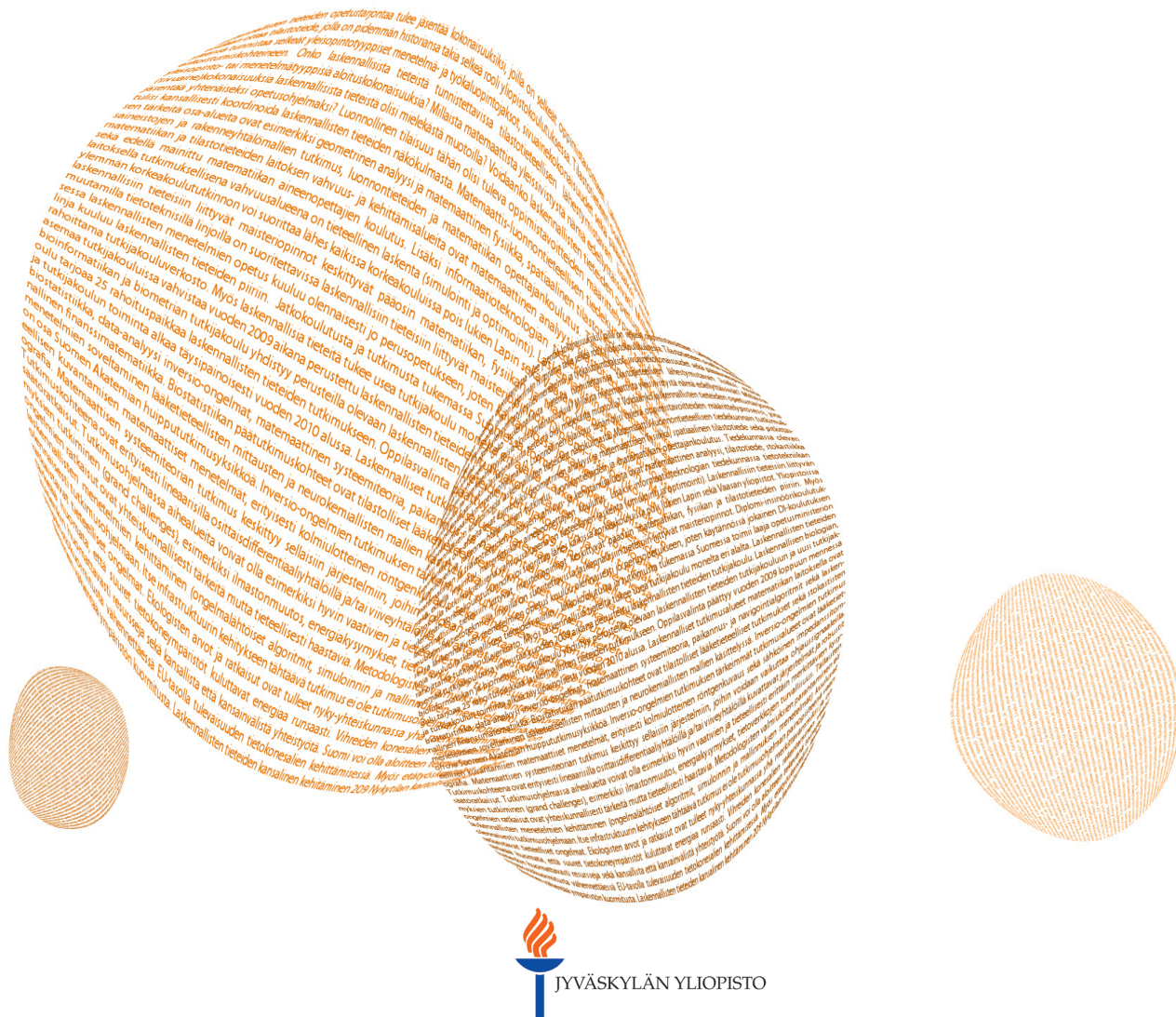


Pekka Neittaanmäki, Timo Tiihonen,  
Raino Mäkinen, Tuomo Rossi, Tero Tuovinen,  
Auri Kaihlavirta, Riku Hietaniemi, Esa Marttila

# LASKENNALLISTEN TIETEIDEN KANSALLINEN KEHITTÄMINEN 2009

## Nykytilan kartoitus



Editor: Raino Mäkinen

Technical Editor: Auri Kaihlavirta

# LASKENNALLISTEN TIETEIDEN KANSALLINEN KEHITTÄMINEN 2009

## Nykytilan kartoitus

Pekka Neittaanmäki, Timo Tiihonen,  
Raino Mäkinen, Tuomo Rossi, Tero Tuovinen,  
Auri Kaihlavirta, Riku Hietaniemi, Esa Marttila

Jyväskylän yliopisto  
Tietotekniikan laitos  
PL 35 (Agora)  
FI-40014 Jyväskylän yliopisto  
fax +358 14 260 2731  
<http://www.mit.jyu.fi>

Copyright © 2009

Pekka Neittaanmäki, Timo Tiihonen, Raino Mäkinen, Tuomo Rossi, Tero Tuovinen,  
Auri Kaihlavirta, Riku Hietaniemi, Esa Marttila ja Jyväskylän yliopisto

ISBN 978-951-39-3684-6

ISSN 1456-436X

Jyväskylän yliopistopaino, Jyväskylä 2009

# Laskennallisten tieteiden kansallinen kehittäminen 2009

## Nykytilan kartoitus

Pekka Neittaanmäki, Timo Tiihonen, Raino Mäkinen,

Tuomo Rossi, Tero Tuovinen, Auri Kaihlavirta,

Riku Hietaniemi, Esa Marttila

### **Tiivistelmä**

Tämä raportti on syntynyt osana opetusministeriön rahoittamaa laskennallisten tieteiden kansallinen kehittäminen 2009 -projektia. Raportissa esitellään laskennallisten tieteiden nykytila Suomessa koulutuksen, tutkimuksen ja infrastruktuurien suhteen. Laskennalliset tieteet ovat merkittävä osa nykyistä ja tulevaisuuden kehitystä innovaatioiden ja kilpailukyvyn suhteen. Yhä useampi ala tarvitsee laskennallisten menetelmien osaamista ongelmien muuttuessa yhä kompleksisemmiksi. Nykytilan kartoituksen perusteella selviää, että laskennallisten tieteiden kehittämisessä on selkeitä puutteita: maisterikoulutus ja sivuainekoulutus on hajanaista, infrastruktuurihankkeet toteutetaan irrallisina. Yhteistyötä eri organisaatioiden ja yksikköjen välillä tulisi kehittää, jotta osaaminen saataisiin paremmin jakoon ja päällekkäisyyksiä voitaisiin välttää. Näin tulevaisuuden haasteisiin päästäisiin vastaamaan tehokkaammin.

# Esipuhe

Laskennallisten tieteiden kehittäminen on todettu kansainvälisesti strategisesti tärkeäksi tekijäksi Suomen kilpailukyvyn kannalta, sillä laskennallisten tieteiden keinoin on mahdollista parantaa tutkimuksen ja tuotekehityksen tuottavuutta sekä kansainvälistä kilpailukykyä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa, Japanissa, Englannissa ja Kiinassa on panostettu laskennallisiin tieteisiin ja tekniikkaan, ja tämän nopeasti kehittyvään tutkimusalueen merkitys korostuu osaamis- ja tietointensiivisessä, globaalisti verkostoituneessa innovaatiojärjestelmässä.

Jatkuvasti lisääntyvät haasteet ratkaista yhä kompleksisempia tieteen ja teknologian ongelmia korostavat laskennallisten menetelmien keskeistä asemaa. Tietotekniikan nopea kehitys, menetelmäosaamisen kehittyminen sekä laajeneminen eri tutkimusalueilla helpottavat mahdollisuuksia entistä realistisempien mallien käyttöönottoon. Näin voidaan ratkaista entistä monimutkaisempia tutkimusongelmia ja usein myös vähentää tarvetta kalliiden kokeiden suorittamiseen. Analyysin, mallinnuksen, simuloinnin, optimoinnin sekä tiedonhallinnan avulla voidaan perehtyä asioiden riippuvuussuhteisiin sekä hallita suurempia kokonaisuuksia, riskejä ja epävarmuutta.

Jotta laskennallisia tieteitä voidaan täysipainoisesti hyödyntää, osaamista tulee kasvattaa kautta linjan peruskouluista tutkijoihin ja professoreista toimitusjohtajiin. On huolehdittava laskennallisen lähestymistavan vaatimien infrastruktuurien rakentamisesta, ylläpidosta sekä niiden tukipalveluista. Niin kansallista kuin kansainvälistäkin yhteistyötä on vahvistettava, ja yliopistojen tulee edistää laskennallisen tieteen tutkijanuramahdollisuuksia. Digitaalisten tietoaineistojen tuottamiseen ja infrastruktuureihin tulee panostaa opetusministeriön asettamien työryhmien esitysten mukaisesti.

Opetusministeriön asettama laskennallisten tieteiden kehittämistyöryhmä esitti keväällä 2007, että sekä opetusministeriö että muu julkinen sektori rahoittavat laskennallisten tieteiden hankkeita menetelmätieteissä ja sovellusalueilla vuosina 2009–2012. Tavoitteeksi asetettiin koulutuksen ja oppimissisältöjen kehittämistä peruskoulusta tutkijakouluihin, ammatillista täydennyskoulutusta, yhteistyön tiivistämistä laskennallisten tieteiden osaajien kesken yritys- ja yliopistomaailman välillä, teknisen infrastruktuurin kehittämistä sekä tietoisuuskampanjoita.

Opetusministeriö myönsi Jyväskylän yliopistolle laskennallisten tieteiden kansallinen kehittämisen koordinaatiovastuun vuodelle 2009. Käytännön koordinoituvastuun sai tietotekniikan laitoksen tieteellisen laskennan yksikkö. Nykytilan kartoitus -raportti on tuotettu osana tätä projektia ja on sidoksissa edellä mainittuihin tavoitteisiin ja esityksiin, mutta varsinaista toimeksiantajaa ja johtopäätösten tulkitsijaa tällä selvitystyöllä ei ole. Raportin aineisto on koottu kesän ja syksyn 2009 aikana. Raportti kuvaa laskennallisten tieteiden opetukseen ja tutkimukseen liittyvää nykytilaa kansallisella tasolla.

Raportin johtopäätösosiossa nostetaan esille muutamia aihepiirejä, joissa kansallisen tason yhteistyö olisi ajankohtaista. Tuleville vuosille yhteistyön koordinoinnille ei ole annettu erillisiä mandaatteja, joten haastammekin koko laskennallisten tieteiden yhteisön yhteistyön tiivistämiseen ja toivomme, että tähän raporttiin kerättyjä tietoja hyödynnetään aktiivisesti.

Joulukuussa 2009

Tietotekniikan laitos, Jyväskylän yliopisto

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä  
Esipuhe  
Sisällysluettelo

|   |    |
|---|----|
| <b>1 Johdanto</b>   | 9  |
| 1.1 Laskennallisten tieteiden määritelmä                            | 10 |
| 1.2 Laskennallisten tieteiden merkitys tulevaisuuden yhteiskunnassa | 11 |
| 1.3 Laskennallisten tieteiden haasteet                              | 11 |
| <b>2 Laskennalliset tieteet Suomessa</b>                            | 13 |
| 2.1 Laskennalliset tieteet Suomen yliopistoissa                     | 14 |
| 2.1.1 Helsingin yliopisto   | 14 |
| 2.1.2 Joensuun yliopisto  | 14 |
| 2.1.3 Jyväskylän yliopisto  | 14 |
| 2.1.4 Kuopion yliopisto   | 15 |
| 2.1.5 Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu                         | 15 |
| 2.1.6 Lapin yliopisto   | 16 |
| 2.1.7 Oulun yliopisto   | 16 |
| 2.1.8 Tampereen teknillinen yliopisto                               | 16 |
| 2.1.9 Tampereen yliopisto   | 16 |
| 2.1.10 Teknillinen korkeakoulu                                      | 17 |
| 2.1.11 Turun yliopisto  | 18 |
| 2.1.12 Vaasan yliopisto   | 19 |
| 2.1.13 Åbo akademi  | 19 |
| 2.2 Laskennalliset tieteet yliopistojen strategioissa               | 19 |
| 2.2.1 Helsingin yliopisto   | 19 |
| 2.2.2 Joensuun yliopisto  | 19 |
| 2.2.3 Jyväskylän yliopisto  | 19 |
| 2.2.4 Kuopion yliopisto   | 20 |
| 2.2.5 Lappeenrannan teknillinen yliopisto                           | 20 |
| 2.2.6 Oulun yliopisto   | 20 |
| 2.2.7 Teknillinen korkeakoulu                                       | 20 |
| 2.2.8 Turun yliopisto   | 20 |
| 2.2.9 Vaasan yliopisto  | 20 |
| 2.3 Yritysten ja organisaatioiden tilanne                           | 20 |
| <b>3 Laskennallisten tieteiden koulutus</b>                         | 22 |
| 3.1 Maisteriopetus  | 22 |
| 3.2 Jatkokoulutus   | 24 |
| 3.3 Tutkijakoulut   | 25 |
| 3.4 Sivuaaineopetus   | 27 |
| 3.5 Täydennyskoulutus   | 28 |
| 3.6 Toisen asteen koulutus  | 28 |
| <b>4 Laskennallisten tieteiden tutkimus</b>                         | 29 |
| 4.1 Helsingin yliopisto   | 29 |
| 4.2 Joensuun yliopisto  | 29 |
| 4.3 Jyväskylän yliopisto  | 30 |
| 4.4 Kuopion yliopisto   | 30 |
| 4.5 Lappeenrannan teknillinen yliopisto                             | 30 |
| 4.6 Oulun yliopisto   | 31 |
| 4.7 Tampereen yliopisto   | 31 |
| 4.8 Tampereen teknillinen yliopisto                                 | 32 |
| 4.9 Teknillinen korkeakoulu   | 33 |
| 4.10 Turun yliopisto  | 33 |
| 4.11 Vaasan yliopisto   | 34 |
| 4.12 Åbo akademi  | 34 |
| 4.13 FiDiPro-professorit  | 34 |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 4.14     | Kansalliset tutkimuslaitokset.....                               | 35        |
| 4.14.1   | Fysiikan tutkimuslaitos.....                                     | 35        |
| 4.14.2   | Helsinki Institute for Information Technology.....               | 35        |
| 4.14.3   | Ilmatieteen laitos.....  | 35        |
| 4.15     | Kansalliset tutkimusohjelmat.....                                | 35        |
| 4.15.1   | MASI - Mallinnus ja simulointi 2005–2009.....                    | 35        |
| 4.15.2   | LASTU - Laskennallisten tieteiden tutkimusohjelma 2010–2014..... | 35        |
| 4.15.3   | FinNano - Nanotieteen tutkimusohjelma 2006–2010.....             | 36        |
| 4.15.4   | Digitaalinen tuoteprosessi 2008 – 2012.....                      | 36        |
| <b>5</b> | <b>Laskennallisten tieteiden infrastruktuuri.....</b>            | <b>37</b> |
| 5.1      | Infrastruktuurin nykytila.....                                   | 37        |
| 5.2      | Laskennallinen kapasiteetti.....                                 | 38        |
| 5.3      | Tulevaisuuden tarpeet ja haasteet infrastruktuureilla.....       | 40        |
| 5.3.1    | Kansainvälinen yhteistyö tulevaisuudessa.....                    | 40        |
| 5.3.2    | Ekologiset arvot.....  | 40        |
| 5.3.3    | Kansallinen yhteistyö.....                                       | 40        |
| 5.3.4    | Koulutus.....  | 40        |
| 5.4      | Eurooppalaisen tason e-infrastruktuuri Suomessa.....             | 40        |
| <b>6</b> | <b>Yhteenveto ja suosituksia.....</b>                            | <b>42</b> |
| 6.1      | Opetus.....  | 42        |
| 6.2      | Jatkokoulutus.....   | 42        |
| 6.3      | Tutkimus.....  | 42        |
| 6.4      | Infrastruktuuri.....   | 43        |
|          | <b>Lähdeluettelo.....</b>  | <b>44</b> |
|          | <b>Liitteet.....</b>   | <b>45</b> |
|          | Liite 1 – kurssilistaus.....                                     | 45        |
|          | Liite 2 – Professuureja.....                                     | 63        |
|          | Liite 3 – FiDiPro professuurit.....                              | 67        |

## Taulukot

|  |    |
|--|----|
| Taulukko 1: Laskennallisten tieteiden maisteriopetus yliopistoittain.....  | 22 |
| Taulukko 2: Jatkotutkimusmahdollisuudet yliopistoittain.....               | 24 |
| Taulukko 3: Laskennallisiin tieteisiin liittyvä sivuainetarjonta.....      | 27 |
| Taulukko 4: Karkea arvio ytimien jakautumisesta yksiköittäin Suomessa..... | 38 |

## Kuvat

|  |    |
|--|----|
| Kuva 1: Laskennalliset tieteet esitettynä PITAC-raportin määritelmää mukailleen.....   | 10 |
| Kuva 2: Laskennalliset tieteet ovat kokonaisuus, jossa numeriiikka, substanssiosaaminen sekä tietotekniikka esiintyvät tasa-arvoisessa asemassa.....   | 11 |
| Kuva 3: Laskentaresurssien jakautuminen yksiköittäin Suomessa.....   | 39 |
| Kuva 4: Raskasta laskentaa tekevien ryhmänjohtajien arvio siitä mikä osuus heidän käyttämästään laskentakapasiteetista tulee eri lähteistä. Käyrä "Maksimi" näyttää korkeimman raportoidun käyttöasteen yhdeksän vastanneen ryhmän joukosta..... | 39 |



# 1 Johdanto

Tässä raportissa esitellään laskennallisten tieteiden nykytilaa Suomessa, sekä kartoituksen perusteella aiheellisiksi katsottuja toimenpide-ehdotuksia. Päätaavoite on selvittää laskennallisen tieteen kompetenssiosaamisen jakautuminen Suomessa.

Nykytilanteen kartoitukseen tietoa on kerätty vierailemalla ja haastattelemalla opetus- ja tutkimushenkilökuntaa. Myös aikaisemmin tehtyjä raportteja ja kyselyitä on hyödynnetty tarkastelemalla tuloksia laskennallisten tieteiden näkökulmasta. Kartoituksessa on keskitytty seitsemään osa-alueeseen. Alueet ovat maisteriopetus, jatkokoulutus ja tohtoriorhjelmat, sivuaineopetus, täydennyskoulutus, lukiot ja toisen asteen koulutus, tutkimusohjelmat sekä yritysysteistyö.

Yliopistovierailuja tehtiin 6 kappaletta (TKK, JoY & KY, LTY, TTY, TY & ÅA, VY), Oulun vierailu suoritettiin videoneuvotteluna, Helsingin yliopiston erillisillä tapaamisilla sekä puhelimitse ja Rovaniemen yliopiston osuus puhelimitse. Yliopistojen laitoksille ja yksiköille lähetettiin sähköpostitse yhteensä 142 kyselyä, joihin saatiin 49 vastausta. Puhelimitse tai kasvokkain haastateltiin 40 eri laitoksen tai yksikön edustajaa. Tietoja kursseista, opetuksesta ja tutkimuksesta täydennettiin yliopistojen internetsivuilta, laitosten ja osastojen opinto-oppaista, yliopistojen vuosikertomuksista sekä osastojen esitteistä. Jyväskylän yliopiston tietoja kerättiin toukokuussa järjestetystä Jyväskylän yliopiston sisäisestä laskennallisten tieteiden seminaarista. Tiedot infrastruktuuriosioon kerättiin osittain edellä mainituista kyselylomakkeista ja lähteistä sekä opetusministeriön tuottaman tutkimusinfrastruktuurikartoituksen [2] aineistoista. Yritysysteistyöhön liittyvä kartoitus jätettiin tässä vaiheessa vähäisemmälle huomiolle, sillä Jyväskylän yliopistolla ja Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla on käynnistymässä projekti, jonka tarkoituksena on kehittää yritysysteistyötä laskennallisten tieteiden suhteen.

Aluksi raportissa selvitetään laskennallisten tieteiden määritelmä, merkitys sekä haasteet tulevaisuuden kannalta. Seuraavaksi raportissa tarkastellaan laskennallisten tieteiden nykytilannetta yleisellä tasolla selvittämällä yliopistojen suhtautumisen laskennallisiin tieteisiin ja niiden huomiointiin strategioissa. Aiheeseen perehdytään yksityiskohtaisemmin käymällä läpi yliopistojen kurssitarjontaa ja opetuksen sisältöä laskennallisten tieteiden näkökulmasta. Maisteritason opetuksen lisäksi raportissa käsitellään jatko-opintomahdollisuudet, tutkijakoulut, täydennyskoulutus, toisen asteen kouluihin keskittyvä LUMA-keskus sekä valotetaan yritysten ja organisaatioiden tilannetta.

Omana kappaleenaan esitellään meneillään oleva laskennallisten tieteiden tutkimustoiminta yliopistoittain sekä kansalliset tutkimusohjelmat, joissa laskennalliset tieteet ovat pääaihealueena tai laskennalliset menetelmät ovat merkittävässä asemassa tutkimusohjelman aihepiirissä.

Raportissa selvitetään laskennallisten tieteiden hyödyntämiseen käytettävän infrastruktuurin nykytilaa ja jakautumista eri yliopistojen ja tutkimusinstanssien kesken, sekä infrastruktuuriin liittyviä kehitystarpeita. Lopuksi raportissa on yhteenveto sekä toimintasuosituksia tulevaisuutta ajatellen.

Raportin kokoamisessa kontribuution ovat antaneet myös seuraavat henkilöt: Kai Nordlund (HY), Timo Siltala (Teklas), Tero Karjalainen (KY) ja Ville Savolainen (CSC).

## 1.1 Laskennallisten tieteiden määritelmä

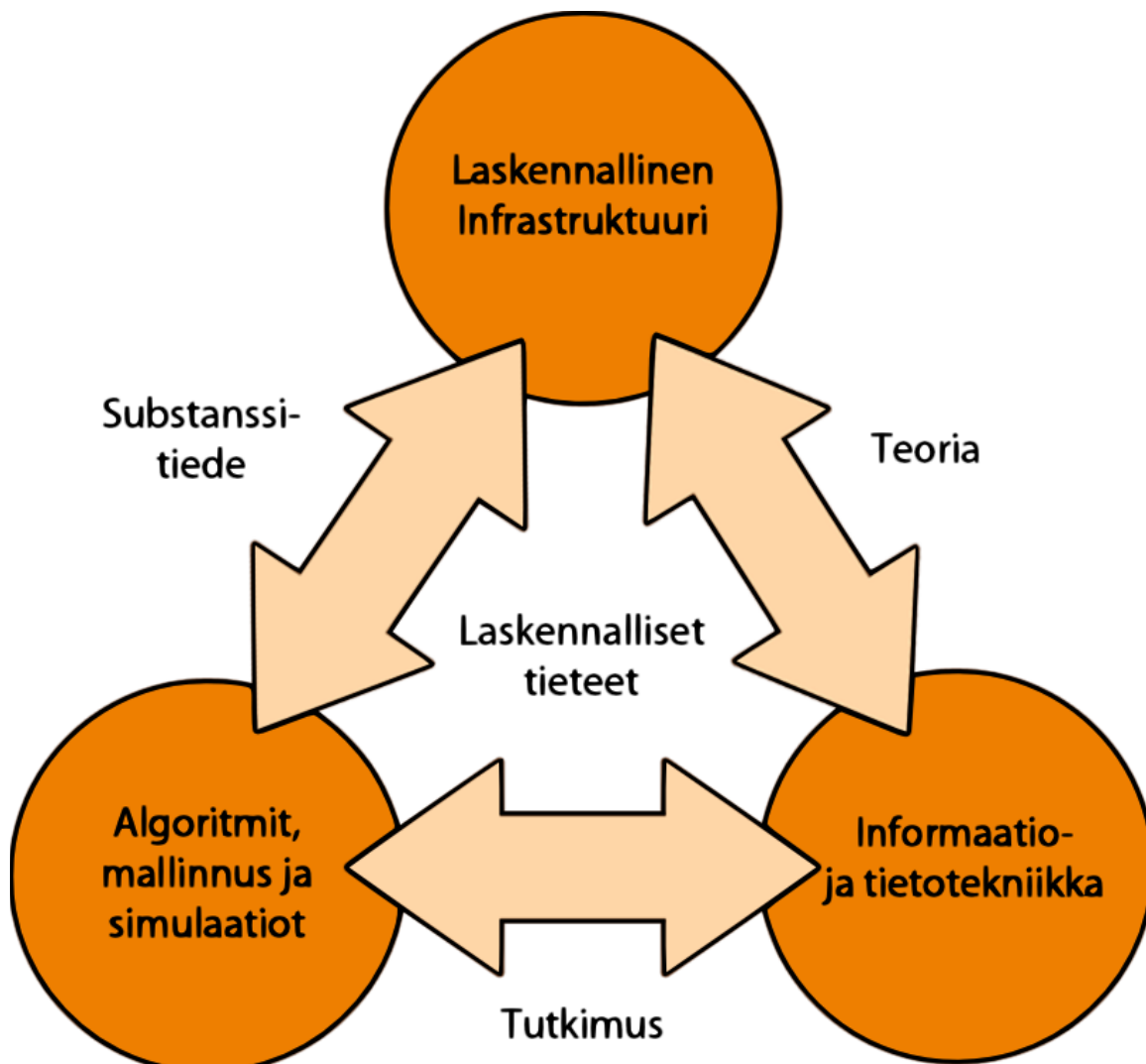
Laskennallisilla tieteillä tarkoitetaan laskennallisten voimavarojen soveltamista tosielämän ongelmien ratkaisemiseksi. Valjastamalla ohjelmistot, laitteiston, datan sekä yhteydet voidaan ratkaista monimutkaisia monitieteellisiä ongelmia, joiden selvittämiseen vaaditaan laskennallisen infrastruktuurin kokonaisvaltaista hallintaa. Laskennallisen tieteen komponentit muodostuvat yhdessä algoritmeista, ohjelmistoista, arkkitehtuurista, sovelluksista sekä infrastruktuurista. [6]

Edellä kuvailtu määritelmä esiintyy Yhdysvalloissa julkaistussa kansallista laskennallisten tieteiden tilaa käsittelevässä PITAC-raportissa. Kuva 1 esittelee PITAC-raporttia mukaillen laskennallisten tieteiden eri osien eli menetelmien, informaatiotieteen sekä infrastruktuurien välistä suhdetta.

Laskennalliset tieteet ovat nopeasti kasvava monitieteellinen ala, jossa käytetään kehittyneitä laskennallisia voimavaroja monimutkaisten ongelmien ymmärtämiseksi ja ratkaisemiseksi. Laskennallisiin tieteisiin yhdistyy kolme selkeää erillistä elementtiä [3] [6]:

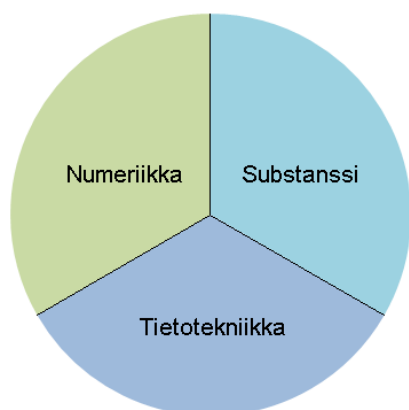
- Menetelmät eli algoritmit, mallintaminen ja simuloiminen eri tieteiden (kuten biologian, fysiikan, tekniikan, yhteiskunnallisten) ongelmien ratkaisemiseksi
- Tietotekniikka ja informaatiotiede, jotka kehittävät ja optimoivat kehittyneitä laitteisto-, ohjelmisto-, verkko- ja tiedonhallintakomponentteja, joita tarvitaan laskennallisesti vaativien ongelmien ratkaisemiseen
- Laskennallinen infrastruktuuri, joka tukee monitieteellistä sekä tietoteknistä ongelmanratkaisua

Kuva 1: Laskennalliset tieteet esitettynä PITAC-raportin määritelmää mukaillen



Laskennalliset tieteet ovat yksinkertaistettuna kokonaisuus, jossa numeriiikka, substanssiosaaminen sekä tietotekniikka toimivat tasa-arvoisesti ja saumattomasti yhteen vaativien laskennallisten ratkaisujen saavuttamiseksi. Tämä kokonaisuus on esitetty kuvassa 2. Laskennallisten ongelmien ratkaisemiseen tarvitaan yhä monitieteellisempää osaamista, joten on tärkeää olla unohtamatta substanssiosaamisen merkitystä.

Kuva 2: Laskennalliset tieteet ovat kokonaisuus, jossa numeriiikka, substanssiosaaminen sekä tietotekniikka esiintyvät tasa-arvoisessa asemassa.



## 1.2 Laskennallisten tieteiden merkitys tulevaisuuden yhteiskunnassa

Laskennallisten tieteiden merkitys on kasvanut viime vuosina ja kasvaa yhä. Yhteiskunnan ja tieteen yhä kompleksisempien ongelmien ratkaisemisen tarve korostaa laskennallisten menetelmien keskeistä asemaa. Laskennalliset tieteet mahdollistavat tutkimus- ja innovaatiotoiminnassa sekä yritysmaailmassa tuloksia, joita ei aikaisemmin ollut mahdollista saavuttaa. Simulointi ja mallintaminen mahdollistavat tutkimuksen sellaisten asioiden parissa, joihin ei perinteisillä mittauslaitteilla voitu päästä käsiksi esimerkiksi ilmiön skaalan tai nopeuden takia. Lisäksi laskennallisten menetelmien käyttäminen mahdollistaa entistä suurempien aineistomassojen käsittelyn. Laskennalliset menetelmät toimivat yhä merkittävämpänä apuvälineenä kaikilla tieteenaloilla, niitä sovelletaan kasvavassa määrin esimerkiksi lääketieteessä, fysiikassa, kemiassa, ympäristötieteissä ja erilaisilla teollisuuden aloilla. [5] [6]

Laskennalliset tieteet ovat nousseet tärkeäksi tutkimusmenetelmäksi perinteisten kokeellisten ja teoreettisten menetelmien rinnalla ylittäen eri tieteenalojen rajat [3]. Laskennallisia tieteitä tarvitsevat yhteiskunnallisesti tärkeät alat, kuten informaatioteknologia, lääketiede,

ympäristötieteet, virtauslaskenta ja nanoteknologia ovat tulevaisuuden kannalta merkittävässä asemassa, joten myös laskennallisten tieteiden tutkimuksen merkitys kasvaa. Tulevaisuuden kannalta informaatioteknologian teollisuus tarvitsee osaajia sekä tutkimusta laskennallisten tieteiden alalta. Tämä varmistetaan saamalla alalle riittävästi tasokasta koulutusta ja opiskelijoita sekä kehittämällä opetusta ja tutkimustoimintaa.

Nopea kehitys tietotekniikassa ja menetelmäosaamisessa mahdollistavat entistä monimutkaisempien ja realistisempien mallien käyttöönoton eri alojen tutkimusongelmien ratkaisemiseksi. Näin vähennetään tuntuvasti tarvetta suorittaa erilaisia kalliita kokeita. Laskennallisten tieteiden menetelmillä voidaan hakea ratkaisuja myös ongelmiin tilanteissa, joissa riittävän tarkan ratkaisun saaminen perinteisillä keinoilla ei onnistu. Laskennallisten menetelmien eli analyysin, mallinnuksen, simuloinnin, optimoinnin ja tiedonhallinnan avulla voidaan hankkia syvempää tietoa eri asioiden riippuvuussuhteisiin ja hallita tehokkaammin kokonaisuuksia, riskejä ja epävarmuutta. Laskennallisten menetelmien soveltaminen eri aloille vaatii syvällistä sovellusalueen ymmärrystä, joten yhteistyö ja osaamisen siirto eri alojen välillä on myös tärkeää. Ennen kaikkea tulevaisuuden kehitys luo kasvavaa kysyntää tietotekniikan, matematiikan ja tilastotieteen osaajista.

Kansainvälisesti monet merkittävät valtiot, kuten Yhdysvallat, Japani ja Kiina, ovat nostaneet laskennallisten tieteiden kehittämisen strategian osaksi kilpailukykyyn kannalta [5]. Euroopassa EU on vahvistamassa rooliaan erityisesti laskennallisten tieteiden infrastruktuurin kehittämisen osalta. Suomen kilpailukykyllä laskennallisen tieteen kehittäminen on strategisesti tärkeää. Kilpailukykyyn takaaminen kansallisella tasolla vaatii panostamista laskennallisten tieteiden kehittämiseen; sekä osaamista, menetelmiä että infrastruktuureja on kehitettävä pitkäjänteisesti.

## 1.3 Laskennallisten tieteiden haasteet

Laskennalliset tieteet ovat kansantaloudelle ja kilpailukykyllä strategisesti tärkeä osaamisalue ja se vaatii pitkäjänteistä kehittämistä sekä resursseja kehityksen takaamiseksi. Kuten edellisen kohdan määritelmässä esitettiin, laskennallisten tieteiden kokonaisuus koostuu numeriiikan, tietotekniikan ja substanssin hallitsemisesta. Lisäksi useat ongelmat ovat luonteeltaan monifysikaalisia ja tarvitsevat useamman substanssin hallintaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tulevaisuudessa projektien koko ja niihin liittyvien henkilöiden määrä kasvaa tehtävien monimutkaistuessa. Osaajien saatavuus on kriittinen tekijä alan kehitykselle ja hyödyntämiselle yritysmaailmassa.

Suomen on toimittava aktiivisesti kansainvälisissä hankkeissa ja projekteissa pysyäkseen mukana globaalissa kehityksessä ja taatakseen menetelmäosaamisen ja tarvittavan infrastruktuuriyhteistyön niin kansallisella kuin kansainväliselläkin tasolla. Valtionhallinnon taholta onkin havaittu laskennallisten tieteiden merkitys myös Suomessa, sillä esimerkiksi opetusministeriön määrittelemän Suomen eScience-ohjelman [4] sekä Laskennallisten tieteiden kansalliseen kehittämiseen [5] liittyvien selvitysten myötä Tekesillä sekä Suomen Akatemialla [3] on meneillään laskennallisiin tieteisiin liittyviä tutkimusohjelmia ja CSC on vakiinnuttanut asemaansa kansallisella tasolla yhtenä laskentaresursseja tarjoavana tekijänä [1] [7].

