tilastotieteellisin menetelmin. Otsonikerroksen paksuutta ja maailman metsävaroja ja niihin sitoutunutta hiilen määrää seurataan samankaltaisin matemaattisin menetelmin.

## **8. Metsät ja nanoskaalan aerosolit, tulevan ilmastomme tekijät**

Aerosolihiukkasten vaikutus ilmastomuutokseen sisältää epävarmuustekijöitä, joista yksi on metsien yhteyttäessään tuottamien terpeenien vaikutus pilvipisaroiden kasvuun. Tähän osallistuu koko havumetsävyöhyke hyvin oleellisesti, jopa tehokkaammin kuin sademetsä. Alle kymmenen nanometrin kokoisten hiukkasten kasvun ja kulkeutumisen mallit täytyy kytkeä ilmakehämalliin, hydrologiseen malliin ja biosfäärimalliin, jotta voidaan selvittää niiden kokonaisvaikutusta maailmanlaajuiseen ilmastomuutokseen.

## **9. Maailmankaikkeuden iän ja koostumuksen määrittäminen tarkasti satelliittihavainnoista**

Euroopan avaruusjärjestön ESA:n Planck-satelliitti laukaistaan avaruuteen vuonna 2007. Se kartoittaa tarkasti, minkälaista on 300 000 vuoden ikäisessä maailmankaikkeudessa syntynyt säteily, joka nykyään havaitaan mikroaaltoalueella. Monimutkaisen tietokonelaskun avulla tästä taivaanpallon säteilykartasta saadaan selville maailmankaikkeuden ”perusarvot”: muun muassa maailmankaikkeuden ikä, tavallisen aineen sekä koostumukseltaan toistaiseksi tuntemattoman aineen ja energian määrät sekä miten maailmankaikkeus on laajentunut. Suomalaiset huippututkimusryhmät osallistuvat tähän avaruusyhteistyöhön. Tietokonelaskennasta huomattava osa on tarkoitus tehdä suomalaisvoimin.

## **10. Elintarviketeollisuuden laadunvarmistus**

Elintarviketeollisuus sisältää kriittisiä laadunvalvonnan prosesseja, kuten liha- ja kalajalosteiden pakastus, oluen pastörointi sekä viljankuivurin ohjaus. Näitä tutkitaan matemaattisen mallinnuksen avulla. Haasteena on kuvata lihapullien jäätymistä, mikrobikannan muodostumista tai kuumen ilmapirran etenemistä rakeisen jyvämangan läpi. Tölkkeihin pakattujen ja pitkään varastoitavien elintarvikkeiden käyttöturvallisuutta kehitetään matemaattisten mallien tuella. Haasteena on kuvata materiaalissa käynnistyvät haitalliset biokemialliset prosessit ja toisaalta kuvata niiden ehkäisemiseen tarkoitettujen toimenpiteiden vaikutus. Sterilointitekniikat käyttävät joskus lämpöä, joskus säteilyä, joskus desinfiivia kemikaaleja. Kaikille on yhteistä tarve mallintaa prosessi ja optimoida oikea annostus.

## 11. Prosessidiagnostiikka

Suomen metsä- ja kemianteollisuuden kilpailukyky riippuu mallinnus-, simulointi- ja diagnostiikkamenetelmien soveltamisesta prosesseihin. Mittausanturit tuottavat monikanavaista mittaustietoa lukuisista prosessin vaiheista. Joskus tieto on epäsuoraa. Mitattavista suureista haluttaisiin päätellä sisäisten tilasuureiden arvoja. Prosessimalli, sen ajallinen kulku ja sen dynamiikka on tärkeä mallinnuskohde. Samanaikaisesti mitattavia suureita on useita. Haasteena on ymmärtää ja tulkita moniulotteista signaalia, kuvata siinä esiintyviä riippuvuuksia ja havaita oleellisia prosessin tilaa kuvaavia tapahtumia.

