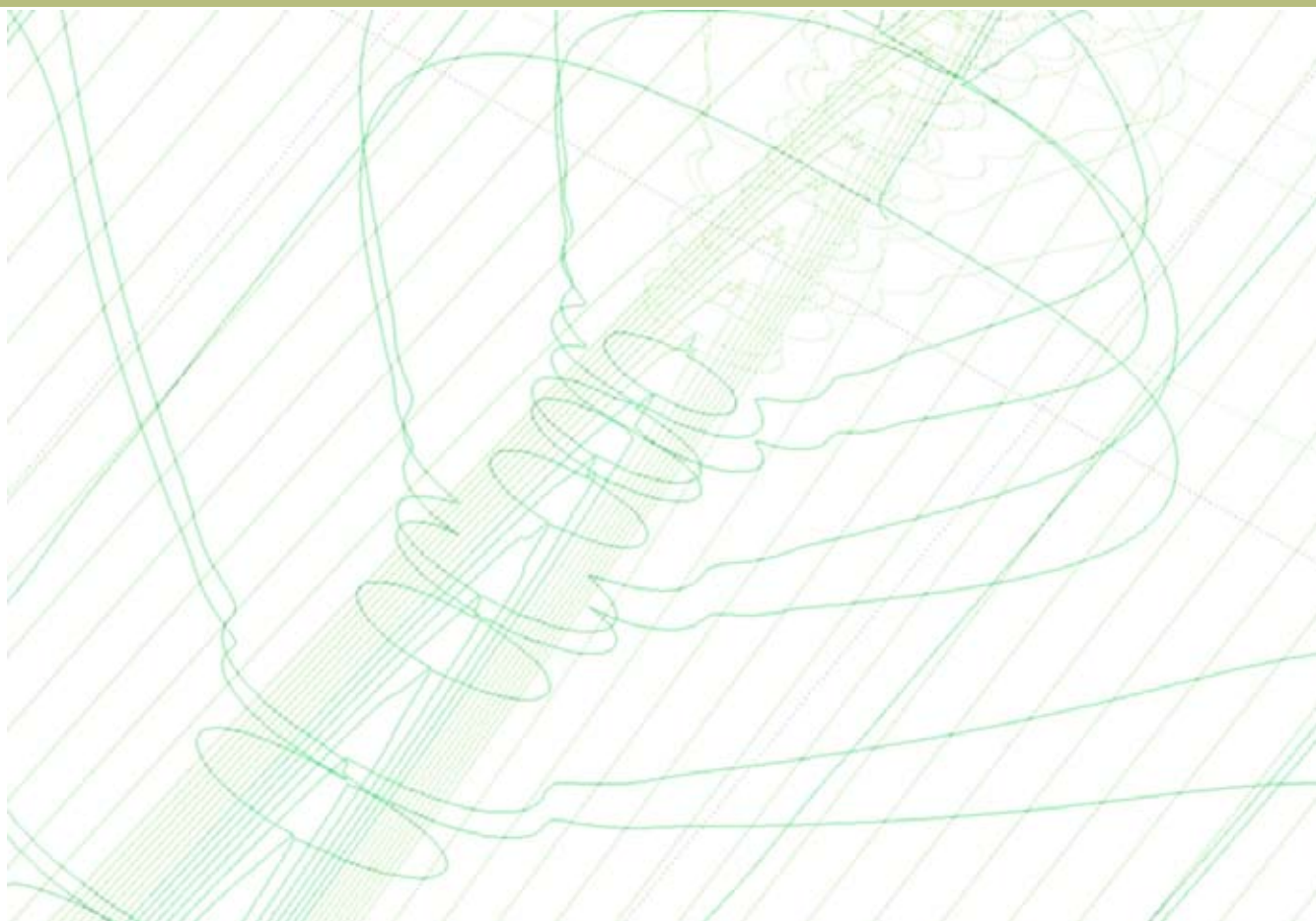


Reports of the Department of Mathematical Information Technology  
Series B. Scientific Computing  
No. B 7/2011

Pekka Neittaanmäki, Timo Tiihonen, Raino Mäkinen,  
Tuomo Rossi, Tero Tuovinen, Ilkka Pölönen,  
Auri Kaihlavirta, Henriikka Neittaanmäki, Antti Melén

# LASKENNALLINEN TIEDE – TIETEEN KOLMAS MENETELMÄ

## Tilannekatsaus 2011



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Reports of the Department of Mathematical Information Technology  
Series B. Scientific Computing

---

Editor: Raino Mäkinen

Technical Editor: Ilkka Pölönen

# LASKENNALLINEN TIEDE – TIETEEN KOLMAS MENETELMÄ

## Tilannekatsaus 2011

Pekka Neittaanmäki, Timo Tiihonen, Raino Mäkinen,  
Tuomo Rossi, Tero Tuovinen, Ilkka Pölönen,  
Auri Kaihlavirta, Henriikka Neittaanmäki, Antti Melén

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

Copyright © 2011

Pekka Neittaanmäki, Timo Tiihonen, Raino Mäkinen, Tuomo Rossi, Ilkka Pölönen, Tero Tuovinen,  
Auri Kaihlavirta, Henriikka Neittaanmäki, Antti Melén ja Jyväskylän yliopisto

Kansikuva: Juha Jeronen - ideaalifluidiin upotetun, liikkuvan paperirainan  
kompleksisia ominaistajuuksia rainan kulkunopeuden funktiona

Taitto: Minja Revonkorpi/Taidea

ISBN 978-951-39-4378-3

ISSN 1456-436X

Jyväskylän yliopistopaino, Jyväskylä 2011

## Tiivistelmä

Tässä tilannekatsauksessa esitellään laskennallisten tieteiden koulutuksen, tutkimuksen ja infrastruktuurin nykytilaa Suomessa vuosina 2010-2011. Tilanne nyt ja vuonna 2009 julkaistu raportti osoittavat, että myös Suomessa on tapahtunut merkittävä tutkimusparadigman muutos. Perinteisten teoreettisten ja kokeellisten tutkimusmenetelmien ohella on siirrytty käyttämään laskennallisen tieteen tarjoamia menetelmiä lähes kaikilla tieteen aloilla teknillisistä ja eksakteista luonnontieteistä lääketieteeseen, biotieteisiin, taloustieteisiin ja kielitieteisiin. Muutos on ollut erityisen nopeata viimeisten vuosien aikana.

Raporttiin on kerätty tietoa kaikista alan koulutusta tarjoavista yliopistoista Suomessa. Lisäksi raportin liitteisiin on koottu vertailutiedoksi alan kurssitarjontaa yhdeksästä ulkomaalaisesta huippuyliopistosta.

Kansainvälisesti tarkastellen Suomessa ollaan sekä metodisesti että soveltamista ajatellen kilpailukykyisessä asemassa. Alan peruskoulutus on Suomessa sisällöltään kansainvälisten huippuyliopistojen tasolla. Suomen Akatemian ja TEKESin panostus laskennallisten tieteiden hyödyntävään tutkijankoulutukseen, FiDiPro-ohjelmiin sekä perus- että soveltavaan tutkimukseen on ollut merkittävää.

Yhtenä tärkeänä tekijänä on ollut onnistunut CSC vetoinen kansallinen IT infrastruktuuri –hanke, joka on tarjonnut kustannustehokkaan suurteholaskentaympäristön tiedeyhteisön käyttöön.

## Esipuhe

Laskennallisten tieteiden kehittäminen on todettu tärkeäksi tekijäksi Suomen kilpailukykyyn kannalta, sillä laskennallisten tieteiden menetelmin on mahdollista parantaa tutkimuksen ja tuotekehityksen tuottavuutta sekä kansainvälistä kilpailukykyä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa, Japanissa, Englannissa ja Kiinassa on merkittävästi panostettu laskennallisiin tieteisiin ja tekniikkaan. Tämän nopeasti kehittyvän tutkimusalueen merkitys korostuu osaamis- ja tietointensiivisessä, globaalisti verkostoituneessa innovaatiojärjestelmässä.

Suomen osalta on tapahtunut murros tutkimusparadigmojen asettelussa. Lähes kaikilla tieteen aloilla tehdään tutkimusta laskennallisilla menetelmillä kokeellisten ja teoreettisten menetelmien lisäksi. Raportin päivittämistä varten koottiin suomalaisten yliopistojen tietoja laskennallisten tieteiden tutkimuksen ja opetuksen tilasta. Raportissa esitettyjen tulosten valossa voidaan todeta suomalaisen tutkimuksen ja opetuksen olevan hyvää kansainvälistä tasoa. Monissa suhteissa olemme laskennallisten tieteiden osalta verrattavissa kansainvälisiin huippuyliopistoihin.

Laskennallisiin tieteisiin ollaan tehty panostuksia sekä rahoituksen osalta että koulutuksen organisoinnin osalta. Opetusministeriön asettaman laskennallisten tieteiden kehittämistyöryhmän vuonna 2007 julkaistussa raportissa oli toimenpidesuosituksia sekä laskennallisten tieteiden koulutuksen ja tutkimuksen että yritysten ja julkisten yhteisöjen yhteistyön osalta.

Työryhmän suosituksista moni on toteutunut. Koulutuksen osalta yliopistoissa tehty muutoksia raportin suositusten mukaisesti useissa yliopistoissa (Aalto, ISY, JY, HY, LTY, TTY, TuY). Tutkijakoulutuksen osalta on vuoden 2010 alusta käynnistynyt Finnish Doctoral Programme in Computational Science. Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja Jyväskylän yliopisto ovat vuosien 2009-2011 aikana hallinneet Laskennalliset tieteet ja työelämä –hankkeita, joiden tavoitteena on ollut erilaisten laskennallisten menetelmien tuominen yritysten tietoisuuteen ja samalla lisätty tietoisuutta alemmissa koulutusasteissa laskennallisista tieteistä.

Panostusta laskennallisiin tieteisiin on jatkettava systemaattisesti, jotta laskennallisia tieteitä voidaan täysipainoisesti hyödyntää. Osaamista ja alan tietämystä tulee kasvattaa kautta linjan peruskouluista tutkijoihin ja professoreista toimitusjohtajiin. On huolehdittava laskennallisen lähestymistavan vaatiman infrastruktuurin rakentamisesta, ylläpidosta ja tukipalveluista. Niin kansallista kuin kansainvälistäkin yhteistyötä on vahvistettava, ja yliopistojen tulee edistää laskennallisten tieteiden tutkijanuramahdollisuuksia. Digitaalisten aineistojen tuottamiseen ja infrastruktuuriin tulee panostaa opetusministeriön asettamien työryhmien esitysten mukaisesti. Myös kansainvälisiä, tietoverkkoja hyväksikäyttäviä tutkimusympäristöjä tulee kehittää osaksi modernia tutkimusyhteistyötä.

Viime vuosien aikana mallinnuksen ja simuloinnin rooli tuotekehityksessä on noussut kaikilla sovellusaloilla. Tuotteiden ja tehtaiden suunnittelu, elinkaarenhallinta yhä kasvavassa määrin hoidetaan tietotekniikan kautta, mikä lisää myös matemaattisten tekniikoiden merkitystä, mallinnus ja simulointi siitä edustavana esimerkkinä. Erilaiset tehokkuuspaineet ovat lisänneet optimoinnin käyttöä, kaikilla aloilla. Teollisuuden palveluliiketoiminta, on monella suomalaisella yrityksellä jo puolet, tai ylikin, liikevaihdosta. Ennakoivan kunnossapidon ja vastaavien yleistymisen on lisännyt näissä tarvittavien laskentamenetelmien käyttöä ja kehittämistä. Palveluliiketoiminnan tulee perustua yhä analyyttisempaan tietoon tai ennusteisiin, mikä lisää laskennallisten menetelmien tarvetta.

Liitteeseen on koottu kesäkuun 2011 tilanteen mukaisesti eri suomalaisten yliopistojen kurssitarjonta matemaattisista ja laskennallisissa tieteissä. Kansainvälisen vertailun tekemiseksi on lisäksi listattu yhdeksän ulkomaalaisen huippuyliopiston vastaavat tiedot kesän 2011 tilanteen mukaan.

Raportin johtopäätösosiossa nostetaan esille muutamia aihepiirejä, joissa kansallisen tason yhteistyö on 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.

*Elokuussa 2011*

*Tietotekniikan laitos, Jyväskylän yliopisto*

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Esipuhe

Sisällysluettelo

1 Johdanto	10
1.1 Laskennallisten tieteiden määritelmä	10
1.2 Laskennallisten tieteiden merkitys tulevaisuuden yhteiskunnassa	12
1.3 Laskennallisten tieteiden haasteet	13
1.4 Laskennallisten tieteiden eurooppalainen näkökulma	14
2 Laskennalliset tieteet Suomessa	16
2.1 Laskennalliset tieteet Suomen yliopistoissa	17
2.1.1 Aalto-yliopisto	17
2.1.2 Helsingin yliopisto	19
2.1.3 Itä-Suomen yliopisto	20
2.1.4 Jyväskylän yliopisto	20
2.1.5 Lapin yliopisto	21
2.1.6 Lappeenrannan teknillinen yliopisto	21
2.1.7 Oulun yliopisto	22
2.1.8 Svenska Handelshögskolan	22
2.1.9 Tampereen teknillinen yliopisto	22
2.1.10 Tampereen yliopisto	23
2.1.11 Turun yliopisto	23
2.1.12 Vaasan yliopisto	24
2.1.13 Åbo Akademi	24
2.2 Laskennalliset tieteet yliopistojen strategioissa	24
2.2.1 Aalto-yliopisto	25
2.2.2 Helsingin yliopisto	25
2.2.3 Itä-Suomen yliopisto	25
2.2.4 Jyväskylän yliopisto	25
2.2.5 Lappeenrannan teknillinen yliopisto	26
2.2.6 Oulun yliopisto	26
2.2.7 Tampereen teknillinen yliopisto	26
2.2.8 Turun yliopisto	26
2.2.9 Vaasan yliopisto	26
2.3 Yritysten ja organisaatioiden tilanne	26
2.4 Laskennallisten tieteiden yhteisöt Suomessa	27
2.4.1 Suomen laskennallisten tieteiden seura ry – Sulatis	27
2.4.2 Suomen Operaatiotutkimusseura ry (Finnish Operations Research Society, FORS)	27
2.4.3 Suomen matemaattinen yhdistys	27
3 Laskennallisten tieteiden koulutus	28
3.1 Maisteriopetus	28
3.1.1 Aalto-yliopisto	28
3.1.2 Helsingin yliopisto	29
3.1.3 Itä-Suomen yliopisto	29
3.1.4 Jyväskylän yliopisto	29
3.1.5 Lapin yliopisto	29
3.1.6 Lappeenrannan teknillinen yliopisto	29
3.1.7 Oulun yliopisto	29
3.1.8 Svenska Handelshögskolan	29
3.1.9 Tampereen teknillinen yliopisto	30
3.1.10 Tampereen yliopisto	30

3.1.11 Turun yliopisto	30
3.1.12 Vaasan yliopisto	30
3.1.13 Åbo Akademi	30
3.2 Jatkokoulutus	30
3.2.1 Aalto-yliopisto	30
3.2.2 Helsingin yliopisto	30
3.2.3 Itä-Suomen yliopisto	30
3.2.4 Jyväskylän yliopisto	31
3.2.5 Lappeenrannan teknillinen yliopisto	31
3.2.6 Oulun yliopisto	31
3.2.7 Svenska Handelshögskolan	31
3.2.8 Tampereen teknillinen yliopisto	31
3.2.9 Tampereen yliopisto	31
3.2.10 Turun yliopisto	31
3.2.11 Vaasan yliopisto	31
3.2.12 Åbo akademi	31
3.3 Tutkijakoulut	32
3.4 Sivuaineopetus	33
3.4.1 Aalto-yliopisto	33
3.4.2 Helsingin yliopisto	33
3.4.3 Itä-Suomen yliopisto	33
3.4.4 Jyväskylän yliopisto	33
3.4.5 Lapin yliopisto	34
3.4.6 Lappeenrannan teknillinen yliopisto	34
3.4.7 Oulun yliopisto	34
3.4.8 Svenska Handelshögskolan	34
3.4.9 Tampereen teknillinen yliopisto	34
3.4.10 Tampereen yliopisto	34
3.4.11 Turun yliopisto	34
3.4.12 Vaasan yliopisto	34
3.4.13 Åbo Akademi	34
3.5 Täydennyskoulutus	34
3.6 Toisen asteen koulutus	35
4 Laskennallisten tieteiden tutkimus	36
4.1 Aalto-yliopisto	36
4.2 Helsingin yliopisto	37
4.3 Itä-Suomen yliopisto	38
4.4 Jyväskylän yliopisto	38
4.5 Lappeenrannan teknillinen yliopisto	39
4.6 Oulun yliopisto	40
4.7 Svenska Handelshögskolan	40
4.8 Tampereen teknillinen yliopisto	40
4.9 Tampereen yliopisto	41
4.10 Turun yliopisto	42
4.11 Vaasan yliopisto	43
4.12 Åbo Akademi	43
4.13 FiDiPro-professuurit	43
4.14 Kansalliset tutkimuslaitokset	43
4.14.1 Fysiikan tutkimuslaitos	43
4.14.2 Helsinki Institute for Information Technology	44
4.14.3 Ilmatieteen laitos	44
4.15 Kansalliset tutkimusohjelmat	44
4.15.1 MASI - Mallinnus ja simulointi 2005–2009	44
4.15.2 LASTU - Laskennallisten tieteiden tutkimusohjelma 2010–2014	44
4.15.3 FinNano - Nanotieteen tutkimusohjelma 2006–2010	45
4.15.4 Digitaalinen tuoteprosessi 2008 – 2012	45



5 Laskennallisten tieteiden infrastruktuuri	46
5.1 Infrastruktuurin nykytila	46
5.2 Laskennallinen kapasiteetti	47
5.3 Tulevaisuuden infrastruktuurin tarpeet	47
5.3.1 Kansainvälinen yhteistyö tulevaisuudessa	48
5.3.2 Ekologiset arvot	48
5.3.3 Kansallinen yhteistyö	48
5.3.4 Koulutus	48
5.4 Eurooppalaisen tason e-infrastruktuuri Suomessa	48
6 Yhteenveto ja suosituksia	51
6.1 Opetus	51
6.2 Jatkokoulutus	51
6.3 Tutkimus	51
6.4 Infrastruktuuri	52
6.5 Seuranta ja päivittäminen	52
Lähdeluettelo	53
Liitteet	54
Liite 1 - Laskennallisten tieteiden kurssit kotimaisissa yliopistoissa	54
Liite 2 - Laskennallisten tieteiden kurseja eräissä ulkomaisissa yliopistoissa	86
Liite 3 – FiDiPro professuurit	120
Liite 4 – Raportin päivityskyselyyn osallistuneet henkilöt	122

# 1 Johdanto

Tämän raportin päätavoite on selventää lukijalle laskennallisen tieteen kompetenssiosaamisen jakautuminen Suomessa. Raporttiin on koottu vuoden 2009 raportin perusteella aiheellisiksi katsottujen toimenpide-ehdotuksien toteutumisaste. Raportin päivitystä on tehty vuosien 2010 ja 2011 aikana.

Kesän ja syksyn 2010 aikana toteutettiin verkopohjainen kysely, joka kohdennettiin laskennallisten tieteiden parissa toimiville kotimaisten yliopistojen professoreille ja tutkijoille. Pohjana käytettiin vuonna 2009 toteutettua kartoitusta. Tuolloin tilanne kartoitettiin vierailemalla ja haastatteleamalla opetus- ja tutkimushenkilökuntaa kaikissa Suomen yliopistoissa. Kartoituksessa keskityttiin seitsemään osa-alueeseen; maisteriopetus, jatkokoulutus ja tohtoriohjelmat, sivuaineopetus, täydennyskoulutus, lukiot ja toisen asteen koulutus, tutkimusohjelmat sekä yritys yhteistyö.

Raportissa selvitetään aluksi laskennallisten tieteiden määritelmä, merkitys sekä haasteet tulevaisuuden kannalta. Seuraavaksi tarkastellaan laskennallisten tieteiden nykytilannetta yleisellä tasolla selvittämällä yliopistojen suhtautumista 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 ja toisen asteen kouluihin keskittyvä LUMA-keskus sekä valoteataan yritysten ja organisaatioiden tilannetta.

Omana kappaleenaan esitellään meneillään oleva laskennallisten tieteiden tutkimustoiminta yliopistoittain sekä kansalliset tutkimusohjelmat, joissa laskennalliset tieteet ovat pääaihealueena tai menetelmät 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 ja toimintasuosituksia tulevaisuutta ajatellen.

## 1.1 Laskennallisten tieteiden määritelmä

Laskennallisilla tieteillä tarkoitetaan laskennallisten voimavarojen soveltamista tosielämän ongelmien ratkaisemiseksi. Valjastamalla ohjelmistot, laitteisto, data ja yhteydet voidaan ratkaista monimutkaisia monitieteellisiä ongelmia, joiden selvittämiseen vaaditaan laskennallisen infrastruktuurin kokonaisvaltaista hallintaa. Laskennallisen tieteen komponentit muodostuvat yhdessä algoritmeista, ohjelmistoista, arkkitehtuurista, soveluksista 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 ja infrastruktuurin 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]:

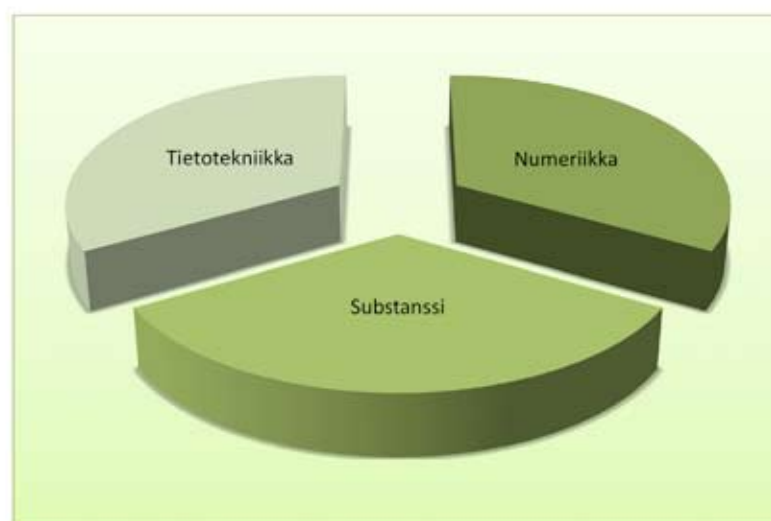
- Menetelmät eli algoritmit, mallintaminen ja simulointi eri tieteiden (kuten biologian, fysiikan, tekniikan, yhteiskunnallisten) ongelmien ratkaisemiseksi
- Tietotekniikka ja informaatiotiede, jotka kehittävät ja optimoivat kehittyneitä laitteisto-, ohjelmisto-, verkko- ja tiedonhallintakomponentteja,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



**Kuva 1:** Laskennalliset tieteet esitettyinä PITAC-raportin määritelmää mukaillen

Laskennalliset tieteet ovat yksinkertaistettuna kokonaisuus, jossa numeriikka, substanssiosaaminen ja tietotekniikka toimivat tasa-arvoisesti ja saumattomasti yhdessä vaativien laskennallisten ratkaisujen saavuttamiseksi. Tämä kokonaisuus

on esitetty kuvassa 2. Laskennallisten ongelmien ratkaisemiseen tarvitaan yhä monitieteellisempää osaamista, joten on tärkeää olla unohtamatta substanssiosaamisen merkitystä.

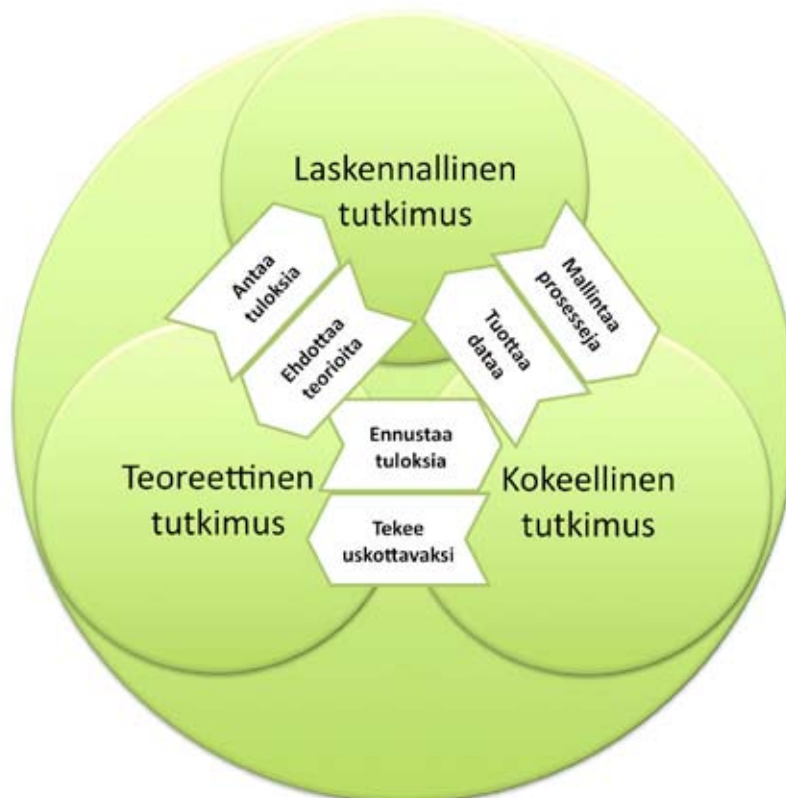


**Kuva 2:** Laskennalliset tieteet ovat kokonaisuus, jossa numeriikka, substanssiosaaminen ja tietotekniikka esiintyvät tasa-arvoisessa asemassa.

## 1.2 Laskennallisten tieteiden merkitys tulevaisuuden yhteiskunnassa

Laskennallisten tieteiden merkitys on ollut viime vuosina jatkuvassa kasvussa. Yhteiskunnan ja tieteen 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 rinnalle ylittäen eri tieteenalojen rajat. [3] Kuvassa 3 esitetään laskennallinen tutkimus samassa viitekehyksessä kokeellisen ja teoreettisen tutkimuksen kanssa. Laskennallisia tieteitä tarvitsevat yhteiskunnallisesti tärkeät alat, kuten informaatioteknologia, lääketiede, ympäristötieteet, virtauslaskenta ja nanoteknologia. Nämä alat ovat tulevaisuuden kannalta merkittävässä asemassa, joten myös laskennallisten tieteiden tutkimuksen merkitys kasvaa. Tulevaisuudessa informaatioteknologian teollisuus tarvitsee laskennallisten tieteiden alalta sekä osaajia että tutkimusta. Näiden saatavuus varmistetaan saamalla alalle riittävästi tasokasta koulutusta ja opiskelijoita sekä kehittämällä opetusta ja tutkimustoimintaa. Lisäksi keskeisenä osana on alan työtehtävistä tiedottaminen erityisesti toisen asteen kouluissa.



Kuva 3: Tieteellisen tutkimuksen kolme viitekehystä

Nopea kehitys tietotekniikassa ja menetelmäosaamisessa mahdollistavat entistä monimutkaisempien ja realistisempien laskentamallien käyttöön eri alojen tutkimusongelmien ratkaisemiseksi. Näin vähennetään tuntuvasti tarvetta suorittaa erilaisia kalliita kokeita. Laskennallisten tieteiden menetelmillä voidaan hakea ratkaisuja ongelmiin myös 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 riippuvuussuhteista 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. Jo nyt nähdään, että 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 kilpailukykyä. [5] Euroopan Unioni on vahvistamassa rooliaan erityisesti laskennallisten tieteiden infrastruktuurin kehittämisen osalta. Suomen kilpailukykyyn kannalta laskennallisten tieteiden kehittäminen on strategisesti tärkeää. Kilpailukykyyn takaaminen kansallisella tasolla vaatii panostamista laskennallisten tieteiden kehittämiseen; sekä osaamista, menetelmiä että infrastruktuuria on kehitettävä pitkäjänteisesti. Lisäksi laajentamista kokonaan uusille tutkimusalueille tulisi tukea uusien mahdollisuuksien kartoittamisen tehostamiseksi.

### 1.3 Laskennallisten tieteiden haasteet

Laskennalliset tieteet ovat kansantaloudelle ja kilpailukyvyllä strategisesti tärkeä osaamisalue, joka vaatii pitkäjänteistä kehittämistä sekä resursseja kehityksen takaamiseksi. Kuten edellisen kohdan määritelmässä esitettiin, laskennallisten tieteiden kokonaisuus koostuu numeritiikan, tietotekniikan ja substanssin hallitsemisesta. Lisäksi useat ongelmat ovat luonteeltaan monifysikaalisia ja vaativat

useamman substanssin hallintaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tulevaisuudessa projektien koko ja niihin liittyvien henkilöiden määrä kasvaa tehtävien monimutkaistuesssa. Tämä totuus on tunnistettava ja hyväksyttävä osaksi modernia tieteen tekemistä. Merkittäviä edistysaskeleita ei saavuteta luotettavasti ilman riittävää osaajaverkostoa. Osaajien saatavuus onkin kriittinen tekijä alan kehitykselle ja hyödyntämiselle yritysmaailmassa.

Suomi on toimittava tulevaisuudessakin 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 määrittelemään Suomen eScience-ohjelmaan [4] sekä Laskennallisten tieteiden kansalliseen kehittämiseen [5] liittyvien selvitysten myötä Teke-sillä ja 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 ja kehitystä. Perinteisiä laskennallisia tieteitä hyödyntäviä aloja ovat muun muassa teknologia- ja rakennusteollisuus, kuljetustoiminta sekä finanssiala.

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 vältytään osaamisen pirstaloitumiselta ja päällekkäiseltä metodikehitystyöltä. Laskennallisten tieteiden kansallinen kehittäminen 2009 -projektin yhteydessä suoritettuna kartoituksen perusteella on huomattavissa, että yhteistyötä voitaisiin merkittävästi lisätä paitsi yliopistojen välillä myös näiden sisällä eri osastojen ja alojen kesken. Yritys-

yhteistyö edesauttaa innovaatioiden siirtymistä yrityksiin ja uusien relevanttien tutkimuskysymyksien esiintuloa.

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

## 1.4 Laskennallisten tieteiden eurooppalainen näkökulma

Vuosien 2010 ja 2011 aikana ECCOMAS (European Community on Computational Methods in Applied Sciences, perustettu 1993) valmistelee komiteatyönä selvitystä laskennallisista tieteistä Euroopan tutkimusneuvostolle (European Research Council, ERC) ja Euroopan Unionin komissiolle. Tavoitteena on edistää laskennallisten tieteiden asemaa sekä strategisella että rahoituksellisella tasolla. Lisäksi selvitys tulee esittämään prioriteettijärjestystä kahdeksannesta puiteohjelmasta rahoitettavalle tutkimukselle.

Selvityksessä esitellään laskennallisia tieteitä sekä niiden merkitystä ja hyötyjä eurooppalaisen tutkimuksen ja talouden kilpailukyvyille. Selvitys nostaa esille viisi erityistä haastetta laskennallisten tieteiden tutkimuksessa tällä hetkellä:

1. multiskaalamallintamisen ja -simuloinnin haasteet
2. todentamisen, validoinnin ja epävarmuuden hallinta
3. simulointiohjelmistojen uudet perspektiivit
4. suurten datamäärien simulointi ja visualisointi
5. uuden sukupolven algoritmit ja laskennallinen suorituskyky

Selvityksessä otetaan kantaa myös yliopistojen laskennallisten tieteiden opetukseen. Ongelmana nähdään perinteisten tieteenalojen väliset raja-aidat, joista on tullut taakka laskennallisten tieteiden kehittämisen kannalta. Keinotekoiset raja-aidat eivät rohkaise uusiin innovaatioihin tai oleellisen

tiedon vaihtoon tieteenalojen välillä. Selvityksessä rohkaistaankin uusien monitieteellisten tutkimusohjelmien perustamiseen laskennallisten tieteiden saralle.

Laskennallisten tieteiden kehittäminen Euroopassa uhkaa jäädä Aasian ja Yhdysvaltojen jälkeen. Kilpailukyvyn turvaamiseksi Euroopan Unionin tuleekin reagoida asiaan pikaisesti. Selvityksessä ehdotetaan:

1. Tutkimuksen rahoittamisen uudelleenjärjestämistä. Tulevassa kahdeksannessa puiteohjelmassa tulisi laskennallisten tieteiden olla itsenäisenä tutkimusteemanä.
2. Laskennallisten tieteiden tutkimuksen rahoituksen merkittävää kasvattamista. Ala on kustannusintensiivinen, sillä käytetty teknologia vanhenee nopeasti.
3. Laskennallisten tieteiden kehittämistä pitkällä korkeariskisillä tieteellisillä tutkimusohjelmilla. Ohjelman tulee olla poikkitieteellinen.
4. Koulutuksellisten rakenteiden vahvaa muokkaamista yhä monitieteisempään suuntaan. Tieteiden välisiä raja-aitoja tulee poistaa. Erittäin tämä koskee maisteri- ja tohtoritason koulutusohjelmia.
5. Vaikutusvaltaisen eurooppalaisen laskennallisten tieteiden julkaisun perustamista.

Tutkimukseen voi saada unionin tason rahoitusta myös muualta kuin puiteohjelman kautta. ERC rahoittaa Euroopan tasolla perustutkimusta vuosittain noin 1.5 miljardilla eurolla. ERC suuntaa rahoitusta erityisesti nuorille tutkijoille, joiden väitöksestä on kulunut 5-7 vuotta. Starttirahoitusta myönnetään myös vastaväitelleille. Erittäin tuetaan epätavallisia monitieteisiä korkean riskin hankkeita.

Laskennallisilla tieteillä ei ole omaa osuuttaan myöskään ERC:n rahoituksessa, mutta ne ovat keskeisessä roolissa useissa hankkeissa. Hankkeet ovat tyypillisesti 2-3 -vuotisia ja kooltaan 1-2 miljoonaa euroa. Noin 20–25% hakemuksista saa rahoituksen.

Mallien ja laskentavälineiden avulla voidaan saada kilpailuetua suunnittelu- ja design prosessien tehostamisessa, testaussykliä nopeutumista,



systemi-integraation etenemistä. Mallinnus ja laskennallinen tekniikka merkitsee tehokasta tiedonsiirtoa ja vuorovaikutusta tutkimuksen ja teollisuuden kesken.

Tätä tavoitetta varten on perustettu verkosto ECMI European Consortium for Mathematics in Industry , yliopistojen ja laitoksien ja yritysten yhteenliittymä jo vuonna 1986.

Toimintoja ovat teollisuusmatematiikan MS-koulutusohjelman kehitys, opiskelijoiden ja tutkijoiden liikkuvuus ja verkostuminen, konferenssitoiminta, Newsletter julkaisu jne.

ECMI:n piirissä on kehitelty toimintamalleja innovaatioprosessin, matemaattisen ongelmanratkaisun toteuttamiseksi. Esimerkkinä ECMI Modelling Week, matemaattisen ongelmanratkaisun työpaja, jossa matematiikan ja tekniikan opiskelijat työskentelevät teollisuuden tai muista käytännön aiheista nousevien ongelmien parissa. Tavoitteena on tarjota yrityksille keinot saada apua erilaisten ratkaisuideoiden hahmottamiseen, feasibility selvityksiin jne. Study Group with Industry toimintamalli on post doc tutkijoiden ja PhD vaiheessa olevien jatko-opiskelijoiden tasolla toteutettu ongelmaratkaisun työpaja.

ECMI oli osapuolena mukana kun Euroopan tiedoneuvosto ESF toteutti 2009-2010 selvityksen Forward Look Mathematics and Industry. Tämän selvityksen tarkoituksena on vaikuttaa Euroopan komissioon ja EU:n tutkimusohjelmien muotoutumiseen laskennallisen tieteen ja teollisuusmatematiikan edistämiseksi osana Euroopan innovaatio- ja teknologiastrategiaa. Selvityksessä kartoitettiin matematiikan ja teollisuuden yhteyksiä, koulutuksen ja urapolkujen kehittämistarpeita Euroopassa, esimerkkejä toteutuneista menestyksekkäistä mallinnukseen ja laskentaan perustuneista R&D projekteista.