Laskennallisten menetelmien hyödyntäminen on monialaista ja laskennan osaamisen tarve korostuu yhä tulevaisuudessa, joten on tärkeää huolehtia, että alalla on riittävästi osaajia, tutkimusta sekä kehitystä. Perinteisiä laskennallisia tieteitä hyödyntäviä aloja ovat muun muassa teknologia- ja rakennusteollisuus, kuljetustoiminta sekä finanssiala. Opetusministeriön selvityksissä kehoitetaan panostamaan koulutukseen kaikilla tasoilla (toinen aste, maisteri- ja jatko-opinnot, sivuaineopetus sekä täydennyskoulutus).

Resursseja tulisi myös kohdentaa tutkimukseen sekä infrastruktuurin kehittämiseen, sillä tutkimus tarjoaa uudet tehokkaat menetelmät.

Monialaisuuden vuoksi laskennallisten tieteiden yksi suuri haaste on yhteistyö eri alojen välillä. Yhteistyön on toimittava kansainvälisellä tasolla, jotta alan uusin tietotaito saadaan osaksi kansallista pääomaa. Yhteistyön on toimittava myös kansallisella tasolla eri tieteenalojen välillä, jotta vältetään osaamisen siiloutumiselta ja päällekkäiseltä metodikehitystyöltä. Laskennallisten tieteiden kansallinen kehittäminen 2009 -projektin yhteydessä suoritettun kartoituksen perusteella on huomattavissa, että yhteistyötä voitaisiin merkittävästi lisätä paitsi yliopistojen välillä myös näiden sisällä eri osastojen ja alojen kesken. Yritysyhteistyö edesauttaa innovaatioiden siirtymisessä yrityksiin ja uusien relevanttien tutkimuskysymysten esiintuloon.

Laskennallisten tieteiden perustutkimus ja uusien tehokaiden menetelmien kehittäminen on ensiarvoisen tärkeää. Raskasta laskentaa käyttävillä tutkijoilla tulee olla tietämys tehokkaista menetelmistä. Panostaminen metodikehitykseen ja niitä osaaviin henkilöihin tulee halvemmaksi kuin kalliit infrastruktuuri-investoinnit.

## 2 Laskennalliset tieteet Suomessa

Laskennallisten tieteiden nykytilan kartoittamiseksi on selvitetty kuinka yliopistot ovat huomioineet laskennalliset tieteet strategioissaan. Aiemmissa laskennallisten tieteiden kansalliseen kehitykseen tähdänneissä selvityksissä [4][5] on ehdotettu, että kaikilla koulutustasoilla peruskouluista tutkijakouluihin asti laskennallisten tieteiden opetukseen tarvittavia resursseja kasvatetaan ja kaikilla tieteenaloilla opetusohjelmiin lisätään tietoisuutta laskennallisista tieteistä. Tästä huolimatta yliopistojen strategisissa linjauksissa laskennallisia tieteitä ei huomioida riittävästi. Tiedekuntatason strategisissa linjauksissa laskennalliset tieteet näkyvät hieman, mutta vain luonnontieteelliset ja informaatioteknologiset alat listaavat laskennallisia tieteitä merkittäväksi tutkimuskohteeksi.

Laskennallisia tieteitä opetetaan jollain tasolla kaikissa tiedeyliopistoissa, mutta opetus on pirstaleista ja koordinoimatonta. Laskennallisten tieteiden opetus tapahtuu pääosin joko omassa maisteriohjelmassa, omana linjana, syventymisalana laaja-alaisissa maisteriohjelmissa tai muiden oppiaineiden yhteydessä. Kokonaan laskennallisiin menetelmiin keskittyviä maisteriopintolinjoja löytyy seuraavien yliopistojen tarjonnasta: HY, JY, KY, LTY, OY, TTY, TKK.

Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa käynnistettävässä CEID (Computational Engineering and Integrated Design -instituutti) hankkeessa laskennallisen tieteen tutkimus sekä opetuksen ja laskentaresurssien koordinaatio keskitetään yhteiseen yksikköön. Tampereen teknillisessä yliopistossa laskennallisten tieteiden opetuksen ja koulutuksen tueksi toimii TCSC (Tampere Center for Scientific Computing). Tällainen laskennallisten tieteiden yksikkö on esimerkiksi tapa tukea laskennallisia tieteitä, sillä monilla aloilla, esimerkiksi bio- ja ympäristötieteissä, tarvitaan menetelmäosaamista, jota ei alan piirissä opeteta tai hallita. Yhteistyö karsii päällekkäistä opetusta ja mahdollistaa osastojen keskittymisen täysin oman alansa opetukseen laskentaopetuksen tullessa muualta.

Huolimatta siitä, että laskennallisten menetelmien osaajat keskittyvät usein kapea-alaisesti oman erityisalansa tutkimukseen, menetelmien osaamista voisi tehokkaasti hyödyntää monitieteellisesti eri alojen välillä. Entistä tiiviimpi laitosten välinen yhteistyö edesauttaa saamaan laskennallisten menetelmien osaamisen laaja-alaisemmin käyttöön. Fysiikan ja kemian välillä on jo merkittävää poikkitieteellistä yhteistyötä etenkin elektronirakennelaskujen ja atomitason simulointien osalta. Poikkitieteellisyys on

merkittävä seikka laskennallisten tieteiden kannalta, sillä osajien välinen yhteistyö vähentää siiloutumista alojen välillä. Näin myös alakohtaisten sovelluksia ja menetelmiä voidaan kehittää entistä tehokkaammin.

Jatkokoulutusta laskennallisten tieteiden alalta on ollut tarjolla lähes joka yliopistolla. Jatkokoulutusta tukee laajatutkijakouluverkosto. Tutkijakoulujen asema tällä hetkellä on pääasiassa rahoittaa yksittäisten tutkijoiden tutkimustyötä. Tutkijakouluissa on potentiaalia entistä tiiviimpään yhteistyöhön ja kollektiiviseen yhdessä tekemiseen tutkijoiden välillä sekä tiedon tehokkaampaan jakamiseen. Koulumaisemman tutkijakoulun myötä myös menetelmäosaamista saataisiin jaettua ja syvennettyä entistä tehokkaammin. Tutkimusryhmien kokoa voitaisiin kasvattaa ja mahdollisuus vastata entistä suurempiin haasteisiin kasvaisi.

Laskennallisten tieteiden sivuaineopetusta on saatavilla lähes kaikilla yliopistoilla. Avoimen yliopiston kautta on myös mahdollista hankkia sivuaine- tai täydentävää koulutusta laskennallisista tieteistä. Yliopistoilla täydennyskoulutusta järjestetään lähinnä yritysten ja jatko-opiskelijoiden tarpeiden vaatiessa.

Myös yritysmaailmassa laskennallisia tieteitä tarvitaan yhä enemmän. Yritykset tarvitsevat osaajia, jotka hallitsevat laskennalliset menetelmät, laskennallisten sovellusten käytön sekä ohjelmoinnin taidon. Tutkimukseen ja innovaatioihin liittyvää yhteistyötä yritysten ja yliopistojen välillä tulisi kehittää. Yhteistyötä tehdään melko vähän sillä tahojen tarpeet poikkeavat toisistaan ajallisten ja rahallisten resurssien suhteen. Infrastruktuurien kannalta yrityksille laskentatehoa suurempi haaste on datan käsittelyyn ja tulostulvan hallintaan liittyvät menetelmät.

### 2.1 Laskennalliset tieteet Suomen yliopistoissa

Laskennallisilla tieteillä on merkittävä asema teknillisissä korkeakouluissa sekä Helsingin ja Jyväskylän yliopistoissa. Vuoden 2009 aikana suoritetun tulevan Aalto-yliopiston tutkimuksen kansainvälisen arvioinnin perusteella Aalto-yliopisto on nimennyt laskennallisen tieteen ja mallinnuksen yhdeksi neljästä vahvuusalueestaan.

Myös muilla yliopistoilla laskennallisia tieteitä opetetaan runsaasti. Kansallisella tasolla opetusta ei ole koordinoitu, joten yhteistyömahdollisuuksia laskennallisten tieteiden opetuksen järjestämisen suhteen on.

### 2.1.1 Helsingin yliopisto

Eksaktit luonnontieteet ovat Helsingin yliopistossa keskittyneet Kumpulan tiedekampuksella toimivaan matemaattis-luonnontieteelliseen tiedekuntaan.

Matematiikan laitoksen maisterin tutkinnon erikoistumislinjoista laskennallisiin tieteisiin kuuluviksi voidaan laskea aikasarja-analyysin ja ekonometrian linja, biometrian linja, lääketieteellisen tilastotieteen linja, ympäristötilastotieteen linja, bioinformatiikan ja tilastollisen genetiikan linja sekä yhteiskuntatilastotieteen linja. Lisäksi laitoksella on kaksi erillistä maisteriohjelmaa: Master's Degree Programme in Bayesian Statistics and Decision Analysis (EuroBayes) ja Bioinformatiikan maisteriohjelma (MBI).

Fysiikan laitoksen erikoisaloja ovat materiaalfysiikka, alkeishiukkasfysiikka, meteorologia sekä geofysiikka. Aerosoli- ja ympäristöfysiikan tutkimus on kansainvälisesti korkeatasoista. Kemian laitoksella toimii Suomen akatemian laskennallisen molekyyli-tieteen huippuyksikkö.

Tietojenkäsittelytieteen laitos on erikoistunut kolmeen pääalueeseen: algoritmeihin ja koneoppimiseen, hajautettuihin järjestelmiin ja tietoliikenteeseen, sekä ohjelmistojärjestelmiin, joissa kaikissa tehdään tutkimustyötä ja annetaan opetusta. Erikoistumislinjat ja maisteriohjelmat tietojenkäsittelytieteissä ovat algoritmit ja koneoppiminen, hajautetut järjestelmät ja tietoliikenne, ohjelmistojärjestelmät, Master's Degree Programme in Bioinformatics (MBI) ja Finnish-Russian Cross Border University Master's Degree Programme in Information and Communications Technology (CBU-ICT).

Laskennallisten tieteiden menetelmiä hyödynnetään paljon myös lääketieteessä, biotieteissä sekä taloustieteessä.

### 2.1.2 Joensuun yliopisto

Joensuun yliopistolla laskennallisia tieteiden opetus ja tutkimus keskittyy matemaattis-luonnontieteelliseen tiedekuntaan. Erityisesti kemian laitoksella laskennallisia menetelmiä opetetaan ja hyödynnetään monitieteellisesti materiaalitutkimuksessa ja molekyylibiologiassa. Kemian laitoksella tutkitaan esimerkiksi proteiinien rakenteita sekä ominaisuuksia atomitasolla. Lisäksi kehitetään uusia erikoismateriaaleja ja katalyyttejä kemian teollisuuden tarpeisiin. Kemian laitoksella on käytettävissä myös huomattava tutkimuslaitteisto erilaisten ilmiöiden mallinnukseen. Toiminnan painopisteet ovat tutkimuksessa ja tutkijankoulutuksessa ja maisterin tutkinnon syventymismahdollisuudet ovat epäorgaaninen kemia, fysikaalinen kemia, materiaalikemia tai orgaaninen kemia.

Fysiikan laitoksen tutkimuksen pääaiheet ovat moderni optiikka sekä ftoniikka. Laitoksen opetus jakaantuu fyysikon ja fysiikan opettajan koulutukseen. Medialaskennan ja optisen teknologian maisterilinja on fysiikan ja tietojenkäsittelytieteiden yhteinen pääainelinja. Muut tietojenkäsittelytieteiden linjat ovat ohjelmistotuotanto, opetusteknologia/opettaja, ja tietojenkäsittelytieteen yleinen teoria. Yleisen teorian maisteriohjelma painottuu ohjelmointiin, algoritmeihin ja tietojenkäsittelytieteen teoriaan. Tilastotieteen opintojen rungon muodostavat laskenta, estimointiteoria ja tilastollista päättelyä käsittelevät kurssit. Tutkimus keskittyy demometriaan, biometriaan sekä aikasarja-analyysiin.

Matematiikan opinnoissa voi painottua joko teoreettiseen tai sovellettuun matematiikkaan tai matematiikan opettajaksi. Matematiikan tutkimuksessa keskitytään esimerkiksi kompleksidynamiikkaan ja kompleksisiin differentiaali- ja differenssiyhtälöihin sekä funktioavaruuksiin.

### 2.1.3 Jyväskylän yliopisto

Jyväskylän yliopistossa laskennallisia tieteitä tutkitaan ja opetetaan erityisesti matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa sekä informaatioteknologian tiedekunnan tietotekniikan laitoksella.

Matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa laskennallisia tieteitä harjoitetaan erityisesti fysiikan, kemian sekä matematiikan ja tilastotieteiden laitoksella. Menetelmiä sovelletaan myös bio- ja ympäristötieteiden laitoksella.

Fysiikan laitoksella tutkimus on kokeellista ja teoreettista perustutkimusta sekä perustutkimukseen pohjautuvaa soveltavaa tutkimusta. Yksi laitoksen tutkimusyksiköistä, ydin- ja kiihdytinfysiikan yksikkö, on nimetty Suomen akatemian huippuyksiköksi vuosiksi 2006 - 2011. Tutkimusyhteistyötä tehdään kemian sekä bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tilastotieteen keinoin, elinympäristöjen ja molekyylien mallinnukseen, bioinformatiikkaan ja monenlaisiin monimuuttujaisten aineistojen analysointiin. Bio- ja ympäristötieteiden laitoksella toimii evoluutiotutkimuksen huippuyksikkö, jonka ryhmät tutkivat evolutiivisia muutoksia aikaansaavia ekologisia ja geneettisiä tekijöitä ja niiden vuorovaikutuksia. Huippuyksikkö hyödyntää tutkimuksessaan laskennallisia menetelmiä.

Matematiikan ja tilastotieteen laitoksen opetus painottuu pääaineopetuksen lisäksi koko yliopistoa palvelemaan perusopetukseen. Vahvuus- ja kehittämisalueita ovat matemaattinen analyysi, tilastotiede, stokastiikka sekä matematiikan aineenopettajien koulutus. Laitoksella tutkimustoiminnassa on vahvat perinteet etenkin matemaattisen

analyysin tutkimuksessa ja koulutuksessa. Analyysin ryhmä muodosti yhdessä Helsingin yliopiston matematiikan ja tilastotieteen laitoksen osan kanssa Geometrisen analyysin ja matemaattisen fysiikan tutkimuksen huippuyksikön 2002–2007. Laitos on vuodesta 2008 mukana Helsingin yliopiston kanssa Analyysin ja dynamiikan huippuyksikössä.

Kemian laitoksella tehtävä tutkimus on laaja-alaista. Laskennallisia menetelmiä hyödynnetään kemian tutkimuksessa, erityisesti fysikaalisen kemian ultranopean spektroskopian ja laskennallisen kemian alueilla. Myös kemian laitos on mukana bio- ja ympäristötieteiden sekä fysiikan laitosten kanssa tekemässä tutkimusyhteistyötä Nanotieteiden keskuksessa.

Tietotekniikan laitoksella voi suorittaa sekä maisterin että tohtorin tutkinnon laskennallisiin tieteisiin erikoistuen. Tutkimuskohteena ovat muun muassa tekniikan, luonnontieteiden ja taloustieteiden ilmiöiden matemaattinen mallintaminen, mallien numeeriset ratkaisumenetelmät sekä mallien avulla tapahtuva optimointi. Meneillään olevat soveltavat tutkimushankkeet liittyvät muun muassa teollisuusprosessien mallipohjaiseen optimointiin, teollisuuden mittaus- ja biosignaalien käsittelyyn, mobiilijärjestelmien signaalinkäsittelyyn, kuva-analyysiin sekä tiedonlouhintaan ja sen sovelluksiin.

Laitoksella tehtävä perustutkimus painottuu analyyttis-konstruktiiiviseen menetelmä- ja sovelluskehitykseen muun muassa osittaisdifferentiaaliyhtälömallien luotettavaan ja tehokkaaseen ratkaisemiseen, päätöksentekoa tukeviin optimointimenetelmiin, signaalin- ja kuvankäsittelyyn ja tiedonlouhintaan. Erityinen paino on menetelmien tehokkaassa implementoinnissa uusimpiin tietokonearkkitehtuureihin sekä menetelmien käyttöliittymien helppokäyttöisyydessä loppukäyttäjän näkökulmasta.

### **Agora Virtual Environment Center**

Agora Virtual Environment Center on laboratorio, joka on keskittynyt tietokonegrafiikkaan ja tekoälyteknologian tutkimukseen. Tutkimuksen lisäksi AVEC tarjoaa myös kehitys- ja koulutuspalveluja. Tutkimuksessa laboratorio pyrkii keskittymään aiheisiin, joilla saavutetaan teknistä, taloudellista sekä tieteellistä kontribuutiota. Tutkimuksen painopistealueet ovat tekoälyteknologian sovellukset, interaktio virtuaalisessa ympäristössä sekä tekoälyteknologian sovellusten ohjelmistoarkkitehtuurit. Aiheet edistävät tekoälyteknologian visualisoinnin hyödyntämistä niin tutkimuksessa kuin teollisuudessa.

## **2.1.4 Kuopion yliopisto**

Laskennallisten tieteiden osaaminen keskittyy Luonnontieteiden ja ympäristötieteiden tiedekunnan fysiikan laitokselle. Alaa tukevaa osaamista on lisäksi Informaatioteknologian ja kauppatieteiden tiedekunnan matematiikan ja tilastotieteen laitoksella sekä tietojenkäsittelytieteen laitoksella.

Fysiikan laitoksella on kolme vahvaa osaamisaluetta: aerosolifysiikka ja -tekniikka, lääketieteellinen fysiikka ja tekniikka sekä teollisuusmatematiikka ja -fysiikka. Teollisuusmatematiikan ja -fysiikan ytimen muodostaa laskennallisten tieteiden tutkimus ja opetus. Inversio-ongelmien tutkimusryhmä on osa Suomen Akatemian nimeämää tutkimuksen huippuyksikköä (2006–2011) ”Finnish Centre of Excellence in Inverse Problems Research”.

Laskennallisiin tieteisiin keskittyvää koulutusta fysiikan laitoksella järjestetään teknis-luonnontieteellisessä koulutusohjelmassa laskennallisen tekniikan pääaineessa. 2008 käynnistyi myös kansainvälinen maisteriohjelma ”Master’s Degree Programme in Scientific Computing”.

## **2.1.5 Lappeenrannan teknillinen yliopisto**

Sovelletun matematiikan (Technomathematics) ja teknillisen fysiikan (Technical Physics) maisteriohjelmien lisäksi matematiikan ja fysiikan laitos antaa yliopiston tekniikan alan opiskelijoille perusvalmiudet matematiikasta ja fysiikasta. Muiden koulutusohjelmien opiskelijoille on tarjolla teknisen matematiikan ja teknillisen fysiikan sivuaine. Matematiikan laitoksen yhteydessä toimii CEID (Centre of Computational Engineering and Integrated Design) yksikkö, joka koordinoi laskennallisten menetelmien soveltamista sekä ohjelmistojen ja laskentaresurssien hankintaa yliopistossa. Sähkötekniikan osastolla on luettavissa säätötekniikan ja signaalinkäsittelyn sivuaine.

Yksi kolmesta tietotekniikan osaston painopistealasta on älykäs laskenta. Opetuksessa pääaineeksi voi valita älykkään laskennan, jossa opiskelijat saavat syvällisen kuvan älykkään ja oppivan informaationkäsittelyn ja laskennan sovellusalueista ja menetelmistä sekä tietojenkäsittelyjärjestelmistä ja niiden suunnittelusta. Älykkään laskennan tutkimus painottuu konenäön ja hahmontunnistuksen tutkimusryhmään, jossa tutkitaan erityisesti oppivia ja adaptiivisia laskennallisia malleja sekä näiden sovelluksia muun muassa tietokonenäössä, konenäön teollisuussovelluksissa, signaalinkäsittelyssä sekä robotiikassa. Tutkimusryhmä on valittu yliopiston tutkimuksen kärkiyksiköksi.

## 2.1.6 Lapin yliopisto

Rovaniemellä matematiikan, tilastotieteen ja informaatiotekniikan opetuksen tuottaa yhteiskuntatieteellisessä tiedekunnassa toimiva menetelmätieteiden laitos. Pääaineena matematiikkaa tai tilastotiedettä ei voi lukea. Laskennallisten menetelmien Laskennallisia tieteitä lähestytään siitä näkökulmasta, kuinka menetelmiä voidaan hyödyntää jonkin tietyn tietealan yhteydessä, esimerkkinä tilastollinen analyysi. Tutkimukseen on panostettu jonkin verran ja yhteistyöhön on mielenkiintoa. Erityisesti visuaalista mallintamista kehitetään taideaineiden avuksi. Resurssien vähyys on kuitenkin merkittävä rajoittava tekijä.

## 2.1.7 Oulun yliopisto

Oulu on vahvasti teknillisipainotteinen yliopisto. Teknisessä tiedekunnassa toimiva matematiikan jaos vastaa tiedekunnan matematiikan opetuksesta. Kurssitarjonta vaihtelee suuresti teollisuudessa vallitsevan tilanteen mukaan, ainoastaan perusopinnot ovat pysyneet suunnilleen samanlaisina pidemmän aikaa. Tällä hetkellä opetuksen ja tutkimuksen pääpaino Oulussa laskennallisia tieteitä hyödyntävältä osalta on langattomassa tietoliikenteessä ja konenäössä. Kurssitarjonta on rakennettu tukemaan näitä fokusalueita.

Luonnontieteellisessä tiedekunnassa laskennalliset tieteet ovat myös vahvasti edustettuina niin matematiikan, kemian, fysiikan kuin muidenkin laitosten osalta, mutta edelleen pääpaino on laskennallisten menetelmien käytössä apuvälineenä tutkittaessa reaali maailman ilmiötä. Itse laskennallisen tieteen kehittäminen on hyvin vähäistä. Matematiikassa laskennallisia menetelmiä käytetään runsaasti erityisesti stokastisessa simuloinnissa. MCMC-estimointia hyödynnetään rutiininomaisesti ja ongelmien ratkaisuihin liittyvä simulointialgoritmien kehittäminen on keskeistä toimintaamme.

Yliopistossa panostetaan suuresti alueisiin, joissa voidaan käyttää laskennallisia menetelmiä tehokkaasti hyödyksi ja menetelmien hyödyntäminen on korkealla tasolla. Erityisesti Oulussa keskitytään optimointiin ja laskennallisesti tehokkaisiin ratkaisuihin, jolloin kehitettyjä menetelmiä voidaan hyödyntää järjestelmissä, joissa laskentaresurssit ovat rajatut.

## 2.1.8 Tampereen teknillinen yliopisto

Laskennallisilla tieteillä on tärkeä asema Tampereen teknillisessä yliopistossa. Tieteellinen laskenta kattaa kolmasosan tieteellisten saavutusten tuotannosta. Lisäksi laskennallisten tieteiden merkitys kasvaa kokoajan opintojen ja tutkimuksen

parissa. Laskennallisten menetelmien opetus sisältyy kaikkien DI-opiskelijoiden perusopintoihin. Laskennallisia tieteitä hyödynnetään tutkimustyössä lähes kaikilla TTY:n laitoksilla. TTY:n vahvuuksia laskennallisten tieteiden suhteen ovat erityisesti matemaattisen mallintamisen verkostohanke, biotieteet eli lääketieteellinen laskenta, biologinen fysiikka sekä laskennallinen systeemibiologia sekä laskentalaitteet ja laskenta-algoritmien sovittaminen ja kehitys.

Matematiikan laitoksen painotusalueista laskennallisia tieteitä edustavat ”Matemaattinen mallinnus ja tieteellinen laskenta”, ”Lääketieteellinen laskenta”, ja ”Tilastolliset menetelmät ja datan mallinnus” ja laskennalliset tutkimusalueet ovat biostatistiikka, data-analyysi, inversio-ongelmat (osa Suomen Akatemian huippuyksikköä), matemaattinen systeemiteoria, paikannus- ja navigointialgoritmit sekä laskennallinen finanssimatematiikka. Laskennallinen fysiikka kattaa fysiikan laitoksen tutkimustoiminnasta noin puolet ja laskennallinen tutkimus on kiinteästi integroitu kokeelliseen tutkimukseen. Tutkimuksen painopistealueita ovat biologinen fysiikka, nanotieteet, pintatieteet, ja näihin liittyvä materiaalfysiikka. Yleisesti voidaan puhua kompleksisten systeemien mallintamisesta ja niiden simulointiin liittyvien menetelmien kehitystyöstä. Tutkimussuuntia ovat esimerkiksi ab initio -menetelmät, kvantti-Monte Carlo, puolijohdefysiikka ja optiset materiaalit.

Edellä mainittujen laitosten lisäksi laskennallisia tieteitä hyödynnetään erityisen paljon energia- ja prosessiteknikan laitoksella virtaustekniikassa sekä voimalaitos- ja polttotekniikassa. Laskennallinen systeemibiologia on signaalinkäsittelytieteiden laitoksen vahvuus.

## Tampere Center for Scientific Computing

Tampereen teknillisessä yliopistossa toimii Tampere Center for Scientific Computing. Tämän keskuksen tarkoituksena on tuottaa tukea, lähdemateriaalia sekä tieteellistä laitteistoa avuksi TTY:n tutkijoille. TCSC on lisäksi kontakti paikallisille laskennallisten tieteiden parissa työskenteleville mahdollistaen pääsyn CSC:n palveluihin. TCSC:n piiriin on koottu kattavasti TTY:n laskentainfrastruktuuri, tutkimus ja julkaisuja sekä laskennallisiin tieteisiin liittyvä opetustarjonta. TCSC:n merkitys on tunnustettu yliopiston hallinnon tasolla.

## 2.1.9 Tampereen yliopisto

Matematiikan ja tilastotieteen laitos: Matematiikan pää-tutkimussuuntauksia ovat lukuteoria, logiikka ja algebra, joissa laskentaa sovelletaan vain vähän. Sen sijaan tilastotieteessä laskennallisia menetelmiä hyödynnetään runsaasti, esimerkiksi simulointiin perustuvat tekniikat



ovat laskennallisesti intensiivisiä. Tilastotieteessä yhtenä tutkimussuuntana ovat taloustieteelliset ja vakuutusalan sovellukset, joissa hyödynnetään bayesilaisia laskentaintensiivisiä menetelmiä. Toinen laskennallinen tutkimussuunta on robustit ja epäparametriset menetelmät, joihin liittyy laskentaintensiivistä simulointia.

Laskennallisia menetelmiä opetetaan tai hyödynnetään opetuksessa ja tutkimuksessa myös informaatiotutkimuksen sekä tietojenkäsittelyopin laitoksilla. Lääketieteellisessä tiedekunnassa sekä lääketieteellisen tekniikan instituutissa laskennallisia tieteitä hyödynnetään erityisesti biometrian sekä bioinformatiikan parissa.

### 2.1.10 Teknillinen korkeakoulu

Teknillisessä korkeakoulussa laskennallisia tieteitä käytetään opetuksessa ja tutkimuksessa lähes jokaisella laitoksella.

#### **Kemian ja materiaalitieteiden tiedekunta**

Biotekniikan ja kemiantekniikan laitoksella on tarjolla kaksi kandidatkinnon pääainetta, Biotekniikka ja elintarviketekniikka sekä Prosessit ja tuotteet. Prosessitekniiseen ydinosoitukseen kuuluvat myös perustiedot prosessien suunnittelusta ja ohjauksesta sekä ilmiöiden, ainearvojen ja prosessien laskennasta ja mallinnuksesta.

Prosessien kehittämisen kannalta keskeisiä tutkimuskohteita ovat aineen- lämmön- ja liikemäärän siirtoilmiöiden sekä termodynamiikan mittaus-, mallitus-, ja simulointimenetelmät. Mittausta, mallitusta ja simulointia tarvitaan kemiallisten reaktioiden ymmärtämisessä ja hallinnassa. Materiaalitekniikan ydinalueita ovat prosessien termodynamiikka, kinetiikka, virtausdynamiikka sekä aineen- ja lämmönsiirtoilmiöt ja niiden mallintaminen. Tutkimushankkeet käsittelevät muun muassa uusia metallien valmistusprosesseja ja niiden kokeellista tutkimusta sekä prosessien ja ilmiöiden simulointia ja matemaattista mallintamista.

Bioprosessien, solumetabolian ja proteiiniarakenteiden mallinnus ja ennustus sekä säätö ja tilastollinen koesuunnittelu muodostavat omat tutkimus- ja opetus kohteet ja menetelminä tukevat muuta tutkimustoimintaa.

#### **Insinöörityeiden ja arkkitehtuurin tiedekunta**

Energiatekniikan laitoksen erityisiä osaamisalueita ovat polttomoottoreissa tapahtuvan palamisprosessin kehitys, teolliset energiasovellukset muun muassa kuivausprosessit, mustalipeän polttoon liittyvä tutkimus, prosessi-integraatio, järjestelmäoptimointi sekä teollisessa ympäristössä että

rakennuksissa, entropian kehityksen minimointi erilaisissa prosesseissa ja järjestelmissä sekä sähköverkkoihin ja sähkökauppaan liittyvät sovellukset.

Maanmittaustiet laitoksen geomatiikan tutkinto-ohjelmassa opetetaan karttojen suunnittelua, maan muodon mittaamista ja paikkatiedon käsittelyä. Geoinformatiikan laitoksella laskennallista on erityisesti geospatiaalinen laskenta. Pääaineita: geodesia ja fotogrammetria, geoinformatiikka.

Sovelletun mekaniikan laitoksen tutkimuskohteita ovat kiinteiden aineiden mekaniikka (lujuusoppi) ja virtausmekaniikka sekä näiden haastavina sovellusalueina lentotekniikka ja meritekniikka.

Yhdyskunta- ja ympäristötieteiden laitoksella tehdään tutkimusta ja annetaan opetusta liikennetiedon, luonnonvaratiedon (geologia, hydrologia) ja muiden tietojen käsittelyyn liittyen. Hydrologinen mallintaminen on painopisteenä vesitalouden tutkimusryhmässä.

Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitoksen laskennalliset tutkimuskohteet liittyvät ohutseinämäisten rakenteiden adaptiivisiin elementtimenetelmiin, rakenteiden stabiiliusanalyysiin ja kiinteiden aineiden, nesteiden ja seosten konstitutiiviseen mallinnukseen, esimerkiksi kvasi-hauraiden aineiden murtumisen mallinnukseen, maan routimisen simulointiin, betonirakenteiden korkealämpötilamallinnukseen sekä magnetoelastisuuteen.

#### **Informaatio- ja luonnontieteiden tiedekunta**

Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitoksen tutkimuksen keskipisteessä ovat elävät ja muut kompleksiset systeemit, niiden mittaaminen, analysointi, ymmärtäminen ja hallinta. Tutkimuksessa yhdistellään kokeellista tutkimusta ja laskennallisia menetelmiä. Lisäksi kehitetään algoritmeja ja uusia teknologioita, joilla selvitetään terveydenhuoltoon, lääketieteelliseen diagnostiikkaan, yhteiskuntaan, energiaan ja ympäristöön liittyviä ongelmia. Laitos vastaa yhdessä tietojenkäsittelytieteen laitoksen kanssa laskennallisen tieteen pääaineesta tietotekniikan tutkinto-ohjelmassa, sekä elektroniikan ja sähkötekniikan tutkinto-ohjelman laskennallisen tieteen pääaineesta.

Matematiikan laitos toteuttaa matematiikan peruskurssit kaikille tiedekunnille, laajoina osastokohtaisina kokonaisuuksina, joissa osastojen erityispiirteet ja materiaalin jatkuva uudistaminen voidaan joustavasti toteuttaa. Inversio-ongelmien tutkimusryhmä on osa Suomen Akatemian Inversio-ongelmien huippuyksikköä. Muita tutkimusryhmiä: differentiaaligeometria, evoluutioyhtälöt, elementtimenetelmät, epälineaariset osittaisdifferentiaaliyhtälöt, numeriiikka, stokastiikka ja aika-taajuus-analyysi.

Systemianalyysin laitoksella opetus keskittyy systeemien mallinnukseen, simulointiin, optimointiin. myös päätöksentekoa, geneettisiä algoritmeja

Teknillisen fysiikan laitoksella on vahvat perinteet niin kokeellisesta kuin myös laskennallisesta ja teoreettisesta fysiikan tutkimuksesta. Laitos vastaa laskennallisten nanotieteiden huippuyksikköä (COMP) sekä uutta kansallista nanomikroskopian keskusta. Laitos tarjoaa fysiikan perusopetuksen myös muiden tiedekuntien opiskelijoille. Klassisen fysiikan ja kvanttimekaniikan yleisten kurssien lisäksi opiskelijoille tarjotaan kursseja esimerkiksi materiaalfysiikasta, tilastollisesta fysiikasta, hiukkasfysiikasta. Kurseilla käsitellään kokeellisia, teoreettisia ja laskennallisia aiheita.

Tietojenkäsittelytieteen laitoksen tutkimus ja opetus painottuvat tekniikan ja tieteen haastavien sovellusten tarvitsemiin edistyneisiin laskennallisiin menetelmiin. Laitoksella kehitetään tehokkaita tietojenkäsittelytekniikoita muun muassa suurten, moniulotteisten tietoaineistojen analysointiin sekä kompleksisten ohjelmisto- ja tietoverkko-sovellusten mallintamiseen ja suunnitteluun. Laitos on erittäin vahva jatkokoulutusyksikkö (muun muassa vuonna 2008 TKK:n ennätys 13 väitöskirjaa), mutta tarjoaa myös merkittävässä määrin perustutkintotason opetusta. Laskennalliset tieteet ovat laitoksen tutkimuksen ja opetuksen ydinaluetta, Laitoksen tutkimus ja opetus painottuvat tekniikan ja tieteen haastavien sovellusten tarvitsemiin edistyneisiin laskennallisiin menetelmiin.