## 12. Puun kuivuminen

Puutavaran kuivuminen on Suomen teollisuuden kannalta miljoonien eurojen arvoinen kysymys. Puun kuivumista kokevan matemaattisen mallin tulee kuvata veden etenemistä väliaineessa, joka on vahvasti anisotrooppinen. Vesi kulkeutuu helpommin puukuitujen suunnassa ja paljon huonommin niiden poikki. Lisäksi itse kuivumistapahtuma saattaa muuttaa veden kulkeutumisen ehtoja ja ongelmaan tulee epälineaarisia piirteitä. Onnistuessaan tällaisen puun kuivumisen mallin tuloksena voisi olla puukuivurin optimaalisen lämpötilaohjauksen ohjelma. Kuivatustapahtuman oikealla ohjauksella varmistetaan puutavaran laatu. Tämä on tärkeää huonekalujen, parketin ja muiden rakennusosien valmistuksessa.

## 13. Säättösovellukset

Suomen prosessiteollisuuden kannalta keskeinen kehityksen alue ovat vaativat säättösovellukset. Paperikoneen prosessimallinnus, prosessidiagnostiikka ja laatusäädöt ovat kansallisesti tärkeä ja laskennallisesti haastava kehityskohde. Itse säättöjärjestelmän diagnostinen tarkastelu sen suorituskyvyn arvioimiseksi ja käytönaikaisen ylläpidon kehittämiseksi tuottaa matemaattisen simuloinnin, signaalitutkimuksen ja laskennan kannalta haastavia kysymyksiä.

## 14. Parempaa, nopeammin, halvemmalla virtausten laskennan avulla

Virtauslaskenta on keskeinen työkalu pyrittäessä parantamaan esim. puunjalostus-, metalli- ja kemianteollisuuden prosesseja. Tavoitteina ovat energian säästö, saannon lisääminen, valmistuksen nopeutus tai laadun nostaminen. Teollisuuden tarpeet heijastuvat myös yliopistoihin soveltavana tutkimuksena. Lisäksi virtauslaskennassa ilmenevän turbulenssin tarkka mallinnus on laskennallisesti hyvin raskasta.

## **15. Liikennevirran dynaaminen ohjaus**

Liikenneverkon sujuvuus on merkittävä tekijä erityisesti metropolialueilla. Verkon toimintaa säädetään esim. valo-ohjauksella. Mallin avulla voidaan tutkia kaupunginosan ja usean valoristeyksen ja korttelin muodostaman järjestelmän toimivuutta. Nykyaikainen suomalainen mobiiliteknologia mahdollistaa reaaliaikaisen tiedon saamisen ajoneuvojen liikkeistä ja mahdollistaa liikenteen dynaamisen mallintamisen ja tulevaisuudessa ohjauksen.

## **16. Uudet ympäristöystävälliset sellunvalkaisukemikaalit**

Uusi ympäristöystävällinen aktiivihapteen perustuva sellunvalkaisuprosessi vaatii aktiivihapen stabilointiaineita. Nykyiset kemikaalit irrottavat jätevesien mukana luonnosta raskasmetalleja ja siksi korvaavia aineita etsitään. Uusien stabilisaattorien kehittäminen vain kokeellisen kemian menetelmin on hidasta ja kallista. Laskennallisia menetelmiä voidaan käyttää uusien molekyylien suunnittelussa sekä ymmärtämään valkaisuprosessin yksityiskohtia. Korkean teknologian paperikemia on myös kansallisesti tärkeä teollisuudenala.

## **17. Kieliteknologia ja tietokone-lingvistiikka**

Moderni humanistinen ja yhteiskuntatieteellinen tutkimus vaatii kykyä luoda ja hallita suuria tietomassoja sähköisessä toimintaympäristössä. Sähköiset aineistot edellyttävät uutta metodista tarkastelutapaa ja uudenlaista osaamista kaikilla tieteenaloilla. Laskennallisella tieteilä on keskeinen asema uudistuvassa tutkimuskulttuurissa. Suomesta löytyy merkittävää osaamista kieliteknologiasta ja tietokone-lingvistiikasta, joka tutkii kieleen kohdistuvaa ja sitä hyväksikäyttävää teknologiaa. Suomen kaltaisen pienen kielen säilymiselle on tärkeää pystyä hyödyntämään laskennallisen lähestymistavan tarjoamia mahdollisuuksia. Kieliteknologiaa tarvitaan muun muassa dokumenttien ja tekstimuotoisen tiedon hallinnassa, tiedonhaussa, tekstien automaattisessa indeksoinnissa ja dokumenttien luokittelussa. Tutkimusalueeseen liittyy myös puhesynteesi ja automaattinen puheentunnistus sekä automaattinen kielenkääntö.