*Linkki raportteihin:*

<http://www.ceremade.dauphine.fr/FLMI/FLMI-frames-index.html>

*Verkkosivut:*

Eccomas – <http://www.eccomas.org/>

Ecmi – <http://www.ecmi-indmath.org/>

## 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 kasvatettaisiin ja kaikilla tieteenaloilla opetusohjelmiin lisättäisiin tietoisuutta laskennallisista tieteistä. Tästä huolimatta yliopistojen strategisissa linjauksissa laskennallisia tieteitä ei huomioida riittävästi. Tiedekuntatason strategisissa linjauksissa laskennalliset tieteet näkyvät hieman, mutta vain luonnontieteen- ja informaatioteknologian alat listaavat laskennalliset tieteet 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, syventymisalan laaja-alaisissa maisteriohjelmissa tai muiden oppiaineiden yhteydessä. Kokonaan laskennallisiin menetelmiin keskittyviä maisteriopintolinjoja löytyy seuraavien yliopistojen tarjonnasta: Aalto, HY, ISY, JY, LTY, OY ja TTY.

Jyväskylän yliopistossa on kehitetty SCOMA (Scientific Computing and Optimization in Multidisciplinary Applications) -keskusta, jonka tavoitteena on tuoda laskennallisia menetelmiä suoremmin yritysten ja muun yhteiskunnan käyttöön. Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa käynnistettävässä CEID-hankkeessa (Computational Engineering and Integrated Design - instituutti) laskennallisten tieteiden tutkimus sekä opetuksen ja laskentaresurssien koordinaatio keskitetään yhteiseen yksikköön. Tampereen teknillisessä yliopistossa laskennallisten tieteiden opetuksen ja koulutuksen tukena toimii TCSC (Tampere Center for Scientific Computing). Tällainen laskennallisten tieteiden yksikkö on esimerkillinen tapauksena 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 laitteiden välinen yhteistyö edesauttaisi saamaan laskennallisten menetelmien osaamisen laaja-alaisemmin käyttöön. Fysiikan ja kemian välillä on jo merkittävää poikkitieteellistä yhteistyötä etenkin elektronirakennelaskujen ja atomitaso simuloitien osalta. Poikkitieteellisyys on merkittävä seikka laskennallisten tieteiden kannalta, sillä osaajien välinen yhteistyö vähentäisi siiloutumista alojen välillä. Näin myös alakohtaisia sovelluksia ja menetelmiä voitaisiin kehittää entistä tehokkaammin.

Jatkokoulutusta laskennallisten tieteiden alalta on tarjolla lähes joka yliopistolla, ja sitä tukee laaja tutkijakouluverkosto. Tutkijakoulujen asema tällä hetkellä on pääasiassa rahoittaa yksittäisten tutkijoiden tutkimustyötä, vaikka niissä 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 paranisi.

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 ja ohjelmoinnin taidon. Tutkimukseen ja innovaatioihin liittyvää yhteistyötä yritysten ja yliopistojen välillä tulisi kehittää. Yhteistyötä tehdään melko vähän, sillä



tahojen ajallisten ja rahallisten resurssien tarpeet poikkeavat toisistaan. Infrastruktuurin kannalta yrityksille laskentatehoa suurempi haaste on moniulotteisten suurten data-aineistojen käsittelyyn liittyvät menetelmät.

## 2.1 Laskennalliset tieteet Suomen yliopistoissa

Laskennallisilla tieteillä on erityisen merkittävä asema teknillisissä korkeakouluissa sekä Helsingin ja Jyväskylän yliopistoissa. Myös muissa yliopistoissa laskennallisia tieteitä opetetaan runsaasti. Yhteistyömahdollisuuksia laskennallisten tieteiden opetuksen järjestämisen suhteen on, sillä kansallisella tasolla opetusta ei ole koordinoitu.

### 2.1.1 Aalto-yliopisto

Aalto-yliopiston teknillisessä korkeakoulussa laskennallisia tieteitä käytetään opetuksessa ja tutkimuksessa lähes jokaisella laitoksella.

#### Kemian tekniikan korkeakoulu

Biotekniikan ja kemiantekniikan laitoksella on tarjolla kaksi kandidatuksien pääainetta, Biotekniikka ja elintarviketekniikka sekä Prosessit ja tuotteet. Prosessitekniiseen ydinosaamiseen kuuluvat myös perustiedot prosessien suunnittelusta ja ohjauksesta sekä ilmiöiden, ainearvojen ja prosessien laskennasta ja mallinnuksesta. Laitoksella voi opiskella myös englanninkielisessä Process Systems Engineering -maisteriohjelmassa.

Prosessien kehittämisen kannalta keskeisiä tutkimuskohteita ovat aineen-, lämmön- ja liikemäärän siirtoilmiöiden sekä termodynamiikan mittaus-, mallinnus-, ja simulointimenetelmät. Mittausta, mallinnusta 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 proteiinirakenteiden mallinnus ja ennustus sekä säätö ja tilastollinen koesuunnittelu muodostavat omat tutkimus- ja opetuskohteensa, ja menetelminä tukevat muuta tutkimustoimintaa.

Insinööritieteiden korkeakoulu

Energiatekniikan laitoksen erityisiä osaamisalueita ovat polttomoottoreissa tapahtuvan palamisprosessin kehitys, teolliset energiasovellukset (kuten 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.

Maanmittaustieteen laitoksen geomatiikan tutkinto-ohjelmassa opetetaan karttojen suunnittelua, maan muodon mittaamista ja paikkatiedon käsittelyä. Geoinformatiikan laitoksella laskennallista on erityisesti geospaatialinen laskenta. Pääaineita ovat geodesia ja fotogrammetria sekä geoinformatiikka.

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

Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitoksella tehdään tutkimusta ja annetaan opetusta liikennetiedon, luonnonvaratiedon (geologia, hydrologia) ja muiden tietojen käsittelyyn liittyen. Vesitalouden tutkimusryhmässä painopisteenä on hydrologinen mallintaminen. Laitoksella on myös ympäristötekniikan tietotekniikan professori, jonka alaan kuuluu ympäristöalan matemaattista mallintamista ja laskennallisten mallien toteuttamista tietokoneella.

Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitoksen laskennalliset tutkimuskohteet liittyvät ohutseinäisten rakenteiden adaptiivisiin elementtimenetelmiin, rakenteiden stabiiliusanalyysiin ja kiinteiden aineiden, nesteiden ja seosten kon-

stitutiiviseen mallinnukseen, esimerkiksi kvasi-hauraiden aineiden murtumisen mallinnukseen, maan routimisen simulointiin, betonirakenteiden korkealämpötilamallinnukseen sekä magnetoe-lastisuuteen.

## Perustieteiden korkeakoulu

Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisten tieteiden 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 ja systeemianalyysin 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 ovat differentiaaligeometria, evoluutioyhtälöt, elementtimenetelmät, epälineaariset osittaisdifferentiaaliyhtälöt, numerikka, stokastiikka ja aika-taajuus -analyysi. Systeemianalyysin puolella opetus keskittyy systeemien mallinnukseen, simulointiin, optimointiin, päätöksentekoon ja geneettisiin algoritmeihin. Laitoksella on vilkasta yhteistyötä laskennallisen fysiikan, sähkötekniikan ja mekaniikan alojen kanssa.

Teknillisen fysiikan laitoksella on vahvat perinteet niin kokeellisesta kuin laskennallisesta ja teoreettisestakin fysiikan tutkimuksesta. Laitos hallinnoi laskennallisten nanotieteiden huippuyksikköä (COMP) sekä uutta kansallista nanomikroskopian keskusta. Laitos tarjoaa fysiikan perusopetusta myös muiden tiedekuntien opiskelijoille. Klassisen fysiikan ja kvanttimekaniikan yleisten kurssi-

en lisäksi opiskelijoille tarjotaan kursseja esimerkiksi materiaalfysiikasta, tilastollisesta fysiikasta ja hiukkasfysiikasta. Kursseilla 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 tietoaisteiden analysointiin sekä kompleksisten ohjelmisto- ja tietoverkkosovellusten mallintamiseen ja suunnitteluun. Laitos on erittäin vahva jatkokoulutusyksikkö (muun muassa vuonna 2008 AALTO:n ennätys 13 väitöskirjaa), mutta tarjoaa myös merkittävässä määrin perustutkintotason opetusta. Laitoksen tutkimus ja opetus painottuvat tekniikan ja tieteen haastavien sovellusten tarvitsemiin edistyneisiin laskennallisiin menetelmiin. Laskennalliset tieteet ovat laitoksen tutkimuksen ja opetuksen ydinaluetta.

Tietojenkäsittelytieteen laitoksella toimii kaksi kansallista tutkimuksen huippuyksikköä: Adaptiivisen informatiikan tutkimuksen huippuyksikkö sekä osa Algoritmissa data-analyysin huippuyksikön tutkimusryhmistä. Alempaa korkeakoulututkintoa suorittaville opiskelijoille laitos tarjoaa opetusta informaatiotekniikan sekä tietojenkäsittelyteorian aihealueilla. Ylempään korkeakoulututkintoon tähtäävän koulutuksen aihepiireinä ovat informaatiotekniikka, kieliteknologia, laskennallinen tiede ja 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).

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

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

### Sähkötekniikan korkeakoulu

Signaalinkäsittelyn perusopetus keskittyy digitaalitekniikkaan. Jatkokursseissa painopiste on digitaalisessa tietoliikenteessä käytettävissä signaalinkäsittelymenetelmissä, signaalinkäsittelyalgoritmien optimoinnissa ja 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 ja akustisissa mittauksissa.

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

## 2.1.2 Helsingin yliopisto

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

Matematiikan laitoksen maisterin tutkinnon erikoistumislinjoista laskennallisiin tieteisiin kuuluviin voidaan laskea aikasarja-analyysin ja ekonometrian linja, biometriikan 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 ja geofysiikka. Aerosoli- ja ympäristöfysiikan tutkimus on kansainvälisesti erittäin korkeatasoista. Laitoksella toimii myös korkeatasoinen laskennallisen astrofysiikan osasto, missä muun muassa mallinetaan auringon ja muiden tähtien magneettista aktiivisuutta, kertymäkiekkoja, galaksien dynamiikan ja tähtienvälisen aineen turbulenssia.

Fysiikan tutkimuslaitoksen tehtävänä on harjoittaa ja edistää fysiikan perustutkimusta ja soveltavaa tutkimusta, hiukkaskiihdytinkeskuksiin liittyvää soveltavaa teknologiankehitystä sekä osallistua fysiikan alan tutkijakoulutukseen. Tutkimuslaitos huolehtii Suomen yhteistyöstä Euroopan ydinfysiikan tutkimusjärjestön CERNin kanssa. Fysiikan tutkimuslaitoksen tutkimusohjelmissa laskennalliset menetelmät ovat keskeisessä asemassa. ALICE- ja CMS-kokeiden data-analyysi tehdään maailmanlaajuisella hajautetulla laskentajärjestelmällä.

Kemian laitoksella toimii Suomen akatemian laskennallisen molekyyli-tieteen huippuyksikkö. Laskennallisia menetelmiä käytetään kaikilla laitoksen pää tutkimusaloilla. Kemian ja fysiikan laitoksilla on yhteinen laskennallisen fysiikan ja kemian maisteriohjelma MoMoNano, sekä useita muita maisteriohjelmiä, joissa hyödynnetään laskennallisia menetelmiä.

Tietojenkäsittelytieteen laitos on erikoistunut kolmeen pääalueeseen: algoritmeihin ja koneoppimiseen, hajautettuihin järjestelmiin ja tietoliikenteeseen sekä ohjelmistojärjestelmiin, joissa kaikissa tehdään tutkimustyötä ja annetaan opetusta. Tietojenkäsittelytieteissä erikoistumislinjat ja maisteriohjelmat 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, eläinlääketieteessä, biotieteissä sekä taloustieteessä.

### 2.1.3 Itä-Suomen yliopisto

Itä-Suomen yliopistossa laskennallisten tieteiden opetus ja tutkimus keskittyy Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekuntaan.

Erityisesti kemian laitoksella laskennallisia menetelmiä opetetaan ja hyödynnetään monitieteellisessä materiaalitutkimuksessa ja molekyylibiologiassa. Kemian laitoksella tutkitaan esimerkiksi proteiinien rakenteita ja ominaisuuksia atomitasolla. Lisäksi kehitetään uusia erikoismateriaaleja ja katalyyttejä kemianteollisuuden tarpeisiin. Kemian laitoksella on käytettävissä myös huomattava tutkimuslaitteisto erilaisten ilmiöiden mallinnukseen. Toiminnan painopisteet ovat tutkimuksessa ja tutkijankoulutuksessa. Maisterin tutkinnon syventymismahdollisuudet ovat epäorgaaninen kemia, fysikaalinen kemia, materiaalikemia ja orgaaninen kemia.

Fysiikan laitoksen tutkimuksen pääaiheet ovat moderni optiikka sekä ftoniikka. Laitoksen opetus jakautuu fyysikon ja fysiikan opettajan koulutukseen. Medialaskennan ja optisen teknologian maisterilinja on fysiikan ja tietojenkäsittelytieteiden yhteinen pääainelinja. 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 Finnish Centre of Excellence in Inverse Problems Research (2006–2011).

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

Muut tietojenkäsittelytieteiden linjat ovat ohjelmistotuotanto, kehitys- ja opetusteknologia sekä tietojenkäsittelytieteen yleinen teoria. Yleisen teorian maisteriohjelma painottuu ohjelmointiin, algoritmeihin ja tietojenkäsittelytieteen teoriaan.

Tilastotieteen opintojen rungon muodostavat laskentaa, estimointiteoriaa ja tilastollista päättelyä käsittelevät kurssit. Tutkimus keskittyy demometriaan, biometriaan sekä aikasarja-analyysiin.

Matematiikan opinnoissa voi valita joko teoreettisen tai sovelletun matematiikan tai matematiikan opettajan koulutuksen. Matematiikan tutkimuksessa keskitytään esimerkiksi kompleksidynamiikkaan ja kompleksisiin differentiaali- ja differentssiyhtälöihin sekä funktioavaruuksiin.

### 2.1.4 Jyväskylän yliopisto

Jyväskylän yliopistossa laskennallisia tieteitä tutkitaan ja opetetaan erityisesti matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa ja 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 kiihdytin-fysiikan yksikkö, on nimetty Suomen akatemian huippuyksiköksi. Kemian ja bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tilastotieteen keinoin tehtävä tutkimusyhteistyö kohdistuu 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 hyödynää tutkimuksessaan laskennallisia menetelmiä.

Matematiikan ja tilastotieteiden laitoksen opetus painottuu pääaineopetuksen lisäksi koko yliopistoa palvelemaan perusopetukseen. Vahvuus- ja kehittämisalueita ovat matemaattinen analyysi, tilastotiede, stokastiikka ja matematiikan aineenopettajien koulutus. Laitoksen tutkimustoimin-

nalla 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 vuosina 2002–2007. Laitos on vuodesta 2008 asti ollut mukana Helsingin yliopiston kanssa Analyysin ja dynamiikan huippuyksikössä.

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

Tietotekniikan laitoksella voi suorittaa sekä maisterin että tohtorin tutkinnon laskennallisiin tieteisiin erikoistuen. Tutkimuskohteina 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-konstruktiviseen menetelmä- ja sovel-luskehitykseen, muun muassa osittaisdifferentiaaliyhtälömallien luotettavaan ja tehokkaaseen ratkaisemiseen, päätöksentekoa tukeviin optimointimenetelmiin, signaalin- ja kuvankäsittelyyn sekä tiedonlouhintaan. Erityinen painoarvo on menetelmien tehokkaalla implementoinnilla uusimpiin tietokonearkkitehtuureihin ja käyttöliittymien helppokäyttöisyydellä loppukäyttäjän näkökulmasta.

## 2.1.5 Lapin yliopisto

Rovaniemellä matematiikan, tilastotieteen ja informaatiotekniikan opetuksen tuottaa yhteiskun-

tatieteellisessä tiedekunnassa toimiva menetelmätieteiden laitos. Pääaineena matematiikkaa tai tilastotiedettä ei voi lukea. Laskennallisia tieteitä lähestyttäessä näkökulmana on menetelmien hyödyntäminen jonkin tietyn tieteenalan, kuten tilastollisen analyysin, yhteydessä. Tutkimukseen on panostettu jonkin verran, ja myös yhteistyöstä ollaan kiinnostuneita. Erityisesti visuaalista mallintamista kehitetään taideaineiden avuksi. Resurssien vähyys on kuitenkin merkittävä rajoittava tekijä.

## 2.1.6 Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Sovelletun matematiikan (Technomathematics) ja teknillisen fysiikan (Technical Physics) maisteriohjelmien lisäksi matematiikan ja fysiikan laitos tarjoaa yliopiston tekniikan alan opiskelijoille matematiikan ja fysiikan perusvalmiudet. Muiden koulutusohjelmien opiskelijoille on tarjolla teknisen matematiikan ja teknillisen fysiikan sivuaineet. Matematiikan laitoksen yhteydessä toimii CEID-yksikkö (Centre of Computational Engineering and Integrated Design), joka koordinoi laskennallisten menetelmien soveltamista sekä ohjelmistojen ja laskentaresurssien hankintaa yliopistossa. LUT Energia -laitoksella on saatavilla säätötekniikan-, signaalinkäsittelyn- ja Modelling of Energy Systems -sivuaineet.

LUT Energia koordinoi valtakunnallista Laskennallisen virtausmekaniikan tohtoriohjelmaa. Virtauslaskentaa ja energijärjestelmien mallinnusta sovelletaan laitoksella laajasti erilaisissa teollisissa ja akateemisissa projekteissa.

Tietotekniikan laitoksen yksi kolmesta painopistealasta on älykäs laskenta. Älykkään laskennan pääaineopiskelijat saavat syvällisen kuvan älykkään ja oppivan informaationkäsittelyn ja -laskennan sovellusalueista ja menetelmistä sekä tietojenkäsittelyjärjestelmistä ja niiden suunnittelusta. Erityisesti painopistealueina ovat datapohjainen mallinnus sekä kuvatiedon laskennallinen käsittely. Älykkään laskennan tutkimus painottuu koneälyn ja hahmontunnistuksen tutkimusryhmään, jossa tutkitaan erityisesti oppivia ja adaptiivisia laskennallisia malleja sekä näiden sovelluksia



muun muassa tietokonenäössä, biomolekyylien mallinnuksessa, signaalinkäsittelyssä ja robotiikassa. Tutkimusryhmä on valittu yliopiston tutkimuksen kärkiyksiköksi.

### 2.1.7 Oulun yliopisto

Oulu on vahvasti teknillisipainotteinen yliopisto. Teknillisessä 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 Oulun laskennallisia tieteitä hyödyntävän osan opetuksen ja tutkimuksen pääpaino on langattomassa tietoliikenteessä ja koenäössä. Kurssitarjonta on rakennettu tukemaan näitä fokusalueita.

Luonnontieteellisessä tiedekunnassa laskennalliset tieteet ovat myös vahvasti edustettuina niin matematiikan, kemian, fysiikan kuin muidenkin laitosten osalta. Pääpaino on kuitenkin edelleen laskennallisten menetelmien käyttäminen apuvälineenä reaali maailman ilmiötä tutkittaessa. Itse laskennallisten tieteiden kehittäminen on hyvin vähäistä. Sovelletussa matematiikassa ja tilastotieteessä laskennallisia menetelmiä käytetään runsaasti erityisesti stokastisessa simuloinnissa. MCMC-estimointia hyödynnetään rutiininomaisesti ja ongelmien ratkaisuihin liittyvä simulointialgoritmien kehittäminen on keskeistä toimintaa.

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

### 2.1.8 Svenska Handelshögskolan

Laskennalliset tieteet on integroitu Svenska Handelshögskolanin opetus- ja tutkimustoimintaan. Erityisesti laskennallisia menetelmiä hyödyn-

netään rahoituksessa ja kansantaloustieteissä. Yliopisto itsessään ei profiloitu laskennallisten menetelmien kehittäjänä eikä listaa niitä vahvuusalueisiinsa.

### 2.1.9 Tampereen teknillinen yliopisto

Laskennallisilla tieteillä on tärkeä asema Tampereen teknillisessä yliopistossa. Tieteellinen laskenta kattaa yli kolmasosan yliopiston tieteellisestä tuotannosta ja lisäksi sen merkitys kasvaa jatkuvasti 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 alueella ovat erityisesti matemaattisen mallintamisen verkostohanke, biotieteet eli lääketieteellinen laskenta, biologinen fysiikka ja laskennallinen systeemibiologia sekä laskentalaitteet ja laskentalogoritmien sovittaminen ja kehitys.

Matematiikan laitoksen painotusalueista laskennallisia tieteitä edustavat Matemaattinen mallinnus ja tieteellinen laskenta, Lääketieteellinen laskenta sekä Tilastolliset menetelmät ja datan mallinnus. Laitoksen 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 sekä näihin liittyvä materiaalfysiikka. Yleisesti voidaan puhua kompleksisten systeemien mallintamisesta ja niiden simulointiin liittyvien menetelmien kehitystyöstä. Tutkimussuuntia ovat esimerkiksi ab initio- ja Kvantti-Monte Carlo -menetelmät, puolijohdefysiikka sekä optiset materiaalit.

Edellä mainittujen laitosten lisäksi laskennallisia tieteitä hyödynnetään erityisen paljon energia- ja prosessitekniikan laitoksella virtaustekniikassa sekä voimalaitos- ja polttotekniikassa. Laskennal-

linen systeemibiologia on signaalinkäsittelytieteiden laitoksen vahvuus. Myös teollisuustalouden laitoksella hyödynnetään tieteellistä laskentaa. Eri laitoksilla käytetään konetekniikan parissa paljon laskennallisia tieteitä, erityisesti simulointia ja analysointia.

## Tampere Center for Scientific Computing

Tampereen teknillisessä yliopistossa toimii Tampere Center for Scientific Computing. Tämän keskuksen tarkoituksena on tukea TTY:n tutkijoita tuottamalla lähdemateriaalia ja ylläpitämällä tieteellisiä laitteistoja. TCSC on lisäksi kontakti paikallisille laskennallisten tieteiden parissa työskenteleville tutkijoille ja tutkimusryhmille mahdollistaen pääsyn CSC:n palveluihin. TCSC:n piiriin on koottu kattavasti TTY:n laskentainfrastruktuuri, tutkimus- ja julkaisutoiminta sekä laskennallisiin tieteisiin liittyvä opetustarjonta. TCSC:n merkitys on tunnustettu yliopiston hallinnon tasolla.

### 2.1.10 Tampereen yliopisto

Matematiikan ja tilastotieteen laitoksen matematiikan päättökursseissa 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 ovat robustit ja epäparametriset menetelmät, joihin liittyy laskentaintensiivistä simulointia.

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

Laskennalliset tieteet ovat keskeisessä osassa bioinformatiikan tutkimuksessa ja opetuksessa, joissa keskitytään laajojen tietoaisteistojen hallintaan ja analysointiin erityisesti tiedon louhintamenetelmiä hyödyntäen. Tutkimuksessa käytetään ja kehitetään ennustus- ja simulaatiomenetelmiä, joista osa on hyvinkin laskentaintensiivisiä.

### 2.1.11 Turun yliopisto

Turun yliopiston fysiikan ja tähtitieteen laitoksella tehdään monipuolista perus- ja soveltavaa tutkimusta, johon liittyy runsaasti laskennallista työtä. Laitoksen opetusohjelmaan sisältyy fysiikan matemaattisten menetelmien, tieteellisen ohjelmoinnin ja laskennallisten menetelmien opetusta. Laitos osallistuu yhtenä noodina kansalliseen M-grid-infrastruktuuriin (Topaasi-klusteri, joka on sijoitettu laitoksen tiloihin). Useat laitoksen tutkimusryhmät hyödyntävät muutenkin CSC:n tarjoamia laskentapalveluja erityisesti materiaalfysiikan, teoreettisen fysiikan sekä avaruustutkimuksen ja tähtitieteen ongelmien mallintamisessa ja datan käsittelyssä.

Matematiikan laitos vastaa muiden tiedekuntien koulutusohjelmien matematiikan perusopetuksesta. 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 kattuen kaikkien tietojenkäsittelytieteiden (tietojenkäsittelytiede, tietojärjestelmätiede sekä tietotekniikka) lisäksi mikroelektroniikan ja tietoliikennejärjestelmät. Tutkimus ulottuu teknologia-alustoista (mikroelektroniikan valmistustekniikat) ja ohjelmisto- ja laitteistokehitystekniikoista (ohjelmistotuotanto, sulautetut ja digitaaliset järjestelmät) eri sovellusalojen vaatimiin erityismenetelmiin niin teknisen 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).

Biologian koulutusohjelmaan sisältyy useita tietotekniikan perusteiden ja tilastotieteen kursseja, jotka luovat hyvän pohjan biologisen tutkimuksen kvantitatiivisten aineistojen käsittelylle. Tutkijakoulutettaville pyritään järjestämään lisäkursseja tai ohjaamaan heidät tilastotieteen järjestämille erikoiskursseille.

Yhteiskuntatieteellisessä tiedekunnassa on tilastotieteen laitos, jossa pääaineet ovat tilastotiede ja biostatistiikka. Jälkimmäisessä keskitytään erityisesti lääkeaineiden kehityksen kliinisen tutkimuksen tilastollisiin menetelmiin.

### 2.1.12 Vaasan yliopisto

Teknisessä tiedekunnassa oleva matemaattisten tieteiden laitos tarjoaa matematiikan, talousmatematiikan ja tilastomatematiikan opetusta. Laskennalliset tieteet ovat tärkeässä osassa tiedekunnan kaikissa laitoksissa. Vaasan erityisosaamiseen kuuluvat talouteen ja rahoitukseen liittyvät matemaattiset menetelmät ja optimointimenetelmät. Opetuksessa ja tutkimuksessa on pyritty huomi-

oimaan ympäristössä olevan teollisuuden tarpeet ja toimimaan yhteistyössä sen kanssa mahdollisimman paljon. Vaasassa kaivattaisiin yhteistyökumppaneita erityisesti matemaattisen mallintamisen alalla.

### 2.1.13 Åbo Akademi

Laskennallinen opetus on keskittynyt matematiikan laitokselle, joka vastaa myös muiden koulutusohjelmien matematiikan perusopetuksesta. Pääaineeksi laitoksella voi valita matematiikan, soveltavan matematiikan tai tilastotieteen. Sivuaeineina matematiikasta on tarjolla matematiikka (lyhyt ja pitkä), diskreetti matematiikka ja pitkä sivuaine tietojenkäsittelijöille.

Laskennallisia painopisteitä ovat sumea joukko-teoria, sumea matematiikka, optimointi ja älykkäät järjestelmät sumeilla komponenteilla. Åbo Akademi on sumeiden menetelmien kansallinen keskus. Toinen painopiste on epälineaarinen sekaluukuoptimointi, 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 tärkeäksi tutkimusalueeksi. Toisaalta harva tiedekunta lukee laskennalliset tieteet kokonaisuutena strategisesti tärkeäksi kehityskohteeksi, vaan yleensä keskitytään jollekin kapeammalle sektorille. Aalto-yliopistossa laskenta ja mallinnus nostetaan strategiassa yliopiston vahvuusalueeksi.

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 ollut.



## 2.2.1 Aalto-yliopisto

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. Perustieteiden korkeakoulussa laskennalliset tieteet ovat strateginen painoala. Aalto-yliopiston strategiassa laskenta ja mallinnus todettiin vahvuusalaksi.

## 2.2.2 Helsingin yliopisto

Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa edistetään muun muassa seuraavia strategisia tutkimusalueita: avaruustutkimus, biologisen tiedon data-analyysi, geoinformatiikka, geotieteet, ilmakehätieteet, kaupunkitutkimus, laskennalliset tieteet, hiukkasfysiikka, matemaattinen fysiikka sekä nanotiede ja ympäristön perustutkimus. Yliopistossa toimii sekä Suomen Akatemian että yliopiston tukema laskennallisen molekyyli­tutkimuksen sekä ilmakehän koostumuksen ja ilmastonmuutoksen fysiikan, kemian, biologian ja meteorologian huippuyksiköt, joissa molemmissa tehdään mittavaa laskennallista tutkimusta.

## 2.2.3 Itä-Suomen yliopisto

Strategiansa mukaan Itä-Suomen yliopisto on kansainvälinen ja arvostettu monialainen tiedeyliopisto, joka tunnetaan korkeatasoisesta tutkimuksesta ja vetovoimaisesta koulutuksesta. Yliopiston vahvuusalueina ovat metsien ja ympäristön, terveyden ja hyvinvoinnin sekä uusien teknologioiden ja materiaalien tutkimus. Näistä erityisesti uusien teknologioiden ja materiaalien kohdalla laskennallisilla tieteillä on tärkeä merkitys.

Yliopistossa 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. Helsingin ja Itä-Suomen yliopistoilla sekä Ilmatieteen laitoksella on yhteinen Ilmakehän koostumuksen ja ilmaston muutoksen fysiikan, kemian, biologian ja meteorologian huippututkimusyksikkö.

## 2.2.4 Jyväskylän yliopisto

Jyväskylän yliopiston vuoteen 2017 ulottuvassa strategiassa mainitaan viisi painoaluetta, joista laskennalliset tieteet liittyvät kahteen: luonnon perusilmiöt ja aineen rakenne sekä ihmisläheinen teknologia. Näistä ensimmäinen on matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan ja jälkimmäinen informaatioteknologian tiedekunnan tietotekniikan laitoksen opetusta ja tutkimusta.

Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan tutkimuksen tärkeitä osa-alueita ovat esimerkiksi geometrinen analyysi ja matemaattinen fysiikka, spatiaalinen tilastotiede, pitkittäisaineistojen ja rakenneyhtälömallien tutkimus sekä luonnontieteiden ja matematiikan opettajankoulutus. Tiedekunnassa olevan matematiikan ja tilastotieteiden laitoksen vahvuus- ja kehittämisalueita ovat matemaattinen analyysi, tilastotiede, stokastiikka sekä edellä mainittu matematiikan aineenopettajien koulutus.

Informaatioteknologian tiedekunnassa tietotekniikan laitoksella tutkimuksellisenä vahvuusalueena on tieteellinen laskenta (simulointi ja optimointi). Tulevaisuudessa tietotekniikan laitoksen strategiassa painotetaan entistä enemmän tieteellistä laskentaa, optimointia ja laskennallista älykkyyttä ohjelmistotekniikassa.

## 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 toimintasuunnitelma. Erityisesti on perustettu CEID-yksikkö (Computational Engineering and Integrated Design) kokoamaan yhteen laskennallisten tieteiden 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

Laskennallisia tieteitä ei ole suoranaisesti 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 informaatiotekniikan eri alueilla tutkimusta tekevistä tutkimusryhmistä. 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. Uutena avauksena on bioinformatiikka, joka on osaamisalueena vahvistumassa biologian laitoksella.

## 2.2.7 Tampereen teknillinen yliopisto

Asetettujen strategisten tavoitteiden saavuttamiseksi laskennalliset tieteet perustanaan matemaatiikka ovat oleellinen osa TTY:n tutkimus- ja opetustoimintaa.

## 2.2.8 Turun yliopisto

Turun yliopiston strategiaan nimetyt vahvuusalueet, kuten molekylaarinen systeemibiologia ja suurten seurantatutkimusten tiedonlouhinta, tarvitsevat kehittyneitä laskennallisia menetelmiä. Laskennallisia tieteitä ei ole sellaisenaan mainittu yliopiston strategiassa. Turun yliopisto etsii lupautuvia, 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 strategiaa painopistealoja ovat biotieteet ja matemaattiset menetelmät, mutta huippuosaamista on myös monilla muilla aloilla, kuten 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 yritysten tutkimus- ja kehitystoiminnan kriittinen menestystekijä. Sitä tarvitaan yhä useammalla alalla; tarpeita syntyy myös muille kuin puhtaasti laskennallisille aloille, kuten logistiikkaan ja strategiseen suunnitteluun. Yritykset ja organisaatiot tarvitsevat osaajilta paitsi pelkkää laskentaosaamista, myös sujuvaa ohjelmointitaitoa ja laskentasovellusten hallintaa. 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, mutta toisaalta infrastruktuuriin on satsattava säännöllisesti. Laskentatehoa haasteellisempi ongelma on datan esikäsittelyyn ja tulostulvan hallintaan liittyvät menetelmät.

Yliopistojen ja yritysten välistä yhteistyötä on potentiaali huomioiden liian vähän. Yritysmailman ja yliopistojen resurssien tarve ja tulosodotukset eivät aina kohtaa, mikä nousee yhteistyötä vaikeuttavaksi ongelmaksi. Kehittyvä yritys tarvitsee tuloksia nopeasti, ja yliopistojen tarve yrityksiltä ja organisaatioilta ovat data ja erilaiset teoreetikoiden pohdittavaksi tulevat ongelmat. Näin yliopistot voivat säilyttää tutkimustyöhön ja innovaatioihin vaadittavan vapauden toimien silti molempia osapuolia hyödyttävässä yhteistyössä eri organisaatioiden kanssa. TEKES:n rooli uusimman tutkimustiedon siirtymisen vauhdittamisessa on keskeinen. TEKES:n yrityshankkeissa tulisi edellyttää uusimman tutkimustiedon hyödyntämistä.

## 2.4 Laskennallisten tieteiden yhteisöt Suomessa

Suomessa toimii yhdistyksiä, jotka ovat tekemisissä laskennallisten tieteiden kanssa. Nämä ovat pääsääntöisesti eri yliopistojen saman alan professori- ja tutkijakunnasta muodostuneita rekisteröityneitä yhdistyksiä.

### 2.4.1 Suomen laskennallisten tieteiden seura ry – Sulatis

Suomen laskennallisten tieteiden seura on tieteellinen yhdistys, jonka tavoitteena on laskennallisten tieteiden aseman vahvistaminen ja alan tulosten hyödyntämisen tukeminen Suomessa. Yhdistys edistää laskennallisten tieteiden kehittämistä ja tutkimustulosten hyödyntämistä elinkeinoelämässä ja yhteiskunnassa sekä tukee alan tutkimustyötä ja tutkijoiden välistä yhteistyötä.

Sulatis järjestää tieteellisiä kokouksia, seminaareja ja muita tapahtumia sekä harjoittaa tiedotus- ja

julkaisutoimintaa. Yhdistys voi taloutensa ja varojensa puitteissa myöntää tukea tutkijoiden matka- ja muihin stipendeihin, julkaisutoimintaan, tieteellisten kokousten järjestämiseen ja muuhun käyttötarkoitukseen laskennallisten tieteiden edistämiseksi.

### 2.4.2 Suomen Operaatiotutkimusseura ry (Finnish Operations Research Society, FORS)

Seuran tarkoituksena on kehittää ja edistää operaatiotutkimusta ja sen soveltamista sekä toimia siitä kiinnostuneiden henkilöiden yhdyssiteenä. Seuraan voi liittyä kuka tahansa operaatiotutkimuksesta kiinnostunut henkilö. Seura järjestää vuosittain kaksi seminaaria ja ekskursion operaatiotutkimusta soveltaviin yrityksiin. Näistä, sekä seuran muista ajankohtaisista tapahtumista tiedotetaan Internet-sivuston lisäksi seuran jäsenlehdessä INFORS:issa.

Operaatiotutkimuksen tarkoituksena on avustaa käytännön suunnittelua ja päätöksentekoa soveltamalla systemaattisia suunnittelumenetelmiä yleensä tietotekniikkaa käyttäen. Se pyrkii lisäämään johtamisongelmien hallittavuutta ja ymmärtämistä sekä luomaan malleja, joilla voidaan tutkia erilaisten päätösvaihtoehtojen aiheuttamia seurauksia. Operaatiotutkimuksen menetelmiä on sovellettu menestyksekkäästi monilla liikkeenjohdon, teollisuuden ja julkisen hallinnon aloilla.

### 2.4.3 Suomen matemaattinen yhdistys

Suomen matemaattinen yhdistys (SMY) on matematiikan tutkijoiden, soveltajien ja opiskelijoiden yhdistys. Yhdistyksen tarkoituksena on edistää matematiikan tutkimusta ja harrastusta Suomessa.

## 3 Laskennallisten tieteiden koulutus

Kartoituksen avulla on selvitetty, millaista laskennallisiin tieteisiin liittyvää koulutusta Suomen korkeakouluissa järjestetään. 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 on pyritty osallistumaan kansainvälisiin mallinnuskilpailuihin.

Kartoituksen perusteella nähdään, että laskennallisten tieteiden opetusta tarjotaan kaikissa korkeakouluissa. Opetus on jakautunut maahan sirpaleisesti ja koordinoimattomasti. Päällekkäistä opetusta on jonkin verran. Yhtenä ongelmana voidaan nähdä se, että opetusta ja osajia on, mutta paikoitellen osaaminen pysyy alakohtaisena. Osajat pitäytyvät siis oman erikoisalansa parissa, vaikka mahdollisuuksia poikkitieteelliseen yhteistyöhön opetuksen suhteen olisi läpi koulutusalarajojen nykyistä laaja-alaisemmin.