Tietojenkäsittelytieteen laitoksessa toimii kaksi kansallista tutkimuksen huippuyksikköä: Adaptiivisen informatiikan tutkimuksen huippuyksikkö sekä osa Algoritmisen data-analyysin huippuyksikön tutkimusryhmistä. Alempaa korkeakoulututkintoa suorittaville opiskelijoille laitos tarjoaa opetusta informaatiotekniikan sekä tietojenkäsittelyteorian aihealueilla. Ylempään korkeakoulututkintoon tähtäävän koulutuksen aihepiireinä ovat informaatiotekniikka, kieli-tekniologia, laskennallinen tiede sekä tietojenkäsittelyteoria. Laitos tarjoaa myös maisteritason laskennallisen tieteen opintoja suomalaisille ja ulkomaalaisille opiskelijoille neljän englanninkielisen Master-ohjelman kautta: Master's Programme in Machine Learning and Data Mining (Macademia), Master's Degree Programme in Bioinformatics (MBI; yhteistyössä Helsingin yliopiston kanssa), Master's Programme in Foundations of Advanced Computing (FAdCo), ja Master's Programme in Systems Biology (euSYSBIO) (yhteistyötahoina ruotsalainen KTH Royal Institute of Technology ja portugalilainen Instituto Superior Tecnológico).

Tiedekunnalla on laitosten yhteinen sivuaine Laskennallinen tiede ja tekniikka, jonka sisällöstä vastaavat Matematiikan ja systeemianalyysin, Fysiikan, Tietojenkäsittelytieteen,

Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitokset. Sivuaineen tavoitteena on perehdyttää eri aloilla tarvittaviin matemaattisiin malleihin ja niiden käyttöön monimutkaisten ilmiöiden tutkimuksessa.

## **Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta**

Signaalinkäsittelyn perusopetus keskittyy digitaalitekniikkaan. Jatkokurssseissa painopiste on digitaalisessa tietoliikenteessä käytettävissä signaalinkäsittelymenetelmissä, signaalinkäsittelyalgoritmien optimoinnissa sekä nykyaikaisissa laitteistototeutuksissa.

Akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan aineopintojen tavoitteena on tarjota perustiedot akustisista ilmiöistä, niiden kuulemisesta ja äänenkäsittelytekniikasta sekä valmiudet näiden soveltamiseen eri osa-alueilla kuten audiotekniikassa, puheenkäsittelyssä, akustisissa mittauksissa

Sähkötekniikan laitos tarjoaa magneetti- ja lämpökenttien numeeristen laskentamenetelmien opetusta maisteri- ja tohtoriopiskelijoille. Tutkimuksessa kehitetään sähkökoneiden ja niissä käytettävien materiaalien mallinnusmenetelmiä.

### **2.1.11 Turun yliopisto**

Turun yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan laskennallinen opetus on keskittynyt matematiikan laitokselle. Laitos myös vastaa matematiikan perusopetuksesta muiden tiedekuntien koulutusohjelmissa. Matematiikan koulutusohjelmassa on matematiikan ja sovelletun matematiikan linjat, sekä maisterivaiheen opintoihin liittyvä matemaattisen tilastotieteen linja. Laskennallisten tieteiden tutkimus on Turun yliopistossa jakautunut useampaan eri laitokseen, mutta pääsääntöisesti kaikki laskennallisia tutkimusmenetelmiä käyttävät laitokset sijoittuvat Matemaattis-luonnontieteelliseen tiedekuntaan.

Turun yliopiston matematiikan laitos on erityisen tunnettu diskreetin matematiikan korkeatasoisesta tutkimuksesta, mikä tekee siitä ainutlaatuisen maamme yliopistojen analyysipainotteisten matematiikan laitosten joukossa. Näin ollen se ei noudata perinteistä vallalla olevaa jakolinjaa puhtaaseen eli teoreettiseen ja sovellettuun eli laskennalliseen matematiikkaan, vaan Turussa molemmat oppiaineet, niin matematiikka kuin sovellettukin matematiikka edustavat laskennallisia tieteitä sanan varsinaisessa merkityksessä. Jopa kaikkein teoreettisimpana matematiikan alana pidetyssä lukuteoriassakin hyödynnetään nykyään vahvasti laskennallisia menetelmiä. Sovelletun matematiikan alalla tärkeimmät laskennallisten tieteiden osa-alueet ovat biomatematiikka ja optimointi.

Informaatioteknologian laitoksen opetus ja tutkimus on monipuolista kattaen kaikkien tietojenkäsittelytieteiden (tietojenkäsittelytiede, tietojärjestelmätiede sekä tietotekniikka) lisäksi mikroelektronikan ja tietoliikennejärjestelmät. Tutkimus ulottuu teknologia-alustoista (mikroelektronikan valmistustekniikat) ja ohjelmisto- ja laitteistokehitystekniikoista (ohjelmistotuotanto, sulautetut ja digitaaliset järjestelmät) eri sovellusalojen vaatimiin erityismenelmiin niin teknis-luonnontieteellisissä sovelluksissa (erityisesti algoritmiset ratkaisut muun muassa bio- ja lääketieteen, kuvankäsittelyn ja tuotannon optimoinnin ongelmiin) kuin ihmistieteellisissäkin sovelluksissa (muun muassa järjestelmien käytettävyys ja tietotyö, digitaalinen sisältötuotanto sekä älykkäät tietoliikennejärjestelmät).

Fysiikan ja tähtitieteen laitoksella tehdään monipuolista perus- ja soveltavaa tutkimusta kuudessa laboratoriossa ja Tuorlan observatoriossa, joissa käytetään myös laskennallisia menetelmiä.

Yhteiskuntatieteellisessä tiedekunnassa on tilastotieteen laitos, jossa pääaineet ovat tilastotiede ja biostatistiikka, erityisesti lääkeaineiden kehityksen kliinisen tutkimuksen tilastolliset menetelmät.

### 2.1.12 Vaasan yliopisto

Teknisessä tiedekunnassa oleva matemaattisten tieteiden laitos tarjoaa matematiikan, talousmatematiikan ja tilastomatematiikan opetusta. Muutenkin laskennalliset tieteet ovat tärkeässä osassa tiedekunnan kaikissa laitoksissa. Vaasan erityisosaamiseen kuuluvat talouteen ja rahoitukseen liittyvät matemaattiset menetelmät sekä optimointimenetelmät. Opetuksessa ja tutkimuksessa on pyritty ottamaan huomioon ympäristössä olevan teollisuuden tarpeet ja toimimaan yhteistyössä sen kanssa mahdollisimman paljon. Matemaattiseen mallintamiseen liittyen Vaasassa kaivattaisiin yhteistyökumppaneita.

### 2.1.13 Åbo Akademi

Laskennallinen opetus on keskittynyt matematiikan laitokselle. Matematiikan perusopetuksen lisäksi laitos vastaa myös muiden tiedekuntien koulutusohjelmissa. Pääaineena laitoksella voi suorittaa matematiikan, soveltavan matematiikan ja tilastotieteen. Sivuvaihteluna matematiikasta on tarjolla matematiikka (lyhyt ja pitkä), diskreetti matematiikka ja pitkä sivuaine tietojenkäsittelijöille.

Laskennallisia painopisteitä ovat sumea joukkoteoria, sumea matematiikka, optimointi ja älykkäät järjestelmät sumeilla komponenteilla. Sumeiden menetelmien suhteen

Åbo Akademi on kansallinen keskus. Toinen painopiste on epälineaarinen sekalukuoptimointi, jonka osalta tutkimus on myös kansallista huipputasoa.

## 2.2 Laskennalliset tieteet yliopistojen strategioissa

Monien yliopistojen strategisissa linjauksissa laskennallisia tieteitä ei nosteta esiin. Tiedekuntatasolla tilanne muuttuu selvästi ja useissa matemaattisissa, luonnontieteellisissä ja informaatioteknologisissa tiedekunnissa jokin laskennallisten tieteiden osa-alue on nimetty tärkeänä tutkimusalueena. Toisaalta harva tiedekuntakaan mainitsee laskennallisia tieteitä kokonaisuutena strategisesti tärkeänä kehityskohteena, vaan yleensä keskitytään jollekin kapeammalle sektorille. Huomattavaa on, että vuonna 2010 toimintansa aloittavassa Aalto-yliopistossa laskenta ja mallinnus nostetaan strategiassa yliopiston vahviisalueeksi.

Seuraavassa esitellään tarkemmin, millaisia mainintoja laskennallisista tieteistä eri yliopistojen strategioissa ja tiedekuntien esittelyissä on ollut vuonna 2009. Lapin yliopiston, Tampereen yliopiston ja Åbo Akademin osalta erillisiä mainintoja ei strategioissa ole.

### 2.2.1 Helsingin yliopisto

Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa edistetään muun muassa seuraavia strategisia tutkimusalueita: avaruustutkimus, biologisen tiedon data-analyysi, geoinformatiikka, geotieteet, ilmakedätieteet, kaupunkitutkimus, laskennallinen tiede, matemaattinen fysiikka sekä nanotiede ja ympäristön perustutkimus. Yliopistossa toimii sekä Suomen Akatemian että yliopiston tukema laskennallisen molekyyli-tutkimuksen huippuyksikkö.

### 2.2.2 Joensuun yliopisto

Tieto- ja viestintäteknologiaa tukevat fysiikassa tehtävä laaja optiikan tutkimustyö, ohjelmisto-tuotannon ja tietokoneavusteisen opetuksen sekä kognitiotieteen tutkimus tietojenkäsittelytieteessä, differentiaaliyhtälöiden numerikaan tutkimus sekä signaalinkäsittelyn tutkimus.

### 2.2.3 Jyväskylän yliopisto

Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan tutkimuksen tärkeitä osa-alueita ovat esimerkiksi geometrinen analyysi ja matemaattinen fysiikka, spatiaalinen tilastotiede sekä pitkittäisaineistojen ja rakenneyhtälömallien tutkimus,

luonnontieteiden ja matematiikan opettajankoulutus. Tiedekunnassa olevan matematiikan ja tilastotieteiden laitoksen vahvuus- ja kehittämisalueita ovat matemaattinen analyysi, tilastotiede, stokastiikka sekä edellä mainittu matematiikan aineenopettajien koulutus. Lisäksi informaatioteknologian tiedekunnassa tietotekniikan laitoksella tutkimuksellisenä vahvuusalueena on tieteellinen laskenta (simulointi ja optimointi). Tulevaisuudessa tietotekniikan laitoksen strategiassa painotetaan entistä enemmän tieteellistä laskentaa, optimointia, laskennallista älykkyyttä ohjelmistotekniikassa.

## 2.2.4 Kuopion yliopisto

Kuopion yliopisto on terveys-, ympäristö- ja hyvinvointiyliopisto, jonka tunnusomainen piirre on toimintojen laadukkuus ja tutkimusintensiivisyys. Strategiensa mukaan Kuopion yliopisto on kansainvälinen ja arvostettu tiedeyliopisto, joka tunnetaan huippututkimuksestaan ja innovatiivisesta opetusympäristöstään. Yliopistossamme on sekä Suomen Akatemian nimeämiä että pohjoismaisia tutkimuksen huippuyksiköitä ja koulutuksen laatuyksiköitä. Yksi Suomen Akatemian nimeämistä tutkimuksen huippuyksiköistä on laskennallisten tieteiden alalta ”Finnish Centre of Excellence in Inverse Problems Research”. Tutkimuksen vahvuusalueita ovat mm. laskennallinen fysiikka, algoritmiset ja laskennalliset menetelmät sekä ohjelmistotekniikan menetelmät ja sovellukset. 2008–2009 tehdyn tutkimuksen kansainvälisen arvioinnin pohjalta 2010 aloittavalle Itä-Suomen yliopistolle on määritelty tutkimuksen painoalaksi mm. lääketieteellinen ja laskennallinen fysiikka.

## 2.2.5 Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa on yhdeksi neljästä strategisesta painopistealueesta valittu ”Tieteellinen laskenta ja teollisten prosessien mallinnus”. Tälle painopistealueelle on luotu toimenpideohjelma. Erityisesti on perustettu CEID (Computational Engineering and Integrated Design) yksikkö kokoamaan yhteen laskennallisen tieteen ja teknologian osaamista. Tavoite on edistää eri laitosten yhteistyötä, luoda integroitua tutkimusta ja projekteja, joissa tieteellisellä laskennalla on keskeinen osa.

## 2.2.6 Oulun yliopisto

Suoranaisesti laskennallisia tieteitä ei ole mainittu Oulun yliopiston strategiassa, mutta ne kuuluvat hyvin olennaisena osana suureen osaan strategiassa nimetyistä alueista: langaton tietoliikenne, mobiilisovellukset, elektroniikka, fotonikka, nanoteknologia, konenäkö, älykkäät järjestelmät,

joka paikan tietotekniikka ja hyvinvointitekniikka. Alan kehityksestä ja koordinoinnista vastaa Infotech Oulu, joka koostuu tutkimusryhmistä, jotka tekevät tutkimusta informaatiotekniikan eri alueilla. Infotech Oulun tarkoitus on edistää pitkäjänteistä tutkimusta ja tutkijankoulutusta. Lisäksi biotekniikan puolella on Infotechin vastine Biocenter Oulu, jonka eräs tutkimusalue on laskennallinen biotekniikka eli biocomputing.

## 2.2.7 Teknillinen korkeakoulu

Teknillisen korkeakoulun informaatio- ja luonnontieteiden tiedekunnassa on kolme tutkimuksen huippuyksikköä: Adaptiivisen informatiikan huippuyksikkö (AIRC), Laskennallinen kompleksisten systeemien tutkimuksen huippuyksikkö (LCE) ja Laskennallisen nanotieteen huippuyksikkö (COMP). Lisäksi tiedekunta on osallisena kahdessa muiden yliopistojen kanssa yhteisessä huippuyksikössä, joita ovat Algoritmisen data-analyysin huippuyksikkö ja Inversio-ongelmien huippuyksikkö. TKK:n informaatio- ja luonnontieteiden tiedekunnassa laskennalliset tieteet ovat strateginen painoala. Aalto-yliopiston RAE:ssa laskenta ja mallinnus todettiin vahvuusalueeksi.

## 2.2.8 Turun yliopisto

Turun yliopisto tunnistaa tutkimuksen vahvuusaloja ja etsii lupaavia vahvassa kehitysvaiheessa olevia aloja, joille suunnataan erityispanostuksia ja joiden kautta yliopisto profiloituu. Laajimman ja monialaisimman vahvuusalueen muodostavat biotieteet. Muihin tunnistettuihin vahvuusaloihin kuuluu myös matemaattinen tutkimus. Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan tutkimuksen strategisia painopistealoja ovat biotieteet ja matemaattiset menetelmät, mutta huippuosaamista on myös monilla muilla aloilla, esimerkiksi tähtitieteessä, mikroelektroniikassa, bioinformatiikassa ja kaupunkitutkimuksessa.

## 2.2.9 Vaasan yliopisto

Teknillisen tiedekunnan erääksi vahvuusalueeksi mainitaan taloudellisten ja teknisten ilmiöiden matemaattinen ja tilastollinen mallintaminen.

## 2.3 Yritysten ja organisaatioiden tilanne

Laskennallisten menetelmien osaamista tarvitaan yrityksissä yhä enemmän, sillä laskenta on yrityksen tutkimus ja kehitystoiminnan kriittinen menestystekijä ja laskentaa

tarvitaan yhä useammalla alalla. Tarpeita syntyy yhä useammalle alalle, myös muille kuin puhtaasti laskennallisille aloille, logistiikkaan ja strategiseen suunnitteluun. Yritysten ja organisaatioiden tarpeet osaajille ovat paitsi pelkkä laskentaosaaminen, myös sujuva ohjelmointitaito sekä laskentasovellusten hallinta. Osaajilta vaaditaan yritysmaailmassa myös näkemystä perinteisistä insinööritieteistä sekä tuotannollisten ja resursseihin liittyvien asioiden ymmärrystä ja hallintaa. Tästä huolimatta yritysten on koulutettava osaajat oman alansa ongelmakentän pariin.

Laskentajärjestelmien ja -laitteistojen jatkuva kehitys mahdollistaa yhä tehokkaamman työskentelyn, toisaalta infrastruktuuriin on satsattava säännöllisesti. Laskentatehoa haasteellisempi ongelma on datan esikäsittelyyn ja tulostulvan hallintaan liittyvät menetelmät.

Yhteistyötä yliopistojen kanssa on melko vähän. Ongelmaksi yhteistyön suhteen nousevat resursseihin liittyvät poikkeavat tarpeet. Yritysmaailman ja yliopistojen resurssien tarve ja tulosodotukset eivät aina kohtaa. Nopeasti kehittyvä yritys tarvitsee tuloksia nopeasti ja yliopistojen tarve yrityksiltä ja organisaatiolta data ja erilaiset ongelmat, joita teoreetikot voivat sitten pohtia. Näin yliopistot voivat säilyttää tutkimustyöhön ja innovaatioihin vaadittavan vapauden toimien silti molempia osapuolia hyödyttävässä yhteistyössä eri organisaatioiden kanssa.

### 3 Laskennallisten tieteiden koulutus

Kartoituksen avulla on selvitetty, millaista laskennallisiin tieteisiin liittyvää koulutusta Suomessa järjestetään korkeakouluissa. Mukaan on otettu maisteri- ja jatko-opinnot, sivuaineopetus sekä täydennyskoulutus. Toisen asteen opetuksen osalta mukaan on laskettu valtakunnallinen LUMA-keskus. Näiden lisäksi opetusta järjestää Matemaattisen mallintamisen verkostohanke, joka on osa Suomen virtuaaliyliopiston toimintaa. Hankkeen tavoitteena on ollut luoda matemaattisen mallintamisen verkosto ja opintokokonaisuus, lisäksi pyritään osallistumaan kansainvälisiin mallinnuskilpailuihin.

Kartoituksen perusteella nähdään, että laskennallisten tieteiden opetusta tarjotaan kaikissa korkeakouluissa. Opetus on jakautunut maahan sirpaleisesti ja koordinoimattomasti. Pääallekkäistä opetusta on jonkin verran. Yhtenä ongelmana voidaan nähdä se, että opetusta ja osaajia on, mutta paikoitellen osaaminen pysyy alakohtaisena ja osaajat pitäytyvät oman erikoisalansa parissa, vaikka mahdollisuuksia poikkitieteelliseen yhteistyöhön opetuksen suhteen olisi läpi koulutusalarajojen nykyistä vielä laajalaisympärisempin. Opetusministeriö määrittelee laskennallisten tieteiden kehittämisen ohjelmassa sekä kansallisessa eScience-ohjelmassa yhteistyön merkittäväksi tavoitteeksi kehityksen takaamiseksi. Yhteistyön tiivistäminen takaa myös poikkitieteelliset innovaatiot.

Kartoituksen myötä käy myös ilmi, että yhteistyötä voitaisiin kehittää myös korkeakoulujen sisäisesti. Resursseja hukataan, jos sama kurssi järjestetään yhden korkeakoulun

sisällä erillisesti usealla eri osastolla. Ongelmaan on tartuttu Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa, jossa on meneillään CEID-hanke (Center of Computational engineering and integrated design), jonka tarkoituksena on integroida laboratorioden osaamista ja tutkimushankkeita, koordinoita ja keskittää laskentamenetelmien, ohjelmistojen ja tietokoneressurssien kehittämistä sekä panostaa tutkijakoulutukseen ja seminaareihin.

#### 3.1 Maisteriopetus

Laskennallisiin tieteisiin liittyvän ylemmän korkeakoulututkimuksen voi suorittaa lähes kaikissa korkeakouluissa pois lukien Lapin sekä Vaasan yliopistot. Yliopistoissa laskennallisiin tieteisiin liittyvät maisteriopinnot keskittyvät pääosin matematiikan, fysiikan, tietojenkäsittelytieteiden ja tilastotieteiden piiriin. Myös muutamilla tietoteknisillä linjoilla on suoritettavissa laskennallisiin tieteisiin liittyvät maisteriopinnot. Diplomi-insinöörikoulutuksessa laskennallisten menetelmien opetus kuuluu olennaisesti jo perusopetukseen, joten käytännössä jokainen DI-koulutuksen linja kuuluu laskennallisten tieteiden piiriin.

Taulukossa 1 esitellään laskennallisten tieteiden maisteriopetus yliopistoittain pääpiirteittäin. Johtuen DI-opintojen kokonaisuvaltaisesta laskennallisesta luonteesta, käsitellään erilliset DI-opintojen linjat taulukon rivillä ”Teknilliset tieteet”. Taulukko 1 jättää huomioimatta sen, että maisteri- ja DI-tutkintoihin tähtäävien aineiden syvyydet vaihtelevat sen mukaan, onko kyseessä pääainelinja, opintosuunta vai syventymiskohde. Taulukossa aineet eivät ole eksakteja oppiaineiden nimiä vaan kuvaavat oppiainetarjontaa eri aloilta.

Taulukko 1: Laskennallisten tieteiden maisteriopetus yliopistoittain

| Aine                          | Yliopisto                              |
|-------------------------------|--|
| Fysiikka                      | HY, JY, KY, OY, TTY, TKK               |
| Laskennallinen fysiikka       | HY, TTY, TY                            |
| Laskennallinen kemia          | HY, TTY                                |
| Laskennallinen tietotekniikka | JY, LTY, TKK                           |
| Lääketieteellinen tekniikka   | KY, TTY, TKK                           |
| Matematiikka                  | HY, JoY, JY, OY, TaY, TTY, TKK, TY, ÅA |
| Nanotieteet                   | HY, JY                                 |
| Teknilliset tieteet           | LTY, OY, TTY, TKK                      |
| Tieteellinen laskenta         | JY, KY, LTY, TTY, TKK                  |
| Tietojenkäsittely             | HY, TaY, TKK, TY                       |
| Tilastotiede                  | HY, JoY, JY, OY, TaY, TY, ÅA           |

## Helsingin yliopisto

Matematiikan pääaineessa on monta eri suuntautumisvaihtoehtoa. Erikoisuutena Master's Degree Programme in Bayesian Statistics and Decision Analysis. Myös tietojenkäsittelytieteen laitoksella on vahvasti laskentapainotteisia suuntautumisia, esimerkiksi algoritmit ja koneoppiminen. Fysiikan laitoksella on mahdollisuutena erikoistuminen laskennalliseen fysiikkaan ja kemian laitoksella laskennalliseen kemiaan. Fysiikan ja kemian laitos valmistelevat yhteistä molekyyli- ja nanotieteen simulointien kansainvälistä maisteriohjelmaa "MoMoNano".

## Joensuun yliopisto

Mahdollisuus suorittaa maisterin tutkinto matematiikassa ja tilastotieteissä.

## Jyväskylän yliopisto

Tietotekniikan laitoksella simulointi ja optimointi on yksi maisteriohjelma. Fysiikan laitoksella ovat teoreettisen sekä soveltavan fysiikan pääainelinjat, lisäksi nanotieteiden koulutusohjelma. Matematiikan laitoksella stokastiikkaan ja todennäköisyysteoriaan keskittyvä linja.

## Kuopion yliopisto

Scientific Computing Master program -maisterintutkinto sekä laskennallisen tekniikan pääaine fysiikan laitoksella. Matematiikan ja tilastotieteen laitoksella ei ole maisterinlinjoja, tarjolla ainoastaan perusopetusta, syventäviä kursseja sekä sivuainetarjontaa.

## Lappeenrannan teknillinen yliopisto

LTY:n MS in Technomathematics DI-koulutusohjelma nojautuu ECMI verkostossa tapahtuvaan yhteistyöhön (curriculum development, vuosittainen Modelling week, vaihtovierailut). Tietotekniikan osastolla on älykkään laskennan pääaine. Kansainvälisessä Master's Degree Programme in Information Technology ohjelmassa on Intelligent Computing pääaine.

## Oulun yliopisto

Oulussa matemaattisten tieteiden laitokselta löytyy kolme maisterinlinjaa: matematiikka, sovellettu matematiikka ja tilastotiede. Fysiikan laitoksella on teoreettisen fysiikan linja, jossa käsitellään fysikaalisia ilmiöitä laskennallisten menetelmien avulla. Konetekniikan koulutusohjelmassa voi suuntautua teknilliseen mekaniikkaan.

## Rovaniemen yliopisto

Rovaniemellä ainoastaan matematiikan opettajiksi opiskelevat voivat lukea matematiikkaa aineopintojen tasolle. Tarjolla ei ole maisteritason opetusta.

## Tampereen yliopisto

Tampereen yliopistolla on luettavissa matematiikan ja tilastotieteiden pääaineopinnot. Tietojenkäsittelyopin laitoksella luettavissa algoritmiikan maisterintutkinto.

## Tampereen teknillinen yliopisto

Kaikkiin koulutussuuntiin kuuluu runsaasti opintoja laskennallisiin menetelmiin liittyen. Eryteisesti laskennallisia ovat 20op laajuisista aineopintojaksoista matemaattinen mallinnus (verkostohanke) sekä teknillisen laskennan menetelmät. Syventäviä opintoja 30op laajuisia opintopaketteja laskennallisten menetelmien suhteen ovat laskennallinen systeemibiologia, matemaattinen mallinnus ja tieteellinen laskenta, lääketieteellinen laskenta, oppivat järjestelmät, paikannus ja navigointi, koneiden ja rakenteiden analysointi, laskennallinen kemia, laskennallinen fysiikka, biologinen fysiikka, puolijohdefysiikka, virtaustekniikka sekä voimalaitos- ja polttotekniikka.

## Teknillinen korkeakoulu

Teknillisessä korkeakoulussa laskennallista tiedettä opetetaan maisteritasolla tietojenkäsittelytieteen, matematiikan ja systeemianalyysin, teknillisen fysiikan ja lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitoksilla. Matematiikan ja systeemianalyysin laitoksella mahdollisuus suorittaa matemaattikoinisöörin tutkinto sekä mahdollisuus opiskella muun muassa matemaattista mallintamista. Lähes kaikissa koulutusohjelmissa on mukana runsaasti laskennallisia menetelmiä. Lisäksi tarjolla ovat fokusoidut kansainväliset maisteriohjelmat Master's Programme in Machine Learning and Data Mining (Macademia), Master's Degree Programme in Bioinformatics (MBI; yhteistyössä Helsingin yliopiston kanssa), Master's Programme in Foundations of Advanced Computing (FAdCo), ja Master's Programme in Systems Biology (euSYSBIO) (yhteistyötahoina ruotsalainen KTH Royal Institute of Technology ja portugalilainen Instituto Superior Tecnológico).

Tietojenkäsittelytieteen laitoksella ylempään korkeakoulututkintoon tähtäävän koulutuksen aihepiireinä ovat informaatiotekniikka, kieliteknologia, laskennallinen tiede, tietojenkäsittelyteoria sekä laskennallinen ja kognitiivinen biotiede.

## Turun yliopisto

Fysiikan laitoksella toimii laskennallisen fysiikan koulutusohjelma. Tietojenkäsittelytieteissä on suoritettavissa Mathematics for Information Technology -pääaine. Matematiikan koulutusohjelmassa suuntautumisvaihtoehtoina ovat analyysi, diskreetti matematiikka, matemaattinen mallintaminen ja tilastotieteet. Tilastotieteen koulutusohjelmassa vaihtoehdot ovat tilastotiede ja biostatistiikka.

## Vaasan yliopisto

Matemaattisten tieteiden laitokselle on keskitetty kokonaisvastuu matemaattisten aineiden opetuksesta ja tutkimuksesta sekä niiden kehittämisestä Vaasan yliopistossa. Varsinaisia pääaineopiskelijoita laitoksella ei perustutkintotasolla ole, vaan laitoksen opetus suuntautuu substanssiaineita tukien sovellusalueille.

## Åbo Akademi

Matematiikan laitoksella voi suorittaa matematiikan, soveltavan matematiikan ja tilastotieteen pääaineopinnot.

## 3.2 Jatkokoulutus

Laskennallisiin tieteisiin tai tieteisiin, jotka hyödyntävät laskennallisia menetelmiä voidaan jatkokouluttautua lähes joka yliopistossa. Taulukkoon 2 on koottu pääpiirteittäin millä aloilla laskennalliseen tieteeseen liittyvän jatkotutkinnon voi missäkin yliopistossa suorittaa. Taulukossa alat eivät ole eksakteja oppiaineiden nimiä vaan kuvaavat oppiainetarjontaa eri aloilta.

### Helsingin yliopisto

Filosofian tohtorin jatkotutkinnon voi suorittaa fysiikan, kemian, matematiikan, soveltavan matematiikan ja tilastotieteen aloilta.

### Jyväskylän yliopisto

Filosofian tohtorin jatkotutkinnot voi suorittaa fysiikan, kemian, matematiikan ja tilastotieteen sekä tietotekniikan laitoksilta.

### Joensuun yliopisto

Filosofian tohtorin tutkinnot voi suorittaa matematiikassa ja tilastotieteessä.

Taulukko 2: Jatkotutkintomahdollisuudet yliopistoittain

| Ala  | FT  | TkT               | KtT |
|--|---|-------------------|-----|
| Laskennallinen biologia / Bioinformatiikka | KY, HY                                    | TKK               |     |
| Laskennallinen fysiikka                    | OY, KY, HY                                | TKK               |     |
| Laskennallinen kemia                       | HY  | TTY               |     |
| Laskennallinen tiede / tekniikka           | KY  | TKK               |     |
| Laskennallinen tietotekniikka              | JY, HY                                    | VY, OY, TKK       |     |
| Matematiikka                               | VY, OY, HY, TY, TaY, TTY, KY, JoY, JY, ÅA | TKK, TTY          |     |
| Signaalinkäsittely                         |   | TKK, TTY          |     |
| Soveltava matematiikka                     | OY, HY, TY, LTY, ÅA                       | TKK, LTY          |     |
| Teknilliset tieteet                        |   | LTY, TKK, TTY, OY |     |
| Talousmatematiikka                         |   |                   | VY  |
| Tilastotiede                               | VY, OY, HY, TY, TaY, JoY, JY, ÅA          |                   |     |



## **Kuopion yliopisto**

Matematiikan laitoksella on mahdollisuus jatko-opintoihin. Luonnon- ja ympäristötieteiden tiedekunnassa on useita jatkokoulutuslinjoja, kuten laskennallinen tekniikka.

## **Lappeenrannan teknillinen yliopisto**

Mahdollisuus suorittaa tohtorin tutkinto sovelletusta matematiikasta ja tietotekniikan alalla.

## **Oulun yliopisto**

Oulussa toimii tutkijakoulu Infotech, jossa on meneillään monia projekteja, joissa hyödynnetään laskennallisia tieteitä. Luonnontieteissä filosofian tohtorin tutkinnon on mahdollista suorittaa matematiikasta, sovelletusta matematiikasta, tilastotieteistä sekä laskennallisesta fysiikasta. Lisäksi jatko-opiskelijoille järjestetään opetusta samaan tapaan kuin muutenkin teknillisessä tiedekunnassa: vallitsevan tarpeen mukaan räätälöityjä kursseja.

## **Tampereen yliopisto**

Tampereen yliopistolla on mahdollista suorittaa tohtorin tutkinto matematiikassa.

## **Tampereen teknillinen yliopisto**

Suoritettavissa ovat tekniikan tohtorin tutkinnot. Erityisin perustein voidaan suorittaa filosofian tohtorin tutkinto.

## **Teknillinen korkeakoulu**

Teknillisessä korkeakoulussa suoritetaan jatkotutkintoina pääsääntöisesti tekniikan tohtorin tutkintoja. Tohtorin tutkinnon voi suorittaa suoraan ylemmän perustutkinnon jälkeen suorittamatta ensin lisensiaatin tutkintoa. Erityisin perustein voidaan suorittaa filosofian tohtorin tutkinto.

## **Turun yliopisto**

Matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa voidaan suorittaa luonnontieteellinen jatkotutkinto seuraavilla tieteenaloilla: biokemia, biotekniikka, biologia, elektroniikka ja tietoliikennetekniikka, elintarvikekemian, fysiikka, geologia, kemia, maantiede, matematiikka, materiaalitiede, sovellettu matematiikka, teoreettinen fysiikka, tietojenkäsittelytiede, tietojärjestelmätiede ja tähtitiede. Teknillistieteellinen jatkotutkinto voidaan suorittaa biotekniikassa, mikroelet-

roniikassa, tietoliikennetekniikassa tai tietotekniikassa. Yhteiskuntatieteellisessä tiedekunnassa voi suorittaa tilastotieteen jatkotutkinnon.

## **Vaasan yliopisto**

Jatko-opinnoissa matematiikan laitoksella on mahdollista suorittaa kauppatieteiden tohtorin tutkinnot pääaineena talousmatematiikka tai tilastotiede. Lisäksi kaikissa laitoksen edustamissa oppiaineissa voidaan suorittaa filosofian tohtorin tutkinto.

## **Åbo akademi**

Jatkotutkinto on suoritettavissa matematiikan, soveltavan matematiikan ja tilastotieteen aloilla.

## **3.3 Tutkijakoulut**

Jatkokoulutusta ja tutkimusta tukemassa Suomessa toimii laaja opetusministeriön rahoittama tutkijakouluverkosto. Myös laskennallisia tieteitä tukee usea tutkijakoulu monelta eri alalta. Laskennallisten tieteiden asemaa tutkijakouluissa vahvistaa vuoden 2009 aikana perustettu laskennallisten tieteiden tutkijakoulu. Laskennallisen biologian, bioinformatiikan ja biometriian tutkijakoulu yhdistyy perusteilla olevaan laskennallisten tieteiden tutkijakouluun ja uusi tutkijakoulu tarjoaa 25 rahoituspaikkaa laskennallisten tieteiden tutkimukseen. Oppilasvalinta päättyy vuoden 2009 loppuun mennessä ja tutkijakoulun toiminta alkaa täysipainoisesti vuoden 2010 alussa.