## **18. Paleontologia: fossiilihavaintojen järjestely**

Paleontologisessa tutkimuksessa tarvitaan menetelmiä ajan ja paikan suhteen moniulotteisen datan analysointiin. Aineisto voi olla esimerkiksi hammasfossiililöydöistä kerättyä dataa, josta pyritään selvittämään löytöpaikkojen maantieteellistä klusteroitumista ja klustereiden ominaisuuksia. Laskennallisin menetelmin voidaan määrittää löytöpaikkojen aikajärjestys ja selvittää lajiston maantieteellistä kehittymistä.



## 19. Prosessien ja tuottavuuden kehittäminen

Logistiset prosessit, kuten toimitusketjujen hallinta ja käytettävän kaluston ja reittien suunnittelu, ovat huomattavan kompleksisia ja samalla yhteiskunnallisesti erittäin merkittäviä toimintoja. Liiketoiminta- ja työprosessit ovat diskreettejä aikariippuvia järjestelmiä, joissa on löydettävissä toimialakohtaisia malleja. Informaatio- ja kommunikaatioteknologioiden (ICT) avulla on mahdollista muuttaa näitä prosesseja siten, että niiden tuottavuus nousee. Parhaat muutostavat erityyppisissä prosesseissa ovat huonosti tunnettuja. Muutosten mallinnus vaatii kehittyneitä laskennallisia menetelmiä, jotka ovat osoittautuneet välttämättömiksi apuvälineiksi niin yritysten kuin koko yhteiskunnan näkökulmasta. Optimointimalleja sovelletaan tietoliikenteessä, valmistusteollisuudessa, terveydenhuollossa, joukkoliikenteessä ja julkisella sektorilla. Optimoinnin avulla on osoitettu saatavan huomattavia tehokkuuden lisäyksiä (jopa useiden kymmenien prosenttien kustannussäästöjä) ja useita muitakin etuja. Prosessien kehitystyön taloudellinen merkitys on suuri. Esimerkiksi 10 prosentin tuottavuuden lisäys suomalaisissa palveluissa on arvoltaan noin 10 miljardia euroa vuodessa.

## 20. Sijoitusportfolioiden hallinta sekä johdannaisten hinnoittelu

Rahoitusjohdannaisilla on monia ominaisuuksia, joiden avulla saadaan aikaiseksi halutun kaltainen riski-tuotto -strategia. Johdannaisinstrumenttien merkitys on korostunut rahoitusriskien hallinnassa ja sijoittamisessa laskentakapasiteetin kasvamisen myötä, sillä näiden instrumenttien laskenta on raskasta, mutta toisaalta tulosten on oltava tarkkoja ja ne tulee saada nopeasti. Laskenta mahdollistaa epärealististen oletusten purkamisen myötä entistä luotettavimpien tulosten saamisen. Laskennallisen tieteen rooli on tärkeä myös stokastisen optimoinnin osa-alueella, jota sovelletaan esimerkiksi varojen ja vastuiden hallintaan (*asset-liability management*) sekä portfolioiden optimointiin.

# Liite B: Tiedealakohtaisia kehittämiskohteita

## **Esimerkki 1: Laskennallinen geotiede**

Laskennallinen geotiede pyrkii tarkkaan ja tehokkaaseen maanalaisten, maan pinnan ja ilmakehän prosessien mallinnukseen. Tämä vaatii usein monen tieteenalan yhteistyötä mukaan lukien ilmakehätieteet, geotieteet, matematiikka, tekniikka, kemia ja fysiikka. Laskennallisen geotieteen osa-alueita ovat mm. mallinnus, simulointi, data-analyysi, visualisointi sekä tehokas grid- ja rinnakkaislaskenta.

Laskennallista geotiedettä tarvitaan monimutkaisten luonnonilmiöiden ymmärtämiseen. Tehokkaita tietokoneita ja laskentamenetelmiä käytetään esimerkiksi tulivuorten toiminnan simulointiin, kasvihuonekaasujen vaikutusten tutkimiseen, laattatektoniikan mallinnukseen ja luonnonvarojen kartoitukseen. Laskennallinen geotiede tarvitsee simuloivia, ennustavia malleja yhtä lailla kuin työkaluja epävarmuuden ja epätarkkuuden huomioimiseen malleissa. Laskennallisen geotieteen mallit antavat luontaisen väylän, jonka kautta a priori -tieto ja teoreettinen ymmärrys kehittyvän systeemin käyttäytymisestä voidaan yhdistää ja tuottaa synteettisiä tuloksia kaikista mallin sisältämistä muuttujista kaikkina simuloinnin ajankohtina.