Kartoituksen myötä käy 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 laboratorioiden osaamista ja tutkimushankkeita, koordinoita ja keskittää laskentamenetelmien, ohjelmistojen ja tietokoneresurssien kehittämistä sekä panostaa tutkijakoulutukseen ja seminaareihin.

Lisäksi kansainvälisen vertailun mahdollistamiseksi raporttiin on liitetty yhdeksän ulkomaisen yliopiston kurssitarjontaa (liite 2).

## 3.1 Maisteriopetus

Laskennallisiin tieteisiin liittyvän ylemmän korkeakoulututkinnon voi suorittaa lähes kaikissa korkeakouluissa pois lukien Lapin ja 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.

### 3.1.1 Aalto-yliopisto

Aalto-yliopistossa laskennallisia tieteitä opetetaan maisteritasolla tietojenkäsittelytieteen, matematiikan ja systeemianalyysin, teknillisen fysiikan ja lääketieteellisen tekniikan sekä laskennallisen tieteen laitoksilla. Matematiikan ja systeemianalyysin laitoksella voi suorittaa matemaatikkoinisöörin tutkinnon ja 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 tähtävään koulutukseen aihepiireinä ovat informaatiotekniikka, kieliteknologia, laskennallinen tiede, tietojenkäsittelyteoria sekä laskennallinen ja kognitiivinen biotiede.

### 3.1.2 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 suuntautumismahdollisuuksia, esimerkiksi algoritmit ja koneoppiminen. Fysiikan laitoksella on mahdollisuutena erikoistuminen laskennalliseen fysiikkaan ja kemian laitoksella laskennalliseen kemiaan. Kokeellisen hiukkasfysiikan yhteydessä opiskelija voi perehtyä monipuolisesti laskennallisiin menetelmiin. Fysiikan ja kemian laitoksella on käynnissä yhteinen molekyyli- ja nanotieteen simulointien kansainvälinen maisteriohjelma "MoMoNano".

### 3.1.3 Itä-Suomen yliopisto

Itä-Suomen yliopistossa on mahdollisuus suorittaa matematiikan-, tilastotieteiden- ja Scientific Computing Master program – maisterintutkinnot. Fysiikan laitoksella voi valita pääaineeksi laskennallisen tekniikan, ja kemian laitoksella suorittaa maisterin tutkinnon kemisti- ja kemistitutkijalinjoilla. Molemmissa vaihtoehdoissa laskennallinen kemia on pääroolissa.

### 3.1.4 Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunnan koulutustarjonta on järjestetty PITAC:in suositusten mukaisesti: laskennallisten menetelmien teoria, algoritmi- ja kompleksisuustutkimus, ohjelmistotekniikka sekä tietojärjestelmät, tietokannat sekä tietoliikenne. Tarjontaa täydentää matematiikan ja tilastotieteen laitoksen matemaattisen analyysin, stokastiikan koulutus sekä laskennallisia menetelmiä hyödyntävien laitosten koulutus. Opiskelija voi painottaa koulutusta yksilöllisesti teoreettiseen tai soveltavaan.

Tietotekniikan laitoksella laskennalliset tieteet on yksi maisteritutkinnon suuntautumisvaihtoehdoista. Fysiikan laitoksella ovat teoreettisen- ja soveltavan fysiikan pääainelinjat ja lisäksi nanotieteiden koulutusohjelma. Kemian laitoksella on

laskennallisen kemian suuntautumisvaihtoehto. Matematiikan laitoksella on tarjolla stokastiikkaan ja todennäköisyysteoriaan keskittyvä linja.

### 3.1.5 Lapin yliopisto

Rovaniemellä ainoastaan matematiikan opettajiksi opiskelevat voivat lukea matematiikkaa ai-neopintojen tasolle. Tarjolla ei ole maisteritason opetusta.

### 3.1.6 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.

### 3.1.7 Oulun yliopisto

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

### 3.1.8 Svenska Handelshögskolan

Svenska Handelshögskolanilla on Vaasassa englanninkielinen maisteriohjelma Quantitative Financial Economics, jossa opiskellaan rahoitusteorian käytännön sovelluksia erityisesti tutkimuskäyttöön (mm. ekonometria ja matemaattinen optimointi).



### 3.1.9 Tampereen teknillinen yliopisto

Kaikkiin koulutussuuntiin kuuluu runsaasti opintoja laskennallisiin menetelmiin liittyen. 20 opintopisteen laajuisista aineopintojaksoista laskennallisiin menetelmiin liittyvät erityisesti matemaattinen mallinnus (verkostohanke) ja teknillisen laskennan menetelmät. 30 opintopisteen laajuisista syventäviin opintoihin kuuluvista opintojaksoista laskennallisiin menetelmiin liittyvät: 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.

### 3.1.10 Tampereen yliopisto

Tampereen yliopistossa on saatavilla matematiikan ja tilastotieteiden pääaineopinnot. Bioteknologian koulutusohjelmassa voi suuntautua bioinformatiikkaan, ja lisäksi tarjolla on kansainvälinen maisteriohjelma Master's Degree Programme in Bioinformatics. Tietojenkäsittelytieteiden laitoksella on saatavilla algoritmiikan maisteriohjelma.

### 3.1.11 Turun yliopisto

Fysikaalisissa tieteissä oppiaineina ovat fysiikka, materiaalitiede, teoreettinen fysiikka ja tähtitiede, joihin kaikkiin sisältyy sekä matemaattisten että laskennallisten menetelmien opetusta. 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.

### 3.1.12 Vaasan yliopisto

Matemaattisten tieteiden laitokselle on keskitetty kokonaisvastuu matemaattisten aineiden opetuk-

sesta, tutkimuksesta ja kehittämisestä. Varsinaisia pääaineopiskelijoita laitoksella ei perustutkintotasolla ole, vaan laitoksen opetus suuntautuu sovellusalueille.

### 3.1.13 Åbo Akademi

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

## 3.2 Jatkokoulutus

Laskennallisiin tieteisiin tai tieteisiin, jotka hyödyntävät laskennallisia menetelmiä voi jatkokouluuttua lähes joka yliopistossa.

### 3.2.1 Aalto-yliopisto

Aalto-yliopiston 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.

### 3.2.2 Helsingin yliopisto

Filosofian tohtorin jatkotutkinnon voi suorittaa fysiikan, teoreettisen fysiikan, geofysiikan, meteorologian, tähtitieteen, kemian, tietojenkäsittelytieteen, maantieteen, geologian, matematiikan, soveltavan matematiikan ja tilastotieteen aloilta.

### 3.2.3 Itä-Suomen yliopisto

Filosofian tohtorin tutkinnon voi suorittaa fysiikassa, matematiikassa, tilastotieteessä, tietojenkäsittelyssä ja kemiassa. Laskennallinen kemia on ollut pääroolissa viime vuosikymmeninä noin parissakymmenessä väitöskirjassa. Sovelletun fysiikan laitoksella on useita jatkokoulutuslinjoja, kuten teknillinen ja laskennallinen fysiikka.

### 3.2.4 Jyväskylän yliopisto

Filosofian tohtorin jatkotutkinnon voi suorittaa fyysiikan, kemian, matematiikan ja tilastotieteen sekä tietotekniikan laitoksilta. Informaatiotekniikan tiedekunnan sekä matematiikan ja tilastotieteen laitoksen tutkijakoulutus on organisoitu COMAS (Graduate School in Computing and Mathematical Sciences) tutkijakoulun alle neljään eri linjaan.

### 3.2.5 Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Mahdollisuus suorittaa tohtorin tutkinto sovelletusta matematiikasta ja tietotekniikan alalta.

### 3.2.6 Oulun yliopisto

Oulussa toimii tutkijakoulu Infotech, jossa on meillä monia laskennallisia tieteitä hyödyntäviä projekteja. Luonnontieteissä filosofian tohtorin tutkinto on mahdollista suorittaa matematiikasta, sovelletusta matematiikasta, tilastotieteistä ja laskennallisesta fysiikasta. Luonnontieteellisessä tiedekunnassa annetaan myös bioinformatiikan koulutusta. Lisäksi jatko-opiskelijoille järjestetään vallitsevan tarpeen mukaan räätälöityjä kursseja. Biocenterin tutkijakoulussa yhtenä tutkimusalueena on biocomputing.

### 3.2.7 Svenska Handelshögskolan

Ei laskennallisiin tieteisiin suuntautunutta jatkokoulutuslinjaa.

### 3.2.8 Tampereen teknillinen yliopisto

Suoritettavissa on tekniikan tohtorin tutkinto. Eriyisin perustein voidaan suorittaa filosofian tohtorin tutkinto.

### 3.2.9 Tampereen yliopisto

Tampereen yliopistossa on mahdollista suorittaa tohtorin tutkinto matematiikassa, tilastotieteessä, bioinformatiikassa sekä tietojenkäsittelyopissa, jossa on tehty useita laskennalliseen tieteeseen luettavia väitöskirjoja.

### 3.2.10 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, mikroelektronikassa, tietoliikennetekniikassa tai tietotekniikassa. Yhteiskuntatieteellisessä tiedekunnassa voi suorittaa tilastotieteen jatkotutkinnon.

### 3.2.11 Vaasan yliopisto

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

### 3.2.12 Åbo akademi

Jatkotutkinto on suoritettavissa matematiikan, soveltavan matematiikan ja tilastotieteen aloilla.

### 3.3 Tutkijakoulut

Suomessa toimii laaja opetusministeriön rahoittama tutkijakouluverkosto tukemassa jatkokoulutusta ja tutkimusta. Myös laskennallisia tieteitä tukee usea tutkijakoulu monelta eri alalta. Laskennallisten tieteiden asemaa tutkijakoulujen joukossa vahvisti vuoden 2009 aikana perustettu laskennallisten tieteiden tutkijakoulu. Laskennallisen biologian, bioinformatiikan ja biometriian tutkijakoulu yhdistyi laskennallisten tieteiden tutkijakouluun, ja uusi tutkijakoulu tarjoaa 25 rahoituspaikkaa laskennallisten tieteiden tutkimukseen. Oppilaskoulutus päättyi vuoden 2009 loppuun mennessä ja tutkijakoulun toiminta alkoi täysipainoisesti vuoden 2010 alussa.

Tällä hetkellä tutkijakoulujen asema painottuu yksittäisten tutkijoiden tutkimustyön rahoittamiseen ja tukemiseen. Tutkijakouluverkostolla on potentiaalia tiivistää koulujen välistä yhteistyötä. Koulumaisempi tutkijakoulu kehittäisi kollektiivista yhdessä tekemistä, ja näin menetelmäosaaminen saataisiin 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, ISY, JY, 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 (AALTO, JY, TTY, LTY, OY, VY, ÅA)
- Graduate School in Electronics, Telecommunications and Automation (AALTO, 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 (AALTO, HY, JY, KY, LTY, OY, TTY, ÅA)
- International Graduate School in Biomedical Engineering and Medical Physics (TTY, AALTO, KY, OY, TY)
- National Graduate School in Materials Physics (AALTO, HY, JY, TTY, OY, TY)
- Teknillisen mekaniikan tutkijakoulu (AALTO, JY, LTY, OY, TTY)
- The Finnish Graduate School in Computational Fluid Dynamics (AALTO, JY, TTY, LTY)

#### Kemian ala

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

#### Matemaattiset ja tilastotieteelliset alat

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

#### Nanotieteet

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

#### Tieteellinen laskenta & tietotekniset alat

- East Finland Graduate School in Computer Science and Engineering (LTY, ISY)
- Graduate School in Computational Methods of Information Technology (AALTO, HY, JY)



- Helsinki Graduate School in Computer Science and Engineering (AALTO, HY)
- Jyväskylä Graduate School in Computing and Mathematical Sciences (JY)
- Finnish Doctoral Programme in Computational Science FICS (AALTO, HY, JY, OY, TTY, TAY, TY, LTY, ISY)
- Turku Center of Computer Science Graduate School (TY, ÅA)

#### Muut

- Ilmakehän koostumuksen ja ilmastomuutoksen fysiikka, kemia, biologia ja meteorologia (HY, ISY, ITL)
- Systeemanalyysin, päätöksenteon ja riskienhallinnan tutkijakoulu (AALTO, HKKK)

## 3.4 Sivuaineopetus

Laskennallisiin tieteisiin kuuluvia sivuaineita voi suorittaa kaikissa yliopistoissa. Valtaosa tarjottavista sivuaineista on matematiikkaa 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.

### 3.4.1 Aalto-yliopisto

Aalto-yliopistossa kaikki pääaineet, kuten matematiikan, teknillisen fysiikan, informaatiotekniikan ja tietojenkäsittelytieteen, voi suorittaa myös sivuaineina. Erikoisuutena on usean laitoksen yhdessä järjestämä Laskennallisten tieteiden ja tekniikan laaja sivuainekokonaisuus.

### 3.4.2 Helsingin yliopisto

Helsingin yliopistossa on luettavissa matematiikan-, teoreettisen fysiikan- ja tilastotieteen sivuaineet. Tilastotieteessä opintokokonaisuuteen kuuluvat soveltavan tilastotieteen perusopinnot

ja tutkimusmenetelmät yhteiskuntatieteissä (valtiotieteellisessä tiedekunnassa).

Matemaattis-luonnontieteellisen 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 oman koulutusohjelmansa tutkintovaatimusten mukaisesti koota kokonaisuuden tutkintoonsa.

### 3.4.3 Itä-Suomen yliopisto

Matematiikasta, fysiikasta, kemiasta ja tilastotieteistä on luettavissa perus-, aine- ja syventävät opinnot. Matematiikan luokanopettajiksi opiskeleville on tarjolla lisäksi didaktisen matematiikan perus- ja aineopinnot. Tarjolla on myös matemaattisten menetelmätieteiden sivuainekokonaisuus.

### 3.4.4 Jyväskylän yliopisto

Jyväskylän yliopistossa on opiskeltavissa matematiikan, tilastotieteen ja tietotekniikan perus- ja aineopinnot, ja matematiikasta lisäksi syventävät opinnot. Fysiikan alalla voi sivuaineopintoina suorittaa kaikille vapaat fysiikan ja elektroniikan perus-, aine- ja syventävien opintojen sekä soveltavan fysiikan ja teoreettisen fysiikan syventävien opintojen opintokokonaisuudet. Kemian laitoksella on suoritettavissa kemian perus-, aine- ja syventävät opinnot. Informaatioteknologian ja matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta ovat sivuaineina avoimia kaikille yliopisto-opiskelijoille. Laskennallisten tieteiden -linjan koulutus on avointa sivuaineopiskelijoille.

### 3.4.5 Lapin yliopisto

Lapin yliopistossa on tarjolla sivuaineina soveltava matematiikka ja tilastotiede, joiden tarkoitus on tarjota menetelmäopintoja pääaineiden tueksi.

### 3.4.6 Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Sivuainevaihtoehtoja ovat teknillinen matematiikka, tietojenkäsittely/älykäs laskenta ja kvantitatiiviset menetelmät.

### 3.4.7 Oulun yliopisto

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

### 3.4.8 Svenska Handelshögskolan

Tarjolla ei ole laskennallisten tieteiden sivuainekokonaisuutta, vaan menetelmät opiskellaan oleellisena osana tutkintoa.

### 3.4.9 Tampereen teknillinen yliopisto

25 opintopisteen sivuainekokonaisuuksia ovat matemaattinen mallinnus (verkostohanke) ja teknillisen laskennan menetelmät. Laskennallinen systeemibiologia, matemaattinen mallinnus ja teollinen laskenta, lääketieteellinen laskenta, oppivat järjestelmät, paikannus ja navigointi, koneiden ja rakenteiden analysointi, laskennallinen fysiikka, biologinen fysiikka, puolijohdefysiikka, virtaustekniikka sekä voimalaitos- ja polttotekniikka ovat 30 opintopisteen sivuainekokonaisuuksia.

### 3.4.10 Tampereen yliopisto

Tampereen yliopistossa on käytössä vapaa sivuaineneikeus. Laskennallisia menetelmiä on opiskeltavissa seuraavissa aineissa: matematiikka, tilastotiede, bioinformatiikka, tietojenkäsittelyoppi ja informaatiotutkimus.

### 3.4.11 Turun yliopisto

Sivuainevaihtoehtoja ovat matematiikka, sovellettu matematiikka, fysiikka, tilastotiede ja informaatioteknologia.

### 3.4.12 Vaasan yliopisto

Tarjolla ovat talousmatematiikan ja tilastotieteen-, tilastotieteen ja stokastiikan- ja matematiikan sivuaineet. Valittavissa on myös matematiikan laaja sivuaine ja teknisten tieteiden sivuainekokonaisuus.

### 3.4.13 Åbo Akademi

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

## 3.5 Täydennyskoulutus

Täydennyskoulutusta järjestetään eri yliopistoissa pääasiassa kunkin hetkisen tarpeen vaatiessa. Esimerkiksi Oulun yliopiston teknillinen tiedekunta järjestää tarvittaessa kursseja paikallisten yritysten henkilökunnalle. Yleensä täydennyskoulutus suunnataan tutkinnon suorittaneille opiskelijoille, jotka voivat näin täydentää omaa osaamistaan tai suorittaa keskeneräiseksi jääneitä opintokokonaisuuksiaan valmiiksi.

Osittain erilaista täydennyskoulutusta on hankkeistettu erilaisten kehittämishankkeiden kautta. Vuosina 2009-2012 on käynnissä muun muassa Jyväskylän ja Lappeenrannan teknillisessä yliopistoissa laskennalliset tieteet ja työelämä hanke,

jonka tavoite on kertoa yritysten ja koulutusjärjestelmän eri tahoilla mallinnuksen, laskennan ja matemaattisen osaamisen merkityksestä teollisuuden ja teknologian kehityksen avaimena.

### 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 kattaa kaikki asteet varhaiskasvatuksesta yliopistoon, ja lisäksi pyritään tukemaan lasten ja nuorten luonnontieteellistä, matemaattista ja 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-keskukset edistävät toiminnallaan koululaitosten, yliopiston ja elinkeinoelämän välistä yhteistyötä konkreettisten tutkimus-, kehittämis- ja koulutusprojektien, teemapäivien, kesäkoulujen sekä tiedeleirien ja -kerhojen kautta.

Valtakunnallinen LUMA-keskus toimii sateenvarjo-organisaationa yliopiston, koulujen, kotien ja elinkeinoelämän yhteistyömuodoille ja tarjoaa toiminta-alustan toteuttaa erilaisia hankkeita, kekeilla 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 Aalto-yliopisto

#### Kemian tekniikan korkeakoulu

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

Bioprosessien mallinnuksen ja säädön tutkimushankkeissa on keskitytty lähinnä kahden ilmiön ymmärtämiseen; solujen tuottavuuden säätelyyn ja soluperäisen tuotteen laadunohjaukseen. Projektin tavoitteena on kehittää biologisen prosessin mittausta ja hallintaa siten, että säätöä lähestytään biologiselta puolelta. Bioprosessien mallinnus ja simulointi muodostavat myös oman opetuskohteensa.

#### Insinöörیتieteiden korkeakoulu

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

#### Perustieteiden korkeakoulu

Lääketeieteellisen 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 tekniikoita, joilla selvitetään terveydenhuoltoon, lääketieteelliseen diagnostiikkaan, yhteiskuntaan, energiaan ja ympäristöön liittyviä ongelmia.

Matematiikan laitoksen vahvuusalueita ovat operaattoriteoria ja numeerinen lineaarialgebra, differentiaaliyhtälöt ja näiden numeriikka, geometrisen analyysi, stokastinen analyysi, laskennallinen mekaniikka, inversio-ongelmat, dynaamiset systeemit, operaatiotutkimus sekä systeemanalyysi ja optimointi. Laitoksen pääkontribuutio laskennallisiin tieteisiin on menetelmien analyysi ja kehitys. Se on myös mukana Suomen Akatemian Inversio-ongelmien huippuyksikössä.

Teknillisen fysiikan laitoksella on vahvat perinteet niin kokeellisesta kuin laskennallisesta ja teoreettisestakin 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 tietoa-aineistojen analysointiin sekä kompleksisten ohjelmisto- ja tietoverkkosovellusten mallintamiseen ja suunnitteluun. Laitoksen tutkimus ja opetus painottuvat tekniikan ja tieteen haastavien sovellusten tarvitsemiin edistyneisiin laskennallisiin menetelmiin. Laitoksessa toimii kaksi kansallista tutkimuksen huippuyksikköä: Adaptiivisen informatiikan tut-

kimuksen huippuyksikkö sekä osa Algoritmisen data-analyysin huippuyksikön tutkimusryhmistä.

## Sähkötekniikan korkeakoulu

Sähkötekniikan laitoksen tutkimuksessa kehitetään sähkökoneiden ja niissä käytettävien materiaalien mallinnusmenetelmiä.

## 4.2 Helsingin yliopisto

Laskennalliset tieteet kuuluvat Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan strategisiin tutkimusalueisiin. Muissa tiedekunnissa laskennallisten menetelmien käyttö on vähäisempää. Löytyy kuitenkin myös yksittäisiä tutkijoita, jotka käyttävät laskennallisia (yleensä tilastollisia) menetelmiä tutkimuksissaan.

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 saroilla. Matematiikan puolella tutkimuksen kohteita ovat dynaamiset systeemit, osittaisdifferentiaaliyhtälöt, stokastiikka ja geometria. Fysiikan puolella tutkimuskohteita ovat turbulenssi, tilastollinen mekaniikka ja kvanttikenttäteoriat.

Tietojenkäsittelytieteen laitoksen tutkimuksen strategisia painopistealueita ovat tällä hetkellä da-

ta-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 tutkimus. Näiden perustana on pitkään menestyksellisesti jatkuneissa hankkeissa saavutettu huippuosaaminen. Kemian ja fysiikan laitoksilla on yhteinen Suomen Akatemian huippuyksikkö Laskennallinen molekyyli­tutkimus (CMS) 2006–2011.

Fysiikan laitoksen tutkimus on vahvaa sekä kokeellisesti, teoreettisesti että laskennallisesti, ja se keskittyy ajankohtaisiin tärkeisiin tieteellisiin kysymyksiin. Materiaalifysiikan osastolla tehtävä kokeellinen ja laskennallinen materiaalitutkimus liittyy kahteen päätutkimusalueeseen, materiaalien rakenteeseen ja dynamiikkaan sekä niiden ominaisuuksiin ja muuntamiseen. Laskennallisesti tutkitaan aineen elektronirakennetta ja atomitason dynaamisia epätasapainoprosesseja. Ilmakehätieteissä tutkitaan meteorologian ja ilmakehätutkimuksen laskennallisia menetelmiä, kuten ilmastotutkimusta, säänennustusmallien kehittämistä ja Marsin kaasukehää. 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 hiukkasfysiikkaa kenttäteorioiden Monte-Carlo -simuloinneilla sekä ns. liikeyhtälöiden ratkaisulla. Kokeellista hiukkasfysiikkaa tutkitaan CERNin Large Hadron Collider (LHC) protoni-protoni -törmäyttimellä korkeimmilla mahdollisilla törmäysenergioilla. Lisäksi tehdään Planck-satelliitin data-analyysiä ja kehitetään sen vaatimia ohjelmistoja ja menetelmiä. Avaruusfysiikassa simuloidaan muun muassa aurinkotuulen vuorovaikutusta maapallon kanssa plasmafysikaalisella mallinnuksella.

Fysiikan tutkimuslaitoksen tutkimustyö liittyy teoreettiseen ja kokeelliseen hiukkas- ja ydinfysiikkaan, kosmologiaan sekä grid- ja klusterilas-



kentaan. Laskennallisia menetelmiä käytetään data-analyysissä, simulaatiossa ja yhtälöiden ratkaisemisessa. Ohjelmistokehitystä sekä laskentajärjestelmien kehitystä ja ylläpitoa tehdään osana Worldwide Large Hadron Collider Computing Grid – hanketta.

### 4.3 Itä-Suomen yliopisto

Yliopiston kemian laitoksen tutkimusta leimaa vahvasti poikkitieteellisyys, sillä tutkimusalueet ulottuvat hyvin laaja-alaisesti eri kemian alojen rajoille. Tutkimuskohteita ovat materiaalitieteet, fysikaalinen kemia ja molekyylibiologia. Erityisesti laskennallisia menetelmiä hyödynnetään molekyylihallinnuksessa, materiaalikemiassa ja nanokemiassa. Molekyylihallinnuksen keinoin tarkastellaan molekyylien ja materiaalien rakennetta ja ominaisuuksia. Keskeiset tutkimusalueet ovat materiaali-, pinta-, ja katalyyttimallinnus. Tutkimuksen apuna kemian laitoksella on käytettävissään laskentainfrastruktuuri, jolla kemian ilmiöitä tarkastellaan laskennallisilla menetelmin laboratoriotyön ohella.

Fysiikan tutkimus keskittyy moderniin optiikkaan ja fotonikkaan. Fotonikassa tutkitaan valon tuottamista, havaitsemista ja kulun ohjailua. Tutkimuksen tavoitteena on valon hyödyntäminen entistä tehokkaammin niin teollisuudessa kuin ihmisten jokapäiväisessä elämässäkin. Optiikan ja fysiikan tutkimuksen lisäksi fysiikan yksikössä tehdään didaktisen fysiikan tutkimusta. 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). Laskennalliset tieteet ovat teollisuusmatematiikan ja -fysiikan tutkimusalueen ydin. Aerosolifysiikan ja lääketieteellisen fysiikan tutkimuksessa laskennalliset menetelmät ovat myös keskeisessä roolissa.

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, tiedonlouhintaan ja tiedon pakkaukseen. Kuvan pakkaus, puhujan tunnistus ja klusteroinnin algoritmit ovat keskeisiä tutkimusaiheita. Tuloksia voidaan soveltaa äänen biometriikassa, data-analyysissä ja mobiileissa navigaatiojärjestelmissä.

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

### 4.4 Jyväskylän yliopisto

Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitoksella tutkimuksen kansainvälinen vahvuusalue on tietellinen laskenta ja siihen liittyvät tekniset sovellutukset. Tutkimuskohteina ovat matemaattinen mallintaminen ja mallien numeeriset ratkaisumenetelmät. Lisäksi tietotekniikan laitoksella on kansainvälistä tasoa oleva data mining-, optimointi- ja logistiikkaryhmä. 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. Laitoksella on kaksi FiDiPro professuuria A. Averbuch ja A. Nandi. Laitos sai tutkimuksen kansainvälisessä vertaisarvioinnissa kokonaisarvosanan 5/5.

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 ja biotieteiden tutkimusta. NanoScience Center toimii kiinteästi yliopiston yhteydessä. Keskuksessa tutkitaan laskennallisesti muun muassa pehmeän aineen fysiikkaa sekä nanorakenteiden elektronisia ja atomaarisia ominaisuuksia.

## 4.5 Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Matematiikan laitos on osa Suomen akatemian Inversio-ongelmien huippututkimusyksikköä ja kuuluu inversiomenetelmien tutkijakouluun. Tutkimuksen painopisteenä 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 ja materiaalien laskennallinen mallinnus multiskaalamenetelmillä. Tutkimuksen pääpaino on kuitenkin ab initio -mallinnuksessa. Sovelletun matematiikan laboratorion tärkeimpiä yhteistyöprojekteja ovat muun muassa toimiminen Suomen Akatemian Inversio-ongelmien huippuyksikössä ja Tekesin MASI-ohjelmassa. Fysiikan laboratorion tutkimuskohteet keskittyvät optiseen mittaustekniikkaan ja materiaalfysiikkaan. CEID-instituutissa toimii älykkäiden koneiden

tutkimusryhmä, joka yhdessä konetekniikan osaston tutkijoiden kanssa muodostaa virtuaalilisuunnittelun 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. Osastolla toimii kansallinen Suomen Akatemian virtaustekniikan tutkijakoulu. Kemian tekniikassa simuloidaan ja optimoidaan kemiallisten reaktoreiden toimintaa, erityisesti monifaasi- 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 tutkimuskohteina ovat mekatronisten koneiden simulointi ja optimisuunnittelu, koneiden 3D-mallinnus ja simulointi, elementtimenetelmät (FEM) sekä rakenteiden optimointi.

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

Sähkötekniikan osasto koordinoi valtakunnallisen sähkötekniikan tutkijakoulun toimintaa. Tutkimuksen aihealueita ovat tehoelektronikan ja sähkökäyttöjen säätö sekä säätöalgoritmit.

Tietotekniikan laitoksella laskennallisten tieteiden tutkimusta tehdään konenäön ja hahmon-tunnistuksen tutkimusryhmässä, jossa tutkitaan erityisesti oppivia ja adaptiivisia laskennallisia malleja, näiden laskenta- ja ratkaisumenetelmiä sekä sovelluksia muun muassa tietokonenäössä, biomolekyylien mallinnuksessa, lääketieteen diagnostiikassa ja robotiikassa. Tutkimusryhmä on vahvasti verkottunut ja ryhmässä tehtävä soveltava tutkimus tehdään tyypillisesti yhteishankkeissa partnereiden, kuten lääkäreiden, kanssa. Tutkimusryhmä on valittu yliopiston tutkimuksen kärkiyksiköksi.

## 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, ftoniikka, nanoteknologia, konenäkö, älykkäät järjestelmät, joka paikan tietotekniikka ja hyvinvointitekniikka. Infotech Oulu 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 Well-Tech-laitos, joka keskittyy lääketieteen tekniikan ja hyvinvointitekniikan opetukseen ja tutkimukseen.

Teoreettisen matematiikan alalla tutkitaan matemaattisia ongelmia niiden kiinnostavuuden vuoksi. Tutkimus on pitkäjänteistä perustutkimusta, joka usein johtaa uudentyyppisten kysymysten esittämiseen ja uusien ratkaisumenetelmien kehittämiseen. Laitoksen sovelletun matematiikan ja tilastotieteen tutkimuksella on aktiiviset yhteydet ympäröivään yhteiskuntaan. Sovelletua matematiikkaa hyödynnetään tehokkaasti yritysten tuotekehitystoiminnassa. Erityisesti laskennallisten menetelmien tutkimuksen (algoritmit, simulointi, mallintaminen) avulla lisätään yritys-

ten kilpailukykyä ja tutkimuksen vaikuttavuutta yhteiskunnassa. Laskentaintensiivisiä tilastollisia menetelmiä sovelletaan menneen ja tulevan ilmastomuutoksen tutkimuksessa.

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

## 4.7 Svenska Handelshögskolan

Laskennallisia menetelmiä käytetään osana empiiristä tutkimusta. Rahoituksen tutkimus on pääsääntöisesti empiiristä tutkimusta kvantitatiivisilla metodeilla – esimerkiksi mikrokaupankäynnin analysointia (ns. "high frequency data"). Pääsääntöisesti hyödynnettävät laskennalliset menetelmät liittyvät ekonometriaan ja paneeliestimointeihin.

## 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 virtausmekaniikan, lämmönsiirron ja palamisen tutkimuksessa. Tutkimuksen 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), polttomootorit, kaasutustekniikat, CCS sekä metsäteollisuuden energiajärjestelmät ovat keskeisiä alueita, joissa tehdään mallinnuksen alueella sekä perus- että soveltavaa tutkimusta.



Kemian laboratoriossa keskitytään elektronien luovuttaja- ja vastaanottajamolekyylien muodostamien molekyyliparien absorptio- ja emisio-ominaisuuksien laskemiseen, varauksen ja energiansiirron kinetiikkaan sekä molekyylien elektronirakenteiden ja konformeerien optimointiin.

Fysiikan laitoksen tutkimuksen painopistealueita ovat biologinen fysiikka, nanotieteet, pintatieteet sekä 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 maailmanlaajuisesti muiden kokeellisten tutkimusryhmien kanssa. Lisäksi laskennallista tutkimusta tehdään teoreettisen ja laskennallisen materiaalfysiikan parissa.

Laskennalliset tutkimusalueet matematiikan laitoksella ovat biostatistiikka, data-analyysi, inversio-ongelmat, matemaattinen systeemiteoria, paikannus- ja navigointialgoritmit sekä laskennallinen finanssimatematiikka. Biostatistiikan pää-tutkimuskohteet 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 ja sähköinen impedanssitomografia. Matemaattisen systeemiteorian tutkimus keskittyy järjestelmiin, joihin voidaan vaikuttaa ohjaussignaaleilla. Tutkimuskohteina ovat erityisesti lineaarisilla osittaisdifferensiaaliryhtälöillä 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.

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

## 4.9 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 ja bioinformatiikassa lääketieteellisen teknologian instituutissa.

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

- Korvalääketiede (tasapaino- ja huimausmitaukset ja -analyysi sekä kuulon alenemisen data-analyysi)
- Neuropsykologia ja logopedia (puheentuoton virheiden mallintaminen, erityisesti afaattikojen virheet; data käsitellään tekstinä, ei puhe-signaalina)
- Bioinformatiikka (erityisesti aminohappojen ja DNA-merkkijonojen käsittely)
- Käyttöliittymätutkimukset (esimerkiksi silmäliikemittausten hyödyntäminen käyttöliittymissä)

Bioinformatiikan tutkimusalueita ovat laajojen lääketieteellisten ja biologisten data-aineistojen analysointi ja erilaiset ennusteet, erityisesti liittyen

geneettisten variaatioiden yhteyksistä sairauksiin. Toinen keskeinen tutkimusala on immunologiaan liittyvä systeemibiologia. Kaikki tutkimussuunnat sisältävät myös menetelmäkehitystä.

Tilastotieteessä yhtenä tutkimussuuntana ovat ta-  
loustieteelliset ja vakuutusalan sovellukset, joissa  
hyödynnetään bayesilaisia laskentaintensiivisiä  
menetelmiä. Toisena tutkimussuuntana ovat ro-  
bustit ja epäparametriset menetelmät. Tutkimus  
sisältää laskentaintensiivistä simulointia.

Matematiikan päätutkimussuuntauksia ovat lu-  
kuteoria, logiikka ja algebra, joissa ei juurikaan  
sovelleta tietokonelaskentaa.

## 4.10 Turun yliopisto

Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan tut-  
kimuksen strategisia painopistealoja ovat biotie-  
teet ja matemaattiset menetelmät, mutta huippu-  
osaamista on myös monilla muilla aloilla, kuten  
tähtitieteessä, mikroelektronikassa, bioinforma-  
tiikassa ja kaupunkitutkimuksessa. Matematiikan  
laitoksella toimii kolme tutkimusryhmää, jotka  
edustavat laskennallisia tieteitä: optimoinnin tut-  
kijaryhmä (muun muassa epälineaarinen ja epä-  
sileä optimointi, monitavoitteinen päätöksenteko  
ja monitavoiteoptimointi, suuret optimointiteh-  
tävät, metaheuristiikat, evoluutioalgoritmit, ja  
sekalukuoptimointi), biomatematiikan tutkimus-  
ryhmä (tiedonlouhinta, laskennallinen mallinnus,  
bioinformatiikka, biostatistiikka, laskennallinen  
systeemibiologia ja koneoppiminen) sekä lasket-  
tavuuden perusteet ja diskreetti matematiikka  
(Fundamentals of Computing and Discrete Mat-  
hematics, FUNDIM; sanat ja automaattit, koodaus-  
teoria, laskettavuuden teoria, soluautomaattit, mo-  
lekyyllilaskenta ja kvanttilaskenta).

Informaatioteknologian laitoksella laskennallista  
tutkimusta tekevät muun muassa algoritmiikka-  
laboratorio (moninaiset optimointi- ja mallinnus-  
menetelmät ja ohjelmistot, stokastinen optimoin-  
ti, kombinatorinen optimointi, evolutionaariset  
ja älykkäät tekniikat, energian tuotanto, jakelu ja  
kauppa, piirikortin valmistuksen tuotannonsuun-  
nittelu, prosessiteollisuuden tuotannonsuunnitte-

lu, monitavoitteinen päätöksenteko, heurististen  
menetelmien kehittäminen ja soveltaminen vai-  
keiden optimointiongelmiin ratkaisussa) ja bioin-  
formatiikan laboratorio (koneoppiminen, kieli- ja  
puheteknologia, tekstinlouhinta ja sen biolääke-  
tieteelliset ja terveystiedon sovellukset sekä ope-  
tusteknologia).

Laskennallinen tutkimus on keskittynyt Fysiikan  
ja tähtitieteen laitokseen, jossa sijaitsee yksi suo-  
malaisen M-grid:n solmu. Teoreettisen fysiikan  
laboratoriossa työskentelevässä laskennallisen  
materiaalifysiikan ryhmässä tutkimus keskittyy  
aineen sekä aineen ja säteilyn vuorovaikutuksen  
mallintamiseen. Tällä hetkellä tutkimuskohteina  
ovat seosmetallien ja -puolijohteiden pinnat sekä  
spintroniikan materiaalit. Saman laboratorion epä-  
lineaarisen fysiikan tutkimusryhmässä on tutkittu  
numeerisesti Faddeev-Hopfin ja Ginzburg-Lan-  
daun mallin solmumaisia topologiaa ratkaisuja.  
Optiikan ja spektroskopian laboratoriossa kehi-  
tetään signaalinkäsittelyyn ja spektrin laskentaan  
sopivia menetelmiä, kuten derivointia, dekonvo-  
lointia, tasoitusta ja taustanpoistoa. Tähtitieteessä  
tehdään laajoja kosmologisia simulointeja samoin  
kuin planeettasysteemien numeerisia analyysejä.