Tällä hetkellä tutkijakoulujen asema painottuu yksittäisten tutkijoiden tutkimustyön rahoittamiseen ja tukemiseen. Tutkijakouluverkostolla on potentiaalia tiivistää yhteistyötä kouluittain. Koulumaisempi tutkijakoulu kehittäisi kollektiivista yhdessä tekemistä, menetelmäosaaminen saatavaksi yhä tehokkaammin kaikkien saataville. Ryhmäkokoja kasvattamalla voitaisiin vastata paremmin tulevaisuuden yhä laajempiin haasteisiin. Seuraavassa on listattuna laskennallisten tieteiden tutkijakoulut alakohtaisesti:

## Bio- ja lääketieteet

- Graduate School in Computational Biology, Bioinformatics and Biometry (HY, TY, TAY)
- National Graduate School in Informational and Structural Biology (HY, JOY, JY, KY, OY, TAY, TY, ÅA, LTY)
- Turku Graduate School of Biomedical Sciences (TY, ÅA)
- The Drug Discovery Graduate School (HY, JY, KY, OY, TAY, TY, ÅA)

## Fysiikan, elektroniikan ja tekniikan alat

- Energiatekniikan tutkijakoulu (TKK, JY, TTY, LTY, OY, VY, ÅA)
- Graduate School in Electronics, Telecommunications and Automation (TKK, JY, TTY, OY, TY)
- Graduate School of Materials Research (TY, ÅA)
- Graduate School in Particle and Nuclear Physics (HY, JY, OY, TY)
- International Doctoral Programme in Pulp and Paper Science and Technology (TKK, HY, JY, KY, LTY, OY, TTY, ÅA)
- International Graduate School in Biomedical Engineering and Medical Physics (TTY, TKK, KY, OY, TY)
- National Graduate School in Materials Physics (TKK, HY, JY, TTY, OY, TY)
- Teknillisen mekaniikan tutkijakoulu (TKK, JY, LTY, OY, TTY)
- The Finnish Graduate School in Computational Fluid Dynamics (TKK, JY, TTY, LTY)

## Kemian ala

- Graduate School in Chemical Engineering (ÅA, TKK, LTY, OY)
- Laskennallisen Kemian ja Molekyylispektroskopian Tutkijakoulu (HY, JY, OY, ÅA)
- National Graduate School of Organic Chemistry and Chemical Biology (TKK, HY, JOY, JY, KY, TY, ÅA)

## Matemaattiset ja tilastotieteelliset alat

- Econometrics (HY)
- Inversio-ongelmien tutkijakoulu (TKK, HY, KY, LTY)
- Matemaattisen logiikan jatkokoulutusohjelma (HY, TAY, TTY, OY)
- The Finnish Graduate School in Stochastics and Statistics (TKK, HKKK, HY, JOY, JY, OY, TAY, TY, VY, ÅA, Hanken)
- The Finnish National Graduate School in Mathematical Analysis and Its Applications (TKK, HY, JOY, JY, OY, TY, ÅA)
- Tilastollisen informaation, päättelyn ja data-analyysin tutkijakoulu (HKKK, HY, JOY, JY, OY, TAY, TY, VY, ÅA, Hanken)
- Valtakunnallinen matematiikan, fysiikan ja kemian opetuksen tutkijakoulu (HY, JOY, JY, LY, TAY, TY, ÅA)

## Nanotieteet

- National Graduate School in Nanoscience (TKK, HY, JY, TTY, TY, OY, ÅA)

## Tieteellinen laskenta & tietotekniset alat

- East Finland Graduate School in Computer Science and Engineering (LTY, KY, JoY)
- Graduate School in Computational Methods of Information Technology (TKK, HY, JY)
- Helsinki Graduate School in Computer Science and Engineering (TKK, HY)
- Jyväskylä Graduate School in Computing and Mathematical Sciences (JY)
- Laskennallisten tieteiden tutkijakoulu, alkaen 2010 (TKK, HY, JY, OY, TTY, TAY, TY, LTY, JOY, KY)
- Turku Center of Computer Science Graduate School (TY, ÅA)

## Muut

- Ilmakehän koostumuksen ja ilmastonmuutoksen fysiikka, kemia, biologia ja meteorologia (HY, KY, ITL)
- Systeemianalyysin, päätöksenteon ja riskienhallinnan tutkijakoulu (TKK, HKKK)

### 3.4 Sivuaineopetus

Laskennallisiin tieteisiin kuuluvia sivuaineita voi suorittaa kaikissa yliopistoissa. Valtaosa tarjottavista sivuaineista on matematiikka ja tilastotieteitä. Teknillisissä yliopistoissa lähes jokainen opintosuunta sisältää laskennallisia menetelmiä, tässä kappaleessa on esitelty niistä laskennallisten tieteiden kannalta merkittävimmät. Muutamissa yliopistoissa on myös koottu erillinen menetelmäopintojen sivuainekokonaisuus tukemaan eri alojen opintoja ja tutkimusta. Taulukkoon 3 on koottu laskennallisiin tieteisiin liittyvä sivuaine tarjonta yliopistoittain. Taulukossa alat eivät ole eksakteja oppiainneiden nimiä vaan kuvaavat oppiainetarjontaa eri aloilta.

#### Helsingin yliopisto

Helsingin yliopistolla on luettavissa matematiikan sivuaine, teoreettisen fysiikan sivuaine, tilastotieteen sivuaine, jossa opintokokonaisuuksina soveltavan tilastotieteen perusopinnot sekä tutkimusmenetelmät yhteiskuntatieteissä (valtiotieteellisessä tiedekunnassa).

Matemaattisluonnontieteellisen tiedekunnan yhteisenä hankkeena perustettu menetelmätieteiden sivuainekokonaisuus palvelee menetelmätieteitä tarvitsevia oppiaineita kaikilla kampuksilla. Sivuainekokonaisuuden voi suorittaa perus- tai aineopintokokonaisuutena. Opintokokonaisuutta varten on koottu matematiikan, tilastotieteen ja tietojenkäsittelytieteen opintojaksoja tarjolle yhteen ”koriin”, josta sivuainetta suorittavat opiskelijat voivat joustavasti koota kokonaisuuden tutkintoonsa oman koulutusohjelmansa tutkintovaatimusten mukaisesti.

#### Jyväskylän yliopisto

Jyväskylän yliopistolla on opiskeltavissa matematiikan, tilastotieteen ja tietotekniikan perus- ja aineopinnot. Matematiikan luettavissa myös syventävät opinnot. Fysiikan alalla voi sivuaineopintoina suorittaa kaikille vapaat fysiikan ja elektroniikan perusopintojen ja aineopintojen sekä fysiikan, elektroniikan, soveltavan fysiikan ja teoreettisen fysiikan syventävien opintojen opintokokonaisuudet. Kemian laitoksella suoritettavissa kemian perus-, aine- ja syventävät opinnot.

#### Joensuun yliopisto

Matematiikasta ja tilastotieteistä on luettavissa perus- aine- ja syventävät opinnot. Matematiikan luokanopettajiksi opiskeleville on tarjolla lisäksi didaktisen matematiikan perusopinnot ja didaktisen matematiikan aineopinnot.

#### Kuopion yliopisto

Matematiikasta suoritettavissa perus-, syventävät sekä aineopinnot. Tilastotieteistä suoritettavissa 26 op sivuainepaketti. Lisäksi tarjolla on matemaattisten menetelmätieteiden 25 op sivuainekokonaisuus.

#### Lapin yliopisto

Soveltava matematiikka, jonka tarkoitus on tarjota menetelmäopintoja muiden pääaineiden tueksi.

Taulukko 3: Laskennallisiin tieteisiin liittyvä sivuainetarjonta

| Ala  | Yliopisto                              |
|--|--|
| Laskennallinen biologia / Bioinformatiikka | TTY                                    |
| Fysiikka                                   | HY, JY, TTY, TKK, TY                   |
| Kemia                                      | JY, TKK                                |
| Laskennallinen tiede / tekniikka           | JY, TKK, TTY                           |
| Laskennallinen tietotekniikka              | JY, LTY, TKK, TTY                      |
| Matematiikka                               | HY, JoY, JY, TaY, TTY, TKK, TY, VY, ÅA |
| Menetelmätieteet                           | HY, KY, LY, LTY, TKK                   |
| Soveltava matematiikka                     | TKK, TY                                |
| Teknilliset alat                           | LTY, TTY, TKK, OY                      |
| Tietojenkäsittely                          | TaY, TKK, ÅA                           |
| Talousmatematiikka                         | VY                                     |
| Tilastotiede                               | HY, JoY, TaY, TY, VY                   |

## Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen matematiikka, tietojenkäsittely/älykäs laskenta, kvantitatiiviset menetelmät.

## Oulun yliopisto

Matematiikan laitos tarjoaa mahdollisuuden suorittaa kolme erilaajuista sivuainekokonaisuutta (25,60,120 op). Teknillisessä tiedekunnassa opintojen moduulirakenteen ansiosta lähes jokaisessa koulutusohjelmassa on mahdollista suorittaa vapaavalintaisia, laskennallisiin tieteisiin liittyviä kursseja.

## Tampereen yliopisto

Tampereen yliopistolla on käytössä vapaa sivuaineoikeus. Laskennallisia menetelmiä on opiskeltavissa seuraavissa aineissa: matematiikka, tilastotiede, tietojenkäsittelyoppi ja informaatiotutkimus.

## Tampereen teknillinen yliopisto

25op: matemaattinen mallinnus (verkostohanke) sekä teknillisen laskennan menetelmät. 30op: laskennallinen systeemibiologia, matemaattinen mallinnus ja tieteellinen laskenta, lääketieteellinen laskenta, oppivat järjestelmät, paikannus ja navigointi, koneiden ja rakenteiden analysointi, laskennallinen fysiikka, biologinen fysiikka, puolijohde-fysiikka, virtaustekniikka sekä voimalaitos- ja polttotekniikka.

## Teknillinen korkeakoulu

TKK:lla kaikki pääaineet voi suorittaa myös sivuaineina, eli esimerkiksi matematiikka, teknillinen fysiikka, informaatio-tekniikka, tietojenkäsittelytiede ynnä muuta. Erikoisuutena on usean laitoksen yhdessä järjestämä Laskennallisen tieteen ja tekniikan laaja sivuainekokonaisuus.

## Turun yliopisto

Matematiikka, sovellettu matematiikka, fysiikka, tilastotiede sekä informaatioteknologia.

## Vaasan yliopisto

Talousmatematiikan ja tilastotieteen sivuaine. Tilastotieteen ja stokastiikan sivuaine. Matematiikan sivuaine. Matematiikan laaja sivuaine.

## Åbo Akademi

Sivuaineina mahdollista suorittaa matematiikka (lyhyt ja pitkä), diskreetti matematiikka ja pitkä sivuaine tietojenkäsittelijöille.

## 3.5 Täydennyskoulutus

Täydennyskoulutusta järjestetään eri yliopistoissa pääasiassa kunkin hetkiseen tarpeeseen vastaten. Esimerkiksi Oulun yliopiston teknillinen tietekunnan järjestämille kursseille osallistuu tarvittaessa paikallisten yritysten henkilökuntaa. Yleensä täydennyskoulutus suunnataan tutkinnon suorittaneille opiskelijoille, jotka voivat näin täydentää omaa osaamistaan tai suorittamalla valmiiksi keskeneräiseksi jääneitä opintokokonaisuuksiaan.

## 3.6 Toisen asteen koulutus

Valtakunnallinen LUMA-keskus on perustettu tukemaan ja edistämään luonnontieteiden, matematiikan ja teknologian opetusta ja oppimista yhteistyössä eri yhteistyötahojen kanssa. Toiminta kantaa kaikki asteet varhaiskasvatuksesta yliopistoon, lisäksi pyritään tukemaan lasten ja nuorten luonnontieteellistä, matemaattista sekä teknologista harrastuneisuutta.

Eri paikkakunnille perustettavien LUMA -keskusten tehtävänä on edistää matemaattisten ja luonnontieteellisten alojen kouluopetusta, lisätä oppilaiden ja vanhempien kiinnostusta näihin tieteenaloihin jakamalla reaaliaikaista tietoa luonnontieteisiin liittyvästä tutkimuksesta sekä alojen työmahdollisuuksista, kehittää opettajien sisällöllisiä ja pedagogista taitoja ja edistää eri ainelaitosten ainedidaktista tutkimusta ja teknologian integroimista opetukseen. LUMA-keskus edistää toiminnallaan koululaitosten, yliopiston ja elinkeinoelämän välistä yhteistyötä konkreettisten tutkimus-, kehittämis- ja koulutusprojektien, teemapäivien, kesäkoulujen, tiedeleirien ja -kerhojen kautta.

LUMA-keskus toimii sateenvarjo-organisaationa yliopiston, koulujen, kotien ja elinkeinoelämän yhteistyömuodoille ja tarjoaa toiminta-alustan toteuttaa erilaisia hankkeita, kokeilla uutta ja perustaa pidempiaikaisia toimintoja edellä mainittujen periaatteiden toteutumiseksi. Luonteeltaan keskus on mahdollistava ja erilaisten hankkeiden laatua edistävä yksikkö, ei niinkään toimintaa valvova tai priorisoiva organisaatio.

## 4 Laskennallisten tieteiden tutkimus

Laskennallisten tieteiden menetelmätutkimusta tehdään Lapin yliopistoa lukuun ottamatta jokaisessa yliopistossa. Lisäksi eri tieteenaloilla on paljon substanssitutkimusta, joka edellyttää merkittävässä määrin laskennallisten menetelmien hyödyntämistä. Laskennallisten tieteiden tarve on kasvava myös tutkimuksen piirissä ja tämän vuoksi onkin tärkeää, että laskennallisten menetelmien tutkimusta ja kehittämistä tuetaan riittävästi.

Laaja tutkijakouluverkosto tukee myös laskennallisten tieteiden tutkimusta. Nykyisin tutkijakoulujen asema on pääasiallisesti tukea yksittäisiä tutkijoita työssään. Tutkijakouluilla olisi potentiaalia kehittyä yhä tehokkaammin yhteistyön ja yhteistoiminnan suuntaan. Näin menetelmäosaamista saataisiin jaettua yli tiedealarajojen tehokkaammin, tutkimusryhmien kokoa voitaisiin kasvattaa ja siten vastata entistä suurempiin haasteisiin.

### 4.1 Helsingin yliopisto

Laskennallinen tiede kuuluu Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan strategiaan tutkimusalueisiin. Muissa tiedekunnissa laskennallisten menetelmien käyttö on vähäisempää. Yksittäisiä tutkijoita, jotka käyttävät laskennallisia menetelmiä, yleensä tilastollisia menetelmiä, tutkimuksissaan, kuitenkin löytyy.

Matematiikan ja tilastotieteen tutkimus on Helsingin yliopistossa korkealla kansainvälisellä tasolla. Laitoksella toimii kaksi Suomen Akatemian kansallista tutkimuksen huippuyksikköä, Analyysin ja Dynamiikan huippuyksikkö ja Inversio-ongelmien huippuyksikkö. Laitoksen sisällä toimii Rolf Nevanlinna -instituutti, joka on sovelletun matematiikan ja tilastotieteen tutkimusinstituutti.

Biomatematiikan tutkimusryhmässä rakennetaan ja analysoidaan biologisten ja lääketieteellisten ilmiöiden matemaattisia malleja

Tilastotieteessä aikasarja-analyysin tutkimus on kohdistunut sellaisten aikasarjamallien teoriaan, joita sovelletaan paljon taloudellisten aikasarjojen analysoinnissa.

Matemaattisen fysiikan ryhmä toimii näillä molemmilla sarjoilla. Matematiikan puolella tutkimuksen kohteita ovat dynaamiset systeemit, osittaisdifferentiaaliyhtälöt, stokastiikka ja geometria, fysiikan puolella turbulenssi, tilastollinen mekaniikka ja kvanttikenttäteoriat.

Tietojenkäsittelytieteen laitoksen tutkimuksen strategisia painopistealueita ovat tällä hetkellä data-analyysi ja liikkuva tietojenkäsittely. Algorithmic Data Analysis (Algodan) on Suomen Akatemian huippututkimusyksikkö kaudella 2008–2013.

Kemian laitoksen vahvistuvia alueita ovat erityisesti vihreä kemia, materiaali- ja nanokemia, laskennallinen ja teoreettinen kemia sekä kemian opetus ja sen tutkimus. Näiden perustana on pitkään menestyksellisesti jatkuneissa hankkeissa saavutettu huippuosaaminen. Kemian ja fysiikan laitoksilla on yhteinen Suomen Akatemian huippuyksikkö ”Laskennallinen molekyyli tutkimus (CMS)” 2006–2011.

Fysiikan laitoksen tutkimus keskittyy ajankohtaisiin tärkeisiin tieteellisiin kysymyksiin ja on vahvaa sekä kokeellisesti, teoreettisesti että laskennallisesti. Materiaalifysiikan osastolla tehtävä kokeellinen ja laskennallinen materiaalitutkimus liittyy kahteen päätutkimusalueeseen, materiaalien rakenne ja dynamiikka sekä niiden ominaisuudet ja muuntaminen. Laskennallisesti tutkitaan aineen elektronirakennetta ja atomitaso dynaamisia epätasapainoprosesseja. Ilmakehätieteissä tutkitaan meteorologian ja ilmakehätutkimuksen laskennallisia menetelmiä: ilmastotutkimus, säänennustusmallien kehittäminen, Marsin kaasukehä. Ilmastotutkimuksessa keskeisessä roolissa on ilmakehän ja huoneilman aerosolien mallinnus, jota tehdään kvanttimekaniikasta alkaen aina globaaliin skaalaan saakka. Tutkimus tehdään Suomen Akatemian huippuyksikössä ”Ilmakehän koostumuksen ja ilmaston muutoksen fysiikka, kemia, biologia ja meteorologia”. Alkeishiukkasfysiikan osastolla tutkitaan alkeisfysiikkaa kenttäteorioiden Monte-Carlo simuloinneilla sekä ns. liikeyhtälöiden ratkaisulla. Lisäksi tehdään Planck-satelliitin data-analyysiä ja kehitetään sen vaatimia ohjelmistoja ja menetelmiä. Avaruusfysiikassa simuloidaan muun muassa aurinkotuulen vuorovaikutusta maapallon kanssa plasmafysikaalisella mallinnuksella.

### 4.2 Joensuun yliopisto

Kemian laitoksen tutkimusta Joensuun yliopistossa leimaa vahvasti poikkitieteellisyys, sillä tutkimusalueet ulottuvat hyvin laaja-alaisesti eri kemian alan rajoille. Tutkimuskohteina on materiaalitieteitä, fysiikkaa ja molekyylibiologiaa. Erityisesti laskennallisia tieteitä hyödynnetään molekyyli mallinnuksessa, materiaalikemiassa sekä nanokemiassa. Tutkimuksen apuna kemian laitoksella on käytettävissään laskentainfrastruktuuri, jolla kemian ilmiöitä tarkastellaan laskennallisilla menetelmin laboratoriotyön ohella.

Fysiikan tutkimus keskittyy moderniin optiikkaan ja fotonikaan. Fotonikassa tutkitaan valon tuottamista, havaitsemista ja valon kulun ohjailua. Tutkimuksen tavoitteena on valon hyödyntäminen entistä tehokkaammin niin teollisuudessa kuin myös ihmisten jokapäiväisessä elämässä. Optiikan ja fotonikan tutkimuksen lisäksi fysiikan yksikössä tehdään didaktisen fysiikan tutkimusta.

Matematiikan tutkimuksen painopisteet ovat kompleksidynamiikka, kompleksiset differentiaali- ja differenssiyhtälöt sekä funktioavaruudet, epälineaarinen potentiaaliteoria sekä osittaisdifferentiaaliyhtälöt.

Tietojenkäsittelytieteiden laitoksella toimiva puheen ja kuvan prosessoinnin ryhmä keskittyy tutkimuksessaan hahmontunnistukseen, tiedon louhintaan sekä tiedon pakkaukseen. Kuvan pakkaus, puhujan tunnistus ja klusteroinnin algoritmit keskeisiä tutkimusaiheita. Tuloksia voidaan soveltaa äänen biometriikassa, data-analyysissä, ja mobiileissa navigaatiojärjestelmissä.

Tilastotieteen tutkimuksessa keskitytään demometriaan, biometriaan sekä aikasarja-analyysiin. Lisäksi tehdään myös tilastotieteen teoriaan liittyvää tutkimusta, aiheena robustit menetelmät, otantateoria ja stokastiset differentiaaliyhtälöt. Uusien tilastollisten menetelmien soveltamiseksi tarvitaan ohjelmointia jollakin perinteisellä ohjelmointikielellä tai johonkin ohjelmapakettiin sisältyvällä makrokielellä.

### 4.3 Jyväskylän yliopisto

Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitoksella tieteellinen laskenta ja siihen liittyvät tekniset sovellutukset ovat kansainvälisesti tutkimuksen vahvuusalue. Tutkimuskohteena ovat matemaattinen mallintaminen sekä mallien numeeriset ratkaisumenetelmät. Lisäksi tietotekniikan laitoksella on kansainvälistä tasoa oleva data mining, optimointi ja logiikkaryhmä yhteistyössä Agora Centerin kanssa. Myös muissa laitoksen tutkimushankkeissa käsitellään mallintamista, simulointia ja optimointia ohjelmistotekniikan, tietoliikenteen sekä sulautettujen järjestelmien tutkimuksessa. Tutkimuksen kohteita ovat esimerkiksi mobiilit vertaisverkot, MP2P-verkot, verkko-opetus ja virtuaaliset oppimisympäristöt opetuksessa, signaalin- ja kuvankäsittely, tiedonlouhinta ja neurolaskenta, ohjelmointikielet sekä palvelun laadun takaaminen laajakaistaisissa mobiileissa ja kiinteissä verkoissa.

Laskennalliset menetelmät ovat keskeisessä asemassa teoreettisen fysiikan ja laskennallisen kemian tutkimuksessa. Fysiikan laitoksen kiihdytinlaboratoriossa tapahtuva ydin- ja kiihdytinpohjaisen fysiikan tutkimus on Suomen Akatemian nimeämä huippututkimusyksikkö vuosina

2006–2011. Matematiikan ja tilastotieteen tutkimuksessa suuntia ovat spatiaalinen ja Bayesilainen tilastotiede, aika-analyysi, rakenneyhtälömallit, MCMC-menetelmien teoria sekä differentiaaliyhtälöiden approksimaatioteoria.

NanoScience Center on yksikkö, joka keskittyy yhdistämään fysiikan, kemian sekä biotieteiden tutkimuksen. NanoScience Center toimii kiinteästi yliopiston yhteydessä. Keskuksessa tutkitaan laskennallisesti muun muassa pehmeän aineen fysiikkaa sekä nanorakenteiden elektronisia ja atomaarisia ominaisuuksia.

### 4.4 Kuopion yliopisto

Fysiikan laitoksella on kolme vahvaa osaamisaluetta: aerosolifysiikka ja -tekniikka, lääketieteellinen fysiikka ja tekniikka sekä teollisuusmatematiikka ja -fysiikka. Laitoksella toimii kaksi Suomen Akatemian nimeämää tutkimuksen huippuyksikköä ”Finnish Centre of Excellence in Inverse Problems Research (2006–2011)” ja ”Finnish Centre of Excellence in Physics, Chemistry, Biology and Meteorology of Atmospheric Composition and Climate Change (2008–2013)”. Laskennallinen tiede on teollisuusmatematiikan ja -fysiikan tutkimusalueen ydin ja lisäksi aerosolifysiikan ja lääketieteellisen fysiikan tutkimuksessa laskennallisen tieteen menetelmät ovat keskeisessä roolissa.

### 4.5 Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Matematiikan laitos on osa Suomen akatemian Inversio-ongelmien huippututkimusyksikköä ja kuuluu inversio-menetelmien tutkijakouluun. Tutkimuksen painopisteinä ovat tilastolliset inversiomenetelmät, erityisesti adaptiiviset MCMC-algoritmit sekä esimerkiksi metsien kaukokartoituksessa käytettävät assimilaatiomenetelmät. Laitoksella toimii aktiivinen materiaalfysiikan ryhmä, jonka tutkimus keskittyy pintafysiikan ja molekyyli-tason ilmiöiden multiskaala ja ab initio -laskentaan. Ryhmä on mukana materiaalfysiikan tutkijakoulussa.

Tutkimuskohteita sovelletun matematiikan osastolla ovat teollisten ja ympäristön prosessien mallinnus, sumeiden systeemien tutkimus, materiaalien laskennallinen mallinnus multiskaalamenetelmillä, pääpaino kuitenkin ab initio -mallinnuksessa. Sovelletun matematiikan laboratorion tärkeimpänä yhteistyöprojektina on toimiminen Suomen Akatemian Inversio-ongelmien huippuyksikössä sekä muun muassa Tekesin MASI-ohjelmassa. Fysiikan laboratorion tutkimuskohteet keskittyvät optiseen mittaustekniikkaan ja materiaalfysiikkaan.

CEID instituutissa toimii älykkäiden koneiden tutkimusryhmä, joka yhdessä konetekniikan osaston tutkijoiden kanssa muodostaa virtuaalisuunnittelun ja mekatroniikan kärkiyksikön. Yksiköllä on tiivis yhteistyö sekä tiedekunnan muiden osastojen, erityisesti sähkötekniikan, että tietotekniikan osaston kanssa. Energiatekniikassa laskennallinen tutkimus painottuu voimalaitosten ja turbiinien virtaustekniseen simulointiin ja ydinvoimatekniikan laskennallisten menetelmien käyttöön. Osasto vetää kansallista Suomen Akatemian virtaustekniikan tutkijakoulua. Kemian tekniikassa simuloidaan ja optimoidaan kemiallisten reaktoreiden toimintaa, erityisesti monifaasireaktoreita ja mikroreaktoreita. Mallinnusta tehdään sekä in-house ohjelmistoilla että virtauslaskennassa kaupallisilla ohjelmistoilla. Osastolla toimii, ainoana Suomessa, kemometrian (kemiallisten aineistojen data-analyysin ja monimuuttujaregression) tutkimusryhmä.

Metalliosastolla tutkimuskohteena on mekatronisten koneiden simulointi ja optimisuunnittelu koneiden 3D-mallinnus ja simulointi, elementtimenetelmät (FEM) sekä rakenteiden optimointi.

Energian osastolla tehdään tutkimusyhteistyötä lukuisten koti- ja ulkomaisten tutkimuslaitosten ja yritysten kanssa. Tutkimusalueita ovat energiamuuntojärjestelmien mallinnus, energiatalous, teknillinen termodynamiikka ja virtaustekniikka

Sähkötekniikan osasto koordinoi valtakunnallista sähkötekniikan tutkijakoulun toimintaa. Tutkimuksen aihealueita: Tehoelektronikan ja sähkökäyttöjen säätö, säätöalgoritmit Signaalinkäsittely

Tietotekniikan osastolla laskennallisen tieteen tutkimusta tehdään konenäön ja hahmontunnistuksen tutkimusryhmässä, jossa tutkitaan erityisesti oppivia ja adaptiivisia laskennallisia malleja, näiden laskenta- ja ratkaisumenetelmiä sekä sovelluksia muun muassa tietokonenäössä, konenäön teollisuussovelluksissa, signaalinkäsittelyssä ja robotiikassa. Lääketieteellisessä kuvankäsittelyssä tutkitaan diabeteksen tunnistamista silmänpohjakuvista.

## 4.6 Oulun yliopisto

Oulun yliopisto mainitsee strategiassaan tutkimuksen pääpainoksi seuraavat laskennallisiin tieteisiin liittyvät aihealueet:

## Informaatioteknologia ja langaton viestintä

Tutkimusalueita ovat langaton tietoliikenne, mobiilisovellukset, elektroniikka, fotonikka, nanoteknologia, konenäkö, älykkäät järjestelmät, joka paikan tietotekniikka ja hyvinvointitekniikka. Infotech koordinoi ja vastaa alan kehityksestä. Jokaiseen alueeseen liittyy olennaisena osana laskennalliset tieteet ja niiden hyödyntäminen.

## Biotekniikka ja molekyyli lääketiede

Tutkimuksen vahvuusalueisiin kuuluvat molekyyli- ja solubiologia, molekulaarinen entsymologia, molekyyli-genetiikka, kehitysbiologia, bioprosessitekniikka ja populaatiogenetiikka sekä sidekudossairauksien ja sydän- ja verisuonitautien keskeiset perusbiologiset ja lääketieteelliset osa-alueet. Biocenter Oulu koordinoi ja vastaa alan kehityksestä. Yksi Biocenterin tutkimuskohteista on Biocomputing eli vapaasti suomennettuna biolaskenta, jossa laskennalliset tieteet ovat tärkeässä asemassa

Yliopiston alakohtaisessa tutkimuksessa painopisteet näkyvät siten, että suuri osa tutkimusprojekteista liittyy jollain tavalla edellä mainittuihin kohdealueisiin. Lisäksi Oulussa on erillinen WellTech-laitos, joka keskittyy lääketieteen tekniikan ja hyvinvointitekniikan opetukseen ja tutkimukseen.

Teoreettisessa matematiikassa tutkitaan matemaattisia ongelmia niiden oman mielenkiinnon vuoksi. Tutkimus on pitkäjänteistä perustutkimusta, joka usein johtaa uudentyypisten kysymysten esittämiseen ja uusien ratkaisumenetelmien kehittämiseen. Laitoksen sovelletun matematiikan ja tilastotieteen tutkimuksella on aktiiviset kytkennät ympäröivään yhteiskuntaan. Sovelletua matematiikkaa hyödynnetään tehokkaasti yritysten tuotekehitystoiminnassa. Erityisesti laskennallisten menetelmien tutkimuksen (algoritmit, simulointi, mallintaminen) avulla lisätään yritysten kilpailukykyä ja tutkimuksen vaikuttavuutta yhteiskunnassa.

Sekä fysiikan että kemian laitoksilla on erillinen laskennallisen fysiikan/kemian jaos, joissa kehitellään muun muassa matemaattisia malleja erilaisista ilmiöistä.

## 4.7 Tampereen yliopisto

Informaatiotutkimuksessa tutkimuksen aihepiirejä ovat tiedonhaun käyttäjäsimulaatiot, luonnollisen kielen käsittelymenetelmät tiedonhaussa sekä järjestelmäevaluoinnit. Laskennallisia tieteitä hyödynnetään tutkimustyössä tietokoneavusteiseen analyysiin ja simulointiin. Tilastollisia menetelmiä hyödynnetään logopediassa, biometriassa sekä bioinformatiikassa lääketieteellisen teknologian instituutissa.

Tietojenkäsittelytieteissä tutkimusalueita ovat data-analyysi, signaalinkäsittely, mallintaminen, tiedonhaku ja koneoppi-  
minen. Tutkimus on usein luonteeltaan soveltavaa ja sitä  
tehdään yhteistyötahojen kanssa. Tällaisia tutkimushankkeita  
on meneillään seuraavilla aloilla:

- Korvalääketiede (tasapaino- ja huimausmittaukset ja -analyysi sekä kuulon alenemien data-analyysi)
- Neuropsykologia ja logopedia (puheentuoton virheiden mallintaminen, erikoisesti afaattikkojen virheet, data käsitellään tekstinä, ei puhesignaalina)
- Bioinformatiikka (erityisesti aminohappojen ja DNA-merkkijonojen käsittelyä)
- Käyttöliittymätutkimukset (esimerkiksi silmänliikemittausten hyödyntäminen käyttöliittymissä)

Tilastotieteessä yhtenä tutkimussuuntana ovat taloustieteelliset ja vakuutusalan sovellukset, joissa hyödynnetään bayesilaisia laskentaintensiivisiä menetelmiä. Toisena tutkimussuuntana on robustit ja epäparametriset menetelmät. Tutkimus sisältää laskentaintensiivistä simulointia.

Matematiikan päättämussuuntauksia ovat lukuteoria, logiikka ja algebra, joissa ei juurikaan sovelleta tietokone-  
laskentaa.

## 4.8 Tampereen teknillinen yliopisto

Tampereen teknillisessä yliopistossa tieteellinen laskenta kattaa kolmanneksen tieteellisistä tuotoksista. Käytännössä jokaisella TTY:n laitoksella hyödynnetään laskennallisia menetelmiä tutkimustyössä. Laskennallisten tieteiden kannalta merkittävintä tutkimustyötä tehdään energia- ja prosessitekniikan, fysiikan, matematiikan sekä signaalinkäsittelyn laitoksilla.

Energia- ja prosessitekniikan laitoksella laskennalliset menetelmät ovat tärkeitä erityisesti virtaustekniikan, lämmönsiirron ja palamisen tutkimuksessa. Tutkimuksessa pääpaino on eri teollisuuden alojen sovellutuksissa, kuten energian tuotannon ja prosessiteollisuuden laitteiden kehityksessä. Esimerkiksi virtaustekniikan tutkimuksessa on erikoistuttu virtausten fysikaalisen perustan soveltamiseen teollisuuden ongelmiin. Energiatekniikan sovellutukset, kuten bioenergia (leijukattilat, soodakattilat, biopolttoaineet), polttomoottorit, kaasutustekniikat, CCS sekä metsäteollisuuden energijärjestelmät, ovat keskeisiä alueita, joissa tehdään sekä perus- että soveltavaa tutkimusta mallinnuksen alueella.

Kemian laboratoriossa keskitytään elektronien luovuttaja- ja vastaanottajamolekyylien muodostamien molekyyli-  
parien absorptio- ja emissio-ominaisuuksien laskemiseen, varauksen ja energian siirron kintetiikkaan sekä molekyylien elektronirakenteiden ja konformeerien optimointiin.

Fysiikan laitoksen tutkimuksen painopistealueita ovat biologinen fysiikka, nanotieteet, pintatieteet, ja näihin liittyvä materiaalfysiikka. Tutkimuksen kannalta määrällisesti suurimpana kokonaisuutena korostuu biologisen fysiikan laaja tutkimustoiminta. Fysiikan laitoksella toimii myös laskennallisen fysiikan tutkimusryhmä, jonka tarkoituksena on tutkia ja kehittää fysiikan prosessien laskennallisia menetelmiä. Laitoksen tutkimuksessa laskennalliset menetelmät on kiinteästi integroitu kokeelliseen tutkimukseen. Yhteistyötä tehdään laajasti kokeellisten tutkimusryhmien kanssa maailmanlaajuisesti.