Laskennallinen geotiede on monen suuren haasteen edessä. Ilmastonmuutos on yksi tärkeimmistä tutkimuskohteista, joka tarvitsee suurta laskentatehoa ja valtavia datavarastoja ja data-analyysiä. Moniskaalaisen kokonaisuuden kytkeminen yhteen vaatii sekin uusia innovaatioita.

Ilmastonmuutostutkimuksessa korostuu yhä enemmän kansainvälisen kokonaisvaltaisen tutkimuksen tarve, niin sanottu *Earth System Science* -tutkimus, jossa koko maapalloa käsitellään ilmakehän, maan ja valtamerien systeeminä. Vuorovaikutukset ja erityisesti takaisinkytkennät ovat tärkeitä selvitettäessä eri puolilla maailmaa tapahtuvan ihmisen toiminnan vaikutusta maapallon toimintaan. Tässä tutkimuksessa tarvitaan lisääntyvässä määrin laskennallisen tieteen menetelmäosaamista ja uusien laskennallisten menetelmien kehittämistä sekä monialaista tutkimusta ja kansainvälisten tutkimusryhmien yhteistyötä.

## Esimerkki 2: Humanistiset tieteet ja yhteiskuntatieteet

Humanistisissa tieteissä ja yhteiskuntatieteissä on käytetty tietotekniikkaa, mutta ei kokonaisvaltaisella tavalla. Laskennallisella tieteellä ei ole kovin merkittävää asemaa, ja koulutus on näiltä osin puutteellista.

Humanistisissa tieteissä Suomen on tarpeen osallistua eurooppalaiseen ja yhdysvaltalaiseen *eHumanities*-hankkeisiin. Kansallisia osaamisalueita laskennallisessa tieteessä ovat muun muassa kieliteknologia (tietokone-lingvistiikka) ja arkeologia, jossa käytetään kolmiulotteista mallintamista ja luonnontieteiden ajoitus- ja tutkimusmenetelmiä.

Historia- ja perinnetieteet kykenevät käyttämään tehokkaasti hyväkseen suuria aineistoja, jos keskeiset aineistot digitoidaan. Haasteena on aineistojen pysyvä säilyttäminen ja tietopalvelujen turvaaminen luoduista aineistoista.

Humanistisissa tieteissä, yhteiskuntatieteissä ja luonnontieteissä on huomattavan paljon samankaltaista problematiikkaa liittyen tutkimusaineistojen käsittelyyn ja analyysiin, esimerkiksi tiedonkeruun, standardisoinnin ja jakelun toteuttaminen. Ratkaisuja tulee kehittää kansainvälisenä yhteistyönä, jotta ne ovat varmasti yhteensopivia.

# Liite C: Käsitteistöä

## **Biopankki (European Biobanking and Biomolecular Resources)**

Biopankki (Biobanking) on ESFRIn tiekartalle valittu hanke, joka verkostoi olemassa olevia biomolekulaarisia aineistoja ja muita biopankkeja. Biopankit sisältävät epidemiologista, kliinistä, biologista ja muuta vastaavaa tietoa terveistä ja sairaista ihmisistä. Hanke tuottaa infrastruktuurin, joka sisältää laajoja hyvin dokumentoituja ja ajantasaisia tietokantoja sekä bioinformatiikan työkaluja tukemaan globaalia biolääketieteen tutkimusta.

## **CLARIN (Common Language Resource and Technology Initiative)**

CLARIN on yksi ESFRI-prosessin tiekartalle valituista hankkeista. Sen tarkoituksena on saattaa tietokoneen muodossa olevia kieliresursseja, kuten tekstejä, sanastoja, puhetta ym. kielitieteilijöille ja muille tutkijoille helposti saataville ja käytettäväksi. CLARIN ratkaisee aineistojen ja tiedon pirstoutumisen, yhteensopivuuden ja yhteiskäytön ongelmia, jotka nykyisellään hidastavat ja hankaloittavat resurssien käyttöä ja niiden kehittämistä.