Biotieteiden tutkimus on Turun yliopiston laajin  
vahvuusalue. Tutkimus keskittyy solu- ja mole-  
kyyllitason ilmiöihin, niiden kokonaisuuteen ja  
sääteilyyn yksilöissä, yksilöiden sopeutumiseen,  
eliöiden evoluutioon sekä biologisten vuorovai-  
kutusten tutkimukseen esimerkiksi systeemibio-  
logian ja bioinformatiikan avulla. Ympäristötie-  
teessä tärkeäksi laitosten väliseksi tutkimusalaksi  
on noussut soveltava geoinformatiikka.

Tilastotieteen perustutkimus on Turun yliopis-  
tossa painottunut uskottavuusperusteisen til-  
lastollisen päättelyn ongelmiin esim. profiilius-  
kottavuusväleihin, simultaaniseen päättelyyn ja  
Hidden Markov -mallien tilastolliseen päättelyyn.  
Lisäksi tilastotieteen laitoksella tutkitaan biomet-  
riaan, frekvenssiaineistoihin sekä monimuuttu-  
jamenetelmiin liittyviä tilastollisia ongelmia. Tu-  
russa tilastotieteen laitos tekee yhteistyötä mm.  
tietojenkäsittelytieteiden, biokemian, biologian,  
hoitotieteen, lääketieteen ja psykologian laitosten  
kanssa.

## 4.11 Vaasan yliopisto

Automaatiotekniikassa tutkitaan ja kehitetään laskennallisia menetelmiä niin yleisesti, kuin tietyille sovellusalueillekin (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. Energiatekniikka on valittu yliopiston strategian painopistealueeksi, joten tulevaisuudessa energiatekniikkaan ja -talouteen liittyviä laskennallisia menetelmiä halutaan tutkia ja kehittää tukemaan yliopiston muita alaan kohdistamia resursseja. 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), epälineaarinen sekaluokuoimointi sekä operaatiotutkimus. 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 sekaluokuoiminnissa. Laitoksella on matematiikan laitoksen kanssa yhteinen Optimization and Systems Engineering – ryhmä, joka on nimetty Åbo Akademien sisäiseksi huippututkimusyksiköksi vuosiksi 2010–2014.

Informaatioteknologian tiedekunnassa toimii IAMS (Institute of Advanced Management System Research), jonka tutkimuksessa yhdistellään operaatiotutkimusta, sumeita laskentamenetelmiä ja mobiilijärjestelmien tutkimusta.

Biokemian laitoksella työskentelee Structural Bioinformatics Laboratory -tutkimusryhmä. Tut-

kimuksen painopiste on biologisten ongelmien ratkaisussa. Ongelmat liittyvät proteiinien rakenteeseen ja toimintaan, molekyylien vuorovaikutukseen sekä geenien ja proteiinien evoluutioon.

## 4.13 FiDiPro-professuurit

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 määrääjäksi. Ohjelman tavoitteena on kansainvälisen yhteistyön luominen perus- ja soveltavan tutkimuksen, sekä 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 neljä fellow-rahoitteista tutkijaa. Fellow-ohjelman tavoitteena on houkutella suomalaisiin tutkimusryhmiin uransa alkuvaiheessa olevia, lupaavia tutkijalahjakkuuksia. Näistä tutkijoista laskennallisiin tieteisiin läheisesti liittyy 23 professoria sekä kaksi fellow-tutkijaa. Lista laskennallisiin tieteisiin liittyvistä FiDiPro-professoreista löytyy tämän raportin liitteistä.

## 4.14 Kansalliset tutkimuslaitokset

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

### 4.14.1 Fysiikan tutkimuslaitos

Viiden yliopiston (HY, Aalto, JY, LTY ja TTY) yhteinen Fysiikan tutkimuslaitos HIP koordinoi Suomen hiukkasfysiikan tutkimusta. HIP:llä on merkittävä rooli Grid-infrastruktuurin kehityksessä,

ja se osallistuu muun muassa kansainvälisen LHC-Datagridin ja Nordic DataGrid Facilityn toimintaan ja kehitykseen. HIP:n teknologiaohjelma kehittää Grid-sovelluksia hiukkasfysiikan lisäksi muillekin tieteenaloille.

#### 4.14.2 Helsinki Institute for Information Technology

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

#### 4.14.3 Ilmatieteen laitos

Ilmatieteen laitoksen tärkeimpänä tutkimuskohdeena on Maan ilmakehä. Lisäksi laitos tutkii lähiavaruutta, muiden planeettojen kaasukehiä ja Auringon vaikutusta niihin. Laskennallisilla menetelmillä on keskeinen rooli sekä sään ennustuksessa että tutkimuksessa. Laitokselle kehitetään muun muassa ilmastomalleja sekä magnetosfääri- ja planeettahybridiplasma-simulointeja.

### 4.15 Kansalliset tutkimusohjelmat

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

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

Ohjelman tavoitteena oli tehostaa mallinnus- ja simulointitekniikoiden siirtymistä yritysten käyttöön ja varmistaa suomalaisen teollisuuden ja palveluyritysten kansainvälisen kilpailukyyn vahvistuminen. Tarkoituksena oli myös, että samanaikaisesti käynnistyisi uutta mallinnus- ja simulointiosaamiseen perustuvaa liiketoimintaa.

MASI:n painopisteitä olivat ilmiömallit ja niiden yhdistäminen, mallinnuksen menetelmät ja työkalut, palveluiden ja liiketoimintaprosessien kehittäminen sekä mallinnuksen käyttö ja hyödyntäminen.

Yritysten ja tutkimusorganisaatioiden oli mahdollista hakea rahoitusta ohjelmasta. Ohjelmassa yhdistettiin teknologialähtöinen ja markkinavetoisen toiminta. Tavoitteena oli, 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 parantaa vuorovaikutusta laskennallisia menetelmiä soveltavien tieteiden ja tietojenkäsittelytieteiden, tietotekniikan ja matematiikan välillä.
- Edelliset kohdat yhdistäen tärkeäksi tavoitteeksi muotoutuu vuorovaikutuksen lisääminen eri tieteiden välillä. Tiedonkulku on edellytyksenä hyvien tulosten saamiselle, kun huomioidaan laskennallisten tieteiden poikkitieteellinen luonne. Yhteistyön on siis toimittava substanssiosaamisen sekä algoritmien ja menetelmien osaamisen välillä.
- Hyvien työkäytäntöjen edistäminen, eli esimerkiksi asianmukainen data-aineistojen alkuperästä, käyttökelpoisuudesta ja dokumentoinnista huolehtiminen.
- Tutkijoiden kansainvälisen verkottumisen tukeminen. [36]

Tutkimusohjelmassa tutkittavia aihealueita voivat olla esimerkiksi hyvin vaativat ja tieteellisesti erittäin merkittävät kysymykset (grand challenges), kuten ilmastonmuutos, energiakysymykset ja tietoverkkojen turvallisuus. Tällaisten ongelmien ratkaisut ovat yhteiskunnallisesti tärkeitä, mutta tieteellisesti haastavia. Tutkimusohjelmaan kuuluu olennaisesti metodologisten valmiuksien parantaminen eli laskennallisten menetelmien kehittäminen (ongelmalähtöiset algoritmit, simuloinnin ja mallinnuksen menetelmät), ei itse infrastruktuurin kehitykseen tähtäävä tutkimus. Tutkimusohjelman painopisteenä ovat ratkaistavat tieteelliset ongelmat. [3]

### 4.15.3 FinNano - Nanotieteen tutkimusohjelma 2006–2010

Tutkimusohjelmassa yhdistetään kemian, fysiikan ja biotieteiden nanomittakaavaista tutkimusta ja tuetaan alan kokonaisvaltaista kehitystä Suomessa.

Tutkimusohjelman tavoitteena on

- Tukea korkeatasoista nanotieteen perustutkimusta osana innovaatioympäristöä
- Aktivoida alan tieteidenvälistä ja poikkitieteellistä lähestymistapaa
- Kehittää tutkimusalaan liittyviä tutkimusympäristöjä ja tutkijankoulutusta
- Verkottumisen, kansainvälisen näkyvyyden ja tutkimustulosten hyödyntämisen kautta luoda konkreettista lisäarvoa ohjelmaan osallistuville tutkimusryhmille
- 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 tuotekehittelyssä kansainvälisiä kilpailijoita paremmin. Näin ta-

taan 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. Laskennallisilla menetelmillä on näissä vaiheissa hyvin keskeinen rooli.

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

Tekes määrittelee ohjelman keskeisiksi tavoitteiksi

- yhteistyön tehostamisen yli organisaatio- ja yritysrajojen
- huipputason toimintatapojen sekä osaamisen kehittämisen
- uusimpien, tuoteprosessin ja elinkaaren kattavien ICT-ratkaisujen käyttöönoton
- eri toimialojen välisen yhteistyön lisäämisen ja osaamisen siirron.



## 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 kehittää ja ylläpitää tutkimuskapasiteettia. [2]

- *Keskitettyä (single-sited)* infrastruktuuria käytetään sellaisen alan tutkimuksessa, jossa suuret ja kalliit laiteinvestoinnit ovat välttämättömiä tutkimuksen kannalta. 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 tarjoamia palveluja sekä yksityisten yritysten omia infrastruktuureita. CSC eli Tieteen tietotekniikka Oy on Opetus- ja kulttuuriministeriön omistama keskus, jonka tehtävä on tuottaa keskitettyjä IT-palveluja tieteelle. CSC hallinnoi muun muassa kansallisia supertietokoneita.

### 5.1 Infrastruktuurin nykytila

Laskentainfrastruktuuria löytyy Suomesta pääasiassa yliopistoista, tutkimuslaitoksista ja joiltakin yrityksiltä. Eri yliopistoilla on käytössään paljon pieniä laskentaresursseja, ja laskentaa suoritetaan paljon suoraan tutkimushenkilökunnan työasemilla. Enemmän laskentakapasiteettia tarvitsevilla yksiköillä on käytössään myös laskentapalvelimia ja klustereita. Yhteistyö CSC:n kanssa on tarpeen eniten laskentakapasiteettia tarvitsevien projektien suhteen.

CSC:n 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 laskentainfrastruktuurien käytössä on tarvetta myös pienemmille, kansallisille laskentayksiköille ja kansallisen yhteistyön tiivistämiselle.

Sähköisessä muodossa oleva tai sähköiseen muotoon saatettu primaariaineisto, esimerkiksi tutkimuksia varten koottu materiaali, havainto- ja mittatiedot 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 tietoaineistojen ja -varaintojen hyödyntämistä.

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

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

Pysyäkseen jatkossakin kiinnostavana sijoittajille ja tieteellisille toimijoille, Suomen on pysyttävä mukana infrastruktuurin kansainvälisessä kehi-

tyksessä. Suomella on käytössä hyvin tehokkaita supertietokoneita, mikä tekee siitä Euroopan tasolla merkittävän HPC-palvelujen tarjoajan. Maailman suurimpien järjestelmien kanssa ei kuitenkaan voida kilpailla. Lisäksi pitkäjänteisen rahoitussuunnitelman puuttuminen superkonehankinnoista aiheuttaa epävarmuutta tulevaisuuden suhteen. CSC on yhteistyössä yliopistojen kanssa tehnyt OPK:lle ja kansalliseen infrastruktuuriohjelmaan esityksen maanlaajuisen kaikki tieteenalat käsittävän grid-verkoston ”Finnish Grid Infrastructure” (FGI) muodostamisesta, joka toteutuessaan täyttäisi rahoitussuunnitelman tarpeen erinomaisesti.

Vuonna 2010 Suomen Akatemia teki rahoituspäätöksen FGI – hankkeesta. Tämän rahoituksen turvin CSC koordinoi grid-laskentakapasiteetin hankkimista useaan yliopistoon (LTY, JY, OY, Aalto, UEF, TY, TTY ja ÅA).

Suomella ei ole mahdollisuuksia kaikkein tehokkaimpiin järjestelmiin, mutta se voi silti tarjota väkilukuun tai tutkijoiden määrään suhteutettuna kansainvälisesti erittäin kilpailukykyisen kapasiteetin. Tästä on osoituksena muun muassa CSC:n Cray-supertietokoneen 49. sija kansainvälisellä, maailman supertietokoneiden kapasiteetteja vertailevalla top500. org-listalla. Suomen valtti voi myös olla menetelmäosaaminen. CSC on perustamassa datakeskusta Kajaaniin Renforsin Rannan yritysalueelle UPM:n entisen paperitehtaan tiloihin. CSC on myös saanut valtiolta rahoituksen uuden supertietokoneen hankintaan. Kone tullaan sijoittamaan Kajaanin konesaliin, käyttöönotto sijoittuu vuoden 2012 alkupuolelle.

## 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 ja tähtitiede. Tutkimusinfrastruktuuria selvitettyä moni laitokset listasivat monipuolisesti järeitä tutkimus- ja mittauslaitteistoja sekä

tietokantoja, mutta jättivät vähälle maininnalle tai kokonaan huomiotta aineistoja käsittelevän laskentakapasiteetin. Näin todellisen kuvan saaminen kansallisen laskentainfrastruktuurin tilasta on vaikeata.

Kuten aikaisemmin mainittiin, suurin osa laskennasta suoritetaan työasemasella. Palvelimet, joissa on 10–20 ydintä, ovat yleinen ratkaisu hieinan 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. Suomen yliopistoista ei löydy tällaisia ratkaisuja kuin muutamia. Verrattuna CSC:n kapasiteettiin tämäkin on kuitenkin melko pientä, sillä CSC:ltä löytyy yli 13 000 ydintä laskentaa varten.

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, vaihtoehtoiksi 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.

## 5.3 Tulevaisuuden infrastruktuurin tarpeet

Laskentainfrastruktuurin tarpeet kansallisella tasolla liittyvät kansallisen yhteistyön tiivistämiseen, koulutukseen ja ekologisiin arvoihin. Tulevaisuudessa on panostettava myös kansainväliseen yhteistyöhön.

### 5.3.1 Kansainvälinen yhteistyö tulevaisuudessa

Tulevaisuudessa tiede jatkaa leviämistään yli maantieteellisten rajojen, joten Suomen tulee pyrkiä osaamisessa huipulle pysyäkseen kehityksen ja globaalin tilanteen tasalla. Vain tällä tavoin Suomi voi varmistaa kiinnostavuutensa ja sitä kautta kilpailuedun sekä paremmat yhteistyömahdollisuudet. Euroopan Unioni on ottamassa yhä vahvempaa roolia e-infrastruktuurissa ja sen tutkimuksessa. Suomella on mahdollisuuksia nousta merkittäväksi osajaksi EU:ssa. Tähän vaaditaan panostusta, pitkäjänteistä työtä ja rahoitusta. Suomi on ollut tähän asti aktiivisesti mukana useissa tärkeissä EU-hankkeissa ja saanut jalansijaa merkittävässä projektissa. Suomen on jatkossakin oltava aloitteellinen EU:ssa, sillä kansainvälinen yhteistyö mahdollistaa kansainvälisten resurssien ja osaamisen käytettävyyden myös tulevaisuudessa. Suomen edullinen sijainti idän ja lännen välillä edesauttaa toimintaa kansainvälisessä yhteistyössä. [7]

Datapalvelu on yksi voimakkaimmin kasvavista ja vaativimmista alueista CSC:llä. Tekemällä kansainvälistä yhteistyötä saadaan luotua sekä yhteensopivampia että laadukkaampia järjestelmiä. Datainfrastruktuurin kehittäminen on Suomelle oleellista myös siksi, että Suomea pidetään erinomaisena maana datan säilyttämiseen sopivan ilmaston ja otollisen kallioperän vuoksi. Suomi voikin olla tulevaisuudessa merkittävä isäntämaa erityyppisille datakeskuksille.

### 5.3.2 Ekologiset arvot

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

### 5.3.3 Kansallinen yhteistyö

Tutkimuksen ja innovaatiotoiminnan edellyttämien infrastruktuuriratkaisujen kehittäminen vaatii pitkäjänteistä, koordinoitua ja keskitettyä toimintaa. Tiedepoliittisen ohjauksen tulee panostaa e-infrastruktuurin kehittämiseen läpi hallinnonalojen. Lisäksi selkeällä roolijaolla pitäisi määritellä keskeinen vastuujako strategian, politiikan, rahoituksen, toimintamallien ja teknisten toteutusten osalta. Jotta kokonaisuus olisi toimiva ja siiloutuminen estyisi, on varmistettava vuoropuhelu, kumppanuus ja yhteistyö organisointitasolla. E-infrastruktuurin kehittämistä ei pidä jättää paikallisen tason toimijoiden vastuulle, sillä keskitetty järjestelmä vähentää riskiä erillisiin, päällekkäisiin ja yhteen sopimattomiin ratkaisuihin ja tukee infrastruktuurin pitempää elinkelpoisuutta ja elinkaarta. [7]

### 5.3.4 Koulutus

Jotta Suomi voi vastata globalisaation haasteisiin ja taata infrastruktuurin rakentamisen vaatiman riittävän erityisosaamisen, on pystyttävä kompensoimaan ulkomaille tapahtuvaa aivovuotoa esimerkiksi siirtämällä osaamista Suomeen. Laskennallisten tieteiden kehittymisen ja kehittämisen merkityksen korostuessa korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten on keskityttävä omaan erityisosaamiseensa; tutkimukseen ja opetukseen. Poikkiteollisen tutkimuksen onnistumiseksi tulee myös taata vuorovaikutus muun yhteiskunnan, korkeakoulujen ja oppilaitosten kanssa. 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.

## 5.4 Eurooppalaisen tason e-infrastruktuuri Suomessa

Suomen yliopistoissa, tutkimuslaitoksissa ja teollisuudessa tehtävän tutkimuksen, opetuksen ja tuotekehitystyön tukemiseen ja parantamiseen keskittyy opetusministeriön rahoittama CSC. Tä-



män toimintaan [1] kuuluu niin kansallinen kuin kansainvälinenkin yhteistyö, tieteiden välisen vuorovaikutuksen edistäminen ja tukeutuminen hajautettuihin tietoliikenneyhteyksiin. CSC:n ylläpitämän Funet-verkon kautta päästään hyödyntämään CSC:n tietokantoja, ohjelmistoja ja 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 laskentakapasi-

teetin käyttäjiä eri puolelta maata, kussakin verkossa noin 10–15 henkilöä. Verkot kokoontuvat 2–3 kertaa vuodessa ja keskustelevat yhteistyöstä CSC:n ja toistensa kanssa. [1]

CSC on mukana lähes kaikissa merkittävissä EUTason e-infrastruktuurihankkeissa sekä useissa tiedepoliittisissa yhteistyöhankkeissa, joissa hahmotellaan Euroopan tulevaa tutkimusinfrastruktuuria.

CSC:n palveluita ovat [1]:

- **Datan ja tiedon palvelut:** Käytössä ovat lyhyen ja 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, joiden lisenssit kattavat esimerkiksi kemian, biotieteiden, fysiikan, tilastotieteen, virtauslaskennan, rakenneanalyysin ja 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 yliopistojen ja korkeakoulujen puolesta kansallista ohjelmistokonsortiota.
- **Tietohallintopalvelut:** Keskitetyt tiede- ja opetushallinnon tietojärjestelmät eli korkeakoulujen yhteiset tutkimusta ja opetusta tukevat tietojärjestelmät ovat CSC:n ylläpidossa. CSC osallistuu myös näiden tietojärjestelmien kehitystyöhön. Tietohallintapalvelujen asiantuntijat konsultoivat tietotekniikkahankkeissa ja IT:n kehittämiseen liittyvissä kysymyksissä. Erityisosaamisen piiriin kuuluvat hankkeiden suunnittelu ja kilpailuttaminen, sähköinen asiointi, käyttäjähallinnon kehittäminen ja tietoturvaan liittyvät kysymykset.
- **Laskentapalvelut:** CSC:n tutkimukselle, mallinnukselle ja simuloinnille tarjoama laskentakapasiteetti sisältää huipputehokkaita supertietokoneilla ajettavia rinnakkaistettuja ohjelmia, joilla 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 konsulttiota koskien algoritmien suunnittelua, koodien optimointia ja rinnakkaistamista, laskentahankkeita sekä laitehankintoja. CSC on myös mukana kansainvälisissä suurteholaskennan projekteissa (DEISA, PRACE).

- **Funet-palvelut:** CSC ylläpitää ja kehittää tutkimusta ja opetusta palvelevaa huippunopeaa suomalaista Funet-tietoverkkoa. Funet yhdistää korkeakoulut ja tutkimuslaitokset tarjoten näille keskinäisiä ja kansainvälisiä tietoliikenneyhteyksiä. Funet on yksi maailman kehittyneimmistä tutkimusyhteisöjen verkoista. Verkkopalveluun kuuluvat myös Funet CERT – tieto-, videoneuvottelu- ja mediapalvelut sekä langattomat verkkovierailut. Pääsy kansainvälisiin tutkimusverkkoihin ja palveluihin mahdollistuu yhteispohjoismaisen NORDU-net-verkon kautta. CSC:n tietokoneresurssien jakautuminen eri tieteenalojen kesken kertoo laskentaresurssien tarpeen monitieteellisestä luonteesta. Eniten prosessitunteja vuonna 2008 käyttivät nanotieteet (32 %), fysiikka (27 %), kemia (19 %) sekä tähtitiede (12 %), kun taas itsessään laskennallisten tieteiden (esimerkiksi virtauslaskenta, grid-käyttö ja 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:** Noin 80 tilaisuutta vuodessa sekä Suomessa että ulkomailla, joissa yhteensä 2000–3000 osallistujaa.

CSC on mukana PRACE- ja EGI –hankkeissa. PRACE on projekti, jonka kautta myös suomalaisilla tutkijoilla on mahdollisuus päästä käyttämään Euroopan tehokkaimpia superkoneita. EGI eli European Grid Infrastructure taas on hajautetun laskennan Eurooppalainen koordinoija. Esimerkiksi FGI-resurssit tulevat yhdistymään myös EGI:iin, joka täten tarjoaa hyvin suuren hajautetun laskentakapasiteetin.

## 6 Yhteenveto ja suosituksia

Tässä raportissa esiteltiin laskennallisten tieteiden kansallinen nykytila, ja siinä käy ilmi kompetensiosaamisen jakautuminen Suomessa. Nykytilanteen kartoituksen tiedot on kerätty vieraillemalla ja haastatteleamalla opetus- ja tutkimushenkilökuntaa Suomen yliopistoissa. Lisäksi on huomioitu aikaisemmin tehtyjä, laskennallisten tieteiden nykytilaa ja infrastruktuuria käsitteleviä raportteja. Tässä kappaleessa esitellään pääkohtia laskennallisten tieteiden nykytilasta sekä kartoituksen perusteella aiheellisiksi katsottuja toimenpideehdotuksia.

### 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 yksikköjen välinen yhteistyö vaatisi sekä panostusta että yhteistä käsitteistöä, jotta osaaminen saataisiin jaettua paremmin resursseja hukkaamatta. Tulisi suosia mahdollisuuksien mukaan oppimateriaalin ja luentojen jakamista verkossa. Osallistuminen kansainvälisesti tunnettuihin jaetun oppimateriaalin järjestelmiin lisäisi Suomen korkeatasoisen laskennallisten tieteiden tutkimuksen tunnettavuutta ja mahdollistaisi maailman huipulla pysymisen. Materiaalin vapaa levittäminen toimii myös tieteelliseltä kannalta katsottuna tiedon oikeellisuuden puolesta.

Laskennallisten tieteiden opetusta voidaan pyrkiä jäsentämään sekä koulutusvastuun että tavoite-tason avulla. Koulutusta voivat tarjota joko perinteisesti muutakin menetelmäopetusta tarjoavat yksiköt, kuten matematiikka, tilastotiede ja tietojenkäsittely, joilla jokaisella on oma viitekehysensä laskennallisiin tieteisiin, tai laskennallisia menetelmiä soveltavat oppiaineet, eli käytännössä kaikki luonnontieteiden ja tekniikan alat sekä vaihtelevassa määrin muut alat. Koulutuksen tavoitteellisuus vaihtelee – iso osa tarjonnasta jä-

sentyy 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 yleisopintotyypiset menetelmä- ja työkaluopintojaksot, sivuainekokonaisuudet sekä pääaineopinnot erikoistumiskohteineen. Laskennallisissa tieteissä on tunnistettavissa selviä aloituskokonaisuuksia, yleensä perustuen matemaattiseen yleissivistykseen. Lisäksi ala tarjoaa mittavan määrän eri vaihtoehtoja sivuainekokonaisuuksien rakentamiselle. Tämä mahdollistaa laskennallisten tieteiden opetustarjonnan jäsentämisen yhtenäiseksi opetusohjelmaksi.

### 6.2 Jatkokoulutus

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

### 6.3 Tutkimus

Laskennallisten menetelmien osaamista ja osaajia löytyy usealta 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 saaminen yhteistyön kautta käyttöön yhä monitieteellisemmin edistäisi niiden osaamista.

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 työsopimussuhteisiin voi tarjota tässä suhteessa uusia mahdollisuuksia. Yliopistojen ja rahoittajien kanssa tulisi onnistua sopimaan selkeät pelisäännöt sille, miten asiantuntijat eri yksiköistä voivat joustavasti toimia osa-aikaisissa konsultoivissa rooleissa eri tutkimushankkeissa. Nykyisin käytetyt konsortiomalliset hankkeet ovat liian raskaita systemaattisesti käytettäviksi. Tutkimushankkeiden vastuullisia vetäjiä tulisi kannustaa ulkopuolisen konsultoivan asiantuntemuksen joustavaan käyttöön ja luoda tälle sujuvat hallinnolliset puitteet. Näin voitaisiin edistää eri tutkimusryhmien luontevaa kanssakäymistä.

## 6.4 Infrastruktuuri

CSC suuntaa vahvasti kansainväliseen yhteistyöhön infrastruktuurin kehittämiseksi. Tätä kautta suomalaisilla tutkijoilla on käytössään huipputason laskentainfrastruktuuri, ja lisäksi yliopistoilla on käytössään omiin tarpeisiinsa mitoitettua laskentakapasiteettia. Tutkimukseen ja opetukseen liittyvä tieteellinen laskenta suoritetaan pääosin näiden kahden tahon puitteissa. Yliopistojen omien pienten laskentayksiköiden tärkeyttä ei pidä unohtaa, sillä näitä järjestelmiä käytetään yliopistoittain paljon ja ne hyödyttävät monia tieteenalvoja tieteellisistä laskijoista biologeihin ja humanisteihin asti. Suomesta löytyy merkittävää laskennallisten menetelmien osaamista, 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 esimerkiksi ympäristöjen kehittäjä- ja ylläpitäjäverkostoilla, joilla olisi keskinäiset sopimukset koulutuksesta ja varajärjestelyistä.

## 6.5 Seuranta ja päivittäminen

Laskennallisten tieteiden kehittymistä Suomessa tulee seurata jatkuvasti. Kansallisen kilpailukyvyn ylläpidon nimissä Suomen tulee pystyä pysymään kansainvälisen kehityksen eturintamassa. Raportissa ehdotettujen toimenpiteiden toteutusta on seurattava säännöllisesti.

Raportin päivittämisen yhteydessä tiedusteltiin vastaajilta raportin sopivaa päivittämistähtia. Sopivaksi päivittämistähdiksi vastaajat ehdottivat kahden vuoden tahtia, jolloin raportti tulisi seuraavan kerran päivittää lukuvuonna 2012-2013. Seuraavan päivityksen osalta toivottiin, että yliopistot nimittäisivät omalta osaltaan vastuuhenkilöt huolehtimaan päivityksestä. Lisäksi esitettiin toivomus, että raportin päivittäminen voisi tapahtua verkossa wiki – tyyppisen palvelun kautta.

## Lähdeluettelo

- [1] CSC Vuosikertomus 2009. 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.

# Liitteet

## Liite 1 - Laskennallisten tieteiden kurssit kotimaisissa yliopistoissa

Tähän liitteeseen on koottu laskennallisiin tieteisiin liittyviä ja laskennallisia menetelmiä hyödyntäviä kursseja seuraavissa yliopistoissa: Aalto, Helsinki, Itä-Suomi, Jyväskylä, Lappi, Lappeenrannan teknillinen, Oulu, Svenska Handelshögskolan, Tampereen teknillinen, Tampere, Turku, Vaasa ja Åbo Akademi.

### Aalto yliopisto

- Ene-39.4030 Laskennallisen virtausmekaniikan ja lämmönsiirron jatkokurssi, 7 op
- Ene-39.4031 Viscous Flow, 5 op
- Ene-39.4037 Fundamentals of Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, 7 op
- Ene-39.4054 Virtaussimulointi, 6 op
- Ene-47.5130 Process Integration, Simulation and Optimization, 3 op
- Ene-58.4129 Rakennusten energiaoptimointi, 5 op
- Ene-58.5181 LVI-mallintaminen, 6 op
- Ene-59.4010 Energiajärjestelmien mallit ja optimointi, 5 op
- Kul-14.4400 Polttomoottorien simulointi, 5 op
- Kon-41.4027 Hydraulijärjestelmien mallintaminen ja simulointi, 3 op
- Kon-15.4198 Tuotantotekniikan mallinnusmenetelmät, 4 op
- Kon-16.4011 Monikappalesimulointi, 5 op
- Kon-16.4001 Mekanismiopin perusteet, 5 op
- Maa-57.3120 Analyyttinen fotogrammetria I, 4 op
- Maa-6.3282 Statistical Methods in Geodesy, 3 op
- Maa-123.3510 GIS Analysis and Modelling, 5 op
- Maa-57.3140 Analyyttinen fotogrammetria II, 4 op
- Maa-123.2340 Spatial Data Algorithms, 6 op
- Rak-43.3420 Rakennusfysiikan laskentamenetelmät, 6 op
- Rak-54.1200 Rakenteiden lujuusoppi, 4 op
- Rak-54.3200 Rakennetekniikan numeeriset menetelmät, 5 op
- Rak-63.3200 Information technology in construction, 3 op
- Kul-24.3710 Potential Flow Theory for Lifting Surfaces, 3 op
- Kul-24.4200 Rakenteiden riskianalyysin perusteet, 3 op
- Kul-24.4370 Potential Flow Theory for Lifting Surfaces, extended course, 5 op
- Kul-24.4511 Optimization of Structures, 6 op
- Kul-24.4520 Computational Marine Hydrodynamics, 5 op
- Ene-39.4037 Laskennallisen virtausmekaniikan ja lämmönsiirron perusteet, 7 op
- Ene-39.4030 Laskennallisen virtausmekaniikan ja lämmönsiirron jatkokurssi, 7 op
- Ene-39.4031 Kitkallinen Virtaus, 5 op
- Ene-39.4054 Virtaussimulointi, 6 op
- Yhd-102.3310 Ympäristön mallinnus ja –simulointi, 4 op
- Yhd-102.3350 Mallintaminen ja päätöksenteko ympäristötekniikassa, 4 op
- Yhd-102.3360 Environmental Modelling and Simulation, 4 op
- Yhd-102.3370 Environmental Informatics, 1-6 op
- Yhd-12.3015 Vesitekniikan laskentamenetelmät, 5 op
- KE-70.3500 Bioprosessien simulointi, 3 op
- KE-107.3100 Process simulation, 3 op



- KE-90.3100 Process Modeling and Simulation, 6 op
- KE-90.3500 Process Modeling and Simulation in Practice, 3 op
- KE-107.4700 Prosessiteollisuuden riskienhallinta, 3 op
- KE-31.4120 The Computational Methods of Physical Chemistry, 4 op
- S-114.2510 Laskennallinen systeemibiologia, 5 op
- S-114.4270 Laskennallinen solubiologia, 5 op
- Tfy-99.3275 Biosignal Processing, 5 op
- Tfy-99.4281 Kuvankäsittely lääketieteellisessä tekniikassa, 5 op
- Tfy-99.4280 Lääketieteelliset kuvantamismenetelmät, 5 op
- Tfy-99.4275 Signal Processing in Biomedical Engineering, 5 op
- Tfy-99.4285 Biosähkömagnetismi: perusteet, mallintaminen ja soveltaminen, 5 op
- KE-107.3100 Process Simulation, 3 op
- KE-90.3100 Process Modelling and Simulation, 6 op
- Ene-47.5130 Prosessi-integraatio, simulointi ja optimointi, 3 op
- S-114.2510 Laskennallinen systeemibiologia, 5 op
- S-114.4270 Laskennallinen solubiologia, 5 op
- AS-74.1106 Introduction to Matlab software 1, 1 op
- AS-74.1107 Introduction to Matlab software 2, 1 op
- T-106.1223 Data Structures and Algorithms, 5 op
- Mat-1.1010 Matematiikan peruskurssi L1, 10 op
- Mat-1.1020 Matematiikan peruskurssi L2, 10 op
- Mat-1.1030 Matematiikan peruskurssi L3, 10 op
- Mat-1.1040 Matematiikan peruskurssi L4, 10 op
- Mat-1.2600 Sovellettu todennäköisyyslaskenta A, 5 op
- Mat-1.2620 Sovellettu todennäköisyyslaskenta B, 5 op
- Mat-1.2630 First Course in Statistics and Probability, 6 op
- Mat-1.2990 Modernin analyysin perusteet, 5 op
- Mat-1.2991 Diskreetin matematiikan perusteet, 5 op
- Mat-1.3032 Fuzzy Sets, 2 op
- Mat-1.3051 Diskreetit menetelmät, 3-6 op
- Mat-1.3081 Algebra I, 5 op
- Mat-1.3111 Number Theory, 3 op
- Mat-1.3281 Analyysi I, 5 op
- Mat-1.3283 Moderni reaalianalyysi, 5-10 op
- Mat-1.3301 Kompleksianalyysi, 5 op
- Mat-1.3352 Hyperboliset osittaisdifferentiaaliyhtälöt, 5 op
- Mat-1.3353 Osittaisdifferentiaaliyhtälöiden viskositeettiratkaisut, 5 op
- Mat-1.3354 Epälineaariset osittaisdifferentiaaliyhtälöt, 5-10 op
- Mat-1.3371 Dynaamiset systeemit, 5 op
- Mat-1.3379 Dynaamisten systeemien erikoiskurssi, 3-6 op
- Mat-1.3421 Fourier-muunnosten perusteet, 5 op
- Mat-1.3422 Wavelet-teoria, 3 op
- Mat-1.3431 Ryhmien esitysteoria, 5 op
- Mat-1.3460 Principles of Functional Analysis, 5 op
- Mat-1.3461 Operaattorialgebrat, 5 op
- Mat-1.3462 Funktionaalianalyysin sovellutuksia, 3-5 op
- Mat-1.3530 Johdatus differentiaaligeometriaan, 5 op
- Mat-1.3531 Differential Geometry, 5 op
- Mat-1.3601 Introduction to stochastics, 5 op