Laskennalliset tutkimusalueet matematiikan laitoksella ovat biostatistiikka, data-analyysi, inversio-ongelmat, matemaattinen systeemiteoria, paikannus- ja navigointialgoritmit sekä laskennallinen finanssimatematiikka. Biostatistiikan päättämiskohteet ovat tilastolliset lääketieteelliset tutkimukset sekä stokastisten menetelmien soveltaminen lääketieteellisten mittausten ja neurokemiallisten mallien käsittelyssä. Inversio-ongelmien tutkimus on osa Suomen Akatemian huippututkimusyksikköä. Inversio-ongelmien tutkimuksen tärkeimmät tutkimusalueet ovat lääketieteellisen kuvantamisen matemaattiset menetelmät, erityisesti kolmiulotteinen röntgenkuvaus sekä sähköinen impedanssitomografia. Matemaattisen systeemiteorian tutkimus keskittyy sellaisiin järjestelmiin, joihin voidaan vaikuttaa ohjaussignaaleilla. Tutkimuskohteena ovat erityisesti lineaarisilla osittaisdifferentiaaliyhtälöillä ja/tai viiveyhtälöillä kuvattavat järjestelmät ja robustit säätöratkaisut

Signaalinkäsittelytieteissä merkittävä tutkimusala on laskennallinen systeemibiologia, joka käsittää signaalinkäsittelyn, kuvien analysoinnin ja erilaisten tietokoneiden ja muiden koneiden avulla tapahtuvien oppimismenetelmien soveltamisen systeemibiologian alaan. Tutkimuksessa kehitetään mallintamis- ja simulointityökaluja, joilla perehdytään monimutkaisten biologisten ilmiöiden tutkimiseen. Tutkimuksessa sovelletaan lisäksi nykyaikaisten biologisten mittaustekniikoiden menetelmiä, esimerkiksi geeni- ja solumatriisitekniikoita ja erilaisia mikroskooppitekniikoita.

Konstruktitekniikan laitoksen tutkimustoiminnasta teknillinen mekaniikka ja optimointi sekä konedynamiikka ovat laskennallisesti intensiivisiä.



## 4.9 Teknillinen korkeakoulu

### Kemian ja materiaalitieteiden tiedekunta

Tutkimushankkeet käsittelevät muun muassa uusia metallien valmistusprosesseja ja niiden kokeellista tutkimusta sekä prosessien ja ilmiöiden simulointia ja matemaattista mallintamista.

### Insinöörیتieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta

Sovelletun mekaniikan laitoksen tutkimuskohteita ovat kiinteiden aineiden mekaniikka (lujuusoppi) ja virtausmekaniikka sekä näiden haastavina sovellusalueina lentotekniikka ja meritekniikka.

### Informaatio- ja luonnontieteiden tiedekunta

Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitoksen tutkimuksen keskipisteessä ovat elävät ja muut kompleksiset systeemit, niiden mittaaminen, analysointi, ymmärtäminen ja hallinta. Tutkimuksessa yhdistellään kokeellista tutkimusta ja laskennallisia menetelmiä sekä kehitetään algoritmeja ja uusia teknologioita, joilla selvitetään terveydenhuoltoon, lääketieteelliseen diagnostiikkaan, yhteiskuntaan, energiaan ja ympäristöön liittyviä ongelmia.

Matematiikan laitoksen vahvuusalueita ovat operaattoriteoria ja numeerinen lineaarialgebra, differentiaaliyhtälöt ja näiden numerikka, geometrinen analyysi, stokastinen analyysi, laskennallinen mekaniikka, inversio-ongelmat, dynaamiset systeemit, operaatiotutkimus sekä systeemianalyysi ja optimointi. Laitos on mukana Suomen Akatemian Inversio-ongelmien huippuyksikössä.

Laskennalliseen tieteeseen laitoksen pääkontribuutio on menetelmien analyysi ja kehitys. Teknillisen fysiikan laitoksella on vahvat perinteet niin kokeellisesta kuin myös laskennallisesta ja teoreettisesta fysiikan tutkimuksesta. Laitos on osa laskennallisten nanotieteiden huippuyksikköä (COMP) sekä uutta kansallista nanomikroskopian keskusta. COMP:in tutkimusaloja ovat aineiden elektronirakenne, kvanttilaskenta, pinnat ja rajapinnat nanoskaalalla, monen kappaleen kvanttimekaniikka, moniskaala-statistinen fysiikka, monimutkaiset järjestelmät ja materiaalit sekä biologinen fysiikka. Lisäksi fysiikan laitoksella tehdään fuusioreaktorien plasman mallinnusta sekä plasmaytimen että plasma-seinämvuorovaikutusten osalta.

Tietojenkäsittelytieteiden laitoksella kehitetään tehokkaita tietojenkäsittelytekniikoita muun muassa suurten, moniulotteisten tietoaisteistojen analysointiin sekä kompleksisten ohjelmisto- ja tietoverkko-sovellusten mallintamiseen ja suunnitteluun. Laskennalliset tieteet ovat laitoksen tut-

kimuksen ja opetuksen ydinaluetta, Laitoksen tutkimus ja opetus painottuvat tekniikan ja tieteen haastavien sovellusten tarvitsemiin edistyneisiin laskennallisiin menetelmiin. Laitoksessa toimii kaksi kansallista tutkimuksen huippuyksikköä: Adaptiivisen informatiikan tutkimuksen huippuyksikkö sekä osa Algoritmisen data-analyysin huippuyksikön tutkimusryhmistä.

### Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta

Sähkötekniikan laitoksen tutkimuksessa kehitetään sähkökoneiden ja niissä käytettävien materiaalien mallinnusmenetelmiä.

## 4.10 Turun yliopisto

Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan tutkimuksen strategisia painopistealoja ovat biotieteet ja matemaattiset menetelmät, mutta huippuosaamista on myös monilla muilla aloilla, muun muassa tähtitieteessä, mikroelektronikassa, bioinformatiikassa ja kaupunkitutkimuksessa. Matematiikan laitoksella toimii kolme tutkimusryhmää, jotka edustavat laskennallisia tieteitä: optimoinnin tutkijaryhmä (muun muassa epälineaarinen ja epäsielä optimointi, monitavoitteinen päätöksenteko ja monitavoiteoptimointi, suuret optimointitehtävät, metaheuristiikat, evoluutioalgoritmit, ja sekalukuoptimointi), biomatematiikan tutkimusryhmä (tiedon louhinta, laskennallinen mallinnus, bioinformatiikka, biostatistiikka, laskennallinen systeemibiologia ja koneoppiminen) sekä laskettavuuden perusteet ja diskreetti matematiikka FUNDIM (sanat ja automaattit, koodusteoria, laskettavuuden teoria, soluautomaattit, molekyyllaskenta ja kvanttilaskenta).

Informaatioteknologian laitoksella laskennallista tutkimusta tekevät muun muassa algoritmiikkalaboratorio (moninaiset optimointi- ja mallinnusmenetelmät ja ohjelmistot, stokastinen optimointi, kombinatorinen optimointi, evolutionaariset ja älykkäät tekniikat, energian tuotanto, jakelu ja kauppa, piirikortin valmistuksen tuotannosuunnittelu, prosessiteollisuuden tuotannosuunnittelu, monikriteerinen päätöksenteko, heurististen menetelmien kehittäminen ja soveltaminen vaikeiden optimointiongelmiin ratkaisussa), sekä bioinformatiikan laboratorio (koneoppiminen, kieli- ja puheteknologia, tekstinlouhinta ja sen biolääketieteelliset ja terveystiedon sovellukset sekä opetusteknologia).

Laskennallinen tutkimus on keskittynyt Fysiikan ja tähtitieteen laitokseen, jossa sijaitsee yksi suomalaisen M-GRID:n solmu. Teoreettisen fysiikan laboratoriossa työskentelevässä laskennallisen materiaalfysiikan ryhmässä tutkimus keskittyy aineen sekä aineen ja säteilyn vuorovaikutuksen mallintami-

seen. Tällä hetkellä tutkimuskohteina ovat seosmetallien ja -puolijohdeiden pinnat sekä spintroniikan materiaalit. Saman laboratorion epälineaarisen fysiikan tutkimusryhmässä on tutkittu numeerisesti Faddeev-Hopfin ja Ginzburg-Landaun mallin solmumaisia topologisia ratkaisuja. Optiikan ja spektroskopian laboratoriossa kehitetään menetelmiä signaalinkäsittelyyn ja spektrin laskentaan, kuten esim. derivointia, dekonvolointia, tasoitusta ja taustanpoistoa. Tähtitieteessä tehdään laajoja kosmologisia simulointeja samoin kuin planeettasysteemien numeerisia analyysyjä.

Biotieteiden tutkimus on Turun yliopiston laajin vahvuusalue. Tutkimus keskittyy solu- ja molekyyli-tason ilmiöihin, niiden kokonaisuuteen ja säätelyyn yksilössä, yksilöiden sopeutumiseen ja eliöiden evoluutioon sekä biologisten vuorovaikutusten tutkimukseen esimerkiksi systeemi-biologian ja bioinformatiikan avulla. Ympäristötieteessä tärkeäksi laitoksen väliseksi tutkimusalaksi on noussut soveltava geoinformatiikka.

Tilastotieteen perustutkimus on Turun yliopistossa painottunut uskottavuusperusteisen tilastollisen päättelyn ongelmiin esim. profiiliuskottavuusvälit, simultaaninen päättely ja Hidden Markov -mallien tilastollinen päättely. Lisäksi tilastotieteen laitoksella tutkitaan biometriaan, frekvenssiaineistoihin sekä monimuuttujamenetelmiin liittyviä tilastollisia ongelmia. Turussa tilastotieteen laitos tekee yhteistyötä mm. tietojenkäsittelytieteiden, biokemian, biologian, hoitotieteen, lääketieteen ja psykologian kanssa.

## 4.11 Vaasan yliopisto

Automaatiotekniikassa tutkitaan ja kehitetään laskennallisia menetelmiä niin yleisesti, kuin myös tietyille sovellusalueille (esimerkiksi kuvantunnistus, signaalinkäsittely, FPGA-optimointi). Lääketieteen tekniikka, erityisesti uudet laitteet, ovat tärkeä sovellusalue liittyen edellä mainittuun tutkimukseen. Kauppatieteissä tutkitaan pääasiassa erilaisia rahoitukseen ja talouteen liittyviä mallinnusmenetelmiä. Tulevaisuudessa energiatekniikkaan ja -talouteen liittyviä laskennallisia menetelmiä halutaan tutkia ja kehittää tukemaan muuta yliopiston energiatekniikkaan liittyvää panostusta, sillä energiatekniikka on valittu painopistealueeksi yliopiston strategiassa. Ylipäätään laskennallisten tieteiden tutkimuksesta ja kehityksestä ollaan kiinnostuneita laajalla sektorilla, ei niinkään kapeaan kohdealueeseen liittyvinä sovelluksina.

## 4.12 Åbo Akademi

Tärkeimmät tutkimuksen painopisteet ovat sumeat menetelmät (sumea joukkoteoria, sumea matematiikka, optimointi ja älykkäät järjestelmät sumeilla komponenteilla) sekä epälineaarinen sekalukuoptimointi. Myös operaatiotutkimusta tutkitaan Åbo Akademiassa.

Matematiikan laitoksella toimii funktioanalyysin, stokastiikan ja sovelletun matematiikan sekä tilastotieteiden tutkimusryhmät.

Laite- ja systeemitekniikan laitoksella toimii optimoinnin ja prosessien systeemitekniikan tutkimusryhmä jossa painopiste on epälinearisessa sekalukuoptimoinnissa. Laitoksella on matematiikan laitoksen kanssa yhteinen Optimization and Systems Engineering -ryhmä joka vuosille 2010-2014 on nimetty Åbo Akademian sisäiseksi huippututkimusyksiköksi.

Informaatioteknologian tiedekunnassa toimii IAMSR (Institute of advanced management system research), jonka tutkimuksessa yhdistetään operaatiotutkimusta, sumeita laskentamenetelmiä sekä mobiilijärjestelmien tutkimusta.

Biokemian laitoksella työskentelee Structural Bioinformatics Laboratory -tutkimusryhmä. Tutkimuksen painopiste on biologisten ongelmien ratkaisussa. Ongelmat liittyvät proteiinien rakenteeseen ja toimintaan, molekyylien vuorovaikutukseen sekä geenien/proteiinien evoluutioon.

## 4.13 FiDiPro-professorit

FiDiPro (Finland Distinguished Professor Programme) on Suomen Akatemian ja Tekesin yhteinen rahoitusohjelma, joka mahdollistaa suomalaisille yliopistoille ja tutkimuslaitoksille ulkomaalaisten ja pitkään ulkomailla toimineiden suomalaisten huippututkijoiden palkkaamisen Suomeen määräajaksi. Tavoitteena ohjelmassa on kansainvälisen yhteistyön luominen niin perus- kuin soveltavaan tutkimukseen ja lisäksi yritysten tutkimus- ja kehitystoiminnan välille. Ohjelma kannustaa yliopistoja ja tutkimuslaitoksia toimimaan yhteistyössä niin toistensa kuin elinkeinoelämänkin kanssa.

FiDiProssa on tällä hetkellä yhteensä 51 professoria, joista Suomen Akatemian rahoittamia on 27 ja Tekesin 24. Tekesillä on lisäksi 4 fellow-rahoitteista tutkijaa. Tavoitteena fellow-ohjelmalla on houkutella suomalaisiin tutkimusryhmiin uransa alkuvaiheessa olevia, lupaavia tutkijalahjakkuuksia. Näistä tutkijoista laskennallisiin tieteisiin läheisesti liittyy 23 professoria sekä 2 fellow-tutkijaa. Lista laskennallisiin tieteisiin liittyvistä FiDiPro -professoreista löytyy liitteestä 3.

## 4.14 Kansalliset tutkimuslaitokset

Yliopistojen lisäksi Suomessa tehdään laskennallisiin tieteisiin liittyvää tutkimusta myös erillisissä tutkimuslaitoksissa. Seuraavassa on esiteltynä näistä tutkimuslaitoksista merkittävimmät.

### 4.14.1 Fysiikan tutkimuslaitos

Viiden yliopiston (HY, TKK, JY, LTY ja TTY) yhteinen Fysiikan tutkimuslaitos HIP koordinoi Suomen hiukkasfysiikan tutkimusta. Sen osana HIP:illä on merkittävä rooli Grid-infrastruktuurin kehityksessä, ja osallistuu muun muassa kansainvälisen LHC-Datagridin ja Nordic DataGrid Facilityn toimintaan ja kehitykseen. HIP:in teknologiaohjelma kehittää myös Grid-sovelluksia muilla tieteenaloille kuin hiukkasfysiikka.

### 4.14.2 Helsinki Institute for Information Technology

Kahden yliopiston (HY ja TKK) yhteinen tutkimuslaitos HIIT tekee informaatioteknologian perus- ja strategista tutkimusta.

### 4.14.3 Ilmatieteen laitos

Ilmatieteen laitoksen tärkeimpänä tutkimuskohteena on Maan ilmakehä. Lisäksi laitos tutkii lähiavaruutta, muiden planeettojen kaasukehiä sekä Auringon vaikutusta kaasukehiin. Sekä sään ennustuksessa että tutkimuksessa laskennallisilla menetelmillä on aivan keskeinen rooli. Laitokselle kehitetään muun muassa ilmastomalleja, magnetosfääri- sekä planeettahybridiplasma-simulointeja.

## 4.15 Kansalliset tutkimusohjelmat

Laskennallisten tieteiden kannalta merkittävimmät tutkimusohjelmat ovat Suomen Akatemian sekä Tekesin rahoittamia. Tällä hetkellä meneillään ovat MASI (Mallinnus ja Simulointi, FinNano (Nanotieteen tutkimusohjelma) sekä Digitaalinen Tuoteprosessi. 2010 alkaa lisäksi Laskennallisten tieteiden tutkimusohjelma LASTU. Edellä mainittujen tutkimusohjelmien lisäksi valmisteilla Fotoniikan ja modernien kuvantamismenetelmien tutkimusohjelma.

### 4.15.1 MASI - Mallinnus ja simulointi 2005–2009

Ohjelman tavoitteena on tehostaa mallinnus- ja simulointitekniikoiden siirtymistä yritysten käyttöön ja varmistaa, että suomalaisen teollisuuden ja palveluyritysten kansainvälinen kilpailukyky vahvistuu. Tarkoituksena on myös, että samanaikaisesti käynnistyy uutta mallinnus- ja simulointiosaamiseen perustuvaa liiketoimintaa.

MASIn painopisteitä ovat ilmiömallit ja niiden yhdistäminen, mallinnuksen menetelmät ja työkalut, palveluiden ja liiketoimintaprosessien kehittäminen sekä mallinnuksen käyttö ja hyödyntäminen.

Ohjelmasta voivat hakea rahoitusta yritykset ja tutkimusorganisaatiot. Ohjelmassa yhdistetään teknologialähtöinen ja markkinavetoinen toiminta. Tavoitteena on, että yritykset voivat mallinnuksen ja simuloinnin avulla kehittää liiketoimintaansa sekä uusia tuotteita ja prosesseja.

### 4.15.2 LASTU - Laskennallisten tieteiden tutkimusohjelma 2010–2014

LASTU on Suomen Akatemian tutkimusohjelma, jonka tavoitteet ovat seuraavat [3]:

- Laskennallisten menetelmien käytön edistäminen menetelmien paremman hyödyntämisen takaamiseksi tutkimuksessa ja yhteiskunnassa. Tavoitteena on soveltaa laskennallisia menetelmiä laajasti eri tieteenalojen sekä yhteiskunnan ongelmien ja ilmiöiden poikkitieteelliseen tutkimukseen.
- Matemaattisen ja tietoteknisen sivistystason nostaminen tutkimusyhteisössä ja erityisesti metodologisten valmiuksien parantaminen. Keskeisenä tavoitteena on laskennallisia menetelmiä soveltavien tieteiden vuorovaikutuksen parantaminen tietojenkäsittelytieteiden, tietotekniikan ja matematiikan kanssa.
- Edelliset kohdat yhdistäen tärkeäksi tavoitteeksi muotoutuu Vuorovaikutuksen lisääminen eri tieteiden välillä. Hyvä tiedonkulku on edellytyksenä hyvine tuloksien saamiselle kun huomioidaan laskennallisten tieteiden poikkitieteellinen luonne. Yhteistyön on siis toimittava substanssiosaamisen sekä algoritmien ja menetelmien osaamisen välillä.
- Hyvien työkäytäntöjen edistäminen, jolla tarkoitetaan esimerkiksi asianmukaista data-aineistojen alkuperästä, käyttökelpoisuudesta sekä dokumentoinnista huolehtimista.
- Lisäksi ohjelman tavoitteena on tukea tutkijoiden kansainvälistä verkottumista.

Tutkimusohjelmassa aihealueita voivat olla esimerkiksi hyvin vaativien ja tieteellisesti erittäin merkittävien kysymysten tutkiminen (grand challenges), esimerkiksi ilmastonmuutos, energiakysymykset ja tietoverkkojen turvallisuus. Tällaisten ongelmien ratkaisut ovat yhteiskunnallisesti tärkeitä mutta tieteellisesti haastavia. Metodologisten valmiuksien parantaminen eli laskennallisten menetelmien kehittäminen (ongelmalähtöiset algoritmit, simuloinnin ja mallinnuksen menetelmät) kuuluvat olennaisesti tutkimusohjelmaan. Itse infrastruktuurin kehitykseen tähtäävä tutkimus ei ole tutkimusohjelman painopisteenä vaan ratkaistavat tieteelliset ongelmat. [3]

### 4.15.3 FinNano - Nanotieteen tutkimusohjelma 2006–2010

Tutkimusohjelma yhdistetään kemian, fysiikan ja biotieteiden nanomittakaavaista tutkimusta ja tuetaan alan kokonaisvaltaista kehittymistä Suomessa.

Tutkimusohjelman tavoitteena on

- Tukea korkeatasoista nanotieteen perustutkimusta osana innovaatioympäristöä
- Aktivoida alan tieteidenvälistä ja poikkitieteellistä lähestymistapaa
- Kehittää tutkimusalaan liittyviä tutkimusympäristöjä ja tutkijankoulutusta
- Luoda konkreettista lisäarvoa ohjelmaan osallistuville tutkimusryhmille verkottumisen, kansainvälisen näkyvyyden ja tutkimustulosten hyödyntämisen kannalta
- Edistää nanoteknologian vastuullista kehittämistä – tutkimusohjelma ottaa huomioon eettiset haasteet eli turvallisuuteen, terveyteen ja ympäristöön liittyvät asiat
- Edistää alan eurooppalaista ja muuta kansainvälistä toimintaa ja liikkuvuutta

### 4.15.4 Digitaalinen tuoteprosessi 2008 – 2012

Ohjelman tavoitteena on ylläpitää ja kehittää Suomen korkeatasoista osaamista tuotekehittämissä kansainvälisiä kilpailijoita paremmin. Näin taataan yrityksille mahdollisuus menestyä globaalissa kilpailussa.

Digitaalisten tuoteprosessien yksi keskeisimmistä työvälineistä on Tietokoneavusteinen suunnittelu (Computer aided design, CAD), jonka yksi osa-alue on tuotteen mallinnus ja mallinnukseen liittyvien tulosten analysointi. Laskennalliset menetelmät näyttelevät näissä vaiheissa hyvin keskeistä roolia.

Digitaalinen tuoteprosessi tukee kansainvälistä, kannattavaa ja asiakaskeskeistä liiketoimintaa. Palveluliiketoiminnan menestystekijöitä ovat tiedon hallinta ja hyödyntäminen tuoteprosessissa tuotekehityksessä, tuotannossa ja näihin liittyvillä palveluliiketoiminnan osa-alueilla. Verkostomainen toiminta kotimaassa sekä globaalissa arvoketjussa mahdollistuu, kun tuotteen elinkaarin hallinta ja palveluihin liittyvä osaaminen on kehittyntä.

Tekes määrittelee ohjelman keskeisiksi tavoitteiksi

- yhteistyön tehostaminen yli organisaatio- ja yritysrajojen
- huipputason toimintatapojen sekä osaamisen kehittäminen
- uusimpien, tuoteprosessin ja elinkaaren kattavien ICT-ratkaisujen käyttöönotto
- eri toimialojen välisen yhteistyön lisääminen ja osaamisen siirto

## 5 Laskennallisten tieteiden infrastruktuuri

Infrastruktuurilla tarkoitetaan sellaista tutkimusvälineiden, laitteistojen, aineistojen ja palveluiden varantoa, joka mahdollistaa alansa kehitys- ja tutkimustyön koko innovaatioprosessin elinkaarella. Infrastruktuuri myös tukee organisoitunutta tutkimustyötä sekä lisäksi kehittää ja ylläpitää tutkimuskapasiteettia. [2]

**Keskitetty (single-sited)** infrastruktuuria sellaisen alan tutkimuksessa, jossa suuret ja kalliit laiteinvestoinnit ovat välttämättömiä tutkimuksen kannalta. Myös keskitettyyn infrastruktuuriin voi kuitenkin liittyä myös etäyksiköiden tai etäkäytön mahdollisuus. [2]

**Hajautettua (distributed)** infrastruktuuria on luontevaa hyödyntää, kun resurssit ovat maantieteellisesti erillään. Toisaalta hajautetulla infrastruktuurilla voidaan tuottaa myös yhteisiä, keskitettyjä palveluja. [2]

**Virtuaalisiin (virtual)** infrastruktuureihin kuuluvat erilaiset tietokannat ja arkistot ynnä muut vastaavat, joihin tutkijat pääsevät tarvittaessa käsiksi omilta työasemiltaan. [2]

Kansalliset laskentainfrastruktuurit käsittävät yliopistojen laitteistoja, eri tutkimuslaitosten järjestelmiä, CSC:n tarjoamat palvelut sekä yksityisten yritysten omat infrastruktuurit.

### 5.1 Infrastruktuurin nykytila

Laskentainfrastruktuuria löytyy Suomesta pääasiassa yliopistoista, tutkimuslaitoksista sekä joiltakin yrityksiltä. Eri yliopistoilla on käytössään paljon pieniä laskentaresursseja ja laskentaa suoritetaan paljon suoraan tutkimushenkilökunnan työasemilla. Enemmän laskentakapasiteettia tarvitsevilla yksiköillä on käytössään myös laskentapalvelimia sekä klustereita. Monet yksiköt tekevät eniten laskentakapasiteettia tarvitsevien projektien suhteen yhteistyötä CSC Tieteen tietotekniikan keskuksen kanssa.

CSC tarjoamat palvelut kattavat data-, ohjelmisto-, tietohallinto- ja laskentapalvelut sekä Funet-verkon [1]. CSC:n kansainvälisen yhteistyön kautta suomalaisilla tutkijoilla on myös pääsy moniin kansainvälisiin suuremman luokan laskentakeskuksiin [1]. Kartoitus osoittaa kuitenkin, että tarvetta on myös pienemmille kansallisille laskentayksiköille ja kansalliselle yhteistyön tiivistämiselle laskentainfrastruktuurien käytön suhteen.

Sähköisessä muodossa oleva tai sähköiseen muotoon saatettu primaariaineisto, esimerkiksi tutkimuksia varten koottu materiaali, havainto- ja mittaustiedot, sekä rekisteri- ja tilastotiedot ovat yhä merkittävämpiä tieteellisen tutkimuksen apuvälineitä. Tällaisen tutkimusaineiston saatavuus ja säilytys on tällä hetkellä merkittävä haaste kansallisella tasolla. Primaariaineiston säilytykseen ja saatavuuteen liittyen on meneillään Opetusministeriön kokoama selvityshanke kartoittamaan ja koordinoimaan sähköisten tietoaaineistojen ja -varaintojen hyödyntämistä.

Kansallisen laskentainfrastruktuurin tilaan tällä hetkellä vaikuttaa se, että Suomessa ei ole kansallisella tasolla määriteltyä vastuullista toimijaa infrastruktuurien kehityksen suhteen. Koordinoimaton infrastruktuurikehitys ei pysty huomioimaan systeemitason ratkaisuja; pienet toimijat saattavat tahoillaan tehdä erillisiä, päällekkäisiä ratkaisuja. Jotta laskentainfrastruktuureille saadaan pitkän aikavälin kehitysratkaisuja, tarvitaankin keskitettyä koordinoitua. Opetusministeriön toimesta CSC toteutti kansallisen e-infrastruktuuristrategian vuonna 2008. [7]

Infrastruktuurien nykytilaa määrittää myös kansainvälisen tason toiminta. Sähköisen tutkimusinfrastruktuurin rakentamisessa eurooppalaista yhteistyötä on tehty jo pitkään esimerkiksi suurteholaskennan, grid-verkoston sekä tietoliikenteen alalla. Tällä hetkellä yhteistyötä pyritään myös laajentamaan datainfrastruktuurien tehostamiseksi. Datan sekä informaation hallinta ovatkin tällä hetkellä Euroopassa yksi tärkeimpiä alan kehittämiskohteista.

Jotta Suomi pysyy jatkossakin kiinnostavana sijoittajille sekä tieteellisille toimijoille, Suomen on pysyttävä mukana kansainvälisessä kehityksessä infrastruktuurien osalta. Suomi on Euroopan tasolla merkittävä HPC-palvelujen tarjoaja, käytössä on hyvin tehokkaita supertietokoneita. Maailman suurimpien järjestelmien kanssa ei voida kilpailla. Lisäksi pitkäjänteisen rahoitussuunnitelman puuttuminen superkonehankinnoista aiheuttaa epävarmuutta tulevaisuuden suhteen. CSC on yhteistyössä yliopistojen kanssa tehnyt OPM:lle ja kansalliseen infrastruktuuriohjelmaan esityksen maanlaajuisen kaikki tieteenalat käsittävän Grid-verkoston "Finnish Grid Infrastructure" (FGI) muodostamisesta, joka toteutuessaan täyttäisi tarpeen erinomaisesti. [7]

Suomella ei ole mahdollisuuksia kaikkein tehokkaimpiin järjestelmiin, mutta voi silti tarjota väkilukuun tai tutkijoiden määrään suhteutettuna kansainvälisesti erittäin kilpailukykyisen kapasiteetin, josta on osoituksena muun muassa CSC:n Cray-supertietokoneen 49. sija kansainvälisen top500.org-listalla maailman supertietokoneiden kapasiteetistä. Suomen valtti voi myös olla menetelmäosaaminen.

## 5.2 Laskennallinen kapasiteetti

Ongelmallista laskentainfrastruktuurin kartoittamisessa on se, että Suomessa on paljon tieteellistä tutkimusinfrastruktuuria, joka vaatii taustalle laskentakapasiteettia tulosten käsittelyä ja analysointia varten. Tällaisia tieteenaloja ovat esimerkiksi kemia, bio- ja lääketieteet, nanoteknologia, meteorologia, tähtitiede. Tutkimusinfrastruktuureita selvitetessä monet laitokset listasivat monipuolisesti järeitä tutkimus- ja mittauslaitteistoja sekä tietokantoja, mutta jättivät vähälle maininnalle tai huomiotta kokonaan aineistoja käsittelevän laskentakapasiteetin. Näin todellisen kuvan saaminen kansallisen laskentainfrastruktuurin saamisesta on haasteellista.

Kuten aikaisemmin mainittiin, suurin osa laskennasta suoritetaan työasematasolla. Palvelimet, joissa on 10–20 ydintä, ovat yleinen ratkaisu hieman vaativampaan laskentaan. Lähes jokaisesta suuremmasta yliopistosta löytyy myös klustereita, joissa on muutamasta kymmenestä noin sataan ydintä. Kaikkein vaativimpia tehtäviä varten olevissa klustereissa saattaa olla satoja, jopa lähelle tuhat ydintä. Tällaisia ratkaisuja ei kuitenkaan löydy kuin muutamia Suomen yliopistoista. Verrattuna CSC:n kapasiteettiin tämä on kuitenkin melko pientä, sillä CSC:ltä löytyy yli 13 000 ydintä laskentaa varten.

Taulukossa 4 esitetään karkea arvio eri yliopistossa käytössä olevasta, laskennallisten tieteiden käyttöön tarkoitettusta laskentakapasiteetista ydinten lukumäärän perusteella. Palvelinten ja klustereiden lisäksi käytössä on suuret määrät tavallisia työasemia, joilla laskentaa suoritetaan. Vertailuna esitetään myös muiden laskentakapasiteettia omistavien organisaatioiden vastaavia lukuja.

VTT ilmoittaa omaavansa useita laskentaklustereita, joista ei toistaiseksi löytynyt tarkempaa tietoa. Näiden karkeiden arvioiden perusteella voidaan tehdä selkeä havainto siitä, että suurin osa Suomen laskentakapasiteetista löytyy CSC:n resursseista. Kuva 3 selventää tilannetta.

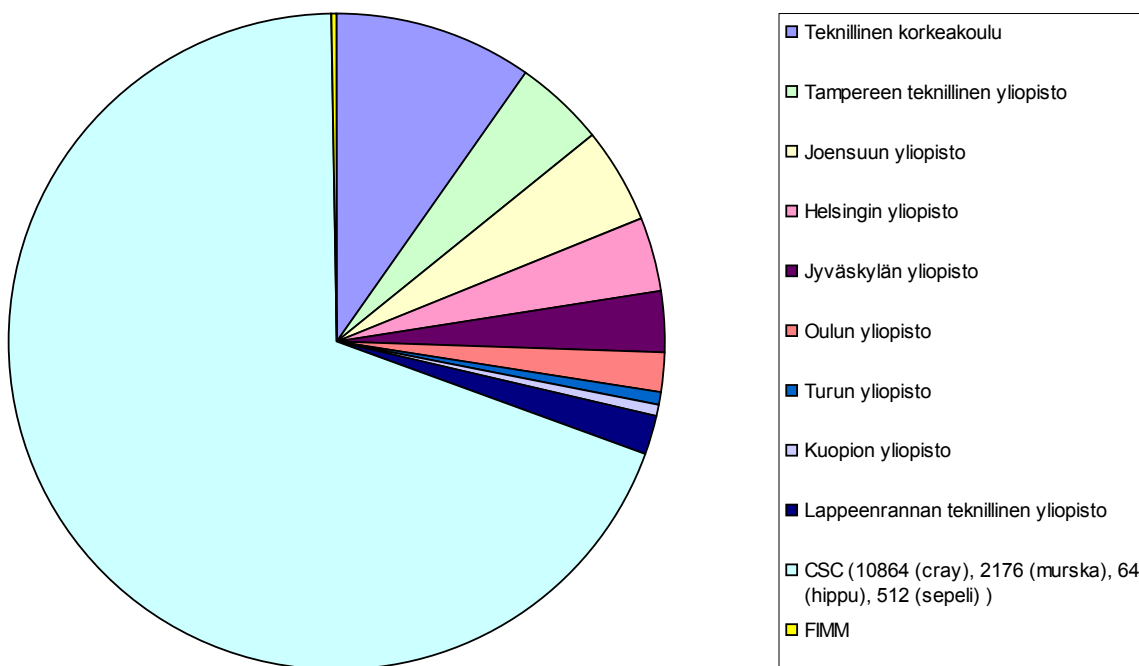
Suomalaisilla tutkijoilla on mahdollisuus käyttää vaativampaan laskentaan myös gridejä. Grid-laskennalla tarkoitetaan hajautettua laskentaresurssien käyttöä. Grid yhdistää paikallisia laskentaklustereita, tietovarantoja ja mittalaitteita, jotta niitä voitaisiin käyttää koordinoitusti ja tehokkaasti yhteisinä voimavaroina.

Kun käsitellään suuria määriä dataa tai laskut ovat raskaita, vaihtoehtoisiksi käyvät hajautettu laskenta ja supertietokoneet. Hajautetun laskennan ensisijainen etu on, että solmujen rakentamiseen voidaan käyttää standardilaitteistoja, toisin kuin supertietokoneissa, jotka ovat tilaustyönä suunniteltuja ja rakennettuja. Näin saatuja solmuja yhdistelemällä

Taulukko 4: Karkea arvio ytimien jakautumisesta yksiköittäin Suomessa

| Yksikkö  | Arvio ydinten lukumäärästä |
|--|----------------------------|
| Teknillinen korkeakoulu                                      | 1900                       |
| Tampereen teknillinen yliopisto                              | 900                        |
| Joensuun yliopisto   | 900                        |
| Helsingin yliopisto  | 700                        |
| Jyväskylän yliopisto   | 600                        |
| Oulun yliopisto  | 400                        |
| Turun yliopisto  | 120                        |
| Kuopion yliopisto  | 100                        |
| Lappeenrannan teknillinen yliopisto                          | 350                        |
| CSC (10864 (cray), 2176 (murska), 64 (hippu), 512 (sepeli) ) | 13616                      |
| FIMM   | 30                         |

Kuva 3: Laskentaresurssien jakautuminen yksiköittäin Suomessa.



päästään kuitenkin joissain tapauksissa supertietokoneen suorituskykyyn verrattavaan tulokseen huomattavasti pienemmillä kustannuksilla.