## **CSC**

Opetusministeriön hallinnoima Tieteen tietotekniikan keskus CSC tarjoaa ja kehittää tietotekniikan palveluja tutkimuksen, opetuksen ja hallinnon tarpeisiin. Asiakkaita ovat yliopistot, ammattikorkeakoulut, tutkimuslaitokset ja yritykset.

## **DEISA (Distributed European Infrastructure for Supercomputing Applications)**

DEISA on EU:n kuudennen puiteohjelman rahoittama projekti. Projektin päämääränä on yhdistää Euroopan suurimpien tietokonekeskusten superkoneet yhtenäiseksi laskentaklusteriksi. Projekti alkoi vuonna 2004 ja päättyy 2008.

## **DIMES**

DIMES on kansallinen organisaatio, joka verkostoi laajasti Suomalaisia ICT-alueen toimijoita ja yrityksiä Suomessa sekä kansainvälisesti

## **EBI (European Bioinformatics Institute)**

Euroopan bioinformatiikan instituutti Hinxtonissa, Cambridgessa (UK).

## **EGEE II (Enabling Grids for E-sciencE)**

Enabling Grids for E-sciencE on EU:n kuudennen puiteohjelman rahoittama projekti, jonka päämääränä on rakentaa viimeisintä teknologiaa käyttäen tutkijoille seitsemän päivää viikossa 24 tuntia vuorokaudessa toimiva grid. Projekti käynnistyi 2004 ja siihen osallistuu yli 30 Euroopan maata. Sen toinen vaihe päättyy 2008.

## **EGI (European Grid Initiative)**

EGI on EGEE II projektin ympärille rakennettu valmisteluryhmä, joka pyrkii yhdistämään Euroopan maiden kansalliset Grid-aloitteet yleiseurooppalaiseksi infrastruktuuriksi.

## **eIRG (eInfrastructure Reflection Group)**

eIRG on EU:n komission asiantuntijaelin, joka tukee eurooppalaisten hajautettujen laskenta-, tallennus- ja verkkoresurssien käyttöä valmistelemalla korkean tason poliittisia kannanottoja (<http://www.e-irg.org/>).

## **eScience**

eScience on tutkimusta, joka käyttää vahvasti hyväkseen tietotekniikan uusia välineitä sekä sähköisen kommunikaation ja erityisesti Internetin luomia mahdollisuuksia.

## **ESFRI (European European Strategy Forum on Research Infrastructures)**

ESFRI:n toiminta tähtää hyvin perusteellisen aloitteen tekemiseen EU:lle tieteen infrastruktuurien priorisoinnista 15–20 vuoden aikaperiodilla. ESFRI:ssä on edustajat kustakin jäsenmaasta. ESFRI-toiminnalla on periaatteessa pitkä aikajänne, mutta sen julkaisemisessa suosituksissa korostuvat EU:n tutkimuksen 7. puiteohjelman hankkeet.

## **Grid-infrastruktuuri**

Tässä muistiossa ”grid” käsitetään laajassa merkityksessä, osana tutkimuksen infrastruktuuria. Sillä tarkoitetaan tietoverkon kautta saavutettavissa olevia tutkimuksen kannalta oleellisia fyysisiä tietokone-, havainto- ja mittauslaitteita, tietovarastoja ja -aineistoja sekä näihin liittyviä erilaisia palveluja (analyysi, visualisointi jne.). Esimerkkejä grid-komponenteista ovat mm. tutkimuksen tietokoneet, mittausasemat, datavarastot, elektroniset kirjastot ja arkistot, tietokannat, laskentapalvelimet, näiden edellyttämät tietoverkot sekä teknisiä ja tukipalveluja tuottavat tutkijayhteisöt. Tyypillinen piirre grid-järjestelmälle on tarve tallentaa ja käsitellä erittäin suuria tietomääriä siten, että ne ovat maantieteellisesti hajautetun tutkijaverkoston käytettävissä. Grid-järjestelmät voivat olla osin geneerisiä (sama infrastruktuuri palvelee usean tieteenalan tutkijoita) tai tieteenalakohtaisia (infrastruktuuri, tukiohjelmistot ja muut palvelut suunnatut yhden tieteenalan tutkijoille).

## **HET (High Performance Computing in Europe Taskforce)**

HET on EU:n jäsenmaiden edustajista koottu asiantuntijaryhmä, joka suunnittelee Euroopan tulevaisuuden suurteholaskennan infrastruktuuria.