- Mat-1.3602 Stokastinen analyysi, 3-5 op
- Mat-1.3603 Rahoitusteoria, 5 op
- Mat-1.3604 Stationaariset prosessit, 5 op
- Mat-1.3610 Extremes of Random Phenomena, 3-5 op
- Mat-1.3621 Tilastollinen päättely, 5 op
- Mat-1.3622 Yleistetyt lineaariset mallit, 5 op
- Mat-1.3626 Computational methods in inverse problems, 4-6 op
- Mat-1.3650 Elementtimenetelmä I, 5 op
- Mat-1.3651 Matrix Computations, 5 op
- Mat-1.3652 Finite Difference Methods, 5 op
- Mat-1.3653 Approksimaatioteoria, 5 op
- Mat-1.3654 Numeric and Symbolic Computation, 3-6 op
- Mat-1.3655 Study group in Numerical Analysis, 1-3 op
- Mat-1.3657 Osittaisdifferentiaaliyhtälöiden laskentamenetelmiä, 5 op
- Mat-1.3658 Special Course in Numeric Analysis, 1-10 op
- Mat-1.9901 Pseudodifferentiaalioperaattorit, 5 op
- Mat-1.9902 Fractional Brownian Motion, 5 op
- Mat-2.2103 Koesuunnittelu ja tilastolliset mallit, 5 op
- Mat-2.2104 Tilastollisen analyysin perusteet, 5 op
- Mat-2.2105 Optimoinnin perusteet, 3 op
- Mat-2.3111 Stokastiset prosessit, 5 op
- Mat-2.3112 Tilastolliset monimuuttujamenetelmät, 3-6 op
- Mat-2.3114 Investointiteoria, 5 op
- Mat-2.3117 Riskianalyysi, 5 op
- Mat-2.3118 Luotettavuustekniikka, 5 op
- Mat-2.3128 Ennustaminen ja aikasarja-analyysi, 5 op
- Mat-2.3130 Matemaattinen malliajattelu, 3-6 op
- Mat-2.3134 Päätöksenteko ja ongelmanratkaisu, 5 op
- Mat-2.3139 Optimointioppi, 5 op
- Mat-2.3140 Lineaarinen ohjelmointi, 5 op
- Mat-2.3148 Dynaaminen optimointi, 5 op
- Mat-2.3152 Peliteoria, 5 op
- Mat-2.3170 Simulointi, 5 op
- Mat-2.4113 Jonoteoria, 3-6 op
- Mat-2.4125 Stokastiikan erikoiskurssi, 3-6 op
- Mat-2.4136 Päätöksenteon erikoiskurssi, 3-6 op
- Mat-2.4143 Verkkotehtävien optimointi, 3-6 op
- Mat-2.4144 Optimoinnin matemaattinen teoria, 3-6 op
- Mat-2.4146 Kokonaislukuoptimointi, 3-6 op
- Mat-2.4153 Monitavoiteoptimointi, 3-6 op
- Mat-2.4174 Matemaattisten algoritmien ohjelmointi, 3-6 op
- Mat-5.3701 Analytical Mechanics, 5 op
- Mat-5.3702 Teoreettisen mekaniikan jatkokurssi, 5 op
- Mat-5.3703 Monikappalesysteemien numeriikka, 5 op
- Mat-5.3704 Hamiltonin systeemien numeriikka, 5 op
- Mat-5.3740 Kontinuumimekaniikka, 5 op
- Mat-5.3741 Theory of Elasticity, 5 op
- Mat-5.3750 Laskennallisen mekaniikan erikoiskurssi, 5 op
- S-114.1100 Laskennallinen tiede, 5 op

- S-114.2510 Laskennallinen systeemibiologia, 5 op
- S-114.3200 Laskennallisen tekniikan erikoiskurssi, 6 op
- S-114.3250 Laskennallisen tieteen erikoiskurssi, 6 op
- S-114.3812 Computational Neuroscience, 6 op
- Tfy-99.2810 Laskennallinen lääketiede, 6 op
- Tfy-3.4423 Computational Physics, 5 op
- T-61.5010 Information visualization, 5 op
- T-61.5020 Statistical Natural Language Processing, 5 op
- T-61.5060 Algorithmic methods of data mining, 5 op
- T-61.5070 Computer Vision, 5 op
- T-61.5090 Image Analysis in Neuroinformatics, 5 op
- T-61.5100 Digitaalinen kuvankäsittely, 5 op
- T-61.5110 Modeling biological networks, 5–7 op
- T-61.5120 Laskennallinen genomiikka, 4–7 op
- T-61.5130 Machine Learning and Neural Networks, 5 op
- T-61.5140 Machine Learning: Advanced Probabilistic Methods, 5 op
- T-61.5150 Speech Recognition, 5 op
- T-61.6010 Special Course in Computer and Information Science I L: Evolving Intelligent Systems. Methodology and Applications, 3–10 op
- T-61.6020 Special Course in Computer and Information Science II L: Advanced optimization methods in machine learning, 3–10 op
- T-61.6030 Special Course in Computer and Information Science III L: Digital video processing, 3–10 op
- T-61.6040 Special Course in Computer and Information Science IV L: Learning from multiple sources, 3–10 op
- T-61.6070 Special Course in Bioinformatics I L: Modeling molecular control mechanisms, 3–10 op
- T-61.6090 Special Course in Language Technology L: Adaption in speech and language processing, 3–10 op
- T-79.4101 Discrete Models and Search, 5 op
- T-79.4202 Principles of Algorithmic Techniques, 5 op
- T-79.4302 Parallel and Distributed Systems, 5 op
- T-79.4502 Cryptography and Data Security, 5 op
- T-79.5001 Student Project in Theoretical Computer Science, 5 op
- T-79.5103 Computational Complexity Theory, 5 op
- T-79.5104 Advanced Course in Computational Logic, 5 op
- T-79.5105 Answer Set Programming, 5 op
- T-79.5205 Combinatorics, 5 op
- T-79.5206 Combinatorial Models and Stochastic Algorithms, 5 op
- T-79.5306 Reactive Systems, 5 op
- T-79.5307 Distributed Computing, 5 op
- T-79.5501 Cryptology, 5 op
- T-79.5502 Advanced Course in Cryptology, 5 op
- T-79.7001 Postgraduate Course in Theoretical Computer Science L: Algorithmic Cryptanalysis, 2–10 op
- TU-22.1130 Laskentatoimi ja kannattavuus, 3-4 op
- TU-22.1179 Production Planning and Control, 5 op
- TU-22.1197 Statistical Research Methods I, 3 op
- TU-22.1198 Statistical Research Methods II, 2 op
- TU-22.1202 Logistiikka, 3 op

- MT-0.2211 Virtaus, 3 op
- MT-0.3211 Materiaalisysteemien termodynaaminen laskenta, 5 op
- MT-0.3216 Prosessikinetiikka, 5 op
- MT-0.6136 Laskennallinen termodynamiikka, 5 op
- AS-74.1101 Tietokonesimulointi, 3 op
- AS-74.2400 Systeemidynamiikka, 4 op
- AS-74.4180 Automatic modelling of industrial plants using semantic specifications, 4 op
- AS-74.3114 Tietokonehallinnointi, 5 op
- AS-74.3179 Aika- ja paikkariippuvaisten prosessien mallintaminen ja säätö, 5 op
- AS-84.3140 Robot Algorithms, 4 op
- AS-84.3125 Estimation and Sensor Fusion Methods, 3 op
- AS-84.3190 Epälineaarinen mallintaminen ja ohjaus, 3 op
- AS-116.3160 Tapahtumapohjainen simulointi, 3 op
- AS-116.3200 Reaaliaikajärjestelmien mallintaminen, 3 op
- S-96.2180 Sähkömagneettien simulaatiot, 5 op
- S-55.3240 Numerical Methods in Circuit Simulation, 5 cr
- S-114.2510 Computational Systems Biology, 5 op
- S-114.3812 Computational Neuroscience, 6 op
- S-114.4202 Special Course in Computational Engineering II, 3-6 op
- S-114.4610 Special Course in Bayesian Modelling, 1-8 op
- S-114.4612 Special Course in Bayesian Modelling 2, 1-8 op
- S-114.2601 Introduction to Bayesian Modelling, 5 op
- S-17.3010 Numerical Methods in Electromechanics, 5 op
- S-38.3148 Simulation of Data Networks, 5 op
- S-38.3062 Modelling Human Behaviour, 3-5 op
- S-55.1210 Piirianalyysi 1, 5 op
- S-55.1220 Piirianalyysi 2, 5 op
- S-55.3210 Piirisuunnittelun numeeriset menetelmät, 5 op
- S-96.3171 Differenssimenetelmät sähkömagneetikassa, 5 op
- S-96.3330 Sähkömagneettien numeeriset menetelmät, 5 op
- S-96.3180 Advanced Electromagnetic Simulations, 5 op
- S-114.1100 Laskennallinen tiede, 5 op
- S-114.2100 Johdatus kompleksisiin systeemeihin, 5 op
- 30A00110 Matematiikkaa ja tilastotiedettä liikkeenjohtajille, 6 op
- 30A00310 Kvantitatiivinen analyysi taloustieteissä, 6 op
- 30C00100 Statistical Analysis, 6 op
- 30C00200 Econometrics, 6 op
- 30C00300 Mathematical Methods for Economists. 6 op
- 30C00400 Tools for Business Decisions 2, 6 op
- 30E00400 Simulation, 6 op
- 30E00700 Advanced Statistical Methods, 6 op
- 27E02000 Models in Marketing, 6 op
- 27C01000 Tools for Business Decisions 1, 6 op
- 30A00210 Mathematics and Statistics for Managers, 6 op
- 30A00310 Kvantitatiivinen analyysi taloustieteissä, 6 op
- 30C00100 Statistical Analysis, 6 op
- 30E00150 Applied Optimization: Fundamentals and Methodologies, 6 op
- 30E00400 Simulation, 6 op
- 31C01100 Taloustieteen matemaattiset menetelmät, 6 op

## Helsingin yliopisto

- 57016 Analyysi I, 10 op
- 57017 Analyysi II, 10 op
- 57043 Lineaarialgebra ja matriisilaskenta I, 5 op
- 57018 Analyysin harjoitustyö, 2 op
- 57047 Lineaarialgebra ja matriisilaskenta II, 5 op
- 57020 Topologia I, 10 op
- 57015 Vektorianalyysi, 10 op
- 57101 Mitta ja integraali, 6 op
- 57018 Analyysin harjoitustyö, 2 op
- 57047 Lineaarialgebra ja matriisilaskenta II, 5 op
- 57045 Johdatus todennäköisyyslaskentaan, 5 op
- 57020 Topologia I, 10 op
- 57014 Algebra I, 10 op
- 57102 Reaalianalyysi I, 6 op
- 57064 Algebra II, 10 op
- 57066 Lineaarialgebra II, 10 op
- 57063 Topologia II, 10 op
- 57067 Matemaattinen logiikka, 10 op
- 57133 Geometria, 10 op
- 57241 Funktionaalianalyysin peruskurssi, 10 op
- 57244 Osittaisdifferentiaaliyhtälöt, 10 op
- 57431 Todennäköisyysteoria, 8–10 op
- 57354 Numeeriset menetelmät ja C-kieli, 10 op
- 582638 Unsupervised Machine Learning, 4–6 op
- 57744 Bayesian theory with applications, 5–8 op
- 57733 Computational statistics, 8 op
- 582631 Introduction to Machine Learning, 4 op
- 78121 Matemaattisen analyysin kurssi, 10 op
- 78122 Matemaattisen analyysin jatkokurssi, 10 op
- 57026 Analyysin peruskurssi, 10 op
- 57018 Analyysin harjoitustyö, 2 op
- 57043 Lineaarialgebra ja matriisilaskenta I, 5 op
- 57047 Lineaarialgebra ja matriisilaskenta II, 5 op
- 57039 Matematiikka tutuksi, 5 op
- 57049 Johdatus diskreettiin matematiikkaan, 5 op
- 57053 Matematiikan menetelmäkurssi, 10 op
- 57274 Logiikka I, 10 op
- 57044 Differentiaaliyhtälöt I, 5 op
- 57048 Differentiaaliyhtälöt II, 5 op
- 57045 Johdatus todennäköisyyslaskentaan, 5 op
- 57046 Johdatus tilastolliseen päättelyyn, osa 1, 5 op
- 57015 Vektorianalyysi, 10 op
- 57020 Topologia I, 10 op
- 57014 Algebra I, 10 op
- 57056 Kombinatoriikka, 5 op
- 57057 Verkot, 5 op
- 57059 Johdatus tilastolliseen päättelyyn (osa 2), 5 op

- 57705 Todennäköisyyslaskenta, 10 op
- 57701 Tilastollinen päättely, 10 op
- 78134 Lineaariset mallit, 5 op
- 78182 Tilastollisen päättelyn jatkokurssi, 5 op
- 78185 Yleistetyt lineaariset mallit (osa 1), 5 op
- 78186 Yleistetyt lineaariset mallit (osa 2), 3 op
- 57770 Stationaariset aikasarjat, 5–10 op
- 57771 Moniulotteiset aikasarjat, 5–10 op
- 57772 Epästationaariset aikasarjat, 5–10 op
- 78180 Regressioanalyysin jatkokurssi, 6–10 op
- 78173 Ekonometria, 6–10 op
- 57710 Software tools for statisticians, 3–6 op
- 57733 Computational statistics, 8 op
- 57744 Bayesian theory with applications, 5 op
- 57740 Nonparametric statistics, 6 op
- 57746 Longitudinal data-analysis, 6–10 op
- 57741 Event-history analysis, 6–8 op
- 57739 Statistical methods in medicine and epidemiology, 6–10 op
- 57747 Mathematical models of molecular evolution, 5 op
- 57748 Molecules for bioinformatics, 4–6 op
- 57730 Sequence evolution from molecules to genomes, 4–6 op
- 57734 Modelling inheritance in pedigrees and populations, 4–6 op
- 57729 Phylogenetic inference and data analysis, 4–6 op
- 57755 Statistical methods in gene mapping, 4–6 op
- 57743 Genome-wide association mapping, 4–6 op
- 78143 Otantamenetelmät, 6–8 op
- 78405 Otanta-aineiston analyysi, 6–8 op
- 78126 Lineaaristen mallien sovellukset, 6–8 op
- 78144 Ei-parametriset ja robustit menetelmät, 6–8 op
- 78164 Mittaaminen ja mittausrvirheiden tilastollinen hallinta, 6–8 op
- 78145 Monimuuttujamenetelmät, 6–8 op
- 78177 Rakenneyhtälömallit, 6–8 op
- 78178 Monitasomallit, 6–8 op
- 57703 Data-analyysi R-ohjelmistolla, 5 op
- 78116 Data-analyysi (osa 1), 5 op
- 78132 Data-analyysi (osa 2), 5 op
- 78200 Tilastotieteen johdantokurssi (osa 1), 4 op
- 78201 Tilastotieteen johdantokurssi (osa 2), 6 op
- 78203 Tilastotieteen jatkokurssi (osa 1), 5 op
- 78204 Tilastotieteen jatkokurssi (osa 2), 5 op
- 78103 Tilastotiede käytännön tutkimuksessa, 5 op
- 78187 Survey-metodiikka, 8–10 op
- 582102 Johdatus tietojenkäsittelytieteeseen, 4 op
- 581325 Ohjelmoinnin perusteet, 5 op
- 582103 Ohjelmoinnin jatkokurssi, 4 op
- 582104 Ohjelmistojen mallintaminen, 4 op
- 58160 Ohjelmoinnin harjoitustyö, 4 op
- 581328 Tietokantojen perusteet, 4 op
- 58131 Tietorakenteet, 8 op



- 58161 Tietorakenteiden harjoitustyö, 4 op
- 582203 Tietokantasovellus, 4 op
- 581305 Tietokoneen toiminta, 4 op
- 582202 Tietoliikenteen perusteet, 4 op
- 581332 Rinnakkaisohjelmointi, 6 op
- 582206 Laskennan mallit, 6 op
- 582215 Tietoturvan perusteet, 4 op
- 582216 Johdatus tekoälyyn, 4 op
- 581259 Ohjelmistotuotanto, 4 op
- 581260 Ohjelmistotuotantoprojekti, 9 op
- 582630 Design and Analysis of Algorithms, 4 op
- 582631 Introduction to Machine Learning, 4 op
- 58093 String Processing Algorithms, 4 op
- 582668 Project in String Processing Algorithms, 2 op
- 582634 Data Mining, 4 op
- 582635 Data Mining Project, 2 op
- 582636 Probabilistic Models, 4 op
- 582637 Project in Probabilistic Models, 2 op
- 57039 Matematiikka tutuksi, 5 op
- 57049 Johdatus diskreettiin matematiikkaan, 5 op
- 57043 Lineaarialgebra ja matriisilaskenta I, 5 op
- 57014 Algebra I, 10 op
- 57026 Analyysin peruskurssi, 10 op
- 57274 Logiikka I, 10 op
- 57053 Matematiikan menetelmäkurssi, 10 op
- 57044 Differentiaaliyhtälöt I, 5 op
- 57015 Vektorianalyysi, 10 op
- 57045 Johdatus todennäköisyyslaskentaan, 5 op
- 57046 Johdatus tilastolliseen päättelyyn (osa 1), 5 op
- 57059 Johdatus tilastolliseen päättelyyn (osa 2), 5 op
- 53704 Matemaattiset apuneuvot I, 8 op
- 53705 Matemaattiset apuneuvot II, 8 op
- 53398 Tieteellinen laskenta I, 3 op
- 53399 Tieteellinen laskenta II, 5 op
- 582670 Algorithms for bioinformatics, 4 op
- 582313 Elements of bioinformatics, 4 op
- 582483 Biological sequence analysis, 6 op
- 582605 Metabolic modeling, 4 op
- 582653 Computational methods in systems biology, 4 op
- 56316 Geoinformatiikan menetelmät ja kirjallisuus, 6 op
- 56285 Johdatus kaukokartoitukseen, 2 op
- 56301 Kaukokartoitusmenetelmät, 5 op
- 53399 Tieteellinen laskenta II, 5 op
- 53727 Statistinen fysiikka I, 7 op
- 53704 Matemaattiset apuneuvot I, 8 op
- 53705 Matemaattiset apuneuvot II, 8 op
- 53369 Tieteellinen laskenta III, 10 op
- 530006 Monte Carlo-simulointien perusteet, 5 op
- 530153 Monte Carlo-simuloinnit fysiikassa, 5 op

- 530088 Tilastolliset menetelmät I, 5 op
- 53391 Tieteellisen laskennan ohjelmointi, 5 op
- 530245 Laskennallinen nanotiede, 7.5 op
- 53723 Fysiikan matemaattiset menetelmät Ia, 5 op
- 53724 Fysiikan matemaattiset menetelmät Ib, 5 op
- 53725 Fysiikan matemaattiset menetelmät IIa, 5 op
- 53726 Fysiikan matemaattiset menetelmät IIb, 5 op
- 53727 Statistinen fysiikka I, 7 op
- 53728 Statistinen fysiikka II, 10 op (LM)
- 535046 Geographic Information Systems (GIS), 5 op
- 53536 Vesivaipan mittausmenetelmät, 5 op
- 53623 Numeerinen meteorologia I, 5 op
- 53655 Numeerisen meteorologian laboratorioskurssi, 5 op
- 53654 Numeerinen meteorologia II, 5 op
- 53966 Tähtitieteen matemaattiset menetelmät I, 7 op
- 53936 Numeerisen magnetohydrodynamiikan käytännön menetelmät, 7 op
- 55402 Matematiikkaa kemisteille, 5 op
- 55467 Matemaattiset ja numeeriset menetelmät, 3 op
- 55434 Tilastollinen mekaniikka, 3 op
- 55290 Advanced research project in analytical chemistry, 20-60 op
- 55277 Instrumenttianalytiikan perusteet, 3 op
- 56316 Geoinformatiikan menetelmät ja kirjallisuus, 6 op
- 582102 Johdatus tietojenkäsittelytieteeseen, 4 op
- 56111 Laskennalliset perusmenetelmät maantieteessä, 2 op
- 56212 Tieteellinen viestintä, 2 op
- 554011 Computational Chemistry, 5 op
- 554002 Mathematical and Numerical methods, 5 op
- 554008 Statistical Mechanics, 5 op
- 530189 Statistical analysis of environmental field observations, 5 op
- 53350 Atmospheric modelling, 5 op
- 83676 Systems Analysis 2 (Department of Forest Sciences), 3 op
- 57059 Markovian modelling and Bayesian learning, 5 op
- 57733 Bayesian theory with applications, 5 op
- 57733 Computational Statistics, 8 op
- 57710 Software tools for statisticians, 3–6 op
- 78185 Generalized linear models, 6–8 op
- 57742 Hierarchical linear models, 6–8 op
- 582670 Algorithms for bioinformatics, 4 op
- 57046 Markovian modelling and Bayesian learning, 5 op
- 55890 Scientific programming, 10 op
- 53369 Scientific computing III, 10 op
- 53363 Molecular dynamics simulations, 10 op
- 530006 Basics of Monte Carlo simulations, 5 op
- 530153 Monte Carlo simulations in physics, 5 op
- 530088 Statistical methods, 5 op
- 53398 Scientific computing I, 3 op
- 53399 Scientific computing II, 5 op
- 53382 Tools for high performance computing, 5 op
- 55893 Electronic structure calculations I, 5 op

- 554024 Electronic structure calculations II, 5 op
- 530245 Computational nanoscience, 7,5 op
- 530248 Computational biophysics and biochemistry, 10 op
- 53834 Data analysis and inverse methods in astronomy, 7 op
- 53936 Practical methods in numerical magnetohydrodynamics, 7 op
- 53369 Scientific computing III, 10 op
- 510014 Tilastotiedettä biokemisteille, 3 op
- 529231 Analytical protein chemistry, 2 op
- 52039 Biostatistiikka I, 2 op
- 52211 Biotieteiden matemaattiset harjoitukset, 3 op
- 525021 Advanced Computer Methods for Biologists, 6 op
- 52746 Geneettinen analyysi, 3 op
- 52739 Geneettinen bioinformatiikka, 3 op
- YFYS4 Biosysteemien mallintaminen, numeerinen ratkaiseminen ja simulointi I, 5 op
- YFYS5 Biosysteemien mallintaminen, numeerinen ratkaiseminen ja simulointi II, 5 op
- Y130 Tilastollisen päättelyn perusteet, 5 op
- ME107 Systemianalyysi 1, 4 op
- ME406 Systemianalyysi 2, 3 op
- Y131A Tilastollisia malleja 1, 5 op
- Y100 Matematiikka 1, 5 op
- Y132 Tilastollisia malleja 2, 5 op
- Y136 Tilastollisten tietojenkäsittelyohjelmistojen sovellukset, 5 op
- Y96 Matematiikan tasokoe, 1 op
- YE12.2 Dynaaminen optimointi, 6 op
- MAL16 Dynaaminen optimointi, 5 op
- YE19A Matematiikan alkeet I, 3 op
- YE19B Matematiikan alkeet II, 3 op
- YE12.1 Numeeriset mallit ympäristö- ja luonnonvarataloustieteessä, 6 op

## Itä-Suomen yliopisto

- 3352613 K: Modelling II, 5 op
- 3352542 K: Signal Analysis, 5 op
- 3351552 K: Data Analysis, 5 op
- 3351553 K: Fysiikan matemaattiset menetelmät 2, 5 op
- 3356505 K: Kompleksianalyysi I a, 4 op
- 3356506 K: Kompleksianalyysi I b, 4 op
- 3317171 J: Kompleksianalyysi II, 8 op
- 3351551 K: Mathematical Programs: Matlab, 2 op
- 3351554 K: Modelling I, 5 op
- 3352613 K: Modelling II, 5 op
- 3355721 K: Analyysi I, 9 op
- 3356501 K: Analyysi II, 9 op
- 3316232 J: Analyysi III a, 5 op
- 3316233 J: Analyysi III b, 4op
- 3317111 J: Analyysi IV, 8 op
- 3355722 K: Matematiikan peruskurssi a, 4 op
- 3355723 K: Matematiikan peruskurssi b, 4 op

- 3315921 K: Biostatistiikka, 3 op
- 3317321 J: Osittaisdifferentiaaliyhtälöt, 8 op
- 3352612 K: Image Analysis, 5 op
- 3352604 K: Inverse Problems, 5 op
- 3352601 K: Optimization, 5 op
- 3352611 K: Time Series Analysis, 5 op
- 3355724 K: Lineaarialgebra a, 5 op
- 3355725 K: Lineaarialgebra b, 4 op
- 3356504 K: Numerical methods, 5 op
- 3351703 K: Scientific Computing, 4 op
- 3356507 K: Todennäköisyyslaskenta a, 4 op
- 3316253 J: Todennäköisyyslaskenta b, 4 op
- 3317191 J: Differentiaaligeometria, 8 op
- 3317151 J: Funktionaalianalyysi, 8 op
- 3317182 J: Lukuteoria a, 4 op
- 3317183 J: Lukuteoria b, 4 op
- 3317311 J: Matriisit, 8 op
- 3316261 J: Algebra, 8 op
- 3316242 J: Differentiaaliyhtälöt a, 4 op
- 3316243 J: Differentiaaliyhtälöt b, 4 op
- 3312040 J: MATLABin perusteet, 3 op
- 3351551 K: Mathematical Programs: Matlab, 2 op
- 3311006 J: Fysiikan matemaattiset menetelmät, 4 op
- 3311012 J: Mekaniikka, 4 op
- 3312020 J: Materiaalien optisten ominaisuuksien mallintaminen, 4 op
- 3312043 J: Tilastinen optiikka, 4 op
- 3352751 Cloud Microphysics, 7.5-10 op
- 3352541 Digital Image Processing, 5 op
- 3352610 Estimation Theory, 5 op
- 3352602 Fluid dynamics, 5 op
- 3356503 Fourier analyysi, 6 op
- 3352577 Jauheröntgendiffraktio, 5 op
- 3352546 Medical Imaging, 5 op
- 3352543 Medical Signal Analysis, 5 op
- 3622324 Monimuuttujamenetelmät, 6 op
- 3622313 Regressioanalyysi, 8 op
- 3622330 Stokastiset prosessit, 6 op
- 3622311 Todennäköisyyslaskenta ja tilastotiede, 9 op
- 3622211 Tilastolliset mallit ja testaus, 4 op
- 3622310 Tilastotieteen matriisilaskenta, 6 op
- 3622212 Todennäköisyysmallit, päättely ja epäparametriset menetelmät, 5 op
- 3621511 Algoritmien suunnittelu ja analysointi, 6 op
- 3621519 Kehittyneet tietokannat, 5 op
- 3621518 Konenäkö, 5 op
- 3621515 Vaatimusten hallinta ja ohjelmiston mallintaminen, 5 op
- 3621335 Laskennallinen älykkyys I, 4 op
- 3621553 Laskennallinen älykkyys II, 5 op
- 3621520 Laskennallinen väri, 5 op
- 3621528 Rinnakkaislaskenta, 5 op

- 3621317 Laskennan perusmallit, 3 op
- 3622330 Stokastiset prosessit, 6 op
- 3621517 Hahmontunnistus, 5 op
- 3622316 Aikasarja-analyysi, 6 op
- 3622514 Bayes-päätely, 5-8 op
- 3622318 Biometria, 6 op
- 3621557 Digitaalinen puheenkäsittely, 5 op
- 3621621 Ihmisen näköjärjestelmä ja konenäkö, 5 op
- 3621623 Kaukokartoitus ja kuvankäsittely, 5 op
- 3621519 Kehittyneet tietokannat, 5 op
- 3621554 Kuva-analyysi, 5 op
- 3621528 Rinnakkaislaskenta, 5 op
- 3622332 Tiedon louhinta, 6 op
- 3621313 Tietorakenteet ja algoritmit I, 5 op
- 3621318 Tietorakenteet ja algoritmit II, 3 op
- 3622211 Tilastolliset mallit ja testaus, 4 op
- 5210107J J: Talousmatematiikka, 6 op
- 5010104J J: Tilastollisten menetelmien jatkokurssi, 5 op
- 5010102K K: Tilastollisten menetelmien perusteet yhteiskunta- ja kauppatieteilijöille, 3 op

## Jyväskylän yliopisto

### Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

- TILP100 Johdatus tilastotieteeseen, 3 op
- TILP150 Tilastomenetelmien peruskurssi, 6 op
- TILP250 Tilastotieteen peruskurssi 1, 6 op
- TILP260 Tilastotieteen peruskurssi 2, 6 op
- KEMA241 Kemian matemaattiset apuvälineet, 4 op
- FYSP120 Fysiikan numeeriset menetelmät, 4 op
- YMPS360 Paikkatietojärjestelmät ja spatiaalinen interpolointi, 4 op
- YMPS354 Kemiallinen ympäristöanalytiikka, 4 op
- YMPS370 Ympäristötieteen aineistojen tilastollinen tutkimus R-tilasto-ohjelmalla, 3 op
- YMPS371 Elementary statistics for environmental science with R, 3 op
- YMPS372 Spatiaalisten, temporaalisten ja monimuuttujaisten datojen analysointi R-tilasto-ohjelmalla, 3 op
- FYSP111 M1: Derivointi ja integrointi, 3 op
- FYSP112 M2: Vektorit ja kompleksiluvut, 3 op
- FYSP113 M3: Differentiaaliyhtälöt, 3 op
- FYSA114 M4: Vektorianalyysi, 3 op
- FYSA115 M5: Lineaarialgebra, 3 op
- FYSA116 M6: Integraalimuunnokset, 3 op
- FYSP110 Fysiikan kokeelliset menetelmät, 3 op
- FYSP120 Fysiikan numeeriset menetelmät, 4 op
- FYSS351 Virtausmekaniikka I (osa A), 5 op
- FYSS352 Virtausmekaniikka I (osa B), 4 op
- FYST450 Foundations of chaos theory, 6 op
- FYSM350 Simulointikurssi, 5 op

- FYSS451 Virtausmekaniikka II (osa A), 5 op
- FYSS452 Virtausmekaniikka II (osa B), 4 op
- FYSS455 Virtausmekaniikka III, 5 op
- FYSS550 Virtausmekaniikan jatkokoulutusseminaari, 5 op
- FYSS555 Virtausmekaniikan jatkokoulutuskurssi, 8 op
- KEMA241 Kemian matemaattiset apuvälineet, 5 op
- KEMA246 Molekyylimallinnus 1, 5 op
- KEMS304 Kemiallisten tulosten tarkastelu tilastollisin menetelmin, 4 op
- KEMS304 Kemiallisten tulosten tarkastelu tilastollisin menetelmin, 4 op
- KEMS709 Kemian mallit ja visualisointi, 5 op
- MATP100 Johdatus matematiikkaan, 2 op
- MATA111 Analyysi 1, 8 op
- MATA112 Analyysi, 9 op
- MATA113 Analyysi 3, 4 op
- MATA114 Differentiaaliyhtälöt, 3 op
- MATA121 Lineaarinen algebra ja geometria 1, 6 op
- MATA122 Lineaarinen algebra ja geometria 2, 4 op
- MATA130 Euklidiset avaruudet, 5 op
- MATA220 Algebra, 7 op
- MATA211 Differentiaalilaskenta 1, 4 op
- MATA212 Integraalilaskenta 1, 4 op
- MATA213 Differentiaalilaskenta 2, 4 op
- MATS110 Mitta- ja integraaliteoria 1&2, 9 op
- MATS120 Kompleksianalyysi 1&2, 10 op
- MATS220 Funktionaalianalyysi, 10 op
- MATS132 Lineaariset Lien ryhmät, 4 op
- MATS133 Lien ryhmät, 4 op
- MATS181 Johdatus konvekseen optimointiin, 5 op
- MATS185 Variaatiolaskenta, 7 op
- MATS210 Topologia, 9 op
- MATS215 Algebrallinen topologia, 9 op
- MATS220 Funktionaalianalyysi, 10 op
- MATS233 Sobolev -avaruudet ja moderni osittaisdifferentiaaliyhtälöiden teoria, 9 op
- MATS254 Martingaaliteoria, 4 op
- MATS255 Markov-prosessit, 4 op
- MATS262 Stokastiikka 1, 5 op
- MATS311 Reaalianalyysi, 9 op
- TILP100 Johdatus tilastotieteeseen, 3 op
- TILP150 Tilastomenetelmien peruskurssi, 6 op
- TILP250 Tilastotieteen peruskurssi 1, 6 op
- TILP260 Tilastotieteen peruskurssi 2, 6 op
- TILP350 SPSS-kurssi, 2 op
- TILP360 Peruskurssien lopputyö, 3 op
- TILP450 Tilastomenetelmien jatkokurssi, 9 op
- TILY100 HOPS (LuK-tutkinto), 1 op
- TILY200 HOPS (FM-tutkinto), 1 op
- TILA120 Todennäköisyyslaskenta A, 6 op
- TILA130 Todennäköisyyslaskenta B, 4 op
- TILA140 Matemaattinen tilastotiede 1, 8 op



- TILA220 Aikasarja-analyysi, 4 op
- TILA310 Johdatus tilastolliseen mallintamiseen, 8 op
- TILA370 LuK-seminaari, 3 op
- TILA380 LuK-tutkielma, 6 op
- TILA410 R-kurssi, 2 op
- TILA420 SAS-kurssi, 2 op
- TILA640 Suunniteltujen kokeiden tilastomenetelmät, 4 op
- TILS140 Matemaattinen tilastotiede 2, 8 op
- TILS210 Elinaikamallit, 6 op
- TILS470 Bayeslaiset epäparametriset regressiomallit, 4 op
- TILS540 Tilastolliset menetelmät Genetiikassa, 4 op
- TILS550 Graafiset mallit, 4 op
- TILS600 Spatiaalinen data-analyysi, 4 op
- TILS643 Diskreettien muuttujien mallit, 4 op

### Informaatioteknologian tiedekunta

- TIEA381 Numeeriset menetelmät, 5 op
- TIEA382 Lineaarinen ja diskreetti optimointi, 5 op
- TIEA311 Tietokonegrafiikan perusteet, 5 op
- ITKA201 Algoritmit 1, 4 op
- ITKA203 Käyttöjärjestelmät, 4 op
- TIEA211 Algoritmit 2, 4 op
- TIEA241 Automaatit ja kieliopit, 5 op
- ITKA112 Käyttäjälähtöinen ohjelmistokehitys, 3 op
- TIEA311 Tietokonegrafiikan perusteet, 5 op
- ITKP112 Oliosuuntautunut analyysi, 3 op
- TIEA381 Numeeriset menetelmät, 5 op
- TIEA382 Lineaarinen ja diskreetti optimointi, 5 op
- TIES481 Simulointi, 5 op
- TIES483 Epälineaarinen optimointi, 5 op
- TIES513 Fysikaaliset mallit tietokoneanimaatioissa, 5 op
- TIES487 Advanced Data Mining and Machine Learning, 5 op
- TIES445 Tiedonlouhinta, 5 op
- TIES581 Numeerinen lineaarialgebra, 5 op
- TIES594 ODY-ratkaisijat, 5 op
- TIES595 Numerical Analysis of PDEs, 5 op
- TIES588 Monitavoiteoptimointi, 5 op
- TIES583 Optimoinnin jatkokurssi, 5 op
- TIES324 Signaalinkäsittelyteoria ja -menetelmät, 4 op
- TIES411 Konenäkö ja kuva-analyysi, 4 op
- TIES433 Design of Agent-Based Systems, 7 op
- ITKA201 Algoritmit 1, 4 op
- ITKA203 Käyttöjärjestelmät, 4 op
- TILP150 Tilastomenetelmien peruskurssi, 6 op
- TJTST19 Tietokannat ja tiedon louhinta, 5 op
- ITKY105 Diskreetit rakenteet, 5 op

## Lapin yliopisto

- SMEN0303 Kuvaileva tilastotiede, 4 op
- SMEN0325 Tilastotieteen johdantokurssi, 7 op
- SMEN0324 Sovelletun matematiikan peruskurssi, 4 op
- SMEN0323 Matematiikan soveltamisen alkeita, 3 op
- SMEN0316 Matematiikkaa taloustieteilijöille II, 4 op
- SMEN0317 Matematiikkaa taloustieteilijöille III, 4 op
- SMEN0314 Aikasarjat ja indeksit, 4 op

## Lappeenrannan teknillinen yliopisto

### LUT Chemical and Process Engineering

- BJ70AJ105 Multivariate Methods in Analytical Chemistry, 4 op
- BJ20A0301 Introduction to Process Simulation, 5 op
- BJ30A0600 Yksikköprosessien mallinnus, 6 op
- BJ30A0700 Computational Fluid Dynamics in Chemical Engineering, 6 op
- BJ30A1100 Prosessi-integraatio, 6 op
- BJ30A1300 Process Simulation, 6 op
- BJ30A1600 Advanced Process Simulation, 8 op

### LUT Energy Technology

- BH20AJ100 Numerical Modeling and Data Analysis Methods in Heat and Fluid Flow Engineering: Macroscale and Nanoscale, 10 op
- BH20AJ110 Theory and Modelling of Multiphase Flows, 10 op
- BH40A0200 Pumput, puhaltimet ja kompressorit, 3 op
- BH40A0800 Termiset virtauskoneet, 4 op
- BH50A0500 Poltto- ja kattilatekniikan perusteet, 5 op
- BH30A0400 Ydinreaktorien fysiikka, 6 op
- BL30A0100 Piirianalyysi, 3 op
- BL30A1200 Numerical Methods in Electromagnetism, 4 op
- BL40A0000 Sääntötekniikan ja signaalinkäsittelyn matemaattiset ohjelmistot, 2 op
- BL40A0400 Signaalien digitaalinen käsittely, 5 op
- BL40A1300 Teollisuusprosessien mallinnus ja säätö, 4 op

### LUT Industrial Management

- CS20A0250 Päätöksenteko toimitusketjussa, 6 op
- CS30A1551 System Dynamics and Industrial Management, 5 op
- CS31A0350 Suorituskyvyn analysointijärjestelmät, 5 op
- CS31A0600 Investointilaskelmat, 5 op
- CS31A0650 Investointi- ja kustannusmallit, 5 op
- CS31A0050 Yrityspeli, 5 op
- CS36A0450 Päätöksenteko toimitusketjussa TUDI, 6 op