E erityisen edullisia grideistä tulee, kun laskennalliset tehtävät voidaan jakaa rinnakkaisina osatehtävinä eri solmuille/prosessoreille.

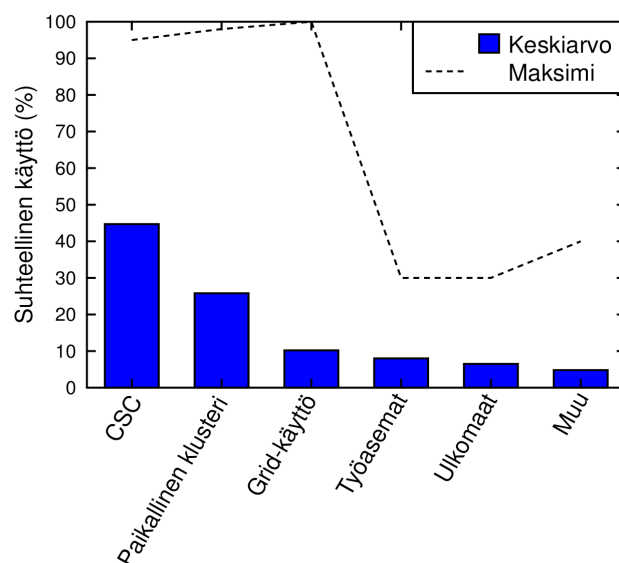
Suomalaiselle tutkijalle tarjolla olevia gridejä:

- Korkeakoulujen alun perin materiaalitieteitä varten perustettu M-Grid
- Pohjoismaiden yhteinen Nordugrid
- Eurooppalainen EGEE2
- Supertietokoneet verkottavat DEISA ja PRACE

Selvityksen osana kysyttiin kahdeltakymmeneltä raskasta laskenta tekevän ryhmän johtajalta arviota siitä, mikä osuus heidän laskennastaan tehdään eri koneissa. Tulokset on esitetty yhteenvetona kuvassa 4. Paikalliset klusterit sisältävät M-Grid-verkon koneiden käytön paikallisesti. Varsinainen Grid-käyttö oli erittäin merkittävää yhden vastanneen ryhmän kohdalla (HIP), ja suhteellisen vähäistä kaikissa muissa. Ulkomainen kapasiteetti sisältää muun muassa DEISA-käytön. Kohta muu koostuu pääasiassa ilmatieteen laitoksen tutkijoiden oman supertietokoneen käytöstä. Tulokset kuvissa 3 ja 4 osoittavat että CSC ja sen koordinoima M-Grid-verkosto ovat merkittävimmät

laskentakapasiteetin tarjoajat Suomessa, mutta että sekä Grid- että ulkomainen Grid/DEISA-käyttö alkaa muodostua merkittäväksi laskentakapasiteetin lähteeksi.

Kuva 4: Raskasta laskentaa tekevien ryhmänjohtajien arvio siitä mikä osuus heidän käyttämästään laskentakapasiteetista tulee eri lähteistä. Käyrä "Maksimi" näyttää korkeimman raportoidun käyttöasteen yhdeksän vastanneen ryhmän joukosta.



## 5.3 Tulevaisuuden tarpeet ja haasteet infrastruktuureilla

Laskentainfrastruktuurien haasteet kansallisella tasolla liittyvät kansallisen yhteistyön tiivistämiseen, koulutukseen sekä ekologisiin arvoihin. Myös kansainväliseen yhteistyöhön tulevaisuudessa on panostettava.

### 5.3.1 Kansainvälinen yhteistyö tulevaisuudessa

Tulevaisuudessa tiede leviää yli maantieteellisten rajojen, joten Suomen tulee pyrkiä osaamisessa huipulle pysyäkseen kehityksen ja globaalien tilanteiden tasalla. Vain tällä tavoin Suomi voi varmistaa kiinnostavuutensa ja sitä kautta kilpailuedun sekä paremmat yhteistyömahdollisuudet. Euroopassa EU on ottamassa yhä vahvempaa roolia e-infrastruktuureissa ja niiden tutkimuksessa. Suomella on mahdollisuuksia nousta merkittäväksi osaajaksi EU:ssa. Tähän vaaditaan panostusta ja pitkäjänteistä työtä sekä rahoitusta. Suomi on ollut tähän asti aktiivisesti mukana useissa tärkeissä EU-hankkeissa ja saanut jalansijaa merkittävässä projekteissa. Kansainvälinen yhteistyö mahdollistaa kansainvälisten resurssien ja osaamisen käytettävyyden myös jatkossa. Suomen onkin oltava aloitteellinen EU:ssa myös jatkossa. Suomen edullinen sijainti idän ja lännen välillä edesauttaa toimintaa kansainvälisessä yhteistyössä. [7]

### 5.3.2 Ekologiset arvot

Ekologisten arvot ja ratkaisut ovat tulleet nyky-yhteiskunnassa yhä merkittävämmiksi ja on tärkeää huomata, että suuret tietokoneympäristöt kuluttavat energiaa runsaasti. Vihreiden konesalien rakentaminen vaatii kuitenkin huomattavasti resursseja sekä kansallista että kansainvälistä yhteistyötä. Suomi voi olla aloitteen tekevänä toimijana ympäristökuormitusta vähennettäessä EU-tasolla tulevaisuuden tietokonesalien kehittämisessä. Myös etätyöskentelyn kehittäminen vähentää ympäristön kuormitusta. [7]

### 5.3.3 Kansallinen yhteistyö

Tutkimuksen ja innovaatiotoiminnan edellyttämien infrastruktuuriratkaisujen kehittäminen vaatii pitkäjänteistä toimintaa, joten sen tulee olla koordinoitua ja keskitettyä. Tiedepoliittisen ohjauksen tulee panostaa e-infrastruktuurien kehittämiseen läpi hallinnonalojen. Lisäksi selkeällä roolijaolla pitäisi määritellä keskeiset vastuutahot strategian, politiikan, rahoituksen, toimintamallien sekä teknisten toteutusten osalta. On varmistettava vuoropuhelu, kumppanuus sekä yhteistyö organisoitintasolla, jotta kokonaisuus on toimiva ja siiloutuminen estyy. E-infrastruktuurien kehittämistä ei pidä jättää paikallisen tason toimijoiden vastuulle, keski-

tetty järjestelmä vähentää riskiä erillisiin, päällekkäisiin ja yhteensopimattomiin ratkaisuihin ja tukee infrastruktuurin pitempää elinkelpoisuutta sekä elinkaarta. [7]

### 5.3.4 Koulutus

Jotta Suomi voi vastata globalisaation haasteisiin, on pystyttävä vastaamaan ulkomaille tapahtuvaan aivovuotoon esimerkiksi siirtämällä osaamista Suomeen, jotta riittävän infrastruktuurin rakentamiseen vaatima erityisosaaminen voidaan taata. Laskennallisten tieteiden kehittymisen ja kehittämisen merkitys korostuu, korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten on keskityttävä omaan erityisosaamiseensa, tutkimukseen ja opetukseen, sekä erityisesti vuorovaikutukseen muun yhteiskunnan ja poikkitieteellisen tutkimuksen onnistumisen takaamiseksi myös korkeakoulujen ja oppilaitosten kesken. Laskennalliset tieteet on sisällytettävä sekä korkeakoulujen, että Suomen Akatemian ja Tekesin rahoitusohjelmiin. Innovatiivisimmat tutkimus- ja tuotekehitysohjelmat kestävät ajallisesti kauan ja näin ollen tutkijoiden on voitava luottaa resurssien jatkuvuuteen.

Uudistus yliopistorakenteessa 2010 aiheuttaa muutoksia kilpailtaessa rahoituksesta. Syntyville uusille yksiköille on voitava tarjota riittävä e-infrastruktuuri.

## 5.4 Eurooppalaisen tason e-infrastruktuuri Suomessa

Suomen yliopistojen, tutkimuslaitoksissa ja teollisuudessa tehtävän tutkimuksen, opetuksen sekä tuotekehitystyön tukemiseen ja parantamiseen keskittyy opetusministeriön rahoittama CSC - Tieteen tietotekniikkakeskus oy. CSC:n toimintaan [1] kuuluu niin kansallinen kuin kansainvälinenkin yhteistyö, tieteiden välisen vuorovaikutuksen edistäminen ja tukeutuminen hajautettuihin tietoliikenneyhteisiin ja tietoliikenneyhteyksiin. CSC:n ylläpitämän Funet-verkon kautta päästään hyödyntämään CSC:n tietokantoja, ohjelmistoja sekä laskentapalvelimia. Nopea ja tehokas tiedonsiirto palvelee tutkijoita korkeakoulun sijainnista riippumatta.

Kansallista yhteistyötä CSC edistää muun muassa fyysikko-, kemisti- ja bioverkoilla, joissa on osallisina näiden alojen aktiivisimpia laskentakapasiteetin käyttäjiä eri puolelta maata, kussakin verkossa noin 10–15 henkilöä. Verkot kokoontuvat 2–3 kertaa vuodessa ja keskustelevat yhteistyöstä CSC:n kanssa ja keskenään. [1]

CSC on mukana lähes kaikissa merkittävässä EU-tason e-infrastruktuurihankkeissa sekä useissa tiedepoliittisissa yhteistyöhankkeissa, joissa hahmotellaan Euroopan tulevaa tutkimusinfrastruktuuria.



CSC:n palveluita ovat [1]:

- **Datan ja tiedon palvelut:** käytössä ovat lyhyen sekä pitkän aikavälin tallennuspalvelut, datan saatavuuden ja säilyvyyden luotettavat varmennus- ja arkistointijärjestelmät, 70 tieteen tietokantaa sekä laaja paikannustietoaineisto. Lisäksi palvelinympäristössä toimivat korkeakoulujen kirjastojärjestelmät Linnea (yliopistokirjastot), Armas (AMK:t) ja kansallinen kirjastojen hakujärjestelmä Nelli.
- **Ohjelmistopalvelut:** LaskenTaYmpäristössä on yli 200 erilaista valmisohjelmistoa, lisenssit kattavat esimerkiksi kemian, biotieteiden, fysiikan, tilastotieteen, virtauslaskennan, rakenneanalyysin sekä matematiikan ohjelmistoja. CSC tarjoaa myös ohjelmistoihin liittyvää koulutusta, eri tieteenalojen menetelmätukea, kehittää tieteellisiä ohjelmistoja ja tarjoaa pääsyn grid-laskentaresursseihin. Palvelut ovat kansainvälisesti kilpailukykyisiä ja käyttäjille helposti saatavilla. Näiden lisäksi CSC koordinoi kansallista ohjelmistokonsortiota yliopistojen ja korkeakoulujen puolesta.
- **Tietohallintopalvelut:** Keskitetyt tiede- ja opetushallinnon tietojärjestelmät eli korkeakoulujen yhteiset tutkimusta ja opetusta tukevat tietojärjestelmät ovat CSC:n ylläpidossa. CSC myös osallistuu näiden tietojärjestelmien kehitystyöhön. Tietohallintopalvelujen asiantuntijat konsultoivat tietotekniikkahankkeissa ja IT:n kehittämiseen liittyvissä kysymyksissä. Erityisosaamisen piiriin kuuluvat hankkeiden suunnittelu ja kilpailuttaminen, sähköinen asiointi, käyttäjähallinnon kehittäminen sekä tietoturvaan liittyvät kysymykset.
- **Laskentapalvelut:** CSC:n tutkimukselle, mallinnukselle ja simuloinnille tarjoama laskentakapasiteetti ovat huipputehokkaita supertietokoneilla ajettavia rinnakkaistettuja ohjelmia ja niillä voidaan saavuttaa jopa monituhattainen laskentateho verrattuna yksittäiseen prosessoriin. Näin ongelman ratkaisuun kuluva aika saadaan lyhennettyä huomattavasti ja tarkempien mallien käyttäminen mahdollistuu. CSC antaa tieteellisen laskennan ja tietotekniikan asiantuntevaa konsultaatiota koskien algoritmien suunnittelua, koodien optimointia ja rinnakkaistamista, laskentahankkeita sekä laitehankintoja. CSC on myös mukana kansainvälisissä suurteho-laskennan projekteissa (DEISA, PRACE).
- **Funet-palvelut:** CSC ylläpitää ja kehittää tutkimusta ja opetusta palvelevaa huippunopeaa suomalaista Funet-tietoverkkoa. Funet yhdistää korkeakoulut sekä tutkimuslaitokset ja tarjoaa näiden keskinäiset ja kansainväliset tietoliikenneyhteydet. Funet on yksi maailman kehittyneimmistä tutkimusyhteisöjen verkoista. Verkkopalveluun kuuluvat myös Funet CERT -tietopalvelut, videoneuvottelu-, ja mediapalvelut sekä langattomat verkkovierailut. Pääsy kansainvälisiin tutkimusverkkoihin ja palveluihin mahdollistuu yhteispohjoismaisen NORDUnet-verkon kautta. CSC:n tietokoneressurssien jakautuminen eri tieteenalojen kesken kertoo laskentaresurssien tarpeen monitieteellisestä luonteesta. Eniten prosessintunteja vuonna 2008 ovat käyttäneet nanotieteet (32 %), fysiikka (27 %), kemia (19 %) sekä tähtitiede (12 %), kun taas itsessään laskennallisten tieteiden (esimerkiksi virtauslaskenta, grid-käyttö sekä matematiikka) käyttämät prosessitunnit ovat kukin 1-2 % luokkaa koko käytöstä. Suurimmat käyttäjät ovat Helsingin yliopisto (27 %), Teknillinen korkeakoulu (24 %) ja Oulun yliopisto (16 %)
- **Laaja kurssitarjonta:** luokkaa 80 tilaisuutta vuodessa, joissa 2000–3000 osallistujaa, tilaisuuksia järjestetään sekä Suomessa että ulkomailla.

## 6 Yhteenveto ja suosituksia

Tässä raportissa esiteltiin laskennallisten tieteiden kansallinen nykytila. Raportissa käy ilmi kompetenssiosaamisen jakaantuminen Suomessa. Nykytilanteen kartoituksen tiedot on kerätty vierailamalla ja haastatteleamalla opetus- ja tutkimushenkilökuntaa Suomen yliopistoissa. Lisäksi on huomioitu aikaisemmin tehtyjä raportteja koskien laskennallisten tieteiden nykytilaa sekä infrastruktuuria. Tässä kappaleessa esitellään pääkohtia laskennallisten tieteiden nykytilasta sekä kartoituksen perusteella aiheellisiksi katsottuja toimenpide-ehdotuksia.

### 6.1 Opetus

Laskennallisten tieteiden opetusta järjestetään käytännössä lähes kaikissa yliopistoissa. Tarjonta ulottuu matemaattisista perusopinnoista monipuolisiin eri alojen tutkijakouluihin. Koko maan kannalta katsottuna opetustarjonta on kuitenkin sirpaleista ja koordinoimatonta. Tästä johtuen jopa yliopistojen sisäisesti saattaa olla tarjolla päällekkäistä opetusta. Eri yksiköiden välinen yhteistyö vaatisi sekä panostusta että yhteistä käsitteistöä, jotta osaaminen saataisiin jaettua paremmin resursseja hukkaamatta.

Laskennallisten tieteiden opetusta voi pyrkiä jäsentämään sekä koulutusvastuun että tavoitetason avulla. Koulutusta voivat tarjota joko perinteisesti muutakin menetelmäopetusta tarjoavat yksiköt kuten matematiikka, tilastotiede ja tietojenkäsittely, joilla jokaisella on oma viitekehyksensä laskennallisiin tieteisiin, tai laskennallisia menetelmiä soveltavat oppiaineet (käytännössä kaikki luonnontieteiden ja tekniikan alat sekä vaihtelevassa määrin muut alat). Koulutuksen tavoitteellisuus vaihtelee – iso osa tarjonnasta jäsentyy varsin irrallisiksi erikoiskursseiksi. Menetelmäaineissa voidaan tunnistaa maisterilinjoja ja muita selkeitä kokonaisuuksia.

Laskennallisten tieteiden opetustarjontaa tulee jäsentää kokonaisuuksiksi, joilla on selkeät oppimistavoitteet. Lähtökohdaksi voidaan ottaa tilastotiede, jolla on pidemmän historiansa takia selkeä rooli yliopistokoulutuksessa. Tilastotieteen osalta voidaan yleensä tunnistaa selkeät yleisopinnotyypilliset menetelmä- ja työkaluopinnot, sivuainekokonaisuudet sekä pääaineopinnot erikoistumiskohteineen. Onko laskennallisista tieteistä tunnistettavissa tilastotieteellisen lähestymistavan lisäksi muita yleisopinnotai menetelmätyypillisiä aloituskokonaisuuksia? Millaista matemaattista yleissivistystä nämä edellyttäisivät? Millaisia (sivuaine)kokonaisuuksia laskennallisista tieteistä olisi mielekästä muotoilla? Voidaanko laskennallisten tieteiden opetustarjonta jäsentää yhtenäiseksi opetusohjelmaksi?

Luonnollinen tilaisuus tähän olisi tuleva oppimistavoitteiden määrittelyprosessi, jota tulisi kansallisesti koordinoita laskennallisten tieteiden näkökulmasta.

### 6.2 Jatkokoulutus

Laskennalliset tieteet ovat merkittävässä roolissa monessa tutkijakoulussa. Myös jatkokoulutuksessa voidaan tunnistaa menetelmäorientoituneet ja sovellusalaorientoituneet taustat. Koska jatkokoulutuksessa opiskelijavolyymit ovat yksikkö- ja tutkijakoulutasolla usein varsin pieniä, yhteistyö on käytännössä ainut mahdollisuus taata kattava ja laadukas tarjonta. Luonteva tilaisuus koordinoita tutkijakoulujen toimintaa on tuleva tutkijakouluhaku, jonka valmistelun yhteydessä tutkijakoulujen tulisi voida sopia strategisesta yhteistyöstä ja osaamisalueidensa profiloinnista. Niin kursien, ohjaajien kuin vierailijoidenkin vaihtoon ja jakamiseen tulisi kannustaa jo suunnitteluvaiheessa.

### 6.3 Tutkimus

Laskennallisten menetelmien osaamista ja osajia löytyy kultakin alalta, mutta osaamista voitaisiin hyödyntää paremmin ja monitieteellisemmin. Tällä hetkellä osaajat pysyvät melko tiukasti oman työnsä parissa tutkimassa omaa erityisalaansa. Useissa alan kartoituksissa painotetaan yhteistyön merkitystä innovaation ja kehityksen mahdollistajana. Laskennallisten menetelmien osaamista voitaisiin edistää, mikäli menetelmiä saataisiin yhteistyön kautta käyttöön yhä monitieteellisemmin.

Tutkimustyötä haittaavat osittain myös rahoitukseen liittyvät haasteet. Pitkäjänteisen rahoitussuunnitelman puuttuessa tutkimustyötä tai infrastruktuuriin liittyviä hankintoja on hankalaa suunnitella. Lisäksi kilpailu samoista tutkimusrahoista vaikuttaa negatiivisesti yhteistyöhön eri yksiköiden välillä.

Uusia toimintamalleja selkeästi kaivataan. Siirtyminen tutkimusrahoituksessa kokonaiskustannusmalliin ja tutkijoiden rekrytoinnissa työsuhteisiin voi tarjota tässä suhteessa uusia mahdollisuuksia, jos yliopistojen ja rahoittajien kanssa onnistutaan sopimaan selkeät pelisäännöt sille, miten asiantuntijat eri yksiköistä voivat joustavasti toimia osa-aikaisissa konsultoiivissa rooleissa eri tutkimushankkeissa. Nykyisin käytetyt konsortiomalliset hankkeet ovat liian raskaita systemaattisesti käytettäväksi. Tutkimushankkeiden vastuullisia vetäjiä tulisi kannustaa ulkopuolisen konsultoiivan asiantuntemuksen joustavaan käyttöön ja luoda tälle sujuvat hallinnolliset puitteet. Näin voitaisiin edistää eri tutkimusryhmien luontevaa kanssakäymistä.

## 6.4 Infrastruktuuri

CSC suuntaa vahvasti kansainväliseen yhteistyöhön infrastruktuurien kehittämisen suhteen. Tätä kautta suomalaisilla tutkijoilla on käytössään huipputason laskentainfrastruktuuria. Lisäksi yliopistoilla on käytössään omiin tarpeisiinsa mitoitettua laskentakapasiteettia. Tutkimukseen ja opetukseen liittyvä tieteellinen laskenta suoritetaan pääosin näiden kahden tahon puitteissa. Yliopistojen omien pienten laskentayksiköiden järjestelmien tärkeyttä ei pidä unohtaa, sillä näitä järjestelmiä käytetään yliopistoittaan paljon ja ne hyödyttävät monia tieteenaloja tieteellisistä laskijoista biologieihin ja humanisteihin asti. Suomesta

löytyy merkittävää menetelmäosaamista laskennallisten menetelmien suhteen, joten vaatimattomammallakin laitteistolla laskentaa pystytään suorittamaan.

Paikallisella tasolla laskentaympäristöjen kehittämien ja ylläpito on usein varsin henkilöitynyttä ja akuutteihin tutkimusintresseihin perustuvaa. Tältäkin osin yhteistyörakenteita tulisi vahvistaa (ympäristöjen kehittäjä- ja ylläpitäjäverkostot, joilla olisi keskinäiset sopimukset koulutuksesta ja varajärjestelyistä).

## Lähdeluettelo

- [1] CSC Vuosikertomus 2008. CSC - *Tieteen tietotekniikan keskus Oy*.
- [2] Kansallisen tason tutkimusinfrastruktuurit - Nykytila ja tiekartta. *Opetusministeriö*, 2009.
- [3] Laskennallisten tieteiden tutkimusohjelma - malleja ja sovelluksia yhteiskuntatieteistä luonnontieteisiin. Ohjelmamuistio. *Suomen akatemia*, 2008.
- [4] Opetusministeriön grid-strategiatyöryhmä. Suomen eScience-ohjelma. *Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2007:7*, 2007.
- [5] Opetusministeriön työryhmä laskennallisten tieteiden kansalliseksi kehittämiseksi. Laskennallisen tieteen kehittäminen Suomessa. *Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2007:23*, 2007.
- [6] President's Information Technology Advisory Committee. Computational Science: Ensuring America's Competitiveness. *Report to the President*. Jun., 2005.
- [7] Tutkimuksen e-Infrastruktuuri Suomessa - Osaamisella kustannussäästöjä ja kansainvälistä yhteistyötä. *Strategiamuistio*. CSC – *tieteen tietotekniikan keskus*. 17.11.2008.

# Liite 1 – kurssilistaus

## 6.5 Helsingin yliopisto

### Analyysi, differentiaaliyhtälöt ym.

- 53966 Tähtitieteen matemaattiset menetelmät I
- 57241 Funktioanalyysin peruskurssi
- 78121 Matemaattisen analyysin kurssi
- 57731 Elementary Bayesian Analysis
- 57353 Fourier-analyysi
- 57212 Funktioavaruudet
- 57241 Funktioanalyysin peruskurssi
- 57062 Funktioteoria I
- 57065 Funktioteoria II
- 57016 Analyysi I
- 57017 Analyysi II
- 57043 Lineaarialgebra ja matriisilaskenta I
- 78122 Matemaattisen analyysin jatkokurssi
- 78121 Matemaattisen analyysin kurssi
- 78116 ja 78132 Data-analyysi osat 1 ja 2
- 57046 Johdatus tilastolliseen päättelyyn
- 57045 Johdatus todennäköisyytlaskentaan
- 78103 Tilastotiede käytännön tutkimuksessa
- 57044 Differentiaaliyhtälöt I
- Differentiaaliyhtälöt II
- 57047 Lineaarialgebra ja matriisilaskenta II
- 57053 Matematiikan menetelmäkurssi
- 57015 Vektorianalyysi

### Numeeriset menetelmät

- 53398 Tieteellisen laskenta I
- 53399 Tieteellisen laskenta II
- 53369 Tieteellisen laskenta III
- 53623 Numeerinen meteorologia I
- 53571 Mathematical and Numerical Methods in Geophysics
- 57072 Johdatus numeriiikkaan
- 57354 Numeeriset menetelmät ja C-kieli
- Tähtitieteen numeeriset menetelmät
- 53936 Practical methods in numerical MHD

### Simulointi

- 53006 Monte Carlo -simuloinnit
- 530060 Simulations of formation of molecular clusters
- 55472 Molekyylimallitus
- 53363 Johdatus atomistisiin simulointeihin
- 53391 Laskennallisen fysiikan harjoitustyö

### muut

- 53382 Tools of High Performance Computing / Suurteholaskennan työkalut
- 530123 Johdatus elektronirakennelaskuihin
- Statistical Methods I - Tilastolliset Menetelmät I
- 57393 Matemaattinen mallintaminen
- 57429 Computational Methods in Statistics
- 57429 Johdatus R-ohjelmiston käyttöön
- 57723 Laskentaintensiiviset tilastolliset menetelmät
- 57710 Software tools for statisticians
- 53942-3 L. Advanced course in theoretical astrophysics (Computational methods in theoretical astrophysics)
- Computing methods in high energy physics
- 582605 Metabolic Modelling
- 78134 Lineaariset mallit

### Tilastollinen matematiikka

- 78126 Lineaaristen mallien sovellukset
- 57740 Nonparametric Statistics
- 57429 Otanta-aineistojen analyysi
- 78189 Pienalue-estimointi
- 78187 Survey-metodiikka

## Soveltava matematiikka

- 57390 Modelling fluctuating populations
- 57390 Spatial models in ecology and evolution
- 57456 Stokastinen analyysi
- 57354 matemaattinen taloustiede

## 6.6 Jyväskylän yliopisto

### Agora Virtual Environment Center

- Virtual reality (I & II)
- Computer animation (I & II)
- Visualization

### Bio- ja ympäristötieteet

#### Vesistötieteen tilanne

- WETS150 Fysikaalinen limnologia I (2 op)
- WETS151 Fysikaalinen limnologia II (2 op)
- WETS702 Kalojen populaatiodynamiikka ja kannanarviointi (7 op)

#### Ympäristötieteissä

- YMPA238 Kokeellisen ja yhteiskunnallisen ympäristöntutkimuksen tilastolliset menetelmät (4 op)
- YMPS354 Kemiallinen ympäristöanalytiikka (6 op)
- YMPS360 Paikkatietojärjestelmät ja spatiaalinen interpolointi (4 op)
- YMPS370 Ympäristötieteen aineistojen tilastollinen tutkimus R-tilasto-ohjelmalla (3 op)
- YMPS413 Ympäristötilastot, kokoaminen ja käyttö (3 op)

#### Ekologian osasto

- EKOA906 Tutkimusaineistojen analysointi I (2 op)
- EKOA907 Tutkimusaineistojen analysointi II (2 op)
- EKOS514 Bioinformatiikka (6 op)

#### Solu- ja molekyylibiologia

- SOBS201 Proteiinimallitus (4 op)
- MOBJ201 BIO1: Light Microscopy Image Processing and Analysis (3 op)

### Fysiikan laitoksen kursseja

- FYSP100 Fysiikan matemaattiset menetelmät I
- FYSP120 Fysiikan numeerisia menetelmiä
- FYSA200 Fysiikan matemaattiset menetelmät II
- FYSM350 Simulointikurssi
- FYST300 Fysiikan matemaattiset perusteet III
- FYST400 Fysiikan matemaattiset menetelmät IV
- FYSM540 Density functional theory and its applications in nanoscience

### Kemia laitoksen kursseja

- KKEMA241 Kemian matemaattiset apuvälineet
- KEMS304 Kemiallisten tulosten tarkastelu tilastollisin menetelmin
- KEMS306 Molekyyylimallituksen perusteet
- KEMS709 Kemian mallit ja visualisointi
- KEMS314 Laskennallinen epäorgaaninen kemia

### Matematiikan laitoksen kursseja

- MAT0914 Euklidinen tasogeometria, 4 op
- MAT0912 Joukot ja alkeisfunktiot, 5 op
- MATP100 Johdatus matematiikkaan, 3 op
- MAT0915 Lukualueet, 4 op
- MAT0913 Lukuteorian alkeet, 4 op
- MATY010 Matematiikan propedeuttinen kurssi, 5 op
- MATY020 Matematiikan peruskurssi, 5 op
- MATP152 Approbatur 1A, 4 op
- MATP153 Approbatur 1B, 4 op
- MATP162 Approbatur 2A, 5 op
- MATP163 Approbatur 2B, 5 op
- MATP170 Approbatur 3, 5 op
- MATP180 Symbolinen laskenta, 2 op
- MATS237 Dynaamiset systeemit, 9 op
- MATA130 Euklidiset avaruudet, 5 op
- MATS336 Fuchsian groups, 4 op
- MATA230 Geometria, 7 op

- MATA212 Integraalilaskenta 1, 4 op
- MATA214 Integraalilaskenta 2, 4 op
- MATS137 Johdatus ryhmien esitysteoriaan, 4 op
- MATA261 Johdatus stokastiikkaan, 5 op
- MATS120 Kompleksianalyysi, 10 op
- MATS124 Konformikuvaukset, 9 op
- MATA123 Laskennallinen lineaarinen algebra ja geometria, 1 op
- MATS275 Lévy-prosessit, 4 op
- MATA121 Lineaarinen algebra ja geometria 1, 6 op
- MATS131 Lineaarialgebran jatkokurssi, 9 op
- MATA150 Logiikka, 4 op
- MATS150 Logiikan jatkokurssi, 5 op
- MATS140 Matematiikan historia, 5 op kevät
- MATS110 Mitta- ja integraaliteoria, 9 op
- MATS138 Representation theory, 9 op
- MATA271 Stokastiset mallit, 4 op
- MATS252 Stokastiset prosessit 1, 5 op
- MATS253 Stokastiset prosessit 2, 4 op
- MATS226 Tason kvasikonformikuvaukset, 9 op
- TILA120 Todennäköisyyslaskenta A, 6 op
- MATS210 Topologia, 9 op
- MATA275 Vakuutusmatematiikka, 3 op

#### Analysit

- MATA111 Analyysi 1, 7 op
- MATA112 Analyysi 2, 9 op
- MATA113 Analyysi 3, 4 op
- MATS311 Reaalianalyysi, 9 op
- MATS220 Funktioanalyysi, 10 op

#### Differentiaaliyhtälöt

- MATA114 Differentiaaliyhtälöt, 3 op
- MATA211 Differentiaalilaskenta 1, 4 op
- MATA213 Differentiaalilaskenta 2, 4 op
- MATA235 Differentiaaligeometrian alkeet, 6 op
- MATS217 Introduction to differential topology, 4 op

#### Tilastotieteen kursseja

- TILA140 Matemaattinen tilastotiede 1, 8 op
- TILP350 SPSS-kurssi, 2 op
- TILA120 Todennäköisyyslaskenta A, 6 op
- TILA130 Todennäköisyyslaskenta B, 4 op
- TILA310 Johdatus tilastolliseen mallintamiseen, 8 op
- TILA410 R-ohjelmointi, 2 op
- TILA640 Suunniteltujen kokeiden tilastomenetelmät, 4 op
- TILS210 Elinaikamallit, 6 op
- TILS640 Lineaariset moniyhtälömallit, 4 op
- TILA140 Matemaattinen tilastotiede 1, 8 op
- TILS140 Matemaattinen tilastotiede 2, 8 op
- TILA230 Frekvenssiaineistojen analyysi, 6 op
- TILA420 SAS-kurssi, 2 op
- TILS635 Monitasomallit, 6 op

#### Tietojenkäsittelytieteiden laitoksen kursseja

- ITKY105 Diskreetit rakenteet, 5 op
- KOGS452 Eye-tracking Techniques for Cognitive and Usability Testing, 2 op
- TJTS52 Verkkoteoria tietojenkäsittelytieteissä, 7 op

#### Tietotekniikan kursseja

- ITKY105 Diskreetit rakenteet (5 op)
- TIEA314 Keinotodellisuus 1 (3 op)
- TIES324 Signaalinkäsittely (4 op)
- TIES325 Tietoliikenteen stokastiset menetelmät (3 op)
- TIEA326 Tietoliikenteen matemaattiset apuneuvot (4 op)
- TIEA381 Numeeriset menetelmät (5 op)
- TIEA382 Lineaarinen ja diskreetti optimointi (5 op)
- TIEA383 Matemaattisen mallintamisen peruskurssi (5 op)
- TIES411 Konenäkö ja kuva-analyysi (5 op)
- TIES447 Tiedon ja ohjelmistojen louhinta, Tiedonlouhinnan perusteet ja soveltaminen erityisesti ohjelmistokehityksessä (3 - 5 op)
- TIES481 Simulointi (5 op)
- TIES483 Epälineaarinen optimointi, Epälineaarisen optimoinnin teoriaa ja menetelmiä (7 op)
- TIES581 Numeerinen lineaarialgebra (6 op)

- TIES582 DY-mallit ja niiden numerikka 2 (5 op)
- TIES583 Optimoinnin jatkokurssi, Optimoinnin jatkokurssi 2008 (5 op)
- TIES584 Matemaattisen mallintamisen jatkokurssi (3 op)
- TIES681 Seminar on Mathematical Modelling and Scientific Computing (0 - 3 op) (0-3 op)
- TIEJ599 Game Theory and Applications, Introduction to game theory course (3 op)