## **Immateriaalioikeudet**

Immateriaalioikeuksilla (Intellectual Property Rights, IPR) tarkoitetaan aineetonta omaisuutta, joka on suojattavissa tekijän- tai teollisoikeuksin.

## **Innovaatio**

Innovaatio tarkoittaa uutta osaamista, tietoa tai teknologista oivallusta, joka voidaan ottaa käyttöön tieteellisen toiminnan ohella myös liiketoiminnassa tai yhteiskunnallisessa kehittämisessä. Innovaatio voi olla myös organisatorinen, sosiaalinen tai rahoituksellinen uusi toimintamalli, joka otetaan käyttöön ja jolla saavutetaan taloudellista, laadullista tai yhteiskunnallista hyötyä.

## **Laskennallinen tiede (computational science)**

Laskennallinen tiede on yleisnimitys tutkimustyön kolmannelle moodille, kokeellisen (tai havainnoivan) ja teoreettisen tieteen rinnalle. Se sisältää mallien kehittelyn, algoritmit ja numeerisen toteuttamisen sekä laskennan tai datamassojen analyysin kautta saadun tiedon jatkojalostuksen. Laskennallinen tiede spesifoidaan usein kohdealueensa mukaisesti: laskennallinen fysiikka, kemia, biologia jne. Laskennallinen lähestymistapa sisältää toisaalta paljon geneerisiä aineksia, mistä syystä se on myös kehittynyt yhtenäisenä tieteenalana omine julkaisufoorumeineen ja konferensseineen.

## **MaDaMe-ohjelma**

Suomen Akatemia rahoitti vuosina 2000–2003 matemaattisten menetelmien ja mallien kehittämisen tutkimusohjelmaa (MaDaMe) 5,6 miljoonalla eurolla.

## **LUMA-ohjelma**

Matematiikan ja luonnontieteiden kehittämisohjelma 1996-2002.

## **MASI (Mallinnus ja simulointi)**

Tekesin MASI-teknologiaohjelma (Mallinnus ja simulointi) käynnistyi tammikuussa 2005. Ohjelmassa kehitetään mallinnuksen ja simuloinnin osaamista ja menetelmiä sekä viedään niitä suomalaisen elinkeinoelämän hyödynnettäväksi.

## **M-grid**

Materiaalitutkimuksen kansallinen grid-infrastruktuuri (M-grid) on CSC:n, seitsemän suomalaisen yliopiston sekä HIP:n yhteinen hanke, jossa on rakennettu tietokoneverkosto kytkemällä eri paikkakunnilla sijaitsevat klusterilaitteistot yhteen laskentajärjestelmäksi. Hankkeessa hyödynnetään Pohjoismaissa kehitettyä grid-teknologiaa ja ARC-väliohjelmistoa. Järjestelmään kuuluu lähes 2000 tehokasta prosessoria.

## **Menetelmätieteet**

Menetelmätieteillä tarkoitetaan tässä yhteydessä tieteenaloja, joissa perustutkimuksen lisäksi kehitetään yleisiä tutkimuksen välineitä ja menetelmiä, esimerkkeinä matematiikka, tilastotiede ja tietojenkäsittelytiede.

## **Monitieteellisyys (multidisciplinarity)**

Monitieteellisyydellä tässä yhteydessä tarkoitetaan toimintaa, jossa usean eri tieteenalan tutkijat tutkivat yhteistyössä samaa ongelmaa. Esimerkkejä tällaisesta tutkimusyhteistyöstä ovat monimittakaavainen materiaalitutkimus ja systeemibiologia.

## **NDGF (Nordic Data Grid Facility)**

Nordic Data Grid Facility on pohjoismaisten tutkimusrahoitusorganisaatioiden hanke. NDGF suunnittelee ja valmistele pohjoismaista grid-infrastruktuuria erityisesti LHC-toimintaa silmälläpitäen.

## **NESSI**

NESSI on eurooppalainen teknologia-aloite ns. teknologiyhteistyö (*technology platform*), jolla kehitetään ohjelmistoja ja niiden mahdollistavia palveluita.