## LUT Information Technology

- CT30A7001 Concurrent and Parallel Computing, 8 op
- CT50A2000 Tietojenkäsittelyn perusteet I, 5 op
- CT50A2100 Tietojenkäsittelyn perusteet II, 5 op
- CT50A2310 Tietorakenteet ja algoritmit, 5 op
- CT50A4000 Introduction to Intelligent Computing, 5 op
- CT50A5700 Introduction to Computer Graphics, 5 op
- CT50A6000 Pattern Recognition, 7 op
- CT50A6100 Machine Vision and Digital Image Analysis, 7 op
- CT50A6200 Computer and Robot Vision, 7 op
- CT50A6400 Compiler Construction, 7 op
- CT60A4101 Software Engineering Methods, 5 op

## LUT Mechanical Engineering

- BK20A1000 Virtuaalihitsaus, 3 op
- BK70A0000 Simulation of a Mechatronic Machine, 6 op
- BK70A0100 Koneen simuloinnin työkurssi, 6 op
- BK70A0201 Koneen simuloinnin erityisopintojakso, 5 op
- BK70AJ110 Koneiden mallintamisen ja simuloinnin jatko-opintokurssi A, 6 op
- BK80A0401 Lujuusopin perusteet, 3 op
- BK80A0300 Lujuusoppi I, 6 op
- BK80A0501 Lujuusoppi II, 6 op
- BK80A0000 Statiikka, 6 op
- BK80A1100 FE-analyysin peruskurssi, 5 op
- BK80A1200 FE-analysis course, 5 op
- BK80A1300 FE-analyysin jatkokurssi, 5 op
- BK80A1401 Väsymiskestävyys, 6 op
- BK60A0100 Hydraulitekniikka, 5 op
- BK60AJ100 Koneiden mallintamisen ja simuloinnin jatko-opintokurssi B, 6 op

## LUT School of Business

- AB30A0500 Financial Econometrics, 5 op
- AB40A0010 Talous- ja finanssimatematiikka, 7 op
- AB40A0100 Monimuuttujamenetelmät, 5 op
- AB40A0150 Ekonometrian perusteet, 5 op
- AC40A0010 Tilastollisen analyysin perusteet, 7 op
- AC60A0350 Multivariate and Econometric Analysis Methods, 6 op
- AC60A0700 Introduction to Modern Economics, 6 op

## Technomathematics and Technical Physics

- BM20A1300 Complex Analysis, 3 op
- BM20A1401 Tilastomatematiikka I, 3 op
- BM20A1501 Numeeriset menetelmät I, 3 op

- BM20A1601 Matriisilaskenta, 4 op
- BM20A1801 Lineaarinen optimointi, 6 op
- BM20A1900 Statistics II, 3 op
- BM20A2000 Simulation, 4 op
- BM20A2102 Differential Equations, 6 op
- BM20A2201 Logic and Discrete Methods, 4 op
- BM20A2401 Matemaattinen mallinnus, 5 op
- BM20A2500 Linear Algebra and Normed Spaces, 3 op
- BM20A2701 Numerical Methods II, 3 op
- BM20A2800 Nonlinear Optimization, 4 op
- BM20A2901 Discrete Optimization, 5 op
- BM20A3001 Statistical Analysis in Modelling, 5 op
- BM20A3101 Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, 6 op
- BM20A3202 Fuzzy Engineering, 6 op
- BM20A3301 Stochastic Theory and Models, 3 op
- BM20A3401 Design of Experiments, 4 op
- BM20A3602 Fuzzy Data Analysis, 6 op
- BM20A3801 Advanced Mathematical Methods, 3 op
- BM20A3900 Modelling Methodology in Process Engineering, 6 op
- BM20A4100 Vektorianalyysi teknillisessä laskennassa, 4 op
- BM20A4201 Applied Functional Analysis, 4 op
- BM20A4301 Johdatus tekniseen laskentaan, 4 op
- BM20A4400 Sovelletun matematiikan erikoiskurssi, 3 op
- BM20A4500 Evolutionary Computation, 5 op
- BM20A4600 Jatkuvat mallit, 4 op
- BM20A4700 Osittaisdifferentiaaliyhtälöt matemaattisessa mallinnuksessa, 4 op
- BM20A4800 Project Work in Applied Mathematics, 10 op
- BM20A4900 Matematiikan teknistaloudelliset sovellukset, 8 op
- BM20A5000 Principles of Technical Computing and Scientific Publishing, 4 op
- BM20A9000 Mathematics of Epidemiology, 2 op
- BM20A9010 Special Topics in Differential Equations, 4 op
- BM20A9020 Stochastic Differential Equations, 3 op
- BM20AJ105 Matemaattinen teknologia, 5 op
- BM20AJ110 Sumeat systeemit, 5 op
- BM20AJ115 Advanced Kalman Filtering, 5 op
- BM20AJ120 Statistical Methods for Inverse Problems, 5 op
- BM30A1410 Fourierin analyysi A, 3 op
- BM30A1420 Fourierin analyysi B, 2 op

## Oulun yliopisto

### Luonnontieteellinen tiedekunta

- 806109P Tilastotieteen perusmenetelmät I, 9 op
- 747604S Introduction to biocomputing, 3 op
- 750642S Optimointi- ja peliteoriat, 3 op
- 761666S Fourier-muunnokset ja niiden sovellutukset, 6 op

- 761668S Laskennallinen fysiikka, 6 op
- 766661S NMR-kuvaus, 8 op
- 762630S Sähkömagneettisten kenttien mallintaminen, 5 op
- 763310A Analyyttinen mekaniikka, 6 op
- 763101P Fysiikan matematiikkaa, 6 op
- 763311A Matemaattiset apuneuvot, 6 op
- 763315A Numeerinen mallintaminen, 4 op
- 763616S Numeerinen ohjelmointi, 6 op
- 764668S Biosysteemien simulointi, 5 op
- 764630S Epälineaaristen systeemien identifiointi, 6 op
- 764629S Lineaaristen systeemien identifiointi, 5 op
- 765617S Tietokonesimulaatiot, 5 op
- 765366A Tilastolliset menetelmät tähtitieteessä, 5 op
- 766323A Mekaniikka, 7 op
- 782624S Molekyyylimallinnus, 3 op
- 800333A Algebra I, 8 op
- 800343A Algebra II, 8 op
- 801694S Algebra III, 10 op
- 802118P Lineaarialgebra I, 5 op
- 802119P Lineaarialgebra II, 5 op
- 802354A Lukuteoria ja ryhmät, 5 op
- 802353A Sarjat ja integraali, 6 op
- 800322A Moniulotteinen analyysi, 8 op
- 801195P Todennäköisyyslaskennan peruskurssi, 5 op
- 801385A Kompleksianalyysi I, 4 op
- 801386A Kompleksianalyysi II, 4 op
- 800345A Differentiaaliyhtälöt I, 4 op
- 800346A Differentiaaliyhtälöt II, 4 op
- 801396A Todennäköisyyslaskennan jatkokurssi, 5 op
- 802328A Lukuteoria I, 8 op
- 801346A Salausmenetelmät, 4 op
- 802362A Inversio-ongelmien laskennallinen peruskurssi, 6 op
- 801387A Numeerisen analyysin peruskurssi, 8 op
- 801344A Numeerisen laskennan peruskurssi, 6 op
- 802331A Matemaattisen mallintamisen perusteet, 8 op
- 806112P Data-analyysin perusmenetelmät, 10 op
- 805310A Tilastollinen päättely I, 10 op
- 806308A Lineaariset mallit, 10 op
- 805324A Aikasarja-analyysi, 9 op
- 805308A Pitkittäisaineistojen analysointi, 9 op
- 805339A Ekonometrian ja rahoituksen tilastolliset perusteet, 6 op
- 805328A Monimuuttujamenetelmät, 6 op
- 800667S Koodusteoria, 10 op
- 801698S Kryptografia, 10 op
- 800688S Optimointiteoria, 10 op
- 800651S Funktioanalyysi, 10 op
- 802636S Informaatioteoria, 10 op
- 802635S Introduction to Partial Differential Equations, 10 op
- 802645S Lukuteoria A, 5 op

- 802646S Lukuteoria B, 5 op
- 802631S Moderni reaalianalyysi, 10 op
- 800660S Ryhmäteoria, 10 op
- 802633S Tilastollinen hahmontunnistus, 10 op
- 802629S Funktioiden estimointi, 10 op
- 805611S Tilastollinen päättely II, 10 op
- Numerical solution methods for boundary value problems, 10 op
- 802635S Introduction to Partial Differential Equations, 10 op
- 802647S Fourier series and discrete Fourier transforms, 10 op
- 800674S Fourier transforms and distributions, 10 op
- 802623S Osittaisdifferentiaaliyhtälöt matemaattisessa mallinnuksessa, 4 op
- 802623S Jatkuvat mallit, 4 op
- 802623S Datan analyysimenetelmät mallinnuksessa, 4 op
- 802623S Mallinnus ja optimointi, 4 op
- 802623S Tilastolliset mallit, 4 op
- 802623S Mathematics of Visual Motion, 4 op
- 802623S Satunnaisuus mallintamisessa, 4 op
- Jakaumien matemaattinen analyysi, 6 op
- 811312A Tietorakenteet ja algoritmit, 5 op

#### Läketieteellinen tiedekunta

- 031010P Matematiikan peruskurssi I, 5 op
- 031011P Matematiikan peruskurssi II, 6 op
- 031017P Differentiaaliyhtälöt, 4 op
- 031019P Matriisialgebra, 3,5 op
- 031021P Tilastomatematiikka, 5 op
- 031049A Signaalit ja järjestelmät, 5 op
- 031028S Matemaattinen signaalinkäsittely, 6 op
- 040005Y Biostatistiikka, 3 op
- 031018P Kompleksianalyysi, 4 op
- 031022P Numeeriset menetelmät, 5 op
- 031024A Satunnaissignaalit, 5 op
- 031044A Matemaattiset menetelmät, 3 op
- 521273S Biosignaalien käsittely, 4 op
- 521467S Digitaalinen kuvankäsittely, 5 op
- 764364A Biosysteemien analyysi, 5 op
- 764634S Läketieteellinen fysiikka ja kuvantaminen, 6 op
- 521497S Hahmontunnistus ja neuroverkot, 5 op
- 580402S Bioläketieteellisen tutkimuksen kuvantamismenetelmät, 4 op
- 764668S Biosysteemien simulointi, 4 op
- 747604S Introduction to biocomputing, 3 op
- 764668S Bioprosessien simulointi, 5 op



## Taloustieteiden tiedekunta

- 350005Y Tilastotiede, 6 op
- 350007Y Tilastollinen tietojenkäsittely, 5 op
- 721220A Matemaattinen taloustiede, 5 op
- 721954S Fiancial Econometrics, 6 op
- 721342S Peliteorian perusteet, 6 op

## Teknillinen tiedekunta

- 477604S Automaatiotekniikan laskentatyökalut, 3 op
- 477305S Virtausdynamikka, 5 op
- 477505S Älykkäät laskennalliset menetelmät automaatiossa, 4 op
- 031017P Differentiaaliyhtälöt, 4 op
- 031022P Numeeriset menetelmät, 5 op
- 031021P Tilastomatematiikka, 5 op
- 031018P Kompleksianalyysi, 4 op
- 031019P Matriisialgebra, 3,5 op
- 477506S Bioteknisten prosessien mallit ja säätö, 5 op
- 477605S Digitaalinen säätöteoria, 4 op
- 477724S Kaivosmallinnus, 3 op
- 477504S Prosessien optimointi, 4 op
- 477503S Simulointi, 3 op
- 477305S Virtausdynamikka, 5 op
- 521466S Konenäkö, 5 op
- 521343S Koodausmenetelmät, 4 op
- 521495S Tekoäly, 5 op
- 521484S K2011 Tilastollinen signaalinkäsittely, 5 op
- 521302A Piiriteoria 1, 5 op
- 031025A Optimoinnin perusteet, 5 op
- 477602A Säätöjärjestelmien analyysi, 4 op

## Svenska Handelshögskolan

- 1741 Advanced Financial Theory
- 1772 Financial Modeling Using MS Excel and VBA
- 790 Financial Time Series Analysis
- 1788 Mathematics of Financial Derivatives
- 1737 Quantitative Financial Economics
- 1745 Volatility Modeling and Empirical Methods in Asset Pricing
- 2556 Avancerad Excel och VBA
- 2518-E Databases
- 2557 Decision Support Systems in Business
- 2689 Econometrics I
- 2690 Econometrics II
- 26002 Macroeconometrics
- 1112 Ekonomisk matematik och statistik
- 1112-0 EMS: Upphämtningskurs i matematik

- 1112-1 EMS-del 1: Ekonomisk matematik
- 1112-2 EMS-del 2: Statistik
- 7777 Forsknings- och undersökningsmetodik
- 3606 Ekonometri
- 3643 Econometrics
- 3610 Ekonomisk matematik
- 3613 Multivariate Data Analysis
- 3614-E Probability
- 3637 Estimation and Inference in Econometrics
- 3639 Time Series Analysis
- 3636 Advanced Econometrics
- 3618 Introduction to Mathematical Finance
- 3638 Microeconometrics
- 3634 Statistical Inference
- 63637 Nonlinear Econometrics
- 63626 Reading Course in Statistics
- 63624 Volatility Modelling

## Tampereen teknillinen yliopisto

- BME-2626 Processing of Physiological Signals, 5 op
- BME-2706 Analysis of Bioelectric Phenomena, 4 op
- BME-2716 Modelling of Physiological Systems, 5 op
- BME-2736 Computational Modelling of Cardiovascular and Nervous System, 5 op
- BME-3206 Medical Imaging Methods, 6 op
- SMG-5100 Sähkömagneettinen ja matemaattinen fysiikka I, 5 op
- SMG-5300 Sähkömagneettinen ja matemaattinen fysiikka II, 5 op
- SMG-5150 Sähkömagneettinen mallintaminen I, 3 op
- SMG-5156 Electromagnetic Modelling I, 3 op
- SMG-5356 Electromagnetic modelling II, 3-5 op
- SMG-5426 Electromagnetic-mechanical Modelling, 5 op
- SMG-5200 Verkkolaskennan numeeriset menetelmät, 5 op
- ENER-1020 Energia- ja prosessitekniikan matemaattiset menetelmät, 3 op
- ENER-3010 Lämmönsiirron perusteet, 5 op
- ENER-3051 Lämmönsiirron jatkokurssi, 3 op
- ENER-3800 Konvektiivinen lämmönsiirto, 5 op
- ENER-4010 Virtausoppi, 5 op
- ENER-4041 Kitkallinen virtaus, 5 op
- ENER-4080 Virtauskoneet, 5 op
- ENER-4100 Turbulenssi-ilmiöt, 5 op
- ENER-4201 Virtauslaskennan perusteet, 5 op
- ENER-4750 Monifaasivirtaus, 6 op
- ENER-4800 Virtausten numeerinen laskenta, 6 op
- ENER-4850 Virtauksen turbulenssi-ilmiöt, 6 op
- ENER-6700 Reaktiiviset virtaukset I, 7 op
- ENER-6750 Reaktiiviset virtaukset II, 5 op
- ENER-7200 Prosessien simulointi, 5 op
- FYS-4100 Laskennallinen fysiikka I, 5 op

- FYS-4200 Laskennallinen fysiikka II, 5 op
- FYS-4300 Fysiikan matemaattiset apuneuvot, 4-6 op
- FYS-7306 Molecular modeling of bio- and nanosystems, 5-8 op
- IHA-2150 Lentokonehydrauliikka, 5 op
- IHA-2328 Simulation of Hydraulic Systems, 5 op
- IHA-2570 Digitaalihydrauliikka, 5 op
- IHA-2600 Hydraulijärjestelmien mallintaminen ja simulointi, 5 op
- IHA-2700 Hydraulijärjestelmien mallintamisen ja simuloinnin jatkokurssi, 5 op
- IHA-3256 Autonomous Mobile Machines, 7 op
- MEC-2600 Optimoinnin perusteet, 5 op
- MEC-3016 Mechanical Vibrations, 6 op
- MEC-3050 Konejärjestelmien simulointi, 6 op
- MEC-3056 Simulation of Machine Systems, 6 op
- MEC-4210 Tehonsiirtolaitteiden analysointi, 5 op
- MEC-4700 Simuloinnin ja optimoinnin peruskurssi, 5 op
- MEC-4710 Stokastisten ilmiöiden simulointi, 5 op
- MEC-4720 Tilastomatemattinen datan käsittely ja näytteen otto, 3 op
- MEC-6110 Prosessikoneiden ja -järjestelmien optimointi, 5 op
- MAT-20451 Fourier'n menetelmät, 4 op
- MAT-21241 Operaatiotutkimus, 4 op
- MAT-20451 Fourier'n menetelmät, 4 op
- MAT-33311 Tilastomatematiikka 1, 4 op
- MAT-31102 Numeerinen analyysi, 4 op
- MAT-34000 Tilastomatematiikka 2, 6 op
- MAT-33500 Differentiaaliyhtälöt, 5 op
- MAT-33506 Differential equations, 5 op
- MAT-20401 Vektorianalyysi, 4 op
- MAT-20451 Fourier'n menetelmät, 4 op
- MAT-20501 Todennäköisyyslaskenta, 4 op
- MAT-21161 Algoritmimatematiikka, 4 op
- MAT-31080 Kompleksimuuttujan funktiot, 5 op
- MAT-31090 Matriisilaskenta 1, 5 op
- MAT-31102 Numeerinen analyysi, 4 op
- MAT-33351 Vektorikentät, 6 op
- MAT-33500 Differentiaaliyhtälöt, 5 op
- MAT-33506 Differential equations, 5 op
- MAT-35006 Dynamical Systems and Chaos, 6 op
- MAT-41122 Matemaattinen optimointiteoria 1, 7 op
- MAT-41140 Johdatus funktionaalianalyysiin, 7 op
- MAT-41150 Algebra 1, 5 op
- MAT-41156 Algebra 1, 5 op
- MAT-41176 Theory of Automata, 5 op
- MAT-41180 Formaalit kielet, 6 op
- MAT-41190 Graafiteoria, 6 op
- MAT-41281 Tilastolliset monimuuttujamenetelmät, 6 op
- MAT-41291 Mitta- ja integraaliteoria, 8 op
- MAT-41297 Measure and Integral Theory, 8 op
- MAT-42100 Sovellettu logiikka, 5 op
- MAT-42106 Applied logics, 5 op

- MAT-43650 Matemaattinen analyysi, 6 op
- MAT-43850 Matemaattinen analyysi 2, 7 op
- MAT-44650 Operaatiotutkimus 2, 6 op
- MAT-45050 Matemaattisen mallinnuksen peruskurssi, 5 op
- MAT-45700 Johdatus teknilliseen laskentaan Matlabilla, 3 op
- MAT-45706 Introduction to scientific computing, 3 op
- MAT-45806 Mathematics for positioning, 3 op
- MAT-45807 Mathematics for Positioning, 4 op
- MAT-51206 Coding Theory, 6 op
- MAT-51216 Information Theory, 4 op
- MAT-51250 Matemaattinen optimointiteoria 2, 4 op
- MAT-51266 Stochastic Processes, 6 op
- MAT-51316 Partial Differential Equations, 5 op
- MAT-51330 Jakautuneet järjestelmät, 5 op
- MAT-51340 Osittaisdifferentiaaliyhtälöiden jatkokurssi, 6 op
- MAT-51590 Kompleksianalyysin sovellutuksia, 5 op
- MAT-51706 Bayesian Methods, 6 op
- MAT-51801 Matemaattinen tilastotiede, 6 op
- MAT-51900 Todennäköisyys modernissa matematiikassa, 3 op
- MAT-51906 Probability in Modern Mathematics, 3 op
- MAT-52506 Inverse Problems, 6 op
- MAT-52600 Matemaattinen kryptologia, 6 op
- MAT-53551 Funktionaalianalyysin jatkokurssi, 8 op
- MAT-53557 Advanced Functional Analysis, 8 op
- MAT-53707 Algebra 2, 6 op
- MAT-53750 Johdatus geometrisiin algebriin ja niiden sovellutuksiin, 7 op
- MAT-53756 Introduction to Geometric Algebras and their Applications, 7 op
- MAT-55216 Topics in applied mathematics, 3-5 op
- MAT-55406 Finite Fields, 4 op
- MAT-55800 Osittaisdifferentiaaliyhtälöt matemaattisessa mallinnuksessa, 4 op
- MAT-55900 Datan analyysimenetelmät mallinnuksessa, 4 op
- MAT-56000 Tilastolliset mallit, 4 op
- MAT-56100 Satunnaisuus mallintamisessa, 4 op
- MAT-56206 Mathematics of Visual Motion, 4 op
- MAT-56300 Jatkuvat mallit, 4 op
- MAT-56400 Mallinnus ja optimointi, 4 op
- MAT-59056 Mathematical Logic, 7 op
- OHJ-2156 Analysis of Algorithms, 4 op
- OHJ-2010 Tietorakenteiden käyttö, 5 op
- OHJ-2016 Utilization of Data Structures, 5 op
- OHJ-2306 Introduction to Theoretical Computer Science, 6 op
- SGN-1201 Signaalinkäsittelyn menetelmät, 3 op
- SGN-1159 Introduction to Signal Processing, long version, 5 op
- SGN-2010 Digitaalinen lineaarinen suodatus I, 5 op
- SGN-2016 Digital Linear Filtering I, 5 op
- SGN-2056 Digital Linear Filtering II, 4 op
- SGN-2706 Nonlinear Signal Processing, 5 op
- SGN-2756 Robust Estimation, 3 op
- SGN-3010 Digitaalinen kuvankäsittely I, 5 op

- SGN-3016 Digital Image Processing I, 5 op
- SGN-3057 Digital Image Processing II, 6 op
- SGN-3507 Introduction to Medical Image Processing, 5 op
- SGN-4106 Speech Recognition, 5 op
- SGN-4200 Digitaalinen audio, 5 op
- SGN-4227 Digital Audio Processing and Analysis, 6 op
- SGN-5306 Knowledge Mining, 3 op
- SGN-6106 Computational Systems Biology, 5 op
- SGN-6126 Cell culturing, microscopy and cell image analysis, 3 op
- SGN-6176 Microarray Data Analysis, 5 op
- SGN-6186 Mathematical Modeling of Cellular Systems, 5 op
- SGN-6236 Modeling Techniques for Stochastic Gene Regulatory Networks, 3 op
- SGN-6457 Computational Models in Complex Systems, 5 op
- ACI-20090 Mallinnus ja simulointi, 5 op
- ACI-42086 Optimal and Robust Control System Design with Matlab, 7 op
- ACI-41030 Neuro- sumeat järjestelmät, 5 op
- ASE-2150 Systemimallit ja niiden identifiointi, 5 op
- ASE-2510 Johdatus systeemien analysointiin, 5 op
- ASE-5010 Kehittyneet datan mallinnus- ja analysointimenetelmät, 5 op
- ASE-5030 Optimaalinen mallipohjainen estimointi ja ennustaminen, 7 op
- ASE-5140 Monimuuttujaisten dynaamisten järjestelmien optimoiva hallinta JY, 7 op
- ASE-5050 Optimoiva ja robusti säätö Matlabilla, 8 op
- SVT-3400 Sähköverkkojen mallintaminen ja analyysi, 5 op
- TEL-1440 Sähkökäyttöjen mallintaminen, 5 op
- TUR-2400 Luotettavuus- ja riskianalyysi, 5 op
- TUR-3230 Ympäristöriskien analysointi, 5 op
- TKT-1220 Tietokonearitmetiikka I, 4 op
- TKT-2546 Methods for Positioning, 3 op
- TLT-2707 Network Simulation Techniques, 3-6 op
- TLT-2786 Advanced Topics in Teletraffic Theory, 3-6 op
- TLT-5656 Signal Processing for Mobile Positioning, 5-7op
- Yhteistyössä Jyväskylän yliopiston kanssa:
- YHTJYU-3050 Simulointi, 5 op
- YHTJYU-3150 Virtausmekaniikka Ia, 4-5 op
- YHTJYU-3200 Virtausmekaniikka Ib, 4 op
- YHTJYU-3251 Teknillinen termodynamiikka (osa A), 4 op
- Yhteistyössä Tampereen yliopiston kanssa:
- YHTTAY-7216 Design and Development of Speech Interfaces, 8 op

## Tampereen yliopisto

- BIOI0010 Supplementary Mathematics, 3 op
- BIOI2290 Mathematics for Bioinformatics, 3 op
- BIOI4350 Protein Modelling, 6 op
- BIOI4240 Structural Bioinformatics, 4 op
- BIOI4200 Expression Data Analysis, 4 op
- BIOI4230 Phylogenetics, 4 op
- BIOI4240 Structural Bioinformatics, 4 op

- BIOI4201 Microarray Data Analysis, TUT SGN-6176 5 op
- BIOI4221 Computational Systems Biology, TUT SGN-6106 5 op
- BIOI4280 Algorithms in Bioinformatics, 4 op
- MATEP3 Analyysi 1, 8 op
- MATEP0 Diskreetti matematiikka, 6 op
- MATEP10 Johdatus analyysiin, 4–6 op
- MATEA7A Algebra 1, 10 op
- MATES57 Topologia, 10 op
- MATEP2A Lineaarialgebra 1A, 5 op
- MATEP2B Lineaarialgebra 1B, 5 op
- MATES55 Lineaarialgebra 2, 10 op
- MATEP4 Analyysi 2, 8 op
- MATEA1 Analyysi 3, 8 op
- TILTA1A Todennäköisyyslaskenta, 4 op
- TILTA2A Tilastotieteen matriisilaskenta I, 4 op
- TILTA2B Tilastotieteen matriisilaskenta II, 4 op
- TILTA4 Tilastollinen tietojenkäsittely, 4 op
- TILTA40 Tilastollinen data-analyysi, 6 op
- TILTS1 Tilastollinen päättely II, 10 op
- TILTS8 Lineaariset mallit 10, op
- TILTA26 Yleistetyt lineaariset mallit I, 4 op
- TILTA5 Aikasarja-analyysi I, 8 op
- TILTA6 Regressioanalyysi, 8 op
- TKOPS111 Käsitteellinen mallintaminen, 10 op
- TKOPS112 Käsitteellinen mallintaminen II, 8 op
- TKOPS115 Neurolaskenta, 6 op
- TKOPS144 Kuvanprosessointi, 6 op
- KTALA150 Ekonometria I, 8 op
- BIKE4140 Lääkeainemallitus, 2 op

## Turun yliopisto

- ESCE0006 Modelling and Evaluating Toxicological Data Sets, 4 op
- MAAN6451 Methods in Geographical Information Systems (GIS) (v), 7 op
- MAAN6452 Methods in remote sensing and image processing (v), 7 op
- MAAN6451 Methods in Geographical Information Systems (GIS) (v), 7 op
- KEMI5122 Laskennallinen kemia ja molekyylihallinnus/B, 3 op
- BIOL4050 Biostatistiikan alkeet, 4 op
- EKOL2413 Ekologian tilastolliset menetelmät: yleiset ja yleistetyt lineaariset mallit, 5 op
- EKOL2414 Ekologian tilastolliset menetelmät: monimuuttujamenetelmät, 3 op
- UFYS1005 Matemaattiset menetelmät 1, 3 op
- UFYS2005 Matemaattiset menetelmät 2, 3 op
- UFYS2006 Matemaattiset menetelmät 3, 3 op
- UFYS2007 Matemaattiset menetelmät 4, 4 op
- SMAT5045 Differentiaaliyhtälöt, 5 op
- SFYS4446 Fourier-muunnokset ja niiden sovellutukset, 6 op
- SFYS4307 Fourier-muunnosten jatkokurssi, 4 op
- ANAT5101 Physical basis of medical imaging, 4 op



- ANAT5102 Medical Imaging project work, 5 op
- UFYS3068 Econophysics, 5 op
- UFYS3042 Epälineaaristen systeemien aikasarja-analyysi, 4 op
- XFYS4416 Laskennallinen materiaalfysiikka, 8 op
- XFYS4326 Tilastolliset menetelmät, 5 op
- UFYS3014 Quantum Information, 8 op
- UFYS3079 Data Mining in Astronomy, 4 op
- GMIN3013 Geologinen 3D-mallinnus, 4 op
- BIOL4050 Biostatistiikan alkeet, 4 op
- BIOI2080 Introduction to Bioinformatics, 4 op
- BIOI4200 Expression Data Analysis, 4 op
- BIOI4210 Bioinformatics in Functional Genomics, 4 op
- BIOI4260 Biological Data Analysis Project, 4 op
- BIOI4270 Bioinformatics, Programming Course, 4 op
- BIOI4280 Algorithms in Bioinformatics, 4 op
- BIOI4290 Tools for Intelligent Data Analysis, 4
- BIOI2290 Math and CS for Bioinformatics, 3 op
- BIOI4320 Advanced Math and CS for Bioinformatics, 3 op
- BIOI4330 Biological Database Systems, 5 op
- BIOI4340 Text Mining in the Biomedical Domain, 3 op
- BIOI4350 Protein Modelling, 6 op
- BIOI4280 Algorithms in Bioinformatics 4, op
- BIOI4240 Structural Bioinformatics, 4 op
- DTEK1018 System Modelling with SystemC, 5 op
- ETT\_3066 Formal System Modelling and Verification, 5 op
- ETT\_3053 Reconfigurable Computing, 5 op
- TKO\_2038 Algoritmien ja ohjelmoinnin peruskurssi, 5 op
- TKO\_2008 Tietojärjestelmän mallintaminen, 5 op
- TKO\_2011 Tietorakenteet ja algoritmit I, 5 op
- TKO\_2012 Tietorakenteet ja algoritmit II, 5 op
- TKO\_5500 Design and Analysis of Algorithms, 6 op
- TKO\_5710 Algorithms for Computer Games, 5 op
- TKO\_5529 Mathematics for Analysis of Algorithms, 5 op
- TKO\_2018 Pattern Recognition and Neural Networks, 5 op
- TKO\_5724 3D Modelling and Animation, 5 op
- TKO\_5059 Logic and Reasoning in Math and CS Education, 3–5 op
- ETT\_2026 Digitaalinen signaalinkäsittely, 5 op
- SMAT5045 Differentiaaliyhtälöt, 5 op
- SMAT5108 Matemaattinen optimointi I, 4 op
- SMAT5109 Matemaattinen optimointi II, 4 op
- SMAT5217 Game Theory, 5 op
- SMAT5037 Optimointialgoritmit, 5 op
- ETT\_3053 Reconfigurable Computing, 5 op
- ETT\_2030 Supercomputing Structures, 5 op
- TKO\_5437 Data Mining, 5 op
- TKO\_2017 Declarative Programming, 5 op
- ETT\_3066 Formal System Modeling and Verification, 5 op
- DTEK8031 Computer Aided Project Management, 2 op
- KEMI5122 Laskennallinen kemia ja molekyylimallinnus/B, 3 op

- MATE5281 Insinöörimatematiikka I A, 4 op
- MATE5282 Insinöörimatematiikka I B, 5 op
- MATE5283 Insinöörimatematiikka II A, 4 op
- MATE5284 Insinöörimatematiikka II B, 5 op
- MATE5015 Analyysi I (sivuaineopiskelijoille), 8 op
- MATE5018 Analyysi II (sivuaineopiskelijoille), 8 op
- MATE5043 Lineaarialgebra (sivuaineopiskelijoille), 9 op
- MATE5291 Matematiikan peruskurssi A, 4 op
- MATE5292 Matematiikan peruskurssi B, 4 op
- MATE5293 Matematiikan peruskurssi C, 5 op
- MATE5074 Algoritminen matematiikka, 4 op
- MATE5033 Funktioteoria, 4 op
- MATE6006 Usean muuttujan funktiot I, 4 op
- MATE6006 Usean muuttujan funktiot I, 4 op
- MATE6007 Usean muuttujan funktiot II, 4 op
- MATE5089 Kryptografian matemaattiset perusteet, 5 op
- MATE5296 Kryptografia I, 5 op
- MATE5297 Kryptografia II, 5 op
- MATE5060 Algebran peruskurssi I, 5 op
- MATE5061 Algebran peruskurssi II, 4 op
- MATE5074 Algoritminen matematiikka, 4 op
- MATE5123 Lukuteoria, 4 op
- MATE5313 Koodausteoria I, 5 op
- MATE5324 Koodausteoria II, 5 op
- MATE5230 Graph Theory 10, op
- TKO\_2038 Algoritmien ja ohjelmoinnin peruskurssi, 5 op
- MATE5219 Matematiikan tietokonetyö I, 2 op
- MATE5220 Matematiikan tietokonetyö II, 2 op
- TKO\_2011 Tietorakenteet ja algoritmit I, 5 op
- TKO\_2012 Tietorakenteet ja algoritmit II, 5 op
- SMAT5176 Numeerinen analyysi, 4 op
- SMAT5001 Todennäköisyyslaskenta I, 4 op
- SMAT5066 Todennäköisyyslaskenta II, 4 op
- SMAT5016 Konvekssi analyysi ja optimointi, 5 op
- SMAT5215 Matemaattinen mallintaminen, 10 op
- SMAT5037 Optimointialgoritmit 5, op
- SMAT5035 Osittaisdifferentiaaliyhtälöt, 10 op
- LRS25/TKM9 Financial modeling and simulation, 6 op
- LRS22/TKM7 Ekonometria I, 6 op
- LRS24/TKMS2 Ekonometria II, 6 op
- LOG3 Purchasing and Supply Management, 6 op
- KT35 Ekonometrian peruskurssi, 6 op
- KTS24 Ekonometrian jatkokurssi, 6 op
- KT50 Matemaattinen analyysi I, 7 op
- KT51 Matemaattinen analyysi II, 6 op
- KT52 Lineaarialgebran kurssi, 6 op
- KT53 Optimointi, 6 op
- KTS27 Makroekonometria, 6 op
- KTS28 Aikasarjamallit ja ennustaminen, 6 op

- TKMY1 Talousmatematiikan perusteet, 3 op
- TKM5/LOG16 Päätösanalyysi, 6 op
- TKM7/LRS22 Ekonometria I, 6 op
- TKMS2/LRS24 Ekonometria II, 6 op
- TKM8 Taloudelliset ennustemallit, 6 op
- TKMS4 Tilastolliset analyysimenetelmät, 6 op
- TILA3447 Varianssi- ja regressioanalyysi, 5 op
- TILA3449 Aikasarjat ja indeksit, 6 op
- TILA3451 Matematiikkaa tilastotieteilijöille, 6 op
- TILA3454 Lineaariset mallit, 8 op
- TILA3450 SAS-kurssi (Statistical Analysis System), 2 op
- TILA3448 Monimuuttujamenetelmät 1, 5 op
- TILA3453 Otantateoria, 6 op
- TILA3455 Monimuuttujamenetelmät 2, 6 op
- TILA3456 Regressioanalyysi, 6 op
- TILA3457 Aikasarja-analyysi, 6 op
- TILA3459 Frekvenssiaineistojen analyysi, 6 op
- TILA3460 Epäparametriset menetelmät, 6 op
- TILA3463 Bayesiläinen data-analyysiä, 6 op
- TILA3024 Tilastotieteen mallit biotieteissä, 3 op
- TILA3015 Tilastolliset menetelmät bioinformatiikassa, 3 op
- TILA3493 Markovin ketjut, 6 op
- TILA3466 Matemaattinen tilastotiede, 8 op
- TILA3467 Tilastollisen päättelyn teoria, 8 op
- TILA3468 Yleistettyjen lineaaristen mallien teoria, 6 op
- TILA3469 Data-analyysi, 6 op
- TILA3492 R-ohjelmointi ja simulointi, 5 op
- TILA3481 Lineaariset sekamallit, 6 op
- TILA3482 Yleistetyt lineaariset sekamallit, 4 op
- TILA3477 Elinaika-analyysi, 4 op
- TILA3483 Epidemiologian kvantitatiiviset menetelmät, 4 op
- TILA3484 Ristikkäiskaaviokokeet, 4 op
- TILA3476 Kliinisten kokeiden data-analyysi, 4 op

## Vaasan yliopisto

- LASK2035 Päätöksenteko laskentatoimessa ja tilintarkastuksessa, 4 op
- LASK2033 Laskentatoimen tietojärjestelmät I, 2 op
- LASK2009 Laskentatoimen tietojärjestelmät II, 5 op
- LASK3015 Research in Financial Analysis, 8 op
- LASK3016 Research in Financial Markets, 8 op
- KANS2019 Game Theory and Applications, 5 op
- STAT2020 Ekonometria
- STAT3080 Practical Econometrics for Finance and Economics (Econometrics II)
- KANS2003 Empiirisen tutkimuksen perusteet
- KANS2020 Topics in Economic Theory and Methods
- KANS2007 Kansainvälinen rahatalous I
- KANS2008 Kansainvälisen kaupan teoria I