## 6.7 Joensuun yliopisto

- Algebra
- Algebra II
- Analyysi I
- Analyysi II
- Analyysi III
- Analyysi IV
- Datan analyysimenetelmät mallinnuksessa
- Differentiaaligeometria
- Differentiaaliyhtälöt
- Differentiaaliyhtälöt a
- Differentiaaliyhtälöt b
- Diskreetti matematiikka
- Elementtimenetelmä
- Funktionaalianalyysi
- Geometria
- Johdatus topologiaan
- Kompleksianalyysi Ia
- Kompleksianalyysi Ib
- Kompleksianalyysi II
- Kompleksianalyysi III
- Laskennallinen polynomialgebra
- Lineaarialgebra
- Lineaarialgebra a
- Lineaarialgebra b
- Lukuteoria
- Mallinnus ja optimointi
- Matemaattinen mallintaminen
- Matematiikan johdantokurssi
- Matematiikan perusopintopakso
- Matematiikan tietotekniikka
- Matematiikan tietotekniikka kouluopetuksessa
- Matriisit
- Mitta- ja integroimisteoria a
- Mitta- ja integroimisteoria b
- Numeerinen analyysi
- Numeerinen lineaarialgebra
- Optimointi
- Osittaisdifferentiaaliyhtälöt
- Osittaisdifferentiaaliyhtälöt matemaattisessa mallinnuksessa
- Potentiaaliteoria
- Satunnaisuus mallintamisessa
- Signaalien matematiikkaa
- Sovellettu analyysi
- Tilastolliset mallit
- Todennäköisyyslaskenta a
- Todennäköisyyslaskenta b
- Topologia
- Variaatiolaskenta



## 6.8 Kuopion yliopisto

### Farmaseuttisen kemian laitos

- Molekyyylimallinnus I (4.5 op / 3.0 ov) MMAI

### Fysiikan laitos

- Aikasarja-analyysi (5 op / 3 ov) TSA
- Aikasarjamallinnus neuroverkoilla (5 op / 3 ov) AMN
- Data-analyysi (5 op / 3 ov) DAN
- Datan analyysimenetelmät mallinnuksessa (4 op / 2 ov) DAM
- Digitaalinen kuvankäsittely (5 op / 3 ov) DKK
- Elementtimenetelmät (5 op / 3.0 ov) FEM
- Fysiikan matemaattiset menetelmät (5 op / 3 ov) FMM
- Hahmontunnistus neuroverkoilla (5 op / 3.00 ov) HTN
- Inversio-ongelmat (5 op / 3 ov) KON
- Mallinnuksen peruskurssi (5 op / 3 ov) MPE
- Mallinnus I (5 op / 3 ov) ML1
- Mallinnus II (5 op / 3 ov) ML2
- Matemaattinen liikeanalyysi (4 op / 2 ov) MAL
- Matemaattiset ohjelmistot: Matlab (2 op / 1.0 ov) MOM
- Monimuuttujamenetelmien perusteet (3 op / 2.0 ov) MMP
- Monitavoiteoptimointi (5 op / 3 ov) MTO
- Optimointi (5 op / 3 ov) OPT
- Osittaisdifferentiaaliyhtälöt matemaattisessa mallinnuksessa (4 op / 2 ov) OMM
- Satunnaisuus mallintamisessa (4 op / 2 ov) SMA
- Signaali-analyysi (5 op / 3 ov) SIA
- Statistinen fysiikka 1 (5 op / 2 ov) SFY1
- Statistinen fysiikka 2 (5 op / 3 ov) SFY2
- Tilastolliset Inversio-ongelmat (5 op / 3 ov) TKO
- Tilastolliset mallit (4 op / 2 ov) TMA
- Virtauslaskenta (5 op / 3 ov) VIR
- Signaalianalyysi 5 op
- Virtuaalitekniikka 5 op
- Kuva-analyysi (Pakollinen) 5 op
- Estimointiteoria 5 op

### Matematiikan ja tilastotieteen laitos

- Analyysin perusteet (3 op / 2 ov) ANP
- Biostatistiikka (3 op / 2 ov) BIS (tilasto)
- Differentiaalilaskenta (7 op / 4 ov) DLA kotisivu
- Differentiaaliyhtälöt (7 op / 4 ov) DFY
- Fourier-analyysi (6 op / 3 ov) FOA
- Integraalilaskenta (7 op) INT kotisivu
- Inversio-ongelmat 5 op
- Tilastolliset inversio-ongelmat 5 op
- Johdatus analyysiin (9 op / 5.0 ov) JAN kotisivu
- Kompleksianalyysi (7 op / 4.0 ov) KPA
- Lineaarialgebra (5 op / 3.0 ov) LNA kotisivu
- Matemaattinen logiikka (5 op / 3 ov) MTL
- Matematiikan peruskurssi (5 op / 3.0 ov) MAP
- Matematiikan propedeuttinen kurssi (5 op / 3.0 ov) MPR
- Matriisilaskenta (3 op / 2.0 ov) MLA
- Moniulotteisen analyysin alkeet (5 op / 3 ov) MNA
- Numeeriset menetelmät (5 op / 3 ov) NUM
- Osittaisdifferentiaaliyhtälöt (5 op / 3 ov) ODY
- Regressio- ja varianssianalyysi (5 op / 3 ov) RVA
- Talousmatematiikka (6 op) TAMA
- Tilastollinen tietojenkäsittely jatkokoulutettaville (3 op / 2.0 ov) TIKJ
- Tilastollinen ohjelmistokurssi (2 op / 1 ov) TIO
- Tilastollisen tietojenkäsittelyn jatkokurssi (3 op / 2.0 ov) TIKJK
- Tilastotieteen johdantokurssi (5 op / 3 ov) TJK
- Tilastotieteen peruskurssi (4 op / 3.0 ov) TPK
- Todennäköisyyslaskenta (5 op / 3 ov) TNL

### Tietojenkäsittelytieteen laitos

- Algoritmien suunnittelu ja analysointi (6 op / 3.0 ov) ASA
- Diskreetit rakenteet (5 op) DSR
- Laskennan teoria (5 op / 3 ov) LAT
- Rinnakkaislaskenta (6 op / 3.0 ov) RIN

## 6.9 Lapin yliopisto

- SMEN0320 Matematiikkaa taloustieteilijöille IA 3 op
- SMEN0321 Matematiikkaa taloustieteilijöille IB 5 op
- SMEN0316 Matematiikkaa taloustieteilijöille II 4 op
- SMEN0317 Matematiikkaa taloustieteilijöille III 4 op
- SMEN0312 Tilastotieteen johdantokurssi 8 op
- SMEN0314 Aikasarjat ja indeksit 4 op

## 6.10 Lappeenrannan teknillinen yliopisto

### Peruskursseja, muun muassa analyysia

- BM20A1500 Numeerinen analyysi I
- BM20A2700 Numerical Analysis II
- BK70A0400 Introduction to Multibody Dynamics
- BM20A2400 Matemaattinen mallinnus
- BM20A3001 Statistical Analysis in Modelling
- BM20A3301 Stochastic Theory and Models
- BM20A4300 Johdatus tekniseen laskentaan
- BM20A1300 Complex Analysis
- BM20A1601 Matriisilaskenta
- BM20A2500 Linear Algebra and Normed Spaces
- BM20A1401 Tilastomatematiikka I
- BM20A1900 Statistics II

### Diff yhtälöt

- BM20A2101 Differential Equations

### Optimointi

- BK80A1700 Rakenteiden optimointi
- BM20A1700 Optimoinnin perusteet
- BM20A2800 Nonlinear Optimization
- BM20A1801 Lineaarinen optimointi
- BM20A2901 Discrete Optimization

### Numeeriset menetelmät

- BH70A0000 Lämpötekniikan numeeriset menetelmät
- BL30A1200 Numerical Methods in Electromagnetism
- BM30A1410 Fourierin analyysi A
- BM30A1420 Fourierin analyysi B
- BM20A1501 Numeeriset menetelmät I
- BM20A2701 Numerical Methods II

### Simulointi

- BJ20A0300 Prosessisimuloinnin perusteet
- BJ30A1300 Process Simulation
- BJ30A1600 Advanced process simulation
- BK70A0000 Simulation of a Mechatronic Machine
- BK70A0100 Koneen simuloinnin työkurssi
- BK70A0200 Koneen simuloinnin erityisopintojakso
- BK80A1100 FE-analyysin peruskurssi
- BK80A1300 FE-analyysin jatkokurssi
- BM20A2000 Simulation

### Tietojenkäsittely ja älykäs laskenta

- CT50A2310 Tietorakenteet ja algoritmit
- CT50A4000 Introduction to Intelligent Computing
- CT50A6000 Pattern Recognition
- CT50A6100 Machine Vision and Digital Image Analysis
- CT50A6200 Computer and Robot Vision
- CT50A6500 Älykkään laskennan seminaari
- CT30A7001 Concurrent and Parallel Computing
- CT30A7100 Parallel Programming

### muut

- BH30A0500 Ydinvoimalaitosten mallinnus
- BJ30A0600 Yksikköprosessien mallinnus
- BJ30A0700 Computational Fluid Dynamics in Chemical Engineering
- BM20A3900 Modelling Methodology in Process Engineering

- BM20A4500 Evolutionary Computation
- Mathematics of Epidemiology
- Rajakerrosteoria
- Sääntötekniikan ja signaalinkäsittelyn matemaattiset ohjelmistot
- Rinnakkaislaskennan perusteet
- Talous- ja finanssimatematiikka
- Monimuuttujamenetelmät
- BM20A2201 Logic and Discrete Methods
- BM20A2600 Integral Transforms
- BM20A3101 Fuzzy Sets and Fuzzy Logic
- BM20A3201 Fuzzy Engineering
- BM20A3601 Fuzzy Data Analysis
- BM20A3801 Advanced Mathematical Methods
- BM20A4100 Vektorianalyysi teknillisessä laskennassa
- BM20A4200 Applied Functional Analysis
- BM20A4400 Sovelletun matematiikan erikoiskurssi
- BH40A0600 Energiamuuntoprosessit
- BH30A0700 Luotettavuustekniikka
- BH40A1000 Leviämismallit päästöille
- BL40A0400 Signaalien digitaalinen käsittely
- BL40A0700 Digitaalinen suodatus
- BL40A0800 Digitaalisen signaalinkäsittelyn erikoiskurssi
- BH60A2100 Elinkaarimallintaminen
- BK60A0300 Servo control engineering
- CS30A1100 Päätöksenteon tukisysteemit tuotantotaloudessa
- CS30A1551 System Dynamics and Industrial Management

## 6.11 Oulun yliopisto

### Peruskursseja

- 00333A Algebra I
- 800343A Algebra II
- 801694S Algebra III
- 800120P Analyysi I
- 800322A Analyysi II
- 800624S Analyysi III
- 802312A Diskreetti matematiikka
- 800669S Epälineaarinen analyysi
- 800674S Fourier transform and distributions
- 800651S Funktionaalianalyysi
- 031018P Kompleksianalyysi
- 801385A Kompleksianalyysi I
- 801386A Kompleksianalyysi II
- 802118P Lineaarialgebra I
- 802119P Lineaarialgebra II
- 800657S Lukuteoria
- 802328A Lukuteoria I
- 031010P Matematiikan peruskurssi I
- 031011P Matematiikan peruskurssi II
- 801111P Matematiikan perusmetodit I
- 031019P Matriisialgebra
- 800653S Matriisiteoria
- 802631S Moderni reaalianalyysi
- 800685S Reuna- ja alkuarvotehtävät
- 800660S Ryhmäteoria
- 031023P Tietotekniikan matematiikka
- 031021P Tilastomatematiikka
- 801396A Todennäköisyyslaskennan jatkokurssi
- 801195P Todennäköisyyslaskennan peruskurssi
- 800329A Topologia I
- 801643S Topologia II
- 

### Differentiaaliyhtälöt

- 800345A Differentiaaliyhtälöt I
- 800346A Differentiaaliyhtälöt II
- 031017P Differentiaaliyhtälöt
- Osittaisdifferentiaaliyhtälöt matemaattisessa mallinnuksessa

## Optimointi

- 802623S Mallinnus ja optimointi
- 031025A Optimoinnin perusteet
- 800688S Optimointiteoria

## Numeeriset menetelmät

- 800680S Numeerinen analyysi
- 801387A Numeriikan peruskurssi
- 031022P Numeeriset menetelmät
- 031073S Numeeristen menetelmien jatkokurssi

## Tilastotiede

- 805324A Aikasarja-analyysi
- 805679S Aikasarja-analyysi
- 806112P Data-analyysin perusmenetelmät
- 805339A Ekonometrian tilastolliset perusteet
- 805683S Ekonometrian tilastolliset perusteet
- 805309A Epidemiologian tilastolliset menetelmät
- 805609S Epidemiologian tilastolliset menetelmät
- 806351A Johdatus ICA analyysiin
- 806626S Johdatus ICA analyysiin
- 805380A Kliininen biostatistiikka
- 805680S Kliininen biostatistiikka
- 806308A Lineaariset mallit
- 805334A Luokitettujen aineistojen analysointi
- 805678S Luokitettujen aineistojen analysointi
- 805328A Monimuuttujamenetelmät
- 805308A Pitkittäis- ja paneeliaineistojen analysointi
- 805646S Pitkittäis- ja paneeliaineistojen analysointi
- 805333A Robustit menetelmät
- 806603S Robustit menetelmät
- 806623S Satunnaismallien teoria
- 802633S Tilastollinen hahmontunnistus
- 802623S Tilastolliset mallit
- 805310A Tilastollinen päättely I
- 805611S Tilastollinen päättely II
- 806113P Tilastotieteen perusteet A
- 806114P Tilastotieteen perusteet B

## Simulointi

- 521365S Tietoliikenteen simuloinnit ja työkalut
- 764668S Biosysteemien simulointi
- 763624S Monte Carlo- ja simulaatiomenetelmät
- 765617S Tietokonesimulaatiot

## Muita kursseja

- 802623S Datan analyysimenetelmät mallinnuksessa
- 031029S Graafiteoria
- 802636S Informaatioteoria
- 802322A Matemaattisen mallinnuksen peruskurssi
- 031028S Matemaattinen signaalinkäsittely
- 802623S Mathematics of Visual Motion
- 031047S Reunaelementtimenetelmän perusteet
- 801346A Salausmenetelmät
- 802623S Satunnaisuus mallintamisessa
- 031024A Satunnaissignaalit
- 031049A Signaalit ja järjestelmät
- 521484S Tilastollinen signaalinkäsittely
- 521273S Biosignaalien käsittely
- 521467S Digitaalinen kuvankäsittely
- 521478S Digitaalinen videonkäsittely
- 521263S Geneettiset algoritmit
- 521497S Hahmontunnistus ja neuroverkot
- 521315A Informaatioteorian perusteet
- 521316A Langaton tietoliikenne I
- 521320S Langaton tietoliikenne II
- 521317S Langaton tietoliikenne III
- 521368S Tietoliikennesignaalinkäsittely I
- 521360S Tietoliikennesignaalinkäsittely II
- 764364A Biosysteemien analyysi
- 764680S Hermoston tiedonkäsittely

- 764628S Lineaaristen ja epälineaaristen systeemien identifiointi
- 764627S Virtuaaliset mittausympäristöt
- 761668S Laskennallinen fysiikka
- 761666S Fourier-muunnokset ja niiden sovellutukset
- 763101P Fysiikan matematiikkaa
- 763310A Analyttinen mekaniikka
- 763311A Matemaattiset apuneuvot
- 762304A Mittausaineiston käsittely
- 811386A Algoritmit
- 811343A Digitaalinen kuvankäsittely
- 811376A Johdatus tietorakenteisiin
- Molekyylimallinnus
- Molekyylifysiikka
- Molekyyliminaisuudet
- Kansallinen jatkokoulutuskurssi (iBioMEP-tutkijakoulu) yhteistyössä Kuopion yliopiston kanssa "Biomechanical Modelling of Bone and Cartilage" <http://evicap.eu/>, kohdassa BME Curriculum / Biomechanics

## 6.12 Tampereen teknillinen yliopisto

### Biolääketiede

- LTT-4106 Processing of Physiological Signals, 5 cr
- LTT-4206 Processing of Medical Images, 5 cr
- LTT-6306 Neuroinformatics, 5 cr
- LTT-6406 Modelling of Physiological Systems, 5 cr
- LTT-6426 Computational Modelling of Cardiovascular and Nervous System, 5 cr

### Elektroniikka

- SMG-5100 Sähkömagnetiikka ja matemaattinen fysiikka I, 5 op
- SMG-5300 Sähkömagnetiikka ja matemaattinen fysiikka II, 5 op
- SMG-5150 Sähkömagneettinen mallintaminen I, 3 op
- SMG-5350 Sähkömagneettinen mallintaminen II, 3-5 op
- SMG-5200 Verkkolaskennan numeeriset menetelmät, 5 op

### Energia- ja prosessitekniiikka

- ENER-1020 Energia- ja prosessitekniiikan matemaattiset menetelmät, 3 op
- ENER-4800 Virtausten numeerinen laskenta, 6 op
- ENER-7200 Prosessien simulointi, 5 op
- ENER-4200 Virtauslaskennan perusteet, 4 op
- ENER-6700 Reaktiiviset virtaukset I, 7 op
- ENER-6750 Reaktiiviset virtaukset II, 5 op
- ENER-3010 Lämmönsiirron perusteet, 5 op
- ENER-3050 Lämmönsiirron jatkokurssi, 5 op
- ENER-3800 Konvektiivinen lämmönsiirto, 5 op
- ENER-4040 Kitkallinen virtaus, 4 op
- ENER-4080 Virtauskoneet, 5 op
- ENER-4750 Monifaasivirtaus, 6 op
- ENER-4850 Virtauksen turbulenssi-ilmiöt, 6 op

### Fysiikka

- FYS-4100 Computational Physics I, 5 cr
- FYS-4200 Computational Physics II, 5 cr
- Laskennallinen fysiikka II
- Fysiikan matemaattiset apuneuvot, 4-6 op
- FYS-7306 Molecular modeling of bio- and nanosystems, 5-8 cr

### Konstruktitekniikka

- Optimoinnin perusteet
- Kantavien rakenteiden optimointi
- Elementtimenetelmän perusteet
- Elementtimenetelmän jatkokurssi
- Optimoinnin ja elementtimenetelmän soveltamisharjoitus
- TME-5200 Yleinen elementtimenetelmä, 6 op
- Konejärjestelmien simulointi
- Stokastisten ilmiöiden simulointi
- KSU-4720 Tilastomatematiikka datan käsittely ja näytteen otto, 3 op
- TME-5300 Optimointi ja päätöksenteko, 6 op

### Mekaniikka ja suunnittelu:

- KSU-3050 Simulation of Mechanical Systems, 6 cr

- KSU-3056 Simulation of Machine Systems, 6 cr
- KSU-4710 Stochastic Simulation, 5 cr

### Matematiikka

- MAT-41150 Algebra I, 5 op
- MAT-41156 Algebra 1, 5 op
- MAT-53707 Algebra 2, 6 op
- MAT-51206 Coding Theory, 6 op
- MAT-20600 Diskreetti matematiikka, 3 op
- MAT-55406 Finite Fields, 4 op
- MAT-41180 Formaalit kielet, 6 op
- MAT-41190 Graafiteoria, 6 op
- MAT-51216 Information Theory, 4 op
- MAT-52500 Inversio-ongelmat, 6 op
- MAT-52506 Inverse Problems, 6 op
- MAT-51330 Jakautuneet järjestelmät, 5 op
- MAT-53750 Johdatusta geometrisiin algebroidiin ja niiden sovellutuksiin, 7 op
- MAT-53751 Johdatusta geometrisiin algebroidiin ja niiden sovellutuksiin, 4 op
- MAT-53756 Introduction to Geometric Algebras and their Applications, 7 op
- MAT-31080 Kompleksimuuttujan funktiot, 5 op
- MAT-59056 Mathematical Logic, 7op
- MAT-51650 Luotettavuusmatematiikka, 6 op
- MAT-51656 Reliability Mathematics, 6 op
- MAT-52600 Matemaattinen kryptologia, 6 op
- MAT-31090 Matriisilaskenta 1, 5 op
- MAT-51627 Matrix Algebra 2, 7 op
- MAT-41290 Mitta- ja integraaliteoria, 7 op
- MAT-41296 Measure and Integration Theory, 7 op
- MAT-45800 Paikannuksen matematiikka, 3 op
- MAT-45806 Mathematics for positioning, 3 op
- MAT-42100 Sovellettu logiikka, 5 op
- MAT-42106 Applied logics, 5 op
- MAT-52800 Soft Computing, 4 op
- MAT-42650 Symbolinen laskenta, 7 op
- MAT-41176 Theory of Automata, 5 op
- MAT-20500 Todennäköisyyslaskenta, 3 op
- MAT-51900 Todennäköisyys modernissa matematiikassa, 3 op
- MAT-51906 Probability in Modern Mathematics, 3 op
- MAT-32100 Todennäköisyyslaskennan työkurssi, 2-3 op
- MAT-33351 Vektorikentät, 6 op

### Tieteellinen laskenta

- MAT-45700 Johdatus teknilliseen laskentaan, 3 op
- MAT-45706 Introduction to scientific computing, 3 op
- MAT-55600 Suurteholaskenta, 2 op

### Analyytit

- MAT-31086 Complex Analysis, 5 op
- MAT-20450 Fourier'n menetelmät, 3 op
- MAT-41140 Johdatus funktionaalianalyysiin, 7 op
- MAT-20400 Vektorianalyysi, 3 op
- MAT-43650 Matemaattinen analyysi, 6 op
- MAT-43850 Matemaattinen analyysi 2, 7 op
- MAT-51590 Kompleksianalyysin sovellutuksia, 5 op
- MAT-53550 Funktionaalianalyysin jatkokurssi, 7 op
- MAT-53556 Advanced Functional Analysis, 7 op

### Differentiaali yhtälöt

- MAT-33500 Differentiaaliyhtälöt, 5 op
- MAT-33506 Differential equations, 5 op
- MAT-51310 Osittaisdifferentiaaliyhtälöt, 5 op
- MAT-51316 Partial Differential Equations, 5 op
- MAT-51340 Osittaisdifferentiaaliyhtälöiden jatkokurssi, 6 op

### Tilastomenetelmät

- MAT-33310 Tilastomatematiikka, 3-6 op
- MAT-41281 Tilastolliset monimuuttujamenetelmät, 6 op
- MAT-51800 Matemaattinen tilastotiede, 5 op
- MAT-51801 Matemaattinen tilastotiede, 6 op
- MAT-51630 Tilastollinen laadunvalvonta, 4 op
- MAT-51640 Tilastollinen kokeiden suunnittelu, 4 op
- MAT-51706 Bayesian Methods, 6 op

- MAT-51261 Stokastiset prosessit, 6 op
- MAT-56000 Tilastolliset mallit, 4 op

#### **Numeeriset menetelmät**

- MAT-53101 Numeerinen analyysi 2, 2-3 op
- MAT-53107 Numerical Analysis 2, 2-3 op
- MAT-31101 Numeerinen analyysi 1, 3 op
- MAT-31106 Numerical Analysis 1, 3 op
- MAT-51327 Numerical methods for partial differential equations, 5 op
- MAT-53606 Numerical methods for ordinary differential equations, 5 op

#### **Mallinnus ja optimointi**

- MAT-41120 Matemaattinen optimointiteoria 1, 5 op
- MAT-41122 Matemaattinen optimointiteoria 1, 7 op
- MAT-51250 Matemaattinen optimointiteoria 2, 4 op
- MAT-45050 Matemaattisen mallinnuksen peruskurssi, 5 op
- MAT-55800 Osittaisdifferentiaaliyhtälöt matemaattisessa mallinnuksessa, 4 op
- MAT-55900 Datan analyysimenetelmät mallinnuksessa, 4 op
- MAT-56100 Satunnaisuus mallintamisessa, 4 op
- MAT-56206 Mathematics of Visual Motion, 4 op
- MAT-56400 Mallinnus ja optimointi, 4 op
- MAT-56300 Jatkuvat mallit, 4 op
- MAT-21240 Operaatiotutkimus, 3 op
- MAT-44650 Operaatiotutkimus 2, 6 op

#### **Signaalinkäsittely**

- SGN-2016 Digital Linear Filtering I, 5 cr
- SGN-2056 Digital Linear Filtering II, 4 cr
- SGN-2506 Introduction to Pattern Recognition, 4 cr
- SGN-2556 Pattern Recognition, 5 cr
- SGN-2606 Statistical Signal Processing, 5 op
- SGN-2806 Neural Computation, 5 cr
- SGN-3016 Digital Image Processing I, 5 cr
- SGN-3057 Digital Image Processing II, 6 cr
- SGN-3507 Introduction to Medical Image Processing, 5 cr
- SGN-5306 Knowledge Mining, 3 cr
- SGN-6106 Computational Systems Biology I, 5 cr
- SGN-6156 Computational Systems Biology II, 5 cr
- SGN-6236 Modeling Techniques for Stochastic Gene Regulatory Networks, 3 cr
- SGN-6457 Computational Models in Complex Systems, 5 cr

#### **tiedonhallinnan ja logistiikan laitoksen**

- TITA-5700 Tiedonlouhinta osana BI-toimintaa, 4 op

#### **Teollisuustalous**

- Financial Engineering

#### **Tietokonetekniikka**

##### Optimointi ja simulointi

- TKT-1527 Digital design system issues
- TKT-1212 Digitaalijärjestelmien toteutus

##### Tuotantotekniikka

- konenäön perus- ja jatkokurssi.

#### **Rakennustekniikka**

- RTEK-2110 Rakenteiden mekaniikan numeeriset menetelmät, 5 op
- RTT-1010 Rakennusalan kustannuslaskenta, 4 op

#### **Systeemitekniikka**

- ACI-20090 Mallinnus ja simulointi, 5 op
- ACI-41050 Sumea laskenta, 4 op
- MIT-1210 Mittaustekniikan matemaattiset menetelmät, 5 op
- MIT-3010 Mittausdatan analyysi 1, 7 op
- MIT-3030 Mittausdatan analyysi 2, 5 op
- MIT-3110 Dynaamisten järjestelmien monimuuttuja-analyysi, 5 op

#### **Sähköenergiatekniikka**

- SVT-3400 Sähköverkkojen mallintaminen ja analyysi, 5 op

## 6.13 Tampereen yliopisto

### Logopedia ja puheoppi

- Instrumentaaliset tutkimusmenetelmät

### Lääketieteellinen tiedekunta, biometria:

- Biometria ja tilastollinen tietojenkäsittely
- Yleistetyt lineaariset mallit
- Klusteroidun aineiston lineaariset mallit

### Lääketieteellisen teknologian instituutti

- BIOI0010 Supplementary math and CS foundations 3 ECTS
- BIOI2290 Math and CS for bioinformatics 3 ECTS
- BIOI4320 Advanced math and CS for bioinformatics 3 ECTS

### Informaatiotutkimus

- INFOA33 XML-tiedonhaku ja -kyselykielet, 5 op
- INFOA34 Tiedonhaun kieliteknologia, 3–4 op
- INFOS12 Tiedonhaun matemaattiset menetelmät, 6 op
- INFOS13 Kieltenvälisen tiedonhaun menetelmät, 6 op

### Tietojenkäsittelytieteiden laitos

- INFOA33 XML-tiedonhaku ja -kyselykielet, 5 op
- INFOA34 Tiedonhaun kieliteknologia, 3–4 op
- INFOS12 Tiedonhaun matemaattiset menetelmät, 6 op
- INFOS13 Kieltenvälisen tiedonhaun menetelmät, 6 op

### Tilastotiede ja matematiikka

Numeeriset menetelmät:

- MATEA38 Matemaattiset ohjelmistot, 1–4 op

Simulointi:

- TILTA4 Tilastollinen tietojenkäsittely 4 op
- TILTA23 Tilastollisen tietojenkäsittelyn jatkokurssi, 8 op
- TILTA32 Statistical Modelling and Computing 6 ECTS

Muut kurssit:

- TILTS1 Tilastollinen päättely II, 10 op
- TILTS5 Bayesiläinen data-analyysi, 10 op
- TILTA31 Excel-ohjelmointi (VBA) 8 op
- TILTS23 Tietokantojen tilastollinen analysointi ja raportointi (SQL ja VBA), 8 op

## 6.14 Teknillinen korkeakoulu

### Analyyysi, differentiaaliyhtälöt ym.

- Mat-1.2990 Modernin analyysin perusteet
  - R. F. Gariepy, W. P. Ziemer, 1995. Modern real analysis, PWS-Publishing
- Mat-1.3281 Analyyysi I
- Mat-1.3421 Fourier-muunnosten perusteet L
- Mat-2.2104 Tilastollisen analyysin perusteet
  - Pertti Laininen, Tilastollisen analyysin perusteet, Otatiето 2000
- Mat-2.2107 Sovelletun matematiikan tietokonetyöt
  - Simo Kivelä, Matlab opas, Otatiето 1996
  - Petri Laukkanen, Johdatusta Johdatusta Mathematica-ohjelmiston käyttöön, Otatiето 1994
- S-114.1100 Laskennallinen tiede
  - Numerical mathematics and computing, 4th edition, W. Cheney, D. Kincaid, Brooks/Cole (1999)
  - Numerical Recipes (in C++ / Fortran), The Art of Scientific Computing. W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery, Cambridge University Press, Second Edition (1992, 2002).
- S-114.2601 Introduction to Bayesian Modelling
  - Gelman, Carlin, Stern & Rubin: Bayesian Data Analysis, 2nd ed.
- S-114.4260 Molekyylilaskenta L
  - A.R. Leach: Molecular Modeling: Principles and Applications
- Mat-1.3345 Differentiaaliyhtälöiden inversio-ongelmat L
- Mat-1.3353 Osittaisdifferentiaaliyhtälöiden viskositeettiratkaisut L
- Mat-1.3657 Osittaisdifferentiaaliyhtälöiden laskentamenetelmiä L



## Optimointi

- Ene-47.5130 Process Integration, Simulation and Optimization P
  - ICHEM: User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy.
  - Biegler, L.T., Grossmann, I.E., Westerberg, A.W.: Systematic Methods of Chem. Process Design; Prentice Hall 1997
  - Chapter 10 (Pinch) and Chapter 16 (sequential method (LP, MILP, NLP) and Synheat)
  - Floudas, C.A.: Nonlinear and Mixed Integer Optimization; Oxford 1995
- Ene-59.4010 Energijärjestelmien mallit ja optimointi
- Kul-24.4510 Optimization of Structures P
  - Bazaraa, Sherali and Shetty: Nonlinear programming: Theory and Algorithms
  - Deb: Multi-objective optimization using Evolutionary Algorithms, Wiley (2001)
- Mat-2.2105 Optimoinnin perusteet
  - H. A. Taha: Operations Research, An Introduction, Prentice-Hall International, Inc., 7. painos
- Mat-2.3139 Optimointioppi L
  - M.S. Bazaraa, H.D. Sherali, C.M. Shetty: Nonlinear Programming, Theory and Algorithms, Wiley and Sons 1993. 2nd
- Mat-2.3148 Dynaaminen optimointi L
  - D. E. Kirk: Optimal Control Theory. Prentice Hall, 1970 (uusintapainos 2004), päämateriaali.
  - M. L. Kamien and N. L. Schwartz: Dynamic Optimization - The calculus of variations and optimal control in economics and management, 2nd edition. North Holland, 1991
  - J. T. Betts: Practical Methods for Optimal Control Using Nonlinear Programming, SIAM, Philadelphia, 2001
  - D. P. Bertsekas: Dynamic Programming and Optimal Control, vol 2. Athena Scientific, 1995
- Mat-2.4143 Verkkotehtävien optimointi L
  - D. Bertsekas: Network Optimization, Athena Scientific, 1998
- Mat-2.4146 Kokonaislukuoptimointi L
  - D. Bertsimas, J.N. Tsitsiklis: Introduction to Linear Optimization, Athena Scientific, 1997
- Mat-2.4174 Matemaattisten algoritmien ohjelmointi L
  - I. Maros: Computational Techniques of the Simplex Method, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003

## Numeeriset menetelmät

- Mat-2.4174 Matemaattisten algoritmien ohjelmointi L Mat-1.3626 Laskennalliset inversiomenetelmät L
- Mat-1.3654 Numeerinen ja symbolinen laskenta L
- Mat-5.3704 Hamiltonin systeemien numeriikka L
- MT-0.7051 Virtausten ja lämmönsiirron numeerinen mallinnus L
  - Kuo, Kenneth K. Principles of combustion, Wiley, cop. 2005
  - Patankar, Suhas V, Numerical heat transfer and fluid flow, McGraw-Hill, 1980
- MT-0.4717 Computational Fluid Dynamics - Theory and Applications L
  - An introduction to Computational Fluid Dynamics, by H.K. Versteeg and W. Malalasekera, 1995 (main reference book)
  - Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, S.V. Patankar, 1980
  - Virtausten ja lämmönsiirron numeerinen mallinnus, Osa I - Virtauksen yhtälöt, TKK-V-C131, T. Ahokainen, 1995
  - Virtausten ja lämmönsiirron numeerinen mallinnus, Osa II - Numeeriset menetelmät, TKK-V-C132, T. Ahokainen, 1995
- Rak-32.3520 Numerical Mine Modelling
- Rak-50.3149 Geotekniikan numeeriset menetelmät L
- Rak-54.3200 Rakennetekniikan numeeriset menetelmät L
- S-55.3210 Piirisuunnittelun numeeriset menetelmät L
  - Jokinen-Virtanen-Aaltonen-Costa-Roos-Starck-Valtonen: Piirisuunnittelun numeeriset menetelmät. Otatieto 1998

## Simulointi

- AS-74.1101 Tietokonesimulointi
- AS-116.3160 Tapahtumapohjainen simulointi L
- Ene-39.4054 Virtaussimulointi L
  - Shaw, C.T.: Using Computational Fluid Dynamics
- KE-70.3500 Bioprosessien simulointi
- KE-90.3100 Process modelling and simulation
  - Luyben: Process Modelling, Simulation and Control for Chemical Engineers, McGraw-Hill
  - Åström, Wittenmark: Computer Controlled Systems, Prentice Hall
  - Ljung, Glad: Modelling of Dynamic Systems, Prentice Hall
- KE-90.3500 Process modelling and simulation in practice
  - Luyben: Process Modelling, Simulation and Control for Chemical Engineers, McGraw-Hill
  - Åström, Wittenmark: Computer Controlled Systems, Prentice Hall
  - Ljung, Glad: Modelling of Dynamic Systems, Prentice Hall
- KE-107.3100 Process Simulation
- Kon-16.4011 Monikappalesimulointi
- Kon-41.4027 Hydraulijärjestelmien mallintaminen ja simulointi L
- Kul-14.4400 Polttomoottorien simulointi L
  - Merker, G.P. & Schwarz, C.: Technische Verbrennung, Simulation Verbrennungsmotorischer Prozesse, 1. painos v. 2001
  - Heywood, J.B.: Internal Combustion Engine Fundamentals
- Maa-123.3570 Geosimulation P
  - Beneson, I., Torres, P., Geosimulation: automata-based modeling of urban phenomena; material announced on lectures
- Mat-2.3170 Simulointi L
  - Law, A.M. ja W.D. Kelton, Simulation Modeling and analysis, McGraw-Hill, 2002
- MT-0.4011 Tuotantomenetelmien simulointityökalut

- Puu-23.4020 Modeling and Simulation of Pulp Washing and Chemical Cycle
- S-38.3148 Simulation of Data Networks
  - J. Banks, J.S. Carson & B.L. Nelson: Discrete-Event System Simulation, 4th edition (2005)
- S-96.3175 Sähkömagneetiikan valmisohjelmistot L
- Rak-43.3520 Tulipalon simulointi L
  - The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd/4th ed.
- Tfy-3.475 Computer simulation methods in physics (P)
  - J.M. Thijssen: Computational Physics
- Yhd-71.3145 Liikenteen simulointi L
  - Kosonen: HUTSIM - Simulation tool for traffic signal control planning
  - Pursula, Niittymäki, Ojala (toim.): Liikennetekniikan seminaari 1999–2000, Liikenteen simulointi

#### muut

- Ene-39.4037 Laskennallisen virtausmekaniikan ja lämmönsiirron perusteet.
  - Fletcher, Computational Techniques for Fluid Flow
- Ene-39.4030 Laskennallisen virtausmekaniikan ja lämmönsiirron jatkokurssi L
  - Ferziger, Peric: Computational Methods for Fluid Dynamics
- KE-70.4300 Metaboliin muokkaus ja mallinnus (5 op) L
- KE-70.4500 Proteiininmuokkaus (5 op) L
- Kon-15.4198 Tuotantotekniikan mallinnusmenetelmät
- Kul-24.4520 Laskennallinen hydrodynamiikka L
- Maa-123.2340 Spatial Data Algorithms
  - M de Berg, M van Kreveld, M Overmars O Schwarzkopf: Computational geometry - algorithms and applications. Springer 1997
- Maa-123.3510 GIS Analysis and Modelling P
  - Unwin, D., O'Sullivan, D., Geographic information Analysis
- Mat-1.3603 Rahoitusteoria L
- Mat-1.3607 Stokastinen optimointi L
- Mat-1.3625 Inverse theory
- Mat-5.3703 Monikappalesysteemien numeriiikka L
- Mat-5.3750 Laskennallisen mekaniikan erikoiskurssi L
  - D. Braess. Finite Elements. Theory, fast solvers, and applications in solid mechanics. Cambridge University Press
- MT-0.4701 Laskennallinen termodynamiikka L
  - Saunders, N., Miodownik, A.P., Calphad, Pergamon Press, UK, 1998
- S-114.2510 Laskennallinen systeemibiologia
  - Joao Setubal: Introduction to Biological Computing
- S-114.3200 Laskennallisen tekniikan erikoiskurssi I
  - C. Bishop, Neural networks for pattern recognition, Oxford Press, 1995
- S-114.3250 Laskennallisen tieteen erikoiskurssi L
  - M.P. Allen&D.J. Tildesley: Computer Simulation of Liquids
  - D. W.Heermann: Computer Simulation Methods in Theoretical Physics
  - K.Binder&D.W.Heermann: Monte Carlo Simulation in Statistical Physics
  - D.Frenkel&B.Smit: Understanding Molecular Simulation: From Algorithms to Applications
- S-114.4270 Laskennallinen solubiologia L
  - C.P. Fall et al:Computational Cell Biology
- T-61.5120 Computational genomics P
  - Mount, 2004. Bioinformatics: Sequence and genome analysis, 2nd edition. Cold Spring Harbor Laboratory Press
- Tfy-99.2810 Laskennallinen lääketiede L
- Yhd-12.3015 Vesitekniikan laskentamenetelmät
- T-61.5060 Algorithmic methods of data mining P
- T-61.3040 Statistical Signal Modeling
- T-61.5010 Information visualization P
- T-61.5050 High-Throughput Bioinformatics P
- T-61.5060 Algorithmic methods of data mining P
- T-61.5070 Computer Vision P
- T-61.5110 Modeling biological networks P
- T-61.5140 Machine Learning: Advanced Probabilistic Methods P
- T-61.5130 Machine Learning and Neural Networks P
- T-61.5150 Speech Recognition P
- T-79.5202 Combinatorial Algorithms P
- T-79.5204 Combinatorial Models and Stochastic Algorithms P
- S-114.3812 Computational Neuroscience
- Maa-57.2060 Digitaalinen kuvankäsittely L
- T-61.5100 Digitaalinen kuvankäsittely L
- Kul-49.4500 Termomekaniikka ja materiaalin mallintaminen L

## 6.15 Turun yliopisto

Analyysi, differentiaaliyhtälöt ym.