## **Poikkitieteellisyys (transdisciplinarity, crossdisciplinarity)**

Poikkitieteellisyydellä tässä yhteydessä tarkoitetaan toimintaa, jossa jokin tieteenala hyödyntää muiden tieteenalojen menetelmiä. Esimerkiksi laskennallinen nanotiede käyttää numeerisen matematiikan menetelmiä materiaalfysiikan ja -kemian tutkimukseen.

## **Strategisen huippuosaamisen keskittymät (SHOK)**

Strategisen huippuosaamisen keskittymät ovat Tiede- ja teknologianeuvoston ehdottamia kansainvälisesti korkeatasoisia ja kilpailukykyisiä sekä elinkeinoelämän ja yhteiskunnan tulevaisuuden kannalta merkittäviä osaamiskeskittymiä ja tutkimuksen huippuyksiköitä.

## **Tietojenkäsittelytiede (computer science)**

Tietojenkäsittelytiede on kehittynyt sovelletusta matematiikasta dataa, tietoa ja niiden muokkaamista laajasti tutkivaksi toiminnaksi. Sen yhä levenevä kirjo käsittää alueita formaalista logiikasta algoritmeihin, ohjelmointikieliin, tietojärjestelmiin sekä aina ihmisen ja tietokoneen väliseen vuorovaikutukseen.



# Liite D: Viitteet

- Valtioneuvoston periaatepäätös julkisen tutkimusjärjestelmän rakenteellisesta kehittämisestä. [http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Tiede/tiede-\\_ja\\_teknologianeuvosto/erillisraportit/liitteet/periaatepaatos\\_2005.pdf](http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Tiede/tiede-_ja_teknologianeuvosto/erillisraportit/liitteet/periaatepaatos_2005.pdf)
- Tiede, teknologia, innovaatiot. Tiede- ja teknologianeuvosto. [http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Tiede/tiede-\\_ja\\_teknologianeuvosto/julkaisut/liitteet/Linjaraportti\\_2006.pdf?lang=fi](http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Tiede/tiede-_ja_teknologianeuvosto/julkaisut/liitteet/Linjaraportti_2006.pdf?lang=fi)
- Suomen eScience-ohjelma. Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2007:7. [http://www.minedu.fi/OPM/Julkaisut/2007/Suomen\\_eScience\\_ohjelma.html?lang=fi](http://www.minedu.fi/OPM/Julkaisut/2007/Suomen_eScience_ohjelma.html?lang=fi)
- Yliopistojen tutkimustulosten hyödyntäminen. Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2007:10. [http://www.minedu.fi/OPM/Julkaisut/2007/Yliopistojen\\_tutkimustulosten\\_hyxdyntxminen\\_.html?lang=fi](http://www.minedu.fi/OPM/Julkaisut/2007/Yliopistojen_tutkimustulosten_hyxdyntxminen_.html?lang=fi)
- Sektoritutkimustyöryhmän mietintö. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 21/2006. <http://www.vnk.fi/julkaisukansio/2007/j01-sektoritutkimustyoeryhmaen-mietintoe/pdf/fi.pdf>
- Computational Science: Ensuring America's Competitiveness, President's Information Technology Advisory Committee (PITAC). [http://www.nitrd.gov/pitac/reports/20050609\\_computational/computational.pdf](http://www.nitrd.gov/pitac/reports/20050609_computational/computational.pdf)
- Office of Science Strategic Plan, Department of Energy. [http://www.science.doe.gov/sub/Mission/Mission\\_Strategic.htm](http://www.science.doe.gov/sub/Mission/Mission_Strategic.htm)
- International Review of Research Using HPC in the UK. <http://www.epsrc.ac.uk/CMSWeb/Downloads/Other/HPCInternationalReviewReport.pdf>
- Simulation-Based Engineering Science, NSF report, February 2006. [http://www.ices.utexas.edu/events/SBES\\_Final\\_Report.pdf](http://www.ices.utexas.edu/events/SBES_Final_Report.pdf)
- Catalyzing Inquiry at the Interface of Computing and Biology. <http://www.doegenomestolife.org/pubs/NRCComputingandBiology/index.shtml>
- Towards 2020 Science, Microsoft Research, 2006. <http://research.microsoft.com/towards2020science/>
- European Roadmap for Research Infrastructures, ESFRI, Report 2006. <http://cordis.europa.eu/esfri/roadmap.htm>
- Revolutionizing Science and Engineering Through Cyberinfrastructure, 2003. <http://www.nsf.gov/cise/sci/reports/atkins.pdf>