- KANS3002 Kansainvälinen rahatalous II
- KANS3014 Kansainvälisen kaupan teoria II
- LASK3032 Kilpailukykyä hinnoittelulla
- LASK3011 Optioteoria
- MARK3016 Kvantitatiiviset menetelmät markkinointitutkimuksessa
- AUTO1030 Signaalien käsittely
- AUTO3110 Koneäkö
- AUTO2050 Soft computing
- AUTO3070 Geneettiset algoritmit
- AUTO3310 Signaaliprosessorit
- ENER2010 Lämmönsiirtotekniikka
- ENER2030 Virtausmekaniikka
- ENER3060 Polttomoottoriprosessien mallinnus ja simulointi
- MATH1010 Algebra I
- MATH1070 Integraalimuunnokset I
- MATH1080 Integraalimuunnokset II
- MATH1040 Lineaarialgebra
- MATH1050 Matemaattiset menetelmät I
- MATH1060 Matemaattiset menetelmät II
- MATH1090 Tekniikan matematiikan tietokonetyöpaja
- MATH2010 Algebra II
- MATH2020 Diskreetti matematiikka
- MATH2030 Numeeriset menetelmät
- MATH2040 Optimoinnin erikoiskurssi
- MATH2050 Todennäköisyyslaskenta
- SATE1030 Piirianalyysi IA
- SATE1040 Piirianalyysi IB
- SATE1050 Piirianalyysi II
- SATE2030 Mallintamisen ja simuloinnin perusteet
- ORMS1010 Matemaattinen analyysi
- ORMS1020 Operaatioanalyysi
- ORMS1030 Talousmatematiikan perusteet
- ORMS2010 Dynaamiset systeemit
- ORMS2020 Päätöksenteko epävarmuuden vallitessa
- TLTE2020 Advanced Course in Signals and Systems
- TLTE2050 Telecommunication Electronics
- TLTE3120 Computer Simulation in Communication and Systems
- TITE3010 Algoritmien suunnittelu ja analyysi
- STAT2010 Aikasarja-analyysi
- STAT2090 Introduction to Stochastic Processes and Time Series Analysis
- STAT2050 Monimuuttujamenetelmät
- STAT3090 Practical Econometrics for Finance and Economics
- STAT3100 Financial Time Series Analysis
- STAT3110 Mathematics of Financial Derivatives
- STAT3030 Stokastiset prosessit
- TUTA2050 Prosessien kehittäminen ja mittaaminen

- Matematik I
- Matematik II
- Algebra och talteori, 5 op
- Matematisk problemlösning, 5 op
- Diskret matematik, 5 op
- Ekonometri I, 5 op
- Matematik för nationalekonomer, 5 op
- Ekonomisk matematik, 5 op
- Tillämpad ekonometri, 5 op
- Grundkurs i molekylmodellering, 3 op
- Computer aided drug design, 4 op
- Protein structure, informatics and modeling, 6 op
- 400204 Sannolikhetslära och statistik, 3 op
- 400205 Differentialekvationer, 3 op
- 400206 Numeriska metoder, 4 op
- 400208 Numerisk analys, 4 op
- 411300.0 Operationsanalys, 5 op
- 454501.0 Avancerade reglermetoder, 9 op
- 419501.0 Dynamiska modeller, 5 op
- 419801.0 Grunderna i multivariat modellering och dataanalys, 5 op
- 419503.0 Modellering och reglering av stokastiska system, 9 op
- 419502.0 Reglering av händelsedrivna system, 5 op
- 424511.0 Evolutionary Algorithms, 5 op
- 424514.0 Fluid and particulate systems, 4 op
- 424512.0 Introduction to CFD modeling, 5 op
- 424501.0 Neural networks, 5 op
- 424500.0 Optimering, 5 op
- 418422.0 Computational Modelling in the Applied Sciences, 2 op
- 424300 Teknisk termodynamik och modellering, 7 op
- 451302 Datastrukturer (KT), 5 op
- 456311 Datornätverk, 5 op
- 454300 Grundkurs i signalbehandling, 5 op
- 280018 Analys av läkemedelssubstanser, 5 op
- 410501 Avancerade instrumentella analysmetoder, 4 op
- 455301.0 Introduction to Computer Graphics, 5 op
- 455302.0 Advanced Computer Graphics and Graphics Hardware, 5 op
- 455303.0 Parallel Programming, 5 op
- 455304.0 Code Optimization, 5 op
- 453503.0 Modeling of Embedded Systems, 5 op
- 453504.0 Design Methods for Embedded Systems, 5 op
- 453301.0 MPEG-4, 4 op
- 419503.0 Modellering och reglering av stokastiska system, 9 op
- 424511.0 Evolutionary Algorithms, 5 op
- 454501.0 Avancerade reglermetoder, 9 op
- 456312.0 Datastrukturer, 5 op
- 456313.0 Algoritmer, 5 op
- 456314.0 Approximation and Randomized Algorithms, 5 op

- 456506.0 Cryptography and Network Security, 5 op
- 457105.0 Analys och kravhantering av informationssystem, 5 op
- 456307.0 Logik II, 5 op
- 456309.0 Specifikationsmetodik, 5 op
- 456505.0 Program Derivation, 5 op
- 456506.0 Cryptography and Network Security, 5 op
- 456507.0 Computational processes in living cells, 5 op
- 457101.0 Analys och kravhantering av informationssystem, 5 op
- 457513.0 Data Mining and Text Mining, 5 op
- 457515.0 Analytics and Soft Computing, 5 op
- 411305.0 Process- och produktionsoptimering, 6 op
- 411300 Operationsanalys, 4-5 op
- 400204 Sannolikhetslära och statistik, 3 op
- 400205 Differentialekvationer, 3 op
- 400206 Numeriska metoder, 4 op
- 400208 Numerisk analys, 4 op
- 419103 Matematik III, 3 op
- 419104 Matematik IV, 8 op
- 419105 Elektronik och kretsanalys, 5 op
- 419106 Introduktion till system- och reglerteknik, 3 op
- 419307 Process Dynamics and Control, 7 op
- Moderna analysmetoder i polymerkemi, 5 op
- 423802 Modern analytical tools for pulp and paper, 8 op
- 231009 Matematiska hjälpmedel, 5 op
- Matematiska Metoder i Fysik, 10 op
- 271002.0 Algebra a, 4 op
- 272002 Analys I, 10 op
- 273001.0 Analys II
- 273007.0 Analytiska funktioner, 10 op
- 5735 Analys av frekvensdata, 3 op
- 6705 Baskurs i tillämpad matematik, 5 op
- 5741 Beslutsteori, 5 op
- 273027 Introduction to Dynamical Systems, 5 op
- 273028 Special course in Dynamical Systems, 5 op
- 5734 Ekonometri I, 3 op
- 5740 Ekonometri II, 5 op
- 272009.0 Grafteori och partiell ordning, 4 op
- 272010.0 Elementär gruppteori, 5 op
- 272003 Flerdimensionell analys, 10 op
- 273009.0 Försäkringsmatematik I, 10 op
- 273022 Fourierserier, 5 op
- 271001.1 Grundkurs i analys I, 5 op
- 271001.2 Grundkurs i analys II, 4 op
- 355001.1 Grundkurs i statistisk teori, del 1, 5 op
- 355001.2 Grundkurs i statistisk teori, del 2, 5 op
- 5738 Icke-parametriska metoder, 3 op
- 5743 Lineära modeller, 5 op
- 6720 Linjär algebra, 7 op
- 5723 Matematisk statistik I, 5 op



- 6732 Matematisk statistik II, 5 op
- 271004.1 Matriser I, 4 op
- 271004.2 Matriser II, 4 op
- 5744 Metoder för analys av livslängdsdata, 3 op
- 5739 Metoder för analys av longitudinella data, 3 op
- 5732 Multivariatmetoder, 3 op
- 6730 Numerisk analys, 5 op
- 6731 Optimeringsmetoder, 5 op
- 272005 Ordinära differentialekvationer, 8 op
- 273019.0 Poissonprocesser, 5 op
- 270901 Propedeutisk Matematik I, 5 op
- 270902 Propedeutisk Matematik II, 5 op
- 5722 Stickprovsteknik, 5 op

## Matemaattisen mallintamisen verkostohanke

- Matemaattisen mallinnuksen peruskurssi
- Datan analyysimenetelmät matemaattisessa mallinnuksessa
- Tilastolliset mallit
- Mallinnus ja optimointi

## Liite 2 - Laskennallisten tieteiden kursseja eräissä ulkomaisissa yliopistoissa

Tähän liitteeseen on koottu tietoja seuraavista ulkomaalaisista yliopistoista: Kungliga Tekniska högskolan (KTH, Ruotsi), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (Trondheim, Norja), Massachusetts Institute of Technology (MIT, USA), University of California (Berkeley, USA), University of Oxford (Iso-Britannia), University of Cambridge (Iso-Britannia), University of Stanford (USA), Tel Aviv University (Israel) ja Saint-Petersburg State University (Venäjä).

Lähteenä on käytetty yliopistojen Internet-sivuja.

### Kungliga Tekniska högskolan – KTH (Ruotsi)

#### Biotechnology

- BB2280 Molecular Modeling
- BB2520 Bioprocess Design
- MJ2680 Environmental Systems Analysis
- KE2320 Process Design for Industry and Society
- BB2160 Structure Biology
- BB2440 Bioinformatics and Biostatistics
- BB1130 Analysis and Purification of Biomolecules
- DD2397 Applied Bioinformatics
- KD2410 Imaging Tools of Chemistry

#### The Built Environment

- AH2001 Microeconomics
- AH2002 Econometrics
- AH2009 Mathematics for Economic Analysis
- AE2503 Environmental Data
- AE2102 Quantitative Hydrogeology
- AH2923 Global Navigation Satellite Systems (GNSS)
- AG2414 Spatial Analysis
- AG2412 Geovisualisation
- AG2411 GIS Architecture and Algorithms
- AG2413 Digital Image Processing and Applications
- AH2914 Physical Geodesy
- AH2915 Laser Scanning Technology
- AG2425 Spatial Databases
- AH2917 Advanced Theory of Errors
- AF2004 Concrete and Steel Structures
- AF2201 Bridge Design
- AF2202 Bridge Design, Advanced Course
- AF2024 Finite Element Methods in Analysis and Design
- AI2143 Investment Mathematics and Basic Economics

- AH2302 Transport Modelling
- AH2170 Transport Data collection and Analysis
- AH2304 Advanced Transport Modelling
- AH2205 Game Theory
- AE2602 Applied Hydrology
- AE2609 Hydraulic Engineering Systems
- AE2104 Environmental Measuring and Monitoring
- AE2503 Environmental Data

### Chemical Science and Engineering

- MJ2680 Environmental Systems Analysis
- KE2110 Applied Electrochemistry
- KE2060 Computational Project in Chemical Engineering
- KD2360 Quantum Chemistry

### Computer Science and Engineering

- MF2030 Mechatronics basic Course
- EN2401 Image and Video Processing
- ID2204 Constraint Programming
- DD2427 Image Based Recognition and Classification
- IS2200 Parallel Computer Systems
- EL2620 Nonlinear Control
- DD2431 Machine Learning
- IL2205 Applied Signal Processing
- EL1820 Modelling of Dynamical Systems
- EQ2300 Digital Signal Processing
- MF2007 Dynamics and Motion Control
- EQ1220 Signal Theory
- DD2423 Image Analysis and Computer Vision
- EN2300 Speech Signal Processing
- IV1200 System Modelling and Simulation
- EN2200 Pattern Recognition

### Electrical Engineering

- EG2021 Power System Analysis, part 1
- EI2433 Electrotechnical Modelling
- EJ2210 Analysis of Electrical Machines
- EG2050 Systems Planning
- EG2080 Monte Carlo Methods in Engineering
- EL2620 Nonlinear Control
- EI2400 Applied Antenna Theory
- SI2361 Advanced Mechanics
- DN2255 Numerical Solutions of Differential Equations
- EI2440 Electrotechnical Design

- EL1150 Introductory Matlab Course
- SD1105 Matlab
- DN2274 Computational Electromagnetics
- DD2385 Software Engineering
- DD2352 Algorithms and Complexity
- EQ2310 Digital Communications
- EN2401 Image and Video Processing
- IO2655 Photonics
- IH2653 Simulation of Semiconductor Devices
- EL1820 Modelling of Dynamical Systems
- EL2320 Applied Estimation
- DN2266 Mathematical Models, Analysis and Simulation Part 1
- EQ2810 Estimation Theory, Accelerated Program Course
- SF2832 Mathematical Systems Theory
- EQ2400 Adaptive Signal Processing
- DD2429 Computational Photography
- SF1628 Complex Analysis
- EQ2820 Matrix Algebra, Accelerated Program
- DN2230 Fast Numerical Algorithms for Large-Scale Problems
- DD2447 Statistical Methods in Applied Computer Science
- SF2852 Optimal Control Theory
- EQ2800 Optimal Filtering
- IK2503 Simulation, Accelerated Study Program
- EN2300 Speech Signal Processing

### Engineering Physics

- SI2540 Complex Systems
- SI2530 Computational Physics
- SH2310 Radiation Detectors and Medical Imaging Systems
- SK2330 Optical Systems Design
- MH2425 Simulation and Modelling on the Atomic Scale
- SH2774 Numerical Methods in Nuclear Engineering

### Information and Communication Technology

- EP2400 Network Algorithms
- DD2397 Applied Bioinformatics
- DD2450 Algorithmic Bioinformatics
- DD2399 Omic Data and Systems Biology
- DD2435 Mathematical Modelling of Biological Systems
- DD2447 Statistical Methods in Applied Computer Science
- SF1811 Optimization
- DD2476 Search Engines and Information Retrieval Systems
- DD2471 Modern Database Systems and Their Applications
- DD2427 Image Based Recognition and Classification
- SF2943 Time Series Analysis
- DD2257 Visualization

- DD2429 Computational Photography
- ID2012 Ubiquitous Computing
- IV1200 System Modelling and Simulation

## Materials Science and Engineering

- MH2042 Simulation and Modeling Toolbox
- MH2252 Casting Processing

## Mathematics

- SF2736 Discrete Mathematics
- DN2275 Advanced Computation in Fluid Mechanics
- SG2212 Computational Fluid Dynamics
- DN2280 Computational Methods from Micro to Macro Scales
- SF2812 Applied Linear Optimization
- DN2297 Advanced Individual Course in Scientific Computing
- SG2224 Applied Computational Fluid Dynamics
- DN2264 Parallel Computations for Large-Scale Problems, Part 1
- DN2266 Mathematical Models, Analysis and Simulation Part 1
- SF2702 Wavelets
- DN2255 Numerical Solutions of Differential Equations
- DN2281 Computational Methods for Stochastic Differential Equations
- DN2260 The Finite Element Method
- DN2258 Introduction to High Performance Computing
- DN2265 Parallel Computations for Large-Scale Problems, Part 2
- DN2265 Parallel Computations for Large-Scale Problems, Part 2
- DN2230 Fast Numerical Algorithms for Large-Scale Problems
- SF2940 Probability Theory
- DN2221 Applied Numerical Methods, part 1
- DN2222 Applied Numerical Methods, part 2
- SF2737 Commutative Algebra and Algebraic Geometry
- DD2448 Foundations of Cryptography
- SF2715 Applied Combinatorics
- SF2739 Partial Differential Equations
- SF2705 Fourier Analysis
- SF2722 Differential Geometry
- SF2701 Financial Mathematics, Basic Course
- SF2950 Applied Mathematical Statistics
- SF2975 Financial Derivatives
- SF2980 Risk Management
- SF2976 Portfolio Theory, Advanced Course
- SF2970 Martingales and Stochastic Integrals
- SF2943 Time Series Analysis
- SF2852 Optimal Control Theory
- SF2822 Applied Nonlinear Optimization
- MH2426 Quantum Engineering Computations for Nanosystems
- IH2653 Simulation of Semiconductor Devices

- SD2611 Aerodynamic Design of Aircraft
- DN2274 Computational Electromagnetics

## Mechanical Engineering

- MF2019 CAD 3D-modelling and Visualization
- SG2214 Fluid Mechanics
- SD2175 Numerical Methods for Acoustics and Vibration
- SG2860 FEM Modelling
- SD2155 Flow Acoustics
- SE2128 Computational Material Mechanics
- SG2126 Non-linear Oscillations and Dynamical Systems in Mechanics
- SG2219 Advanced Compressible Flows
- SG1220 Fluid Mechanics for Engineers
- SD2703 Marine Dynamics
- SD2411 Lightweight Structures and FEM
- SD2416 Structural Optimisation and Sandwich Design
- MG2130 Modelling and Simulation of Industrial Processes
- MG2128 CAD and Other IT Tools in Industrial Processes, Extended Course
- MG2022 Advanced CAD Modelling and Rapid Prototyping, Project Course
- MG2036 Computer Aided Manufacturing - CAM
- MJ2424 Computational Methods in Energy Technology

## Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (Trondheim, Norja)

### Faculty of Architecture and Fine Art

- AAR4841 GIS as Planning Tool
- AAR5260 GIS in Urban Planning
- AAR4863 Off-site Fabrication and Building Information Modeling
- AAR4960 Virtual Building

### Faculty of Engineering Science and Technology

- TPG4162 3D Visualization of Petroleum Data
- TMR4305 Advanced Analysis of Marine Structures
- EP8403 Advanced Computational Fluid Dynamics
- PK8103 Advanced Computational Intelligence
- BA8605 Advanced Global Positioning System (GPS)
- MM8100 Advanced Product Simulation Based on the Finite Element Method
- BA8200 Advanced Theory of Errors and Adjustment
- MR8205 Advanced Topics in Structural Modelling and Analysis
- TEP4160 Aero Dynamics
- PK8202 Analysis, Modelling and Design in Logistics Systems
- MM8200 Aluminium Technology: Extrusion and Forming
- TMM4135 Analysis and Assessment Based on the Finite Element Method, Basic Course



- MR8204 Analysis and Design of Marine Structures against Accidental Actions
- TPK4155 Applied Computational Intelligence in Intelligent Manufacturing
- TPG4155 Applied Computer Methods in Petroleum Science
- TBA4231 Applied Geomatics
- TPD4160 Applied Modelling
- TMM4162 Atomistic Modeling of Materials Failure
- TGB4135 Basin Analysis
- TBA4125 BM4 Design of Buildings and Structures
- TMR4205 Buckling and Collapse of Marine Structures in Steel and Aluminium
- TBA4171 Building and Material Engineering, Advanced Course
- TEP4165 Computational Heat and Fluid Flow
- KT8211 Computational Methods in Structural Dynamics
- KT8305 Continuum Mechanics
- PK8206 Control and ICT in Industrial Supply Chains
- KT8214 Creep and Shrinkage in Concrete Structures
- TPK4150 Data-Integrated Manufacturing (DIM)
- TMR4115 Design Methods
- TMR4295 Design of Mechanical Systems
- PG8600 Development of Numerical Reservoir Models
- TPK4125 Digital Control of Mechatronic Systems
- EP8209 Dispersed Phase Modelling
- TPG4210 Drilling Engineering
- MR8208 Dynamic Analysis of Slender Marine Structures
- TBA4275 Dynamic Response to Irregular Loadings
- TKT4108 Dynamics, Advanced Course
- TVM5140 Economic Assessment of Hydropower Projects
- PG8108 Electromagnetic and Seismic Inverse Methods
- TMM4121 Engineering Design
- TMM4155 Engineering Design and Materials Technology
- TMM4115 Engineering Modelling
- TMR4300 Experimental and Numerical Hydrodynamics
- KT8202 Fatigue Analysis
- TKT4192 Finite Element Methods in Strength Analysis
- TMR4190 Finite Element Methods in Structural Analysis
- TEP4105 Fluid Mechanics
- MM8201 Foundry Management and Casting Simulation
- TBA4245 Geodesy
- TBA5150 Geohazards and Risk Analysis
- TPG4165 Geophysical Analysis
- TBA4116 Geotechnical Engineering, Advanced Course
- TBA4105 Geotechnics, Design Methods
- TPG4195 Gravimetry and Magnetometry
- EP8111 Heat Exchanger Modeling
- EP8408 High Order Methods in Fluid Dynamics
- TVM4106 Hydrological Modelling
- VM8105 Hydrology, Advanced Course
- BA8402 Ice Mechanics
- MR8102 Investigation and Analysis of Accidents
- PK8106 Knowledge Discovery (KD) and Data Mining (DM)

- TMR4182 Marine Dynamics
- TVM4160 Material Flow Analysis
- VM8303 Material Flow Analysis, Resources and Recycling, PhD
- PG8106 Mathematical Geophysics
- EP8409 Microfluidics
- PG8403 Modeling and Simulation of Production Processes
- TMR4275 Modelling, Simulation and Analysis of Dynamic Systems
- MR8400 Modelling and Analysis of Machinery Systems 1
- MM8404 Modelling of Fracture (MOF)
- EP8404 Modelling of Multiphase Flow
- EP8300 Natural Convection Flows in Buildings
- TMR4220 Naval Hydrodynamics
- TKT4197 Nonlinear Finite Element Analysis
- KT8215 Nonlinear Static and Dynamic Analysis by the Finite Element Method
- TGB4260 Numerical Analysis for Rock Engineering
- EP8410 Numerical Methods for Hyperbolic Problems in Fluid Dynamics
- PG8607 Numerical Methods in Reservoir Simulation
- TKT4140 Numerical Methods with Computer Laboratorium
- GB8306 Numerical Modelling for Rock Engineering
- TVM4155 Numerical Models and Hydraulics
- KT8212 Numerical Simulation of Concrete
- TBA4255 Photogrammetry
- PK8104 Production Engineering Nonlinear Optimisation
- BA8504 Project Evaluation. Purpose, Methods and Practice
- TPK5170 RAMS Assesment and Optimisation
- TPG4145 Reservoir Fluids and Flow
- TPG4160 Reservoir Simulation
- KT8302 Rheology and Non-Newtonian Fluids
- TPK5160 Risk Analysis
- PK8200 Risk Influence Modelling and Risk Indicators
- PG8110 Seismic Imaging
- EP8302 Simulation and Optimization of Thermal Systems
- BA8304 Soil Modelling
- PG8601 Specialized Reservoir Simulation Models
- MR8207 Stochastic Methods Applied in Nonlinear Analysis of Marine Structures
- TKT4201 Structural Dynamics
- TPG4151 Subsurface Decision Analysis
- TEP4240 System Simulation
- VM8104 Topics in Hydroinformatics
- TBA4291 Transport Analysis
- TEP4156 Viscous Flows and Boundary Layers

#### Faculty of Information Technology, Mathematics and Electrical Engineering

- MA8108 Advanced Complex Analysis
- TT8207 Advanced Antenna Engineering
- TM8105 Advanced Discrete Event Simulation Methodology
- TT8206 Advanced LIDAR Technology
- TT8210 Advanced Microwave Electromagnetics

- MA8702 Advanced Modern Statistical Methods
- TK8103 Advanced Nonlinear Systems
- MA3105 Advanced Real Analysis
- FE8128 Advanced Realization and Test of Digital Systems
- MA2201 Algebra
- TMA4150 Algebra and Number Theory
- MA8203 Algebraic Geometry
- MA3403 Algebraic Topology I
- MA3405 Algebraic Topology II
- MA8403 Algebraic Topology III
- TDT4125 Algorithm Construction, Advanced Course
- TDT4120 Algorithms and Data Structures
- TDT4287 Algorithms for Bioinformatics
- MA3402 Analysis on Manifolds
- MA8002 Applied Biomodelling for PhD Students
- TTK4605 Applied Parameter and State Estimation
- TTT4225 Applied Signal Processing
- TMA4255 Applied Statistics
- TDT4171 Artificial Intelligence Methods
- IT3105 Artificial Intelligence Programming
- MA1101 Basic Calculus I
- MA1102 Basic Calculus II
- TFE4235 Biomedical Optics
- TMA4100 Calculus 1
- TMA4105 Calculus 2
- TMA4115 Calculus 3
- TMA4135 Calculus 4D
- TET4100 Circuit Analysis
- TMA4185 Coding Theory
- MA8202 Commutative Algebra
- TMA4175 Complex Analysis
- MA2105 Complex Function Theory with Differential Equations
- TDT4265 Computer Vision
- TM8107 Cryptographic Protocols and Their Applications
- TMA4160 Cryptography
- TDT4145 Data Modelling, Databases and Database Management Systems
- TDT4300 Data Warehousing and Data Mining
- TTM4110 Dependability and Performance with Discrete Event Simulation
- TMA4165 Differential Equations and Dynamical Systems
- TTT4120 Digital Signal Processing
- TMA4140 Discrete Mathematics
- TK8107 Estimation in Nonlinear Systems
- TMA4225 Foundations of Analysis
- TMA4170 Fourier Analysis
- TMA4230 Functional Analysis
- TMA4315 Generalized Linear Models
- MA8701 General Statistical Methods
- MA8106 Harmonic Analysis
- TDT4195 Image Techniques

- TT8205 Imaging of Objects using Inverse Synthetic Aperture Radar
- TDT4175 Information Systems
- TDT4138 Knowledge Representation and Modelling
- TMA4275 Lifetime Analysis
- MA1201 Linear Algebra and Geometry
- MA1202 Linear Algebra with Applications
- TMA4145 Linear Methods
- TMA4267 Linear Statistical Models
- TTK4115 Linear System Theory
- TDT4136 Logic and Reasoning Systems
- TDT4173 Machine Learning and Case-Based Reasoning
- ET8301 Magnetic Design of Permanent Magnet Machines
- TDT4225 Management of Very Large Data Volumes
- MA0001 Mathematical Methods A
- MA0002 Mathematical Methods B
- MA0003 Mathematical Methods for Computer Science
- TMA4195 Mathematical Modelling
- TTK4200 Mathematical Modelling of Physical Systems
- TTK4160 Medical Imaging
- ET8209 Methods for Power Production Scheduling
- TDT4250 Model-Driven Development of Information Systems
- DT8802 Modeling of Information Systems, Advanced Course
- FE8124 Modeling of Semiconductor Devices
- TFE4140 Modelling and Analysis of Digital Systems
- TTK4170 Modelling and Identification of Biological Systems
- TTK4130 Modelling and Simulation
- FE8119 Modelling Theory for System on Chip and Embedded Systems
- TTK4150 Nonlinear Control Systems
- MA8401 Non-linear Dynamical Systems
- TK8102 Nonlinear Observer Design
- MA8103 Nonlinear Partial Differential Equations
- MA1301 Number Theory
- MA8404 Numerical Integration of Time Dependent Differential Equations
- TMA4205 Numerical Linear Algebra
- TMA4215 Numerical Mathematics
- MA2501 Numerical Methods
- TT8303 Numerical Methods in Acoustics
- TMA4212 Numerical Solution of Differential Equations by Difference Methods
- MA8502 Numerical Solution of Partial Differential Equations
- TMA4220 Numerical Solution of Partial Differential Equations Using Element Methods
- TTK4135 Optimization and Control
- TMA4180 Optimization Theory
- TDT4200 Parallel Computing
- TMA4305 Partial Differential Equations
- TTK4205 Pattern Recognition
- TET4115 Power System Analysis
- FE8100 Quantum Computation and Quantum Communications
- TTT4136 Sound and Image Processing
- TT8105 Speech Processing

- TDT4270 Statistical Image Analysis and Learning
- ST1201 Statistical Methods
- ST2304 Statistical Modelling for Biologists/Biotechnologists
- TT8001 Statistical Pattern Recognition
- TTT4240 Statistical Signal Theory
- TMA4240 Statistics
- ST2302 Stochastic Population Models
- TMA4265 Stochastic Processes
- TMA4280 Supercomputing, Introduction
- TTK4220 System Dynamics
- MA2301 Theory of Computability and Complexity
- TMA4285 Time Series Models
- TM8102 Traffic Analysis of Communication Networks
- TK8105 Ultrasound imaging in Heterogeneous, Non-Linear Tissue
- TDT4230 Visualization
- TMA4235 Visualization of Scientific Data
- MA1103 Vector Calculus
- MA8104 Wavelets
- TT8306 Wave Propagation Modelling and Inversion
- DT8116 Web Mining

#### Faculty of Medicine

- MOL3007 Functional Genomics
- ST3001 Introduction to Medical Statistics
- MEDT8011 Introduction to MR Imaging
- MEDT8009 Magnetic Resonance Imaging (MRI)
- KLME8004 Medical Statistics, Part I
- KLME8005 Medical Statistics, Part II
- MOL3014 Nanomedicine I - Bioanalysis
- NEVR3004 Neural Networks
- MEDT8007 Simulation Methods in Ultrasound Imaging
- MEDT8002 Ultrasound Imaging
- MEDT8012 Ultrasound Technology

#### Faculty of Natural Sciences and Technology

- KJ8205 Advanced Molecular Modelling
- KP8100 Advanced Process Simulation
- KP8128 Advanced Reactor Modelling
- TBT4150 Biochemical Engineering, Plant Design
- BI3017 Bio Visualisation
- KJ8200 Chemical Image Analysis
- TKJ4175 Chemometrics
- TFY4235 Computational Physics
- TKP4100 Fluid Flow and Heat Transfer
- TMT4208 Fluidflow and Heat Transfer, Advanced Course
- TMT4206 Fluidflow and Heat Transfer, Introductory Course

- FY8407 Magnetic Resonance Imaging (MRI)
- TMT4210 Material and Process Modelling
- FY8304 Mathematical Approximation Methods in Physics
- KP8105 Mathematical Modelling and Model Fitting
- TFY4320 Medical Physics
- MT8213 Modelling and Simulation of Materials Microstructure and Properties
- KP8136 Modelling of Catalytic Reactions
- KJ8902 Molecular Modelling
- TFY4305 Nonlinear Dynamics
- TMT4260 Phase Transformations in Metals
- FY8303 Phase Transitions and Critical Phenomena
- TKP4140 Process Control
- TKP4165 Process Design
- TKP4120 Process Engineering
- TKP4106 Process Modelling
- FY8409 Radiation Therapy Physics
- KP8903 Reaction Kinetics and Catalysis
- TFY4280 Signal Processing
- KP8130 Systembiology, Modelling and Analysis
- TKP4195 System Modeling and Analysis in Biology
- FY1002 Wave Physics

#### Faculty of Social Sciences and Technology Management

- SØK3004 Advanced Calculus
- SØK8614 Applied Econometrics
- FIN3006 Applied Time Series Econometrics
- SØK3001 Econometrics I
- TIØ4150 Industrial Optimization and Decision Support
- IØ8400 Mathematical Programming
- SØK1010 Mathematics and Microeconomics
- SØK8615 Microeconometrics and Analysis of Panel Data
- TIØ4126 Optimization and Decision Support for Industrial Business Planning
- IØ8402 Optimization in Maritime Transportation
- TIØ4130 Optimization Methods with Applications
- BEV8003 Signal Analysis with Matlab in Human Movement Science
- SØK1004 Statistics for Economists
- IØ8401 Stochastic Optimization
- GEOG3521 Urban Applications of GIS

### Massachusetts Institute of Technology, MIT (USA)

#### Course 1 - Civil and Environmental Engineering

- 1.021 Introduction to Modeling and Simulation
- 1.041J Transportation Systems Modeling
- 1.093 Introduction to Computer-Aided Design



- 1.124J Software and Computation for Simulation
- 1.126J Pattern Recognition and Analysis
- 1.128J Computational Geometry
- 1.146 Engineering Systems Analysis for Design
- 1.545 Atomistic Modeling and Simulation of Materials and Structures
- 1.721 Advanced Subsurface Hydrology
- 1.72 Groundwater Hydrology
- 1.723 Computational Methods for Flow in Porous Media
- 1.731 Water Resource Systems
- 1.77 Water Quality Control

## Course 2 - Mechanical Engineering

- 2.003J Dynamics and Control I
- 2.004 Dynamics and Control II
- 2.005 Thermal-Fluids Engineering I
- 2.006 Thermal-Fluids Engineering II
- 2.007 Design and Manufacturing I
- 2.008 Design and Manufacturing II
- 2.016 Hydrodynamics
- 2.019 Design of Ocean Systems
- 2.034J Nonlinear Dynamics and Waves
- 2.038J The Art of Approximation in Science and Engineering
- 2.050J Nonlinear Dynamics I: Chaos
- 2.06 Mechanical Vibration
- 2.071 Mechanics of Solid Materials
- 2.080J Structural Mechanics
- 2.082 Ship Structural Analysis and Design
- 2.086 Numerical Computation for Mechanical Engineers
- 2.089J Computational Geometry
- 2.091J Software and Computation for Simulation
- 2.092 Finite Element Analysis of Solids and Fluids I
- 2.093 Finite Element Analysis of Solids and Fluids I
- 2.094 Finite Element Analysis of Solids and Fluids II
- 2.096J Introduction to Numerical Simulation
- 2.097J Numerical Methods for Partial Differential Equations
- 2.099J Computational Mechanics of Materials
- 2.111J Quantum Computation
- 2.131 Advanced Instrumentation and Measurement
- 2.140 Analysis and Design of Feedback Control Systems
- 2.141 Modeling and Simulation of Dynamic Systems
- 2.152 Nonlinear Control System Design
- 2.171 Analysis and Design of Digital Control Systems
- 2.195 Quantitative Design Strategies for Complex Systems
- 2.20 Marine Hydrodynamics
- 2.23 Hydrofoils and Propellers
- 2.29 Numerical Fluid Mechanics
- 2.661J Architectural Thermal and Fluid Dynamics
- 2.681 Environmental Ocean Acoustics

- 2.685 Numerical Methods in Wave Scattering
- 2.687 Time Series Analysis and System Identification

### Course 3 - Materials Science and Engineering

- 3.016 Mathematical Methods for Materials Scientists and Engineers
- 3.021 Introduction to Modeling and Simulation
- 3.320 Atomistic Computer Modeling of Materials
- 3.54J Corrosion: The Environmental Degradation of Materials
- 3.57J Materials Selection, Design, and Economics
- 3.941J Statistical Mechanics of Polymers

### Course 4 - Architecture

- 4.240J Urban Design Skills: Observing, Interpreting, and Representing the City
- 4.424J Modeling and Approximation of Thermal Processes
- 4.427J Analysis and Design of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Systems
- 4.431 Architectural Acoustics
- 4.500 Introduction to Design Computing
- 4.501 Materializing Design
- 4.503 Advanced Visualization: Architecture in Motion Graphics
- 4.504 Design Scripting
- 4.505 Computation Design Workshop
- 4.510 Materializing Design
- 4.517 Digital Fabrication and Construction: Professional Applications
- 4.520 Computational Design I: Theory and Applications
- 4.522 Computational Design II: Theory and Applications
- 4.523 Computational Design II: Theory and Applications
- 4.540 Introduction to Shape Grammars I
- 4.541 Introduction to Shape Grammars II
- 4.561 Introduction to Computation in Architecture
- 4.564 Design Scripting
- 4.580 Inquiry into Computation and Design

### Course 5 - Chemistry

- 5.65 Molecular Imaging
- 5.70J Statistical Thermodynamics
- 5.72 Statistical Mechanics
- 5.78 Biophysical Chemistry Techniques

### Course 6 - Electrical Engineering and Computer Science

- 6.00 Introduction to Computer Science and Programming
- 6.01 Introduction to EECS I
- 6.02 Introduction to EECS II