- MATE5216 Lineaarialgebra, 9 op
- MATE5060 Algebran peruskurssi I, 5 op
- MATE5061 Algebran peruskurssi II, 4 op
- MATE5033 Funktioteoria, 4 op
- MATE5059 Geometria, 5 op
- MATE5304 Informaatioteoria, 4 op
- MATE5039 Kombinatoriikka, 4 op
- MATE5114 Logiikka, 4 op
- SMAT5046 Matemaattiset ohjelmistot, 2 op
- SMAT5177 Matemaattiset ohjelmistot II, 4 op
- SMAT5001 Todennäköisyyslaskenta I, 4 op
- SMAT5066 Todennäköisyyslaskenta II, 4 op
- MATE6006 Usean muuttujan funktiot I, 4 op
- MATE6007 Usean muuttujan funktiot II, 4 op
- MATE5055 Algebra, 10 op
- MATE5225 Automata and Formal Languages, 10 op
- MATE5320 Funktioteoria (opettajille), 5 op
- MATE5258 Image and Video Compression, 10 op
- MATE5329 Johdatus elliptisiin käyriin, 5 op
- MATE5313 Koodausteoria I, 5 op
- MATE5324 Koodausteoria II, 5 op
- MATE5296 Kryptografia I, 5 op
- MATE5297 Kryptografia II, 5 op
- MATE5226 Kryptografian seminaari, 5 op
- SMAT5216 Mallinnusprojekti, 10 op
- MATE5091 Mittateoria, 5 op
- MATE5311 Reaalianalyysi, 5 op
- SMAT5129 Riskiteoria, 10 op
- MATE5241 Sovelluksia koulumatematiikkaan, 5 op
- MATE5325 Topologian perusteet, 5 op

### Optimointi ja simulointi

- SMAT5217 Game Theory, 5 op
- SMAT5219 Heuristics, 10 op
- SMAT5218 Robust optimization, 5 op
- SMAT5169 Kontrolliteoria
- SMAT5213 Variaatiolaskenta
- SMAT5115 Optimoinnin erikoiskurssi
- SMATXXXX Multicriteria optimization and sensitivity analysis
- TKO\_5722 Simulation of discrete event systems

### Numeeriset menetelmät

- MATE5219 Matematiikan tietokonetyö I 2 op
- MATE5220 Matematiikan tietokonetyö II 2 op
- MATE5275 Matematiikan menetelmäkurssi I 4 op
- MATE5276 Matematiikan menetelmäkurssi II 4 op
- SMAT5116 Numeerinen analyysi (opettajille) 5 op
- SMAT5176 Numeerinen analyysi 4 op / 2,5 ov
- SMAT5215 Matemaattinen mallintaminen 10 op
- SFYS4446 Fourier-muunnokset ja niiden sovellukset
- SFYS4447 Fourier-muunnosten jatkokurssi
- UFYS3056 Numeeriset menetelmät ja F90-ohjelmointi

### Tilastotiede

- TILA3473 Tilastomenetelmien peruskurssi
- TILA3014 Tilastotieteen biometriset mallit
- TILA3445 SPSS-kurssi
- TILA3450 SAS-kurssi
- TILA3441 SAS:n jatkokurssi
- TILA3016 R-kurssi
- TILA3462 Mathematica-kurssi
- TILA3442 Data Mining
- TILA3500 Tilastotieteen peruskurssi a, todennäköisyyslaskenta
- TILA3501 Tilastotieteen peruskurssi b, päättelyn perusmenetelmät
- TILA3502 Tilastotieteen peruskurssi c, tilastollisia malleja
- TILA3448 Monimuuttujamenetelmät 1
- TILA3455 Monimuuttujamenetelmät 2

- TILA3459 Frekvenssiaineistojen analyysi
- TILA3447 Varianssi- ja regressioanalyysi
- TILA3452 Tilastollinen päättely
- TILA3453 Otantateoria
- TILA3454 Lineaariset mallit
- TILA3456 Regressioanalyysi
- TILA3459 Koesuunnittelu
- TILA3015 Tilastolliset menetelmät bioinformatiikassa
- TILA3467 Tilastollisen päättelyn teoria
- TILA3483 Epidemiologian kvantitatiiviset menetelmät
- TILA3468 Yleistettyjen lineaaristen mallien teoria
- TILA3477 Elinaika-analyysi
- TILA3484 Ristikkäiskaaviokokeet
- TILA3503 Epälineaariset sekamallit
- Mplus-kurssi tutkijakoulutettaville, osa 2

#### muut

- BIOL4050 Biostatistiikan alkeet
- EKOL2405 Ekologian tilastolliset menetelmät
- EKOL2424 Kvantitatiivinen ekologia
- EKOL2313 Populaatio- ja yhteisödynamiikka
- FYGE2231 Geneettisiä tilastosovelluksia
- FFYS4361 Tilastolliset menetelmät
- GEOL4711 GIS ja kartat geologiassa
- GMIN3013 Geologinen 3D-mallinnus
- KEMI5122 Laskennallinen kemia ja molekyylihallinnus/B
- MAAN7661 Geoinformatiikan menetelmät tulvamallinnuksessa (6 op)
- SMAT5117 Data mining methods and applications in molecular biology 5 op
- UFYS3068 Econophysics (5 op)
- XFYS4416 Laskennallinen materiaalfysiikka
- ÅÅ\_282003.0 Molecular modelling
- ÅÅ\_283002.0 Structure-based drug design
- TKO\_2036 3D Imaging and Stereograms
- TKO\_2037 Information visualization
- TKO\_5437 Data Mining
- BIOS2001 Biostatistiikka
- BIOI4290 Tools for intelligent data analysis
- MEDI3009 Biostatistiikan ja Epidemiologian peruskurssi
- BIOS6455 Biostatistiikan peruskurssi
- KATT1504 Epidemiologian menetelmät
- ETT\_2026 Digitaalinen Signaalinkäsittely
- ETT\_3005 Digital Communication systems
- ETT\_3058 Speech and audio signal processing
- DTEK8004 Statistical Sampling and Data Analysis
- DTEK1018 System modelling with SystemC
- ETT\_2064 Tietoliikennejärjestelmien simulointi ja analysointi
- ETT\_2059 Elektroniikan perusteet III
- FONE0103 Acoustic Phonetics I (+ II)
- TALO2709 Ekonometrian perusteet
- TALO2719 Ekonometrian jatkokurssi

## 6.16 Vaasan yliopisto

#### Automaatiotekniikka

- AUTO1030 Signaalien käsittely
- AUTO2050 Soft computing
- AUTO3070 Geneettiset algoritmit
- AUTO3110 Konenäkö
- AUTO3120 Kvanttilaskenta
- AUTO3130 Lääketieteellinen kuvantaminen
- AUTO3140 Lääketieteellinen tietotekniikka
- AUTO3200 Signaalien käsittelyn jatkokurssi
- AUTO3240 Sumeat järjestelmät **Talousmatematiikka**
- Dynaamiset systeemit
- Matemaattinen analyysi
- Operaatioanalyysi

## Tilastotiede

- Aikasarja-analyysi
- Analysis of Financial Time Series
- Matemaattinen tilastotiede
- Mathematics of Financial Derivatives
- Monimuuttujamenetelmät
- Propability and stochastic
- Riippuvuusanalyysi
- Tilastollinen koesuunnittelu ja varianssianalyysi
- Tilastollinen tietojenkäsittely
- Tilastolliset ennustemenetelmät
- Tilastotieteen johdantokurssi
- Tilastotieteen perusteet

## Matematiikka

- Algebra I
- Algebra II
- Diskreetti matematiikka
- Integraalimuunnokset
- Kompleksianalyysi
- Lineaarialgebra
- Matemaattiset menetelmät I
- Matemaattiset menetelmät II
- Numeeriset menetelmät
- Optimoinnin erikoiskurssi
- Todennäköisyyslaskenta

## Tietotekniikka

- Tietorakenteet
- Algoritmien suunnittelu ja analyysi

## Tietoliikennetekniikka

- TLTE2020 Signaalit ja systeemit
- TLTE3010 Digitaalinen tiedonsiirto

## Sähkötekniikka

- Mallintamisen ja simuloinnin perusteet

## 6.17 Åbo Akademi

### Matematisk-naturvetenskapliga och tekniska fakulteten

- 272002 ANALYS I, 10 sp
- 273001.0 ANALYS II /Analysis II 10 sp
- 273007.0 ANALYTISKA FUNKTIONER 10 sp
- 5735 ANALYS AV FREKVENSDATA 3 sv
- 6705 BASKURS I TILLÄMPAD MATEMATIK 5 sv
- 5741 BESLUTSTEORI 5 sv
- 5734 EKONOMETRI I 3 sv
- 5740 EKONOMETRI II 5 sv
- 6767 Distribuerade system 2sv
- DYNAMICAL SYSTEMS 10 sp
- FINANCIAL MATHEMATICS / FINANSMATEMATIK (6762, 10 ECTS credit points)
- 273022 FOURIERSERIER 5 sp
- 271001.1 Grundkurs i analys I, 5 sp
- 271001.2 Grundkurs ii analys II, 4 sp
- 5743 LINEÄRA MODELLER 5 sv
- 273023 Markovkedjor 5 sp - Markov Chains 5 cr
- 270903 MATEMATISKA PROGRAMPAKET 3 sp
- 6730 NUMERISK ANALYS 5 sv
- 6731 OPTIMERINGSMETODER 5 sv
- 272005 ORDINÄRA DIFFERENTIALEKVATIONER 8 sp
- STATISTIK 1: STATISTIK FÖR BIOLOGER, LOGOPEDER OCH PSYKOLOGER 2008, 5 sp
- 6007 STATISTIK FÖR NATURVETARE 5 sv
- 6733 STOKASTISKA PROCESSER 5 sv
- 5733 TIDSSERIEANALYS 3 sv
- Programmering för fysiker
- 282001.0 Applied Bioinformatics I, 2 sp
- 282002.0 Applied Bioinformatics II, 6 sp
- 282003.0 Molecular Modeling, 4sp

- 283002.0 Structure-based drug design, 4sp
- 411305.0 Process- och produktionsoptimering, 6 sp
- Modeling and Control of Stochastic Systems (419503), 9 sp

## 6.18 Matemaattisen mallintamisen verkostohanke

- Mallinnuksen peruskurssi, 5 op
- Jatkuvat mallit, 4 op
- Datan analyysimenetelmät mallinnuksessa, 4 op
- Osittaisdifferentiaaliyhtälöt matemaattisessa mallinnuksessa, 4 op
- Mathematics of Visual Motion, 4 op
- Tilastolliset mallit, 4 op
- Satunnaisuus mallintamisessa, 4 op
- Mallinnus ja optimointi, 4 op

## Liite 2 – Professoreja

Kartoituksen perusteella koottu lista laskennallisiin tieteisiin liittyvistä professuureista jaoteltuna yksikön perusteella.

| Nimi                       | Yksikkö  | Yliopisto                           |
|----------------------------|--|-------------------------------------|
| Olli Pentikäinen           | Bio- ja ympäristötieteet                                     | Jyväskylän yliopisto                |
| Sirkka-Liisa Jämsä-Jounela | Biotekniikan ja kemian tekniikan laitos                      | Teknillinen korkeakoulu             |
| Antti Iivanainen           | Eläinlääketieteellinen tiedekunta                            | Helsingin yliopisto                 |
| Timo Hyppänen              | Energia  | Lappeenrannan teknillinen yliopisto |
| Antero Aittomäki           | Energia- ja prosessitekniikan laitos                         | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Antti Oksanen              | Energia- ja prosessitekniikan laitos                         | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Reijo Karvinen             | Energia- ja prosessitekniikan laitos                         | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Jarmo Hietarinta           | Fysiikan ja tähtitieteen laitos                              | Turun yliopisto                     |
| Kalle-Antti Suominen       | Fysiikan ja tähtitieteen laitos                              | Turun yliopisto                     |
| Adam Foster                | Fysiikan laitos  | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| David Schultz              | Fysiikan laitos  | Helsingin yliopisto                 |
| Hannu Häkkinen             | Fysiikan laitos  | Jyväskylän yliopisto                |
| Ilpo Vattulainen           | Fysiikan laitos  | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Jari Hämäläinen            | Fysiikan laitos  | Kuopion yliopisto                   |
| Jari Kaipio                | Fysiikan laitos  | Kuopion yliopisto                   |
| Jari Kaipio                | Fysiikan laitos  | Kuopion yliopisto                   |
| Juha Vaara                 | Fysiikan laitos  | Oulun yliopisto                     |
| Juhani Keinonen            | Fysiikan laitos  | Helsingin yliopisto                 |
| Jussi Timonen              | Fysiikan laitos  | Jyväskylän yliopisto                |
| Kai Nordlund               | Fysiikan laitos  | Helsingin yliopisto                 |
| Kari Rummukainen           | Fysiikan laitos  | Helsingin yliopisto                 |
| Kari Rummukainen           | Fysiikan laitos  | Oulun yliopisto                     |
| Matti Manninen             | Fysiikan laitos  | Jyväskylän yliopisto                |
| Raine Koskimaa             | Humanistinen tiedekunta                                      | Jyväskylän yliopisto                |
| Timo Knuutila              | Informaatioteknologian laitos                                | Turun yliopisto                     |
| Christer Carlsson          | Informaatioteknologian tiedekunta                            | Åbo Akademi                         |
| Kalervo Järvelin           | Informaatiotutkimus  | Tampereen yliopisto                 |
| Hannu Piekkola             | Kauppatieteellinen tiedekunta                                | Vaasan yliopisto                    |
| Ilkka Turunen              | Kemia  | Lappeenrannan teknillinen yliopisto |
| Aksela Maija               | Kemian laitos  | Helsingin yliopisto                 |
| Juha Vaara                 | Kemian laitos  | Helsingin yliopisto                 |
| Tapani Pakkanen            | Kemian laitos  | Joensuun yliopisto                  |
| Erno Keskinen              | Konstruktitekniikan laitos                                   | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Tapio Westerlund           | Laite- ja systeemitekniikka                                  | Åbo Akademi                         |
| Jouko Lampinen             | Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitos | Teknillinen korkeakoulu             |

| Nimi              | Yksikkö  | Yliopisto                           |
|-------------------|--|-------------------------------------|
| Jukka Tulkki      | Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitos | Teknillinen korkeakoulu             |
| Kimmo Kaski       | Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitos | Teknillinen korkeakoulu             |
| Mikko Sams        | Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitos | Teknillinen korkeakoulu             |
| Risto Ilmoniemi   | Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitos | Teknillinen korkeakoulu             |
| Timo Jämsä        | Lääketieteen tekniikan laitos                                | Oulun yliopisto                     |
| Ari Jolma         | Maanmittaustieteiden laitos                                  | Teknillinen korkeakoulu             |
| Kirsi Virrantaus  | Maanmittaustieteiden laitos                                  | Teknillinen korkeakoulu             |
| Petri Pellikka    | Maantieteen laitos   | Helsingin yliopisto                 |
| Esa Läärä         | Matemaattisten tieteiden laitos                              | Oulun yliopisto                     |
| Lasse Holmström   | Matemaattisten tieteiden laitos                              | Oulun yliopisto                     |
| Markku Rahiala    | Matemaattisten tieteiden laitos                              | Oulun yliopisto                     |
| Seppo Hassi       | Matemaattisten tieteiden laitos                              | Vaasan yliopisto                    |
| Tommi Sottinen    | Matemaattisten tieteiden laitos                              | Vaasan yliopisto                    |
| Valeriy Serov     | Matemaattisten tieteiden laitos                              | Oulun yliopisto                     |
| Heikki Haario     | Matematiikan ja fysiikan laitos                              | Lappeenrannan teknillinen yliopisto |
| Markku Lukka      | Matematiikan ja fysiikan laitos                              | Lappeenrannan teknillinen yliopisto |
| Matti Alatalo     | Matematiikan ja fysiikan laitos                              | Lappeenrannan teknillinen yliopisto |
| Ahti Salo         | Matematiikan ja systeemianalyysin laitos                     | Teknillinen korkeakoulu             |
| Esko Valkeila     | Matematiikan ja systeemianalyysin laitos                     | Teknillinen korkeakoulu             |
| Gustav Gripenberg | Matematiikan ja systeemianalyysin laitos                     | Teknillinen korkeakoulu             |
| Harri Ehtamo      | Matematiikan ja systeemianalyysin laitos                     | Teknillinen korkeakoulu             |
| Juha Kinnunen     | Matematiikan ja systeemianalyysin laitos                     | Teknillinen korkeakoulu             |
| Olavi Nevanlinna  | Matematiikan ja systeemianalyysin laitos                     | Teknillinen korkeakoulu             |
| Raimo Hämäläinen  | Matematiikan ja systeemianalyysin laitos                     | Teknillinen korkeakoulu             |
| Rolf Stenberg     | Matematiikan ja systeemianalyysin laitos                     | Teknillinen korkeakoulu             |
| Sampo Ruuth       | Matematiikan ja systeemianalyysin laitos                     | Teknillinen korkeakoulu             |
| Stig-Olof Londen  | Matematiikan ja systeemianalyysin laitos                     | Teknillinen korkeakoulu             |
| Timo Eirola       | Matematiikan ja systeemianalyysin laitos                     | Teknillinen korkeakoulu             |
| Aapo Hyvärinen    | Matematiikan ja tilastotieteen laitos                        | Helsingin yliopisto                 |
| Elja Arjas        | Matematiikan ja tilastotieteen laitos                        | Helsingin yliopisto                 |
| Jukka Nyblom      | Matematiikan ja tilastotieteen laitos                        | Jyväskylän yliopisto                |
| Kimmo Vehkalahti  | Matematiikan ja tilastotieteen laitos                        | Helsingin yliopisto                 |
| Matti Lassas      | Matematiikan ja tilastotieteen laitos                        | Helsingin yliopisto                 |
| Pentti Manninen   | Matematiikan ja tilastotieteen laitos                        | Tampereen yliopisto                 |
| Salme Kärkkäinen  | Matematiikan ja tilastotieteen laitos                        | Jyväskylän yliopisto                |
| Tapio Nummi,      | Matematiikan ja tilastotieteen laitos                        | Tampereen yliopisto                 |
| Iiro Honkala      | Matematiikan laitos  | Turun yliopisto                     |
| Jarkko Kari       | Matematiikan laitos  | Turun yliopisto                     |
| Juhani Karhumäki  | Matematiikan laitos  | Turun yliopisto                     |



| Nimi                          | Yksikkö   | Yliopisto                           |
|-------------------------------|---|-------------------------------------|
| Jukka Corander                | Matematiikan laitos                               | Åbo Akademi                         |
| Jukka Tuomela                 | Matematiikan laitos                               | Joensuun yliopisto                  |
| Kari Ylinen                   | Matematiikan laitos                               | Turun yliopisto                     |
| Keijo Ruohonen                | Matematiikan laitos                               | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Marko Mäkelä                  | Matematiikan laitos                               | Turun yliopisto                     |
| Matti Vuorinen                | Matematiikan laitos                               | Turun yliopisto                     |
| Mikko Kaasalainen             | Matematiikan laitos                               | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Robert Piché                  | Matematiikan laitos                               | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Samuli Siltanen               | Matematiikan laitos                               | Helsingin yliopisto                 |
| Seppo Pohjolainen             | Matematiikan laitos                               | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Tero Harju                    | Matematiikan laitos                               | Turun yliopisto                     |
| Kai Puolamäki                 | Mediatekniikan laitos                             | Teknillinen korkeakoulu             |
| Aki Mikkola                   | Metalli   | Lappeenrannan teknillinen yliopisto |
| Heikki Handroos               | Metalli   | Lappeenrannan teknillinen yliopisto |
| Anna-Maija Korpijaakko-Huuhka | Puheopin laitos                                   | Tampereen yliopisto                 |
| Keijo Nikoskinen              | Radiotieteen ja -tekniikan laitos                 | Teknillinen korkeakoulu             |
| Martti Valtonen               | Radiotieteen ja -tekniikan laitos                 | Teknillinen korkeakoulu             |
| Reijo Kouhia                  | Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos      | Teknillinen korkeakoulu             |
| Matti Karjalainen             | Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos          | Teknillinen korkeakoulu             |
| Paavo Alku                    | Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos          | Teknillinen korkeakoulu             |
| Vesa Välimäki                 | Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos          | Teknillinen korkeakoulu             |
| Ioan Tabus                    | Signaalinkäsittelyn laitos                        | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Jaakko Astola                 | Signaalinkäsittelyn laitos                        | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Olli Yli-Harja                | Signaalinkäsittelyn laitos                        | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Visa Koivunen                 | Signaalinkäsittelytekniikan laboratorio           | Teknillinen korkeakoulu             |
| Timo Siikonen                 | Sovelletun mekaniikan laitos                      | Teknillinen korkeakoulu             |
| Jarmo Alander                 | Sähkö- ja automaatiotekniikan laitos              | Vaasan yliopisto                    |
| Kimmo Kauhaniemi              | Sähkö- ja automaatiotekniikan laitos              | Vaasan yliopisto                    |
| Keijo Ruotsalainen            | Sähkö- ja tietotekniikan osasto                   | Oulun yliopisto                     |
| Olli Silven                   | Sähkö- ja tietotekniikan osasto                   | Oulun yliopisto                     |
| Antero Arkkio                 | Sähkötekniikan laitos                             | Teknillinen korkeakoulu             |
| Juhani Koski                  | Teknillinen mekaniikka ja optimointi              | Tampereen teknillinen yliopisto     |
| Martti Puska                  | Teknillisen fysiikan laitos                       | Teknillinen korkeakoulu             |
| Päivi Törmä                   | Teknillisen fysiikan laitos                       | Teknillinen korkeakoulu             |
| Risto Nieminen                | Teknillisen fysiikan laitos                       | Teknillinen korkeakoulu             |
| Tapio Ala-Nissilä             | Teknillisen fysiikan laitos                       | Teknillinen korkeakoulu             |
| Olli-Pekka Hilmola            | Teknillistaloudellinen tiedekunta                 | Lappeenrannan teknillinen yliopisto |
| Hannu Oja                     | Terveystieteen laitos                             | Tampereen yliopisto                 |
| Pasi Fränti                   | Tietojenkäsittelytieteen ja tilastotieteen laitos | Joensuun yliopisto                  |
| Erkki Oja                     | Tietojenkäsittelytieteen laitos                   | Teknillinen korkeakoulu             |
| Esko Ukkonen                  | Tietojenkäsittelytieteen laitos                   | Helsingin yliopisto                 |

| Nimi                   | Yksikkö                                       | Yliopisto                           |
|------------------------|---|-------------------------------------|
| Hannu T Toivonen       | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Helsingin yliopisto                 |
| Heikki Mannila         | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Teknillinen korkeakoulu             |
| Ilkka Niemelä          | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Teknillinen korkeakoulu             |
| Jan Westerholm         | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Åbo Akademi                         |
| Juha Karhunen          | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Teknillinen korkeakoulu             |
| Juho Rousu             | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Helsingin yliopisto                 |
| Jyrki Kivinen          | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Helsingin yliopisto                 |
| Kaisa Nyberg           | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Teknillinen korkeakoulu             |
| Olli Simula            | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Teknillinen korkeakoulu             |
| Pekka Orponen          | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Teknillinen korkeakoulu             |
| Pekka Toivanen         | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Kuopion yliopisto                   |
| Petri Myllymäki        | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Helsingin yliopisto                 |
| Samuel Kaski           | Tietojenkäsittelytieteen laitos               | Teknillinen korkeakoulu             |
| Jorma Kyppö            | Tietojenkäsittelytieteiden laitos             | Jyväskylän yliopisto                |
| Martti Juhola          | Tietojenkäsittelytieteiden laitos             | Tampereen yliopisto                 |
| Patric R. J. Östergård | Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos | Teknillinen korkeakoulu             |
| Jari Porras            | Tietotekniikan laitos                         | Lappeenrannan teknillinen yliopisto |
| Jyrki Joutsensalo      | Tietotekniikan laitos                         | Jyväskylän yliopisto                |
| Kaisa Miettinen        | Tietotekniikan laitos                         | Jyväskylän yliopisto                |
| Matti Linna            | Tietotekniikan laitos                         | Vaasan yliopisto                    |
| Merja Wanne            | Tietotekniikan laitos                         | Vaasan yliopisto                    |
| Pekka Neittaanmäki     | Tietotekniikan laitos                         | Jyväskylän yliopisto                |
| Raino Mäkinen          | Tietotekniikan laitos                         | Jyväskylän yliopisto                |
| Tapani Ristaniemi      | Tietotekniikan laitos                         | Jyväskylän yliopisto                |
| Timo Männikkö          | Tietotekniikan laitos                         | Jyväskylän yliopisto                |
| Timo Tiihonen          | Tietotekniikan laitos                         | Jyväskylän yliopisto                |
| Tommi Kärkkäinen       | Tietotekniikan laitos                         | Jyväskylän yliopisto                |
| Tuomo Rossi            | Tietotekniikan laitos                         | Jyväskylän yliopisto                |
| Ville Kyrki            | Tietotekniikan laitos                         | Lappeenrannan teknillinen yliopisto |
| Esa Uusipaikka         | Tilastotieteen laitos                         | Turun yliopisto                     |
| Suvi Ronkainen         | Yhteiskuntatieteiden tiedekunta               | Lapin yliopisto                     |

## Liite 3 – FiDiPro professuurit

Laskennallisiin tieteisiin liittyvät FiDiPro-professuurit ja fellow -tutkijat

| prof/fellow | Nimi                  | Yliopisto  | Vastuullinen yliopisto   |
|-------------|-----------------------|--|--|
| Fellow      | Dr. Bogdan Dumitrescu | Politehnica University of Bucharest, Romania   | Tampereen teknillinen yliopisto, Signaalinkäsittelyn laitos  |
| Fellow      | Dr. Fa-Hsuan Lin      | Institute of Biomedical Engineering, National Taiwan University, Taiwan ja Harvard Medical School, Boston, USA | Teknillinen korkeakoulu, Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitos  |
| Professori  | Behnaam Aazhang       | Rice-yliopisto, USA  | Oulun yliopisto, Centre for Wireless Communications (CWC) -tutkimusyksikkö   |
| Professori  | Erik Aurell           | Kungliga Tekniska Högskolan, Ruotsi  | Teknillinen korkeakoulu  |
| Professori  | Amir Averbuch         | School of Computer Science, Tel Aviv University, Israel  | Jyväskylän yliopisto, Tietotekniikan laitos  |
| Professori  | Anthony De Ardo       | Pittsburghin yliopisto, kone- ja materiaalitekniikan laitos, USA   | Oulun yliopisto, Centre for Advanced Steels Research   |
| Professori  | Kalyanmoy Deb         | Indian Institute of Technology, Kanpur (Intia)   | Helsingin kauppakorkeakoulu  |
| Professori  | Edward Delp           | Purdue University (USA)  | Tampereen teknillinen yliopisto  |
| Professori  | Jacek Dobaczewski     | Institute of Theoretical Physics, University of Warsaw (Puola)   | Jyväskylän yliopisto   |
| Professori  | Atef Z. Elsherbeni    | University of Mississippi, Yhdysvallat   | Tampereen teknillinen yliopisto, Elektroniikan laitos  |
| Professori  | Ari T. Friberg        | Royal Institute of Technology (Ruotsi)   | Joensuun yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu  |
| Professori  | Stephan Fritzsche     | Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI), Saksa   | Oulun yliopisto  |
| Professori  | Robert Fullér         | Eötvös Lorand University, Unkari   | Åbo Akademi, Institute for Advanced Management Systems Research  |
| Professori  | Matti Hämäläinen      | Athinoula A. Martinos Center for Biomedical Imaging, USA   | Teknillinen korkeakoulu  |
| Professori  | Seppo Honkanen        | University of Arizona, USA   | Teknillinen korkeakoulu  |
| Professori  | Tadeusz Iwaniec       | Tadeusz Iwaniec, Syracusen yliopisto, USA  | Analyysin ja dynamiikan huippuyksikkö, Helsingin yliopisto   |
| Professori  | Antti-Pekka Jauho     | Technical University of Denmark (Tanska)   | Teknillinen korkeakoulu  |
| Professori  | Stuart Alan Kauffman  | University of Calgary, Kanada  | Tampereen teknillinen yliopisto, Signaalinkäsittelyn laitos  |
| Professori  | János Kertész         | Budapest University of Technology and Economics, Unkari  | Teknillinen korkeakoulu (Aalto-yliopisto), Laskennallisen kompleksisten systeemien tutkimuksen huippuyksikkö - COSY, Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitos - BECS |
| Professori  | Stefan Kurz           | Saksa  | Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkömagnetiikka  |
| Professori  | Tadashi Matsumoto     | Japan Advanced Institute of Science and Technology, Japani   | Oulun yliopisto, Centre for Wireless Communications  |
| Professori  | Jacques Periaux       | UPM/CIMNE Barcelona, Espanja   | Jyväskylän yliopisto   |
| Professori  | Günter Steinmeyer     | Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie, Saksa                                      | Optoelektronikan tutkimuskeskus, Tampereen teknillinen yliopisto   |
| Professori  | Joe Terwilliger       | Columbia University (USA)  | Helsingin yliopisto  |
| Professori  | Wei Zhang             | The University of Texas M. D. Anderson Cancer Center, TX, USA  | Tampereen teknillinen yliopisto, Signaalinkäsittelyn laitos  |