NESSI Strategic Research Agenda, 2006. [http://www.nessi-europe.eu/Nessi/Portals/0/Nessi\\_repository/Publications/Flyers/NESSI\\_SRA\\_VOL\\_3\\_2006\\_07.pdf](http://www.nessi-europe.eu/Nessi/Portals/0/Nessi_repository/Publications/Flyers/NESSI_SRA_VOL_3_2006_07.pdf)

NSF Facility Plan 2005. <http://www.nsf.gov/attachments/102806/public/NSFFacilityPlan.pdf>

About the UK eScience Programme (2001-2006). <http://www.rcuk.ac.uk/escience/default.htm>

eVita, eVitenskap i Norge (2004). <http://www.usit.uio.no/usit-rad/til-radet/evita/rapport.pdf>

Vetenskapsrådets guide till infrastrukturen, Sverige (2006). <http://www.vr.se/download/18.7bea596910e36c19cbc80001735/Rapport+14.2006.pdf>

Kortlægning af danske forskeres brug af og behov for større forskningsinfrastruktur (2005). <http://www.forskningsinfrastruktur.dk/>, [http://www.forskningsinfrastruktur.dk/FUTURE\\_RESEARCH.pdf](http://www.forskningsinfrastruktur.dk/FUTURE_RESEARCH.pdf)

European Technology Platforms (ETPs). [http://cordis.europa.eu/technology-platforms/home\\_en.html](http://cordis.europa.eu/technology-platforms/home_en.html)

A Roadmap For Mathematics in European Industry. <http://www.macsinet.org/newsletter.htm>

New and emerging themes in industrial and applied mathematics (NETIAM). <http://www.smithinst.ac.uk/Projects/NETIAM>

Creating an Innovative Europe, Aho Group Report. [http://ec.europa.eu/invest-in-research/action/2006\\_ahogroup\\_en.htm](http://ec.europa.eu/invest-in-research/action/2006_ahogroup_en.htm)

European Technology Platforms (ETPs). <http://cordis.europa.eu/technology-platforms/>

Enabling Europe to Innovate. Andrew Dearing. Science, 19 January 2007: 344-347.

Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology. Henry William Chesbrough. Harvard Business School Press, 2003.

Laskennallisten tieteiden koulutus- ja tutkimustoiminta, Pekka Neittaanmäki, Jyväskylän yliopisto, Tietotekniikan laitos, 2006.

Matemaattiset menetelmät suomalaisten yritysten t&k-toiminnassa. Heikki Haario, Matti Heiliö, Jari Järvinen ja Pekka Neittaanmäki. Tekes, 2001.

Sillanrakennuksesta lääkeainesuunnitteluun: Matemaattinen mallintaminen suomalaisissa yliopistoissa. Juha Haataja, Jari Järvinen ja Yrjö Leino. CSC 2000.

Laskennallinen tuotekehitys: suunnittelun uusi ulottuvuus. Juha Haataja, Jari Järvinen, Jari Koponen ja Peter Råback (toim.). CSC, 2000.

Alkuräjähdyksestä kännykkään – Näkökulmia laskennalliseen tieteeseen. Juha Haataja (toim.). CSC, 1998.

Telekommunikaation matemaattinen mallinnus suomalaisissa yliopistoissa. Yrjö Leino ja Ville Savolainen. CSC, 2001.

Moniskaalainen mallinnus eri tiedealoilla. Leila Puska. CSC, 2003.

Laskennallinen lääketiede ja lääketieteen tietotekniikka – poikkiteollista tutkimusta Suomessa. Satu Tissari. CSC, 2002.



OPETUSMINISTERIÖ

*Undervisningsministeriet*

MINISTRY OF EDUCATION

*Ministère de l'Éducation*

ISBN 978-952-485-352-1 (PDF)

ISSN 1458-8102

**Julkaisumyynti / Bokförsäljning**

Yliopistopaino / Universitetstryckeriet

PL 4 / PB 4 (Vuorikatu 3 / Berggatan 3)

00014 Helsingin Yliopisto / Helsingfors Universitet

puhelin / telefon (09) 7010 2363

faksi / fax (09) 7010 2374

books@yopaino.helsinki.fi

www.yliopistopaino.helsinki.fi