- 6.004 Computation Structures
- 6.005 Elements of Software Construction
- 6.006 Introduction to Algorithms
- 6.041 Probabilistic Systems Analysis
- 6.042J Mathematics for Computer Science
- 6.045J Automata, Computability, and Complexity
- 6.046J Design and Analysis of Algorithms
- 6.047 Computational Biology: Genomes, Networks, Evolution
- 6.048 Computational Evolutionary Biology
- 6.050J Information, Entropy, and Computation
- 6.055J The Art of Approximation in Science and Engineering
- 6.172 Performance Engineering of Software Systems
- 6.231 Dynamic Programming and Stochastic Control
- 6.242 Advanced Linear Control Systems
- 6.243 Dynamics of Nonlinear Systems
- 6.245 Multivariable Control Systems
- 6.248, 6.249 Advanced Topics in Numerical Methods
- 6.251J Introduction to Mathematical Programming
- 6.252J Nonlinear Programming
- 6.253 Convex Analysis and Optimization
- 6.255J Optimization Methods
- 6.256 Algebraic Techniques and Semidefinite Optimization
- 6.262 Discrete Stochastic Processes
- 6.263J Data-Communication Networks
- 6.264J Queues: Theory and Applications
- 6.265J Advanced Stochastic Processes
- 6.268 Network Science and Models
- 6.336J Introduction to Numerical Simulation
- 6.337J Introduction to Numerical Methods
- 6.338J Parallel Computing
- 6.339J Numerical Methods for Partial Differential Equations
- 6.345J Automatic Speech Recognition
- 6.374 Analysis and Design of Digital Integrated Circuits
- 6.434J Statistics for Engineers and Scientists
- 6.435 System Identification
- 6.437 Inference and Information
- 6.438 Algorithms for Inference
- 6.443J Quantum Information Science
- 6.456 Array Processing
- 6.502J Introduction to Molecular Simulations
- 6.503 Foundations of Algorithms and Computational Techniques in Systems Biology
- 6.552J Signal Processing by the Auditory System: Perception
- 6.581J Foundations of Algorithms and Computational Techniques in Systems Biology
- 6.582J Molecular Simulations
- 6.673 Introduction to Numerical Simulation in Electrical Engineering
- 6.728 Applied Quantum and Statistical Physics
- 6.774 Physics of Microfabrication: Front End Processing
- 6.777J Design and Fabrication of Microelectromechanical Systems
- 6.802 Computational Systems Biology

- 6.803 The Human Intelligence Enterprise
- 6.815 Digital and Computational Photography
- 6.832 Underactuated Robotics
- 6.839 Advanced Computer Graphics
- 6.840J Theory of Computation
- 6.841J Advanced Complexity Theory
- 6.842 Randomness and Computation
- 6.845 Quantum Complexity Theory
- 6.846 Parallel Computing
- 6.850 Geometric Computing
- 6.852J Distributed Algorithms
- 6.853 Topics in Algorithmic Game Theory
- 6.854J Advanced Algorithms
- 6.856J Randomized Algorithms
- 6.859J Integer Programming and Combinatorial Optimization
- 6.863J Natural Language and the Computer Representation of Knowledge
- 6.864 Advanced Natural Language Processing
- 6.865 Advanced Computational Photography
- 6.870 Advanced Topics in Computer Vision
- 6.872J Biomedical Computing
- 6.874J Computational Systems Biology
- 6.877J Computational Evolutionary Biology
- 6.878J Advanced Computational Biology: Genomes, Networks, Evolution
- 6.946J Classical Mechanics: A Computational Approach

#### Course 7 - Biology

- 7.10J Physical Chemistry of Biomolecular Systems
- 7.33J Evolutionary Biology: Concepts, Models and Computation
- 7.36 Foundations of Computational and Systems Biology
- 7.410 Applied Statistics
- 7.440 An Introduction to Mathematical Ecology
- 7.57 Quantitative Biology for Graduate Students
- 7.91J Foundations of Computational and Systems Biology

#### Course 8 - Physics

- 8.044 Statistical Physics I
- 8.08 Statistical Physics II
- 8.04 Quantum Physics I
- 8.05 Quantum Physics II
- 8.06 Quantum Physics III
- 8.321 Quantum Theory I
- 8.322 Quantum Theory II
- 8.351J Classical Mechanics: A Computational Approach
- 8.411J Quantum Computation

## Course 9 - Brain and Cognitive Sciences

- 9.07 Statistics for Brain and Cognitive Science
- 9.073J Statistics for Neuroscience Research
- 9.29J Introduction to Computational Neuroscience
- 9.611J Natural Language and the Computer Representation of Knowledge
- 9.641J Introduction to Neural Networks
- 9.66J Computational Cognitive Science
- 9.77 Computational Perception
- 9.777 Computational Perception

## Course 10 - Chemical Engineering

- 10.301 Fluid Mechanics
- 10.333 Introduction to Modeling and Simulation
- 10.34 Numerical Methods Applied to Chemical Engineering
- 10.494 Integrated Chemical Engineering Topics III
- 10.50 Analysis of Transport Phenomena
- 10.555J Bioinformatics: Principles, Methods and Applications
- 10.557 Mixed-integer and Nonconvex Optimization
- 10.571J Atmospheric Physics and Chemistry
- 10.626 Electrochemical Energy Systems
- 10.668J Statistical Mechanics of Polymers

## Course 12 - Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences

- 12.010 Computational Methods of Scientific Programming
- 12.086 Modeling Environmental Complexity
- 12.163 Geomorphology
- 12.207J Nonlinear Dynamics II: Continuum Systems
- 12.312 Understand and Run Your Own Climate Model
- 12.515 Data and Models
- 12.521 Computational Geophysical Modeling
- 12.714 Computational Data Analysis
- 12.716 Igneous Processes at Oceanic Margins
- 12.747 Modeling, Data Analysis, and Numerical Techniques for Geochemistry
- 12.804 Large-scale Flow Dynamics Laboratory
- 12.805 Laboratory in Physical Oceanography
- 12.815 Atmospheric Radiation

## Course 14 - Economics

- 14.30 Introduction to Statistical Method in Economics
- 14.32 Econometrics
- 14.381 Statistical Method in Economics
- 14.382 Econometrics
- 14.384 Time Series Analysis

- 14.385 Nonlinear Econometric Analysis
- 14.451 Dynamic Optimization Methods with Applications

#### Course 16 - Aeronautics and Astronautics

- 16.09 Statistics and Probability
- 16.110 Flight Vehicle Aerodynamics
- 16.13 Aerodynamics of Viscous Fluids
- 16.225J Computational Mechanics of Materials
- 16.322 Stochastic Estimation and Control
- 16.323 Principles of Optimal Control
- 16.35 Real-Time Systems and Software
- 16.37J Data-Communication Networks
- 16.391J Statistics for Engineers and Scientists
- 16.410 Principles of Autonomy and Decision Making
- 16.420 Planning Under Uncertainty
- 16.470J Statistical Methods in Experimental Design
- 16.76J Logistical and Transportation Planning Methods
- 16.862 Engineering Risk-Benefit Analysis
- 16.888J Multidisciplinary System Design Optimization
- 16.90 Computational Methods in Aerospace Engineering
- 16.910J Introduction to Numerical Simulation
- 16.930 Advanced Topics in Numerical Methods for Partial Differential Equations
- 16.940 Numerical Methods for Stochastic Modeling and Inference

#### Course 18 - Mathematics

- 18.01 Calculus
- 18.02 Calculus
- 18.03 Differential Equations
- 18.04 Complex Variables with Applications
- 18.05 Introduction to Probability and Statistics
- 18.062J Mathematics for Computer Science
- 18.075 Methods for Scientists and Engineers
- 18.085 Computational Science and Engineering I
- 18.086 Computational Science and Engineering II
- 18.100 Real Analysis
- 18.101 Analysis and Manifolds
- 18.102 Introduction to Functional Analysis
- 18.103 Fourier Analysis—Theory and Applications
- 18.112 Functions of a Complex Variable
- 18.125 Real and Functional Analysis
- 18.303 Linear Partial Differential Equations: Analysis and Numerics
- 18.304 Undergraduate Seminar in Discrete Mathematics
- 18.311 Principles of Applied Mathematics
- 18.330 Introduction to Numerical Analysis
- 18.335J Introduction to Numerical Methods
- 18.336 Numerical Methods for Partial Differential Equations



- 18.337J Parallel Computing
- 18.369 Mathematical Methods in Nanophotonics
- 18.400J Automata, Computability, and Complexity
- 18.405J Advanced Complexity Theory
- 18.410J Design and Analysis of Algorithms
- 18.415J Advanced Algorithms
- 18.416J Randomized Algorithms
- 18.417 Introduction to Computational Molecular Biology
- 18.418 Topics in Computational Molecular Biology
- 18.433 Combinatorial Optimization
- 18.435J Quantum Computation
- 18.436J Quantum Information Science
- 18.437J Distributed Algorithms
- 18.443 Statistics for Applications
- 18.511 Introduction to Computability and Undecidability

#### Course 20 - Biological Engineering

- 20.320 Analysis of Biomolecular and Cellular Systems
- 20.385 Understanding Current Research in Synthetic Biology
- 20.390 Foundations of Computational and Systems Biology
- 20.442 Molecular Structure of Biological Materials
- 20.472J Neuroimaging Cells and Circuits

#### Course 22 - Nuclear Science and Engineering

- 22.212 Nuclear Reactor Analysis II
- 22.38 Probability and Its Applications To Reliability, Quality Control, and Risk Assessment
- 22.53 Statistical Processes and Atomistic Simulations

#### CSB - Computational and Systems Biology

- CSB.100J Topics in Computational and Systems Biology
- CSB.110 Research Rotations in Computational and Systems Biology
- CSB.190 Research Problems in Computational and Systems Biology

#### ESD - Engineering Systems Division

- ESD.250 Analytical Methods for Supply Chain Management
- ESD.301 Probability and Statistics
- ESD.33 Systems Engineering
- ESD.71 Engineering Systems Analysis for Design
- ESD.710 Risk and Decision Analysis
- ESD.762 Systems Optimization
- ESD.862 Modeling Risk, Dynamics, and Decisions

## MAS - Media Arts and Sciences

- MAS.110 Fundamentals of Computational Media Design
- MAS.131 Computational Camera and Photography
- MAS.160 Signals, Systems, and Information for Media Technology
- MAS.533 Imaging Ventures: Cameras, Displays, and Visual Computing
- MAS.680 Design For Empowerment
- MAS.864 The Nature of Mathematical Modeling

## University of Kalifornia, Berkeley (USA)

### Agricultural and Resource Economics

- Mathematical Methods for Agricultural and Resource Economists
- Econometrics: Multiple Equation Estimation
- Applied Econometrics
- New Econometric and Statistical Techniques
- Dynamic Methods in Environmental and Resource Economics

### Architecture

- Principles of Computer Aided Architectural Design
- Design and Computer Analysis of Structure

### Bioengineering

- Introduction to Computational Molecular and Cell Biology
- Frontiers in Microbial Systems Biology
- Computational Methods in Biology
- Introductory Microcomputer Interfacing Laboratory
- Medical Imaging Signals and Systems
- Heat and Mass Transport in Biomedical Engineering
- Introduction to Computational Molecular and Cellular Biology
- Probabilistic Modeling in Computational Biology

### Chemical And Biomolecular Engineering

- Dynamics and Control of Chemical Processes
- Mathematical Methods in Chemical Engineering
- Thermodynamics for Chemical Product and Process Design
- Transport Processes

## Chemistry

- Quantum Information Science and Technology
- Advanced Quantum Mechanics
- Bio NMR II

## City And Regional Planning

- Methods of Planning Data Analysis
- Multivariate Analysis in Planning
- Urban Planning Applications of Geographic Information Systems

## Civil And Environmental Engineering

- Engineering Data Analysis
- Elementary Fluid Mechanics
- Structural Engineering
- Advanced Structural Analysis
- Mechanics of Structures
- Engineering Analysis Using the Finite Element Method
- Transportation Systems Engineering
- Visualization and Simulation for Engineering and Management
- Groundwater and Seepage
- Engineering Risk Analysis
- Environmental Fluid Mechanics
- Numerical Methods for Environmental Flow Modeling
- Air Pollution Modeling
- Structural Analysis Theory and Applications
- Nonlinear Structural Analysis
- Structural System Reliability
- Computational Mechanics
- Computational Inelasticity
- Computational Nano-mechanics
- Infrastructure Systems Management
- Numerical Modelling in Geomechanics
- Seismic Hazard Analysis and Design Ground Motions
- Digital Data Processing
- Civil Systems: Control and Information Management
- Advanced Estimation, Control, and Optimization of Partial Differential Equations

## Computer Science (Engineering)

- Matlab for Programmers
- The Beauty and ISY of Computing
- Discrete Mathematics and Probability Theory
- Introduction to Embedded Systems
- Efficient Algorithms and Intractable Problems

- Computability and Complexity
- Concurrent Models of Computation
- Parallel Processors
- Applications of Parallel Computers
- Foundations of Parallel Computation
- Computer Vision
- Algebraic Algorithms
- Advanced Computer Graphics Algorithms and Techniques
- Computer-Aided Geometric Design and Modeling

## Economics

- Introduction to Mathematical Economics
- Econometric Analysis
- Mathematical Tools for Economics
- Mathematical Economics
- Econometrics
- Applied Econometrics

## Electrical Engineering

- Structure and Interpretation of Systems and Signals
- Signals and Systems
- Digital Signal Processing
- Optimization Models in Engineering
- Neural and Nonlinear Information Processing
- Fundamental Algorithms for Systems Modeling, Analysis, and Optimization
- Medical Imaging Signals and Systems
- Introduction to Embedded Systems
- Numerical Simulation and Modeling
- Concurrent Models of Computation
- Advanced Control Systems I
- Nonlinear Systems--Analysis, Stability and Control
- Digital Image Processing
- Principles of Magnetic Resonance Imaging
- Introduction to Convex Optimization
- Convex Optimization and Approximation
- High Speed Communications Networks
- Fundamental Algorithms for Systems Modeling, Analysis, and Optimization
- Control and Optimization of Distributed Parameters Systems

## Energy And Resources Group

- Quantitative Methods for Ecological and Environmental Modeling
- Modeling Energy, Environmental, and Resource Systems
- Tools of the Trade
- Analysis of Environmental Data

## Engineering

- Introduction to Computer Programming for Scientists and Engineers
- Principles of Engineering Economics
- Advanced Programming with MATLAB
- Methods of Applied Mathematics
- Mathematical Methods in Engineering
- Physics of Medical Imaging
- Finite Difference Methods for Fluid Dynamics

## Environmental Science, Policy And Management

- Modeling and Management of Biological Resources
- Design and Analysis of Ecological Research
- Quantitative Methods for Ecological and Environmental Modeling
- Hierarchical Statistical Modeling in Environmental Science

## Industrial Engineering

- Linear Programming
- Engineering Statistics
- Production Systems Analysis
- Discrete Event Simulation
- Decision Analysis
- Introduction to Financial Engineering
- Financial Engineering Systems I
- Financial Engineering Systems II
- Introduction to Convex Optimization
- Convex Optimization and Approximation
- Introduction to Data Modeling, Statistics, and System Simulation
- Optimization Analytics
- Risk Modeling, Simulation, and Data Analysis
- Introduction to Production Planning and Logistics Models
- Mathematical Programming I
- Mathematical Programming II
- Computational Optimization
- Applied Dynamic Programming
- Statistical Aspects of Discrete Event Simulation
- Advanced Mathematical Programming

## Integrative Biology

- Quantitative Methods for Ecological and Environmental Modeling
- Introduction to Climate Modeling

## Landscape Architecture And Environmental Planning

- Computer Applications in Environmental Design

## Master's In Business Administration

- Data and Decisions

## Master's In Financial Engineering

- Derivatives: Quantitative Methods
- Asset-Backed Security Markets
- Introduction to Stochastic Calculus
- Advanced Computational Finance
- Credit Risk: Quantitative Modeling

## Mathematics

- Linear Algebra and Differential Equations
- Discrete Mathematics
- Linear Algebra
- Fourier Analysis, Wavelets, and Signal Processing
- Mathematical and Computational Methods in Molecular Biology
- Numerical Analysis
- Mathematical Methods for Optimization
- Introduction to Complex Analysis
- Mathematical Methods in Classical and Quantum Mechanics
- Probability Theory
- Introduction to Probabilistic Methods in Mathematics and the Sciences
- Advanced Matrix Computations
- Partial Differential Equations
- Stochastic Processes
- Numerical Solution of Differential Equations
- Theory of Models
- Discrete Mathematics for the Life Sciences
- Classical Harmonic Analysis
- Differential Topology
- Topics in Numerical Analysis
- Topics in Computational Physics
- Topics in Analysis

## Mechanical Engineering

- Computer-Aided Mechanical Design
- Dynamic Systems and Feedback
- Energy Conversion Principles



- Ocean-Environment Mechanics
- Engineering Mechanics III
- Engineering Analysis Using the Finite Element Method
- Model Predictive Control
- Practical Control System Design: A Systematic Optimization Approach
- Parametric and Optimal Design of MEMS
- Modeling and Simulation of Advanced Manufacturing Processes
- Computer-Aided, Optimal Mechanical Design
- Experiential Advanced Control Design I
- Experiential Advanced Control Design II
- Control and Optimization of Distributed Parameters Systems
- Advanced Methods in Free-Surface Flows
- Heat Conduction
- Advanced Combustion
- Multiscale Modeling and Design of New Materials
- Computational Design of Multifunctional/Multiphysical Composite Materials
- Nonlinear Dynamics of Continuous Systems
- Laser Processing and Diagnostics
- Predictive Control for Linear and Hybrid Systems
- Expert Systems in Mechanical Engineering
- System Identification
- Topics in Control, Modeling and Optimization

#### Molecular And Cell Biology

- Computer Simulation in Biology
- Microbial Genomics and Genetics
- Neurobiology Laboratory
- Biophysical Neurobiology
- Genome Sequences
- Computational Genomics
- Advanced Topics in Systems Neuroscience
- Selected Topics in Molecular and Cell Biology

#### Nanoscale Science And Engineering

- Computational Nano-mechanics
- Computational Nanoscience

#### Nuclear Engineering

- Introduction to Numerical Simulations in Radiation Transport
- Irradiation Effects in Nuclear Materials
- Numerical Simulation in Radiation Transport
- Charged Particle Sources and Beam Technology
- Subsurface Nuclear Technology
- Scientific and Regulatory Basis for Environmental Protection in Nuclear Fuel Cycle

## Nutritional Science And Toxicology

- Computational Toxicology

## Physics

- Analytic Mechanics
- Quantum Information Science and Technology
- Computational Nanoscience

## Public Health

- Introduction to Risk and Demographic Statistics
- Introduction to Statistical Methods in Computational and Genomic Biology
- Intermediate SAS Programming
- Statistical Analysis of Continuous Outcome Data
- Biostatistical Methods: Advanced Categorical Data Analysis
- Biostatistical Methods: Computational Statistics with Applications in Biology and Medicine
- Statistical Analysis of Categorical Data
- Biometrical Data Analysis--Pathological Incomplete Data and Pattern Recognition
- Longitudinal Data Analysis
- Censored Longitudinal Data and Causality
- Statistical/Computer Analysis Using R
- Epidemiological Analysis

## School Of Information

- Programming for Computing Applications
- Distributed Computing Applications and Infrastructure
- Analysis of Information Systems
- Theory and Practice of Tangible User Interfaces

## Statistics

- Concepts in Computing with Data
- Introduction to Statistical Methods in Computational and Genomic Biology
- Stochastic Processes
- Linear Modelling: Theory and Applications
- Introduction to Time Series
- Probability for Applications
- Probability Theory
- Statistical Models: Theory and Application
- Linear Models
- Nonparametric and Robust Methods
- Advanced Topics in Learning and Decision Making
- Statistical Computing

- Biostatistical Methods: Advanced Categorical Data Analysis
- Biostatistical Methods: Computational Statistics with Applications in Biology and Medicine
- Statistical Genomics

## Vision Science

- Neural Computation
- Computer Vision

## University of Oxford (Iso-Britannia)

- Elementary maths and statistics
- Data handling and interpretation
- Bionanotechnology
- Numerical and Scientific Skills
- Mathematics for chemistry
- Functional programming
- Design and analysis of algorithms
- Calculus and linear algebra
- Digital hardware
- Discrete mathematics, logic and proof
- Models of computation
- Object-oriented programming
- Computer graphics
- Computer networks
- Computer-aided formal verification
- Computational complexity
- Computational linguistics
- Probabilistic model checking
- Probability and computing
- Database systems implementation
- Computational complexity
- Computer-aided formal verification
- Theory of data and knowledge bases
- Mathematics for Materials and Earth Sciences
- Mathematical and geophysical tools
- Biomedical engineering
- Information engineering
- Engineering computation
- Geographical Techniques
- Maths for materials and earth sciences
- Mathematical Methods and Applications
- Complex analysis and Differential equations
- Numerical methods
- Computer science options
- Models of computation
- Quantum computer science

- Analysis
- Complex analysis
- Probability and statistics
- Stochastic modelling
- Mathematical methods I
- Differential equations, waves & optics
- Mathematical methods II
- Laser science & quantum information processing
- Calculus and waves
- Quantum physics

## University of Cambridge (Iso-Britannia)

### Engineering for Life Sciences

- P8 Engineering for the Life Sciences
- 3G1 Introduction to Molecular Bioengineering
- 3G2 Mathematical Physiology
- 3G4 Medical Imaging and 3D Computer Graphics
- 4G1 Systems Biology
- 4G3 Computational Neuroscience
- 4G5 Molecular Modelling

### Computational Biology

- SP — Scientific Programming with R
- GI — Genome Informatics
- FG — Functional Genomics
- CN — Computational Neuroscience
- GSA — Genome Sequence Analysis
- SG — Statistical Genetics
- SB — Systems Biology
- NB – Network Biology

### Computer Laboratory

- Computer Fundamentals
- Digital Electronics
- Discrete Mathematics
- Foundations of Computer Science
- Hardware Practical Classes
- ML under Windows
- Operating Systems
- Algorithms
- Floating-Point Computation
- Object-Oriented Programming

- Probability
- Programming in Java
- Software Design
- Further Java Briefing
- Regular Languages and Finite Automata
- Computer Design
- Concurrent and Distributed Systems
- ECAD and Architecture Practical Classes
- Further Java
- Group Project
- Logic and Proof
- Mathematical Methods for Computer Science
- Complexity Theory
- Computation Theory
- Artificial Intelligence
- Bioinformatics
- Computer Systems Modeling
- Digital Signal Processing
- Optimizing Compilers
- Principles of Communications
- Quantum Computing
- Computer Vision
- Denotational Semantics

#### Bioinformatics and computational biology

- Introduction to computational RNA biology
- CCPN programming for computational NMR

#### Mathematics

- Vectors and Matrices
- Groups
- Analysis
- Vector Calculus
- Differential Equations
- Probability
- Numbers and Sets
- Dynamics and Relativity
- Metric and Topological Spaces
- Optimisation
- Variational Principles
- Representation Theory
- Linear Analysis
- Riemann Surfaces
- Algebraic Geometry
- Differential Geometry
- Logic and Set Theory

- Graph Theory
- Probability and Measure
- Applied Probability
- Optimization and Control
- Principles of Statistics
- Stochastic Financial Models
- Partial Differential Equations
- Principles of Quantum Mechanics
- Applications of Quantum Mechanics
- Statistical Physics
- Electrodynamics
- General Relativity
- Asymptotic Methods
- Fluid Dynamics
- Waves
- Integrable Systems
- Numerical Analysis

#### Centre for Applied Medical Statistics

- Introductory Statistics and Research Methods
- Statistics For Medical Journals
- Understanding Non-Parametric Methods

### University of Stanford (USA)

- Calculus
- Multivariable Differential Calculus
- Linear Algebra and Differential Calculus of Several Variables
- Honors Multivariable Mathematics
- Introduction to MATLAB for Multivariable Mathematics
- Integral Calculus of Several Variables
- Ordinary Differential Equations with Linear Algebra
- Functions of a Complex Variable
- Computational Commutative Algebra
- Complex Analysis
- Partial Differential Equations
- Stochastic Processes
- Differential Geometry
- Analysis on Manifolds
- Introduction to Probability Theory
- Discrete Probabilistic Methods
- Lebesgue Integration and Fourier Analysis
- Theory of Partial Differential Equations
- Calculus of Variations
- Topics in Analysis and Differential Equations with Applications
- Complex Analysis, Geometry, and Topology



- Partial Differential Equations of Applied Mathematics
- Computational Methods for Fronts, Interfaces, and Waves
- Partial Differential Equations and Diffusion Processes
- Stochastic Methods in Engineering
- Theory of Probability
- Introduction to Stochastic Differential Equations
- Mathematical Finance
- Computation and Simulation in Finance
- Riemann Surfaces
- Geometric Methods in the Theory of Ordinary Differential Equations
- Partial Differential Equations
- Symplectic Geometry and Topology
- Functional Analysis
- Computational Signal Processing and Wavelets
- Evolution Equations in Differential Geometry
- Computation and Algorithms in Mathematics

## Tel Aviv University (Israel)

### Computer Science

#### Graduate Courses

- 0368-4010 Algorithmic robotics and motion planning
- 0368-4014 Computerized vision
- 0368-4016 Pattern recognition
- 0368-4034 Computational learning
- 0368-4051 Advanced program analysis
- 0368-4105 Advanced complexity
- 0368-4139 Algorithmic methods
- 0368-4141 Verification of hardware and software
- 0368-4146 Matroid theory
- 0368-4149 Neural computation
- 0368-4159 Randomized and derandomized algorithms
- 0368-4161 Fourier & wavelets
- 0368-4162 Foundations of cryptography
- 0368-4166 Advanced computer systems
- 0368-4168 Computational human genetics
- 0368-4171 Cryptographic protocols
- 0368-4172 Peer to peer networks
- 0368-4173 Advanced seminar in computational genetics
- 0368-4174 Lattices and advance techniques in encryption
- 0368-4175 Guided reading graphpics and geometric modeling
- 0368-4211 Computational geometry
- 0368-4212 Analysis of biological networks
- 0368-4222 Analysis of algorithms
- 0368-4226 Scientific computing

- 0368-4287 Guided reading in dependency networks
- 0368-4428 Computational game theory
- 0368-4429 Distributed computation
- 0368-4432 Resource management in telecommunication networks
- 0368-4603 Advanced seminar in games, automata and logic
- 0368-4613 Advanced seminar in web data management
- 0368-4617 Advanced seminar in algorithmic game theory

### Advanced undergraduate courses

- 0368-3014 Computer graphics
- 0368-3030 Communication networks
- 0368-3052 Object oriented operating engineering
- 0368-3056 Java based software system developmant
- 0368-3057 Advanced storage systems
- 0368-3058 Advanced topics in programing
- 0368-3133 Compilation
- 0368-3168 Computational complexity
- 0368-3241 Programming languages
- 0368-3244 Comunication networks and speech
- 0368-3246 Introduction to image processing
- 0368-3248 Data mining
- 0368-3250 Web system and application security
- 0368-3253 Advanced topics in operating systems
- 0368-3254 Game intelligence
- 0368-3255 Riddle based learning
- 0368-3328 Seminar on dsp algorithms and applications
- 0368-3329 Seminar-geometric modeling in urban scenes
- 0368-3330 Seminar-pseudorandomness
- 0368-3331 Seminar in data security
- 0368-3332 Seminar structural bioinfomatics
- 0368-3334 Seminar-web,cloud and mobile technologies seminar
- 0368-3340 Seminar in computational geometry
- 0368-3369 Seminar aspect oriented programming
- 0368-3383 Seminar in algorithms
- 0368-3384 Seminar in dimensionality reduction
- 0368-3389 Seminar in natural laguage analysis
- 0368-3458 Data-base systems
- 0368-3460 The formal approach to real-time systems development
- 0368-3464 Digital signal processing

### Mathematics

### Graduate courses

- 0366-4022 Numerical methods for initial-value problems 1
- 0366-4034 Approximation methods
- 0366-4273 Scientific computation

- 0366-4520 Analysis & mathematical methods for image processing
- 0366-4553 Methods of applied mathematics 1
- 0366-4640 Optics 1
- 0366-4641 Advanced seminar in nonlinear optics
- 0366-4660 Mathematical methods for image processing & analysis 2
- 0366-4737 Seminar in analysis 2
- 0366-4748 Optics 2
- 0366-4754 Asymptotic convex geometric
- 0366-4755 Advanced course in algebra and number theory
- 0366-4756 Advanced course in dynamical systems
- 0366-4757 Arithmetic groups
- 0366-4758 Random walks and brownian motion
- 0366-4759 Asymptotic geometric analysis seminar
- 0366-4760 Algebraic geometry 1
- 0366-4761 Advanced set theory 2
- 0366-4762 Ergodic theory
- 0366-4763 Advanced geomtry & topology
- 0366-4764 Smooth functions
- 0366-4765 Gauss measures
- 0366-4766 Theta functions and sum of squares
- 0366-4767 Random graphs
- 0366-4769 Seminar in ergodic theory
- 0366-4818 Vision and robotics workshop
- 0366-4838 Seminar topics in set theory 1
- 0366-4839 Research seminar in combinatorics 1
- 0366-4840 Spectral methods in data analysis
- 0366-4841 Foundations of modern analysis
- 0366-4844 Advanced seminar in spectral approximations
- 0366-4845 Advanced topics in digital image processing
- 0366-4846 Advanced numbers theory
- 0366-4847 Advanced seminar in ergodic theory
- 0366-4848 Research seminar in combinatorics
- 0366-4849 Advanced seminar in approximation methods
- 0366-4850 Advanced topics in partial differential equations
- 0366-4851 Advanced seminar: topics in set theory 2
- 0366-4852 Advanced seminar in tropical geometry
- 0366-4853 research seminar in number theory

### **Advanced undergraduate courses**

- 0366-3013 Seminar in applied mathematics
- 0366-3020 Partial differential equations 1
- 0366-3021 Introduction to hilbert spaces and operator theory
- 0366-3023 Measure theory
- 0366-3098 Probability for mathematicians
- 0366-3117 Representations of finite groups
- 0366-3126 Set theory
- 0366-3143 Non euclidean geometry

- 0366-3201 Theory of functions Of a complex variable 2
- 0366-3253 Seminar on introduction to algebraic geometry
- 0366-3254 Seminar in geometric group theory
- 0366-3257 Seminar topics in number theory
- 0366-3267 Graph theory
- 0366-3292 Algebra b 3
- 0366-3328 Seminar in number theory
- 0366-3333 Multidimensional visualization and its applications
- 0366-3334 Guided reading in multidimensional visualization
- 0366-3362 Introduction to nonlinear phenomena

## Statistics

- 0365-4058 Statistical foundations in finance
- 0365-4060 Seminar in operations research
- 0365-4063 Statistic learning
- 0365-4070 Applied biostatistics in the pharmaceutical industry
- 0365-4105 Advanced seminar in statistics
- 0365-4122 Research seminar in statistics
- 0365-4125 Flows in networks
- 0365-4133 Advanced statistical theory
- 0365-4140 Horowitz seminar in probability
- 0365-4142 Information, probability and games
- 0365-4144 Seminar in operations research
- 0365-4146 Seminar of the statistical laboratory
- 0365-4150 Approximate algorithms in combinatorial optimization
- 0365-4151 Topics in game theory
- 0365-4171 Research & mathematical seminar in game theory economics
- 0365-4218 Contingency tables analysis
- 0365-4409 Convex analysis and optimization
- 0365-4432 Dynamic programming
- 0365-4436 Queueing theory
- 0365-4439 Location theory
- 0365-7000 Sparse canonical correlations: review and critical reading
- 0365-3117 Linear programming
- 0365-3118 Non cooperative games
- 0365-3247 Regression analysis
- 0365-3308 Cooperative games
- 0365-3344 Statistics seminar
- 0365-3421 Seminar in operations research

**Saint-Petersburg State University (Venäjä)**  
**(Math&Mech faculty, Applied math & informatics specialization)**

- Algebra and Number Theory
- Geometry and Topology
- Dynamical Systems
- Discrete Analysis
- Differential Equations
- Qualitive Theory of Cybernetic Systems
- Attractor Localisation
- Mathematical Logic
- Mathematical Theory of Filtration
- Mathematical Analysis
- Mathematical Modelling and Data Processing
- Methods of Computation
- Applied Cybernetics
- Applied Theory of Dynamical Systems
- Stochastic Processes
- Theoretical Mechanics
- Probability Theory
- Control Theory
- Management of Financial Assets Under Uncertainty I
- Management of Financial Assets Under Uncertainty II
- Partial Differential Equations
- Physics
- Functional Analysis
- Numerical Methods
- Extremal Problems
- Informatics
- Distributed Operational Systems
- System Programming
- Special Computational Workshop
- Comparative Characteristics of Programming Languages
- Classical Structure fo Operational Systems and Computer Architecture
- Operational Systems and Shells
- Programming Workshop
- IT-Project Management
- Software Development Quality Management
- Databases and DBMS
- Business Programming
- Computational Workshop
- Computational Workshop in Solving Mathematical Physics Problems
- Computational Workshop in Physics
- Java Programming Language

## Liite 3 – FiDiPro professuurit

Laskennallisiin tieteisiin liittyvät FiDiPro-professuurit ja fellow-tutkijat.

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)	Aalto-yliopisto, Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitos
Fellow	Dr. Vassilis Kostakos	University of Madeira (Portugali)	Oulun yliopisto
Fellow	Dr. Koen Van Leemput	Harvard University (USA)	Aalto-yliopisto
Professori	Behnaam Aazhang	Rice-yliopisto (USA)	Oulun yliopisto, Centre for Wireless Communications (CWC) -tutkimusyksikkö
Professori	Erik Aurell	Kungliga Tekniska Högskolan (Ruotsi)	Aalto-yliopisto
Professori	Amir Averbuch	School of Computer Science, Tel Aviv University (Israel)	Jyväskylän yliopisto, Tietotekniikan laitos
Professori	Anthony De Ardo	Pittsburgin 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 (USA)	Tampereen teknillinen yliopisto, Elektroniikan laitos
Professori	Ari T. Friberg	Royal Institute of Technology (Ruotsi)	Joensuun yliopisto ja Aalto-yliopisto
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	Robert Benny Gerber	University of California (USA)	Helsingin yliopisto
Professori	Gregorz Glinka	University of Waterloo (Kanada)	Aalto-yliopisto
Professori	Matti Hämäläinen	Athinoula A. Martinos Center for Biomedical Imaging (USA)	Aalto-yliopisto
Professori	Seppo Honkanen	University of Arizona (USA)	Aalto-yliopisto
Professori	Tadeusz Iwaniec	Syracusen yliopisto (USA)	Analyysin ja dynamiikan huippuyksikkö, Helsingin yliopisto



Professori	Antti-Pekka Jauho	Technical University of Denmark (Tanska)	Aalto-yliopisto
Professori	Stuart Alan Kauffman	University of Calgary (Kanada)	Tampereen teknillinen yliopisto, Signaalinkäsittelyn laitos
Professori	János Kertész	Budapest University of Technology and Economics (Unkari)	Aalto-yliopisto, Laskennallisen kompleksisten systeemien tutkimuksen huippuyksikkö - COSY, Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitos - BECS
Professori	Stefan Kurz	Saksa	Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkömagnetiikka
Professori	Asoke K. Nandi	University of Liverpool (Enlanti)	Jyväskylän yliopisto
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	Luca Q. Zamboni	Université de Lyon 1 (Ranska)	Turun yliopisto
Professori	Wei Zhang	The University of Texas M. D. Anderson Cancer Center (USA)	Tampereen teknillinen yliopisto, Signaalinkäsittelyn laitos

## Liite 4 – Raportin päivityskyselyyn osallistuneet henkilöt

### **Aalto-yliopisto:**

Ellan Bingham  
Ari Jolma  
Tero Eerikäinen  
Sirkka-Liisa Jämsä-Jounela

### **Helsingin yliopisto:**

Hannu Kurki-Suonio  
Anna-Maija Virtala  
Kai Nordlund  
Hanna Vehkamäki  
Kari Rummukainen  
Veikko Karimäki  
Jyrki Kivinen  
Petri Käpylä

### **Itä-Suomen yliopisto:**

Tapani Pakkanen

### **Jyväskylän yliopisto:**

Olli Pentikäinen  
Tuomas Rajala  
Santtu Salmi  
Keijo Mattila  
Raino Mäkinen  
Timo Männikkö  
Kaisa Miettinen  
Tero Tuovinen

### **Lapin yliopisto:**

Pekka Vasari

### **Lappeenrannan teknillinen yliopisto:**

Ville Kyrki  
Teemu Turunen-Saaresti

### **Oulun yliopisto:**

Lasse Holmström  
Timo Jämsä  
Sanna Tyni  
Minna Tiainen  
Teemu Takaluoma  
Seppo Saarela

### **Svenska Handelshögskolan:**

Anders Löflund  
Johan Knif

### **Tampereen Teknillinen Yliopisto:**

Henri Viinikainen  
Jari Mäkinen  
Juha Herrala  
Risto Silvennoinen  
Marja-Leena Linne  
Esko Turunen  
Robert Piche  
Tapio Rantala

### **Tampereen yliopisto:**

Tapio Nummi  
Ari Virtanen  
Erkki Mäkinen  
Mauno Vihinen  
Martti Juhola  
Leena Rantala  
Anna-Maija Korpijaakko-Huuhka

### **Turun yliopisto:**

Tero Aittokallio  
Jarmo Hietarinta  
Vesa Halava  
Kalle-Antti Suominen  
Jari Sinkkonen  
Esa Lehikoinen

### **Vaasan yliopisto:**

Jarmo Alander



Reports of the Department of Mathematical Information Technology  
Series B. Scientific Computing

ISBN 978-951-39-4378-3  
ISSN 1456-436X