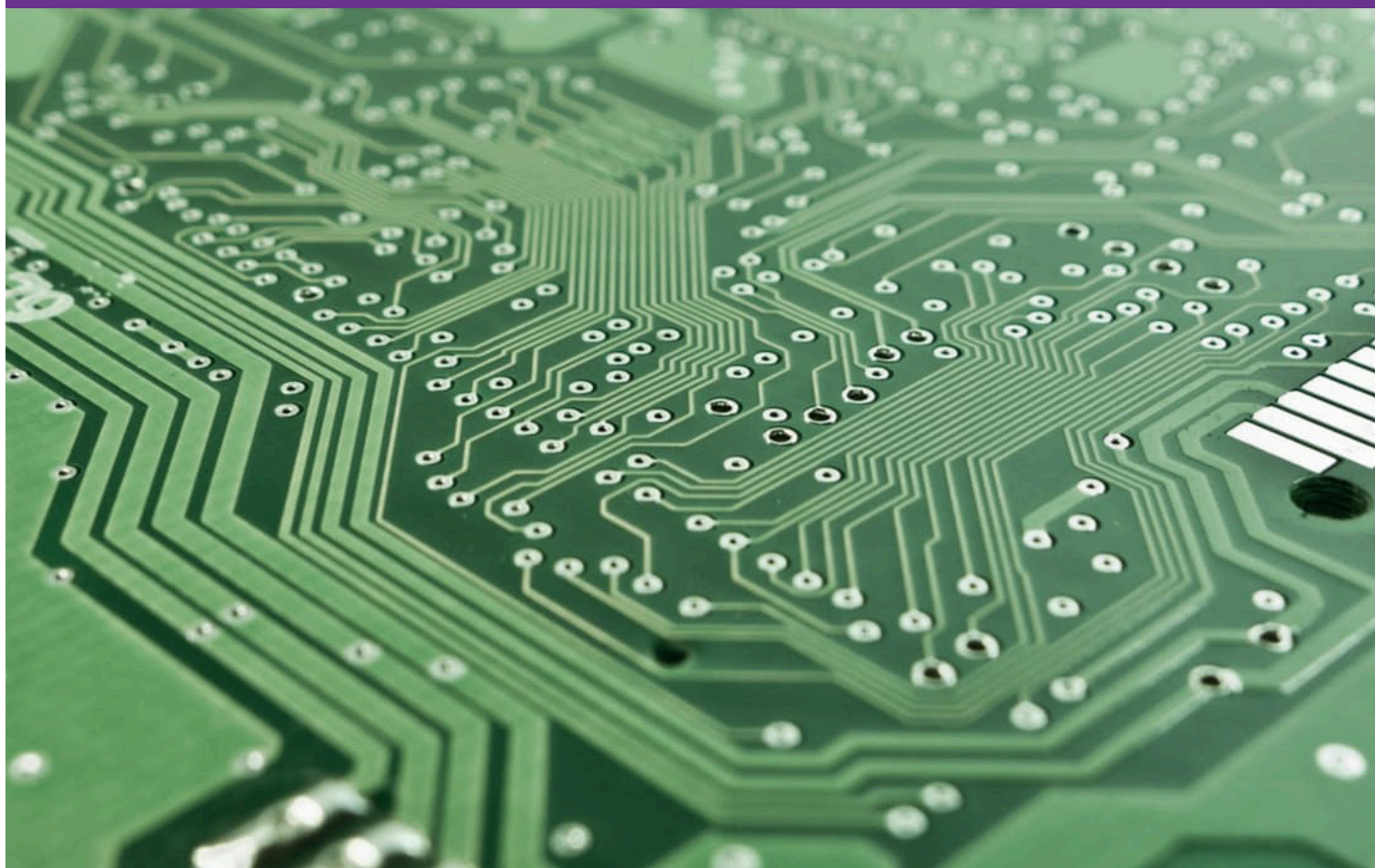


Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisu
No. 22/2016

Lehto Martti, Neittaanmäki Pekka

Laskennallisten tieteiden tutkimuksen ja koulutuksen kehittäminen



Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja
No. 22/2016

Editor: Pekka Neittaanmäki
Covers: Jarno Kiesiläinen

Copyright © 2016

Martti Lehto, Pekka Neittaanmäki ja Jyväskylän yliopisto

ISBN 978-951-39-6619-5 (verkkoj.)

ISSN 2323-5004

Jyväskylä 2016

TIIVISTELMÄ

Laskennallisten tieteiden kehittäminen perustuu Jyväskylän yliopiston strategiaan 2015 – 2020 ja toimenpideohjelmaan vuosille 2016 – 2020.

Jyväskylän yliopiston digivisio 2020:

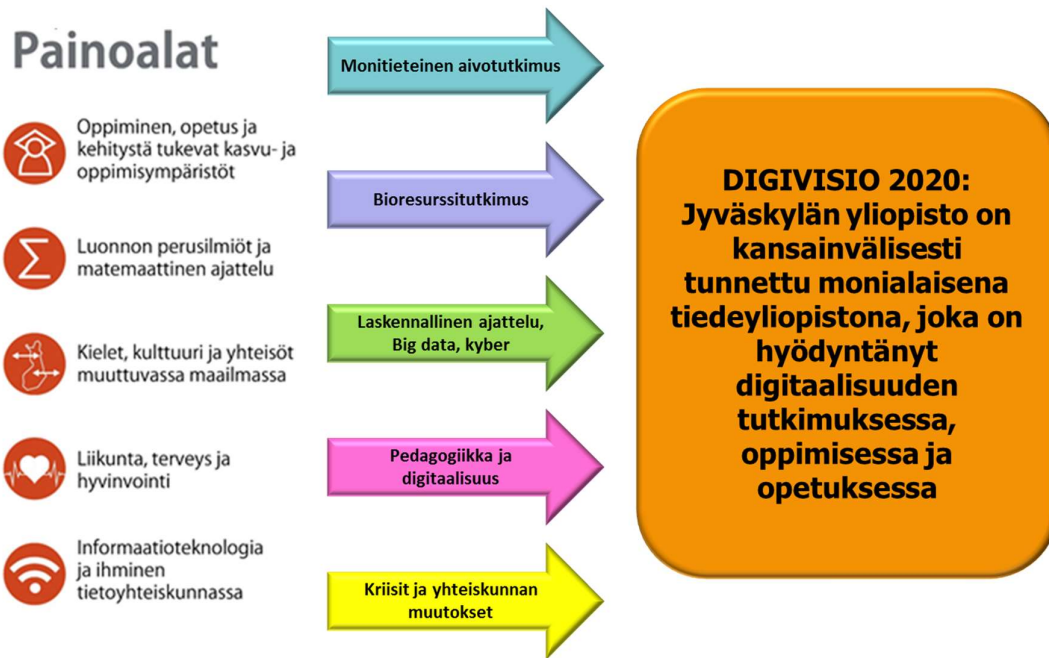
Jyväskylän yliopisto on kansainvälisesti tunnettu monialaisena tiedeyliopistona, joka on hyödyntänyt digitaalisuuden tutkimuksessa, oppimisessa ja opetuksessa.

Digitalisaation vaikutukset koskevat laajasti sekä yksilöitä, organisaatioita, yrityksiä että yhteiskuntaa yhteisesti. Siksi digitalisaatiota tulee tutkia monialaisena ilmiönä yhdistäen ymmärrystä teknologian kehityksestä, yksilöiden ja organisaatioiden käyttäytymisestä ja taloudellisista vaikutuksista. Uuden teknologian inhimillinen dimensio on tullut erittäin keskeiseksi kysymykseksi digitalisaatiossa. Digitalisaatio ei ole ainoastaan teknologiaa vaan ulottuu kaikkialle yhteiskunnan eri osa-alueille.

Digitalisaatio on luonut erityisiä ilmiöitä ja erilaisia toimintaympäristöjä sekä mahdollistanut uudenlaista käyttäytymistä. Tiedeyhteisön ennen digiaikaa kehittämät teoriat ja opit eivät aina ole riittävän sovelluskelpoisia selittämään ja ennustamaan digitaalijan ilmiöitä riittävän tarkasti, joten tarvitaan alan teoreettista tutkista ja teorioiden kehittämistä.

Kehittämisen perustana ovat Jyväskylän yliopiston strategiassa esitetyt uudet nousevat alat (kuva 1). Yliopisto on tunnistanut uusia, nousevia aloja monitieteisellä ja tulevaisuusorientoituneella yhteistyöllä eri tiedekuntien välillä. Tunnistetut nousevat alat pohjautuvat yliopiston painoaloihin:

- Monitieteinen aivotutkimus: oppimisen, musiikin, liikunnan ja fyysisen harjoittelun sekä terapioiden vaikutus ihmisen ja aivojen toimintaan
- Bioressitutkimus monitieteellisenä osaamiskeskittymänä
- Laskennallinen ajattelu ja Big data -analytiikan käyttö päätöksenteon tukena sekä osana kyberturvallisuuden tutkimusta
- Pedagogiikka ja digitaalisuus monimuotoistuvissa oppimisympäristöissä
- Monitieteinen kriisien ja yhteiskunnan muutosten tutkimus



KUVA 1 Jyväskylän yliopiston painoalat, uudet nousevat alat ja digivisio 2020

Laskennallinen ajattelu ja Big data -analytiikan käyttö päätöksenteon tukena sekä osana kyberturvallisuuden tutkimusta: Laskennallinen ajattelu (mallinnus ja simulointi) ja big data edustavat uusia monitieteisiä tapoja tehdä tutkimusta ja luoda uutta tietoa kun erilaisia kompleksisia järjestelmiä (tekniset, ihmislähtöiset) voidaan mallintaa, optimoida ja analysoida entistä tarkemmin. Molemmat alat luokitellaan strategisiksi aloiksi keskeisissä teollisuusmaissa. Laskennallisen menetelmien ja data-analyysin pohjalta voidaan hallita päätöksentekoa kompleksisissa järjestelmissä ja kyber-fyysisessä ympäristössä. Laskennallisen ajattelun ja big datan menetelmien avulla tuotetaan tietoa, jolla voidaan tehostaa yhteiskunnan toimintoja merkittävästi kuten julkisia digitaalisia palveluita ja ratkaista turvallisuusongelmia.

Laskennalliset tieteet luokitellaan johtavissa teollisuusmaissa strategisiksi tieteiksi, joilla on merkittävä vaikutus maan kilpailukykyyn. Laskennallinen ajattelu (computational thinking) on viime vuosina nostettu yhdeksi olennaiseksi kaikkien kansalaisten osaamisalueeksi. Monet asiantuntijajärjestöt ja visiointifoorumit eri puolilla maailmaa ovat tuoneet vahvasti esille laskennallisen tieteen nostamisen osaksi eri koulutusvaihteluiden opetussuunnitelmaa.

Laskennallisen ajattelun nähdään olevan sellainen taito, jonka oppimiseen jokaisella tulisi olla mahdollisuus. Se on yhteydessä moniin 2000-luvun osaamisalueisiin, kuten

ongelmanratkaisuun, kriittiseen ajatteluun, tuottamiseen ja luovuuteen. Laskennallinen ajattelu liittyy myös olennaisesti tieto- ja viestintäteknikan (ICT) nopeaan kehitykseen.

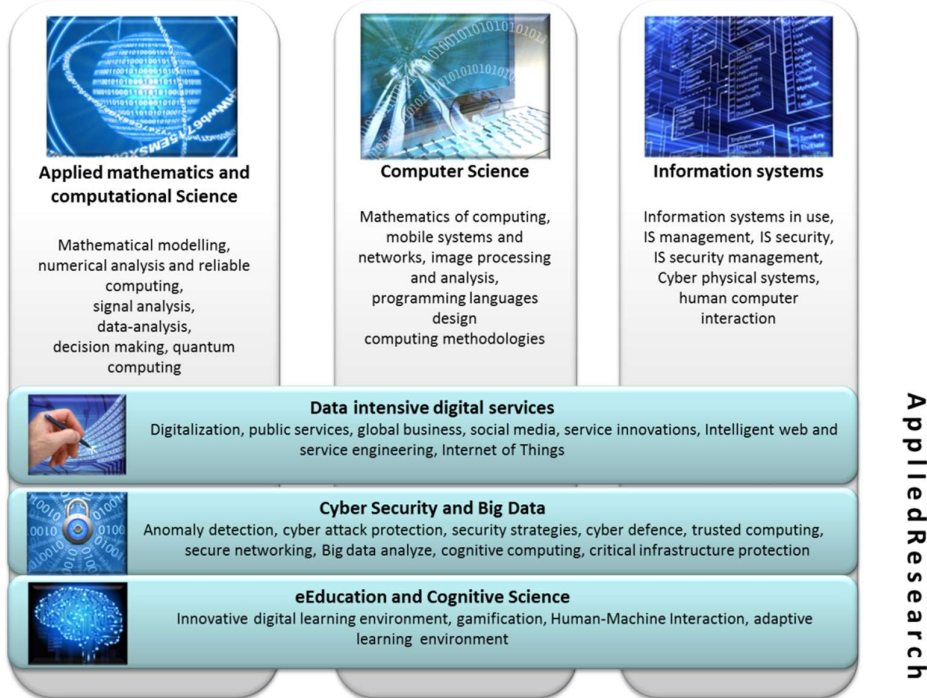
Jyväskylän yliopiston laskennalliset tieteet ovat kansallisella tasolla johtavassa asemassa. Laskennalliset tieteet ovat olleet merkittävässä asemassa yliopiston ja IT-tiedekunnan profiloitumisessa painopistealueilleen.

Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunnan uusi **laskennallisten tieteiden maisteriohjelma 2.0** vastaa muuttuvan maailman tilanteeseen, jossa suurien data-aineistojen automaattisesta analysoinnista on tullut keskeinen työkalu useilla aloilla, ja jossa päätöksenteko on muuttunut yhä monimutkaisemmaksi. Digitalisoinnin ja erilaisten sensorteoppioiden avulla tietomassat kasvavat huimaa vauhtia ja sekä tutkimus että teollisuus ovat havainneet laskennallisen ajattelun ja data-analyysin tuomat mahdollisuudet. Laskennallisten tieteiden maisteriohjelman tarkoituksena on kouluttaa osaajia tämän tarpeen täyttämiseksi.

Laskennallisten tieteiden maisteriohjelma koostuu simuloinnin, data-analyysin ja päätöksenteon suuntautumisvaihtoehdoista, joissa näiden teemaopintojen perustalle voidaan rakentaa erityiskurssien avulla erilaisia opintopolkuja kuten teollisuussektori, sosiaali- ja terveysala sekä tietojohtaminen.

Ala vaatii kuitenkin erikoistunutta osaamista, sekä yksityisellä että julkisella sektorilla. Opiskelijoilla on valmistuttuaan hyvät mahdollisuudet siirtyä teollisuuden, elinkeinoelämän tai julkishallinnon vaativiin asiantuntija- ja johtotehtäviin tai jatkaa tutkimustyötä poikkitieteellisissä tutkimusryhmissä. Maisteriohjelma perustuu IT-tiedekunnan perustutkimuksen ja soveltavan tutkimuksen perustalle, joka on esitetty kuvassa 2.

Basic Research



KUVA 2 IT-tiedekunnan perustutkimuksen ja soveltavan tutkimuksen alueet

SISÄLLYS

| | |
|---|----|
| TIIVISTELMÄ..... | 1 |
| 1 TIETEEN NELJÄ TUTKIMUSMENETELMÄÄ..... | 7 |
| 1.1 Laskennallinen tiede – tieteen kolmas paradigma..... | 7 |
| 1.2 Big data-analyysi – tieteen neljäs paradigma | 8 |
| 2 LASKENNALLISEN AJATTELUN PERUSTEITA..... | 10 |
| 2.1 Laskennalliset tieteet - strateginen tutkimusala..... | 10 |
| 3 KANSALLISET JA ALUEELLISET TAVOITTEET..... | 16 |
| 3.1 Globaali näkökulma | 16 |
| 3.2 Kansallinen näkökulma | 17 |
| 4 LASKENNALLISTEN TIETEIDEN TUTKIMUS..... | 20 |
| 4.1 Perusteita | 20 |
| 4.2 Esimerkkejä laskennallisten tieteiden ja data-analytiikan tutkimuksesta... 22 | |
| 4.2.1 Sosiaali- ja terveystieteet..... | 22 |
| 4.2.2 Bio- ja ympäristötieteet | 22 |
| 4.2.3 Liikuntatieteet | 22 |
| 4.2.4 Fysiikka..... | 23 |
| 4.2.5 Musiikkitiede | 24 |
| 5 LASKENNALLISTEN TIETEIDEN JA DATA-ANALYTIIKAN OPETUS..... | 26 |
| 5.1 Perusteita | 26 |
| 5.2 Laskennallisten tieteiden maisteriohjelma 2.0 | 28 |
| 5.3 Mallintamisen opetuksen perusteita..... | 29 |
| 5.4 Data-analyysin opetuksen perusteita..... | 30 |
| 5.5 Päätöksenteon opetuksen perusteita | 33 |
| 6 LUONNOS LASKENNALLISTEN TIETEIDEN MAISTERIOHJELMAKSI..... | 34 |
| 6.1 Maisteriohjelman rakenne..... | 34 |
| 6.2 Laskennallisten tieteiden sivuaine..... | 36 |
| 6.3 Maisteriohjelman opintopolut | 36 |
| 6.3.1 Teollisuussektorin opintopolku..... | 36 |
| 6.3.2 Sosiaali- ja terveydenhuollon opintopolku | 37 |
| 6.3.3 Tietojohtamisen opintopolku..... | 38 |
| 6.4 Osamistavoitteet | 40 |
| 6.4.1 Simuloinnin teema..... | 40 |
| 6.4.2 Data-analyysin teema | 40 |
| 6.4.3 Päätöksenteon teema..... | 41 |
| 6.5 Resurssit | 41 |
| 7 YHTEISTOIMINTA IBM WATSONIN KANSSA | 42 |

| | |
|---|----|
| LÄHTEET..... | 44 |
| LIITE 1: LASKENNALLISTEN TIETEIDEN TUTKIMUSALAT | 45 |
| LIITE 2: DATA-ANALYYSIN JA TILASTOTIETEEN VERKKOKURSEJA | 46 |
| LIITE 3 SOVELLETUN MATEMATIIKAN MAISTERIOHJELMA..... | 50 |
| LIITE 4 AINEISTOINTENSIIVISEN TUTKIMUKSEN VAATIMUKSET IT-INFRASTRUKTUURILLE52 | |

TIETEEN NELJÄ TUTKIMUSMENETELMÄÄ

Perinteisesti tutkimusmenetelmät on jaettu kahteen luokkaan: teoreettiseen ja kokeelliseen tutkimukseen. Laskennallinen tiede edustaa kolmatta tieteen paradigmaa, jossa on mallipohjainen ja datapohjainen laskennallinen lähestymistapa. Neljänneksi paradigma on nousemassa suurien datamassojen käsittely (Big Data Analysis).

Teoriapohja tulee matematiikasta, insinööritieteistä, tietojärjestelmätieteistä ja kognitiivitieteistä. Kokeellinen tausta tulee Jyväskylän yliopiston eri tieteenaloista (biologia, fysiikka, kemia, nano- ja materiaalitieteet, kasvatustiede, liikuntatieteet, psykologia, kielitieteet, taideaineet, historia). Laskennallisten tieteiden pohjana ovat sovellettu matematiikka, simulointi, numeriiikka, optimointi, signaalinkäsittely ja neurolaskenta. Big Data pohjautuu osaamiseen koota, tallentaa ja luokitella ja tallentaa isoja tietomassoja.

Laskennallisessa tieteessä kyetään tutkimaan ilmiöitä, joita ei voi tutkia tai ymmärtää perinteisellä teoreettisella tai kokeellisella metodilla suuren datamäärän sekä ilmiöiden laajuuden ja kompleksisuuden vuoksi. [6]

1.1 Laskennallinen tiede – tieteen kolmas paradigma

Laskennallinen tiede edustaa kolmatta tieteen paradigmaa. Siinä tietokoneen avulla simuloidaan reaalia maailman ilmiöitä tai tilanteita, joita reaalia maailmassa ei välttämättä vielä ole. Suomen osalta on tapahtunut nopea murros tutkimusparadigmojen asettelussa. Lähes kaikilla tieteenaloilla tehdään tutkimusta laskennallisilla menetelmillä kokeellisten ja teoreettisten menetelmien lisäksi. Suomen kilpailukyvyyn kannalta laskennallisten tieteiden kehittäminen on strategisesti tärkeää. [6]

Nopea kehitys tietotekniikassa ja menetelmäosaamisessa mahdollistavat entistä monimutkaisempien ja realistisempien laskentamallien käyttöönoton 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. Laskennalliset tieteet mahdollistavat tutkimus- ja innovaatiotoiminnassa sekä yritysmaailmassa tuloksia, joita ei tähän asti ole ollut mahdollista saavuttaa.

Opetusministeriön työryhmän [6] mukaan ”laskennallisen tieteen kehittäminen on strategisesti tärkeää Suomen kilpailukyvyille. Laskennallisella lähestymistavalla voidaan lisätä ymmärrystä yhteiskunnallisesti merkittävillä alueilla. Laskennallinen lähestymistapa vahvistaa moni- ja poikkitieteellistä tutkimusta sekä nopeuttaa ja tehostaa tuotekehitystä. Samalla vähennetään raja-aitoja tutkimusalojen välillä sekä julkisella että

yksityisellä sektorilla. Tämä lisää innovatiivisuutta ja tuottaa uusia läpimurtoja tutkimuksessa ja tuotekehityksessä.”

Työryhmän mielestä ”jotta laskennallista tiedettä voidaan täysipainoisesti hyödyntää, osaamista tulee kasvattaa kautta linjan peruskoulusta tutkijoihin ja professoreista toimitusjohtajiin. Lisäksi täytyy huolehtia laskennallisen lähestymistavan tarvitsemien infrastruktuurien rakentamisesta, ylläpidosta ja niiden tukipalveluista. Kansallista ja kansainvälistä yhteistyötä tulee vahvistaa.”

1.2 Big data-analyysi – tieteen neljäs paradigma

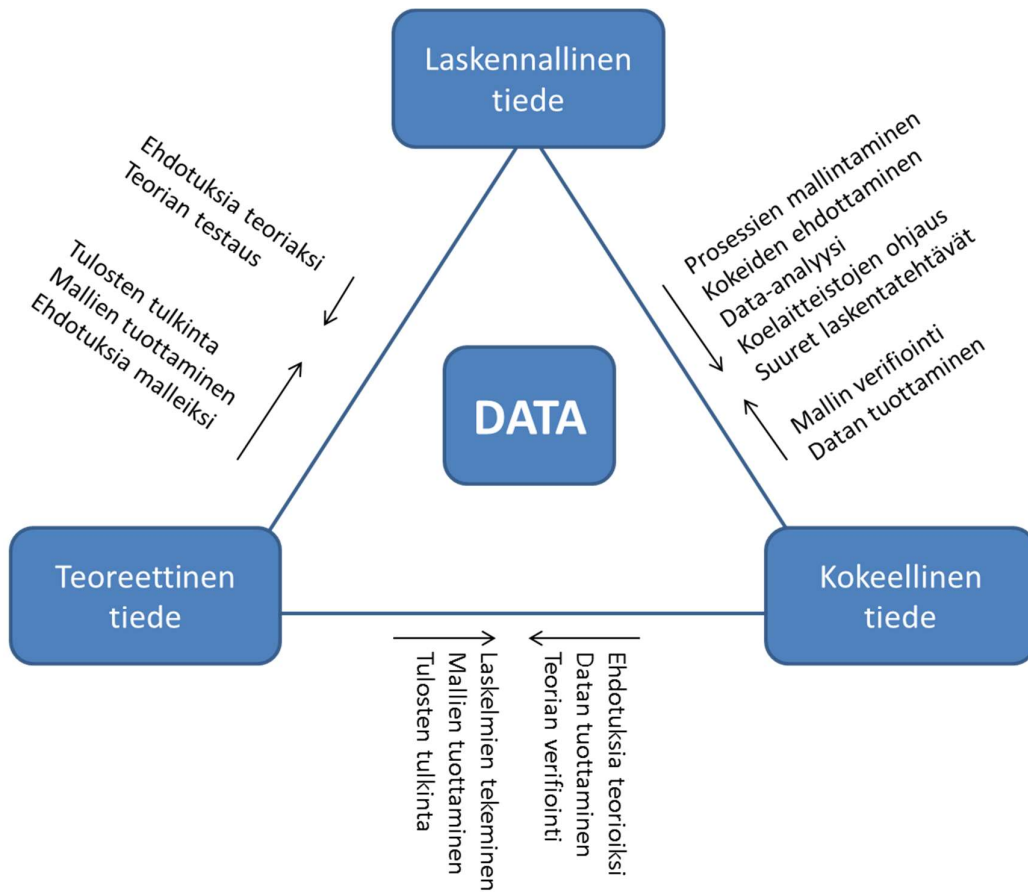
ICT 2015 työryhmä [3] toteaa: ”Digitaalisessa maailmassa informaation ja tallennetun tiedon määrä on valtava. Kun yhdistetään älykkäästi ja reaaliajassa näennäisesti turhaa tietoa, pystytään luomaan täysin uudentyyppistä, toimialojen rajoja rikkovaa tietoa. Big data on maailmalla kuuma tutkimuksen ja soveltamisen kohde. Big data liittyy läheisesti muihin Suomen kriittisiin avainosaamisalueisiin. Tietoliikenteen osajoina olemme perinteisesti käsitelleet suuria datamääriä. Suurimmaksi ongelmaksi big data tiedon soveltamisessa ja tietojen avaamisessa toimijat kokevat, että organisaatioilla ei ole riittävästi asiantuntemusta. Organisaatiot tarvitsevat tähän osaajia ja koulutusta.”

Big data -tutkimusmenetelmien kehitys tuo eri tieteenalojen tutkijoille parempia mahdollisuuksia tutkia erilaisia asioita ja löytää ongelmiin myös ratkaisuja. Big Data -tutkimuksen menetelmäkehityksen lisäksi on tärkeää ottaa huomioon monitieteisyys ja edistää eri tieteenalat ylittävää työskentelyä, muun muassa matemaatikkojen, tietojärjestelmätieteilijöiden ja yhteiskuntatieteilijöiden kesken.

Tiedon hyödyntäminen big data -menetelmien avulla vaatii useimmiten monen erilaisen ja perinteisesti eri aloille kuuluvan tiedon käyttöä ja yhdistelemistä. Samalla big datasta saadaan suurinta hyötyä, mikäli erilaista tietoa on käytettävissä. Big datan laajemmalla hyödyntämisellä haetaan useita selkeitä etuja niin yritysmaailmassa kuin julkisessa hallinnossa. Näihin mahdollisuuksiin ja hyötyihin kuuluvat muun muassa toiminnan optimointi ja siitä seuraavat säästöt, tarkemman tiedon saaminen päätöksenteon tueksi, tarkemman tilannekuvan saaminen, uusien mallien ja yhteyksien löytäminen mallintamalla, parempi asiakaspalvelu sekä tulevan ennustaminen. [8]

Nykyaikaisen analytiikan ja big datan omaksuminen osaksi jokapäiväistä työtä on keskeinen askel kohti tiedolla johtamisen yrityskulttuuria. Toimintaympäristön ja uuden teknologian jatkuva kehitys, esimerkiksi tallennuskapasiteetin halventuminen, vaatii omien kyvykkyyksien ja valmiuksien säännöllistä uudelleentarkastelua. Tiedonkeruun ja analysoinnin tulee olla mahdollisimman luonteva osa organisaatioiden muuta toimintaa. [8]

Kuvassa 3 on esitetty tieteen neljä paradigmaa, jotka toisiinsa liittyvinä ja vuorovaikutteisina muodostavat kiinteän kokonaisuuden ja täydentävät toisiaan. [6]



KUVA 3 Tieteen neljä paradigmaa

Laskennallinen tiede voidaan kuvata iteratiivisena prosessina, joka alkaa tutkittavan ilmiön mallintamisesta ja päättyy tulosten tulkintaan ja arviointiin. Kompleksisten systeemien suhteen laskennallinen tiede sisältää data-aineistojen tai tarkasteltavan ilmiön analyysin, mallin rakentamisen, simulaation sekä lopuksi tulokinnan ja vertailun datan analysointituloksiin. Laskennallinen tiede kattaa myös menetelmät (data-analyysi, mallinnus, simulointi ja optimointi) ja menetelmäkehityksen algoritmeineen ja ohjelmistoineen. Tavoitteena on ratkaista haastavia tutkimusongelmia luonnontieteissä, teknillisissä tieteissä, yhteiskuntatieteissä ja humanistisissa tieteissä. [6]

2 LASKENNALLISEN AJATTELUN PERUSTEITA

2.1 Laskennalliset tieteet strateginen tutkimusala

Tieto- ja viestintäteknologia ovat muuttaneet ratkaisevasti tapaa, jolla tiedettä maailmassa tehdään. Soveltava matematiikka ja laskennallinen tiede ovat nousseet kolmanneksi tukipilariksi kokeellisen ja teoreettisen tieteen rinnalle. Matematiikkaan pohjautuvien laskennallisten menetelmien ja välineiden kehitys on ollut voimakasta ja tukee toimintaa kaikilla tieteenaloilla. Laskennallisella lähestymistavalla voidaan saavuttaa konkreettisesti merkittäviä säästöjä, kun erilaisia kompleksisia järjestelmiä (tekniset, ihmislähtöiset) voidaan mallintaa ja optimoida entistä tarkemmin. Yhä monimutkaisempien ilmiöiden tutkimuksessa soveltavan matematiikan ja laskennallisen tieteen käyttäminen mahdollistaa aikaisempaa hankalampien ongelmien ratkaisemisen, kuten ihmisen genomien selvittämisen, sään ennustamisen tai yhteiskunnan monimutkaisten ongelmien ratkaisemisen. Laskennallisen tieteen avulla ratkotaan haastavia tutkimusongelmia hyvin monilla tieteenaloilla sekä poikkitieteellisesti.

Laskennalliset tieteet luokitellaan johtavissa teollisuusmaissa strategisiksi tieteiksi, joilla on merkittävä vaikutus maan kilpailukykyyn. Laskennallinen ajattelu (computational thinking) on viime vuosina nostettu yhdeksi olennaiseksi kaikkien kansalaisten osaamisalueeksi. Monet asiantuntijajärjestöt ja visiointifoorumit eri puolilla maailmaa, mutta etenkin Yhdysvalloissa, Englannissa ja Alankomaissa ovat tuoneet vahvasti esille laskennallisen tieteen nostamisen osaksi eri koulutusvaiheiden opetussuunnitelmaa. Esimerkiksi kansainvälinen EduSummit 2013 määritteli laskennallisen ajattelun yhdeksi kahdeksasta koulutuksen kehittämisen strategisesta tavoitteesta. Kansainväliset tietotekniikan opetuksen järjestöt ISTE (The International Society for Technology in Education) ja CSTA (Computer Science Teachers Association) ovat yhteistyössä eri alojen asiantuntijoiden kanssa laatineet viitekehyksen ja käsitteistön laskennalliselle ajattelulle yleissivistävässä opetuksessa.

Laskennallisen ajattelun nähdään olevan sellainen taito, jonka oppimiseen jokaisella tulisi olla mahdollisuus. Se on yhteydessä moniin 2000-luvun osaamisalueisiin, kuten ongelmanratkaisuun, kriittiseen ajatteluun, tuottamiseen ja luovuuteen. Laskennallinen ajattelu liittyy myös olennaisesti tieto- ja viestintäteknikan (ICT) nopeaan kehitykseen. ICT:n ydinominaisuuksia ovat yhä tiivistyvät yhteydet, eksponentiaalinen datantuotanto ja teknisten elementtien yhä suurempi riippuvuus toisistaan – oli kyse sitten ohjelmistoista, palveluista, datasta tai laitteista. Yhteiskunnan nopea digitalisoituminen on tuonut haasteita myös koululaitokselle. ICT-alan voimakas kehittyminen on muuttanut ammatteja niin nopeasti, että valmistuttuaan osa opiskelijoista ei ole riittävän

ammattitaitoisia kehittämään yhteiskuntaa ja ICT-alaa vallitsevien trendien vaatimusten mukaisesti.

Laskennallisissa tieteissä keskitytään matemaattisten mallinnusmenetelmien, todellisuutta jäljittelevien simulointimenetelmien, toimintaa parantavien optimointimenetelmien sekä laajojen tietoaisteistojen hallinnan mahdollistavien tiedonlouhintamenetelmien teoriaan ja käytännön hyödyntämiseen, erityisesti tietokoneanimaatioissa.

Laskennalliset tieteet koostuvat neljästä osa-alueesta:

- mallintamisesta, simuloinnista, optimoinnista ja säätöteoriasta
- datan käsittelystä, analyysistä ja päätöksenteosta
- visualisoinnista
- laskentaympäristöstä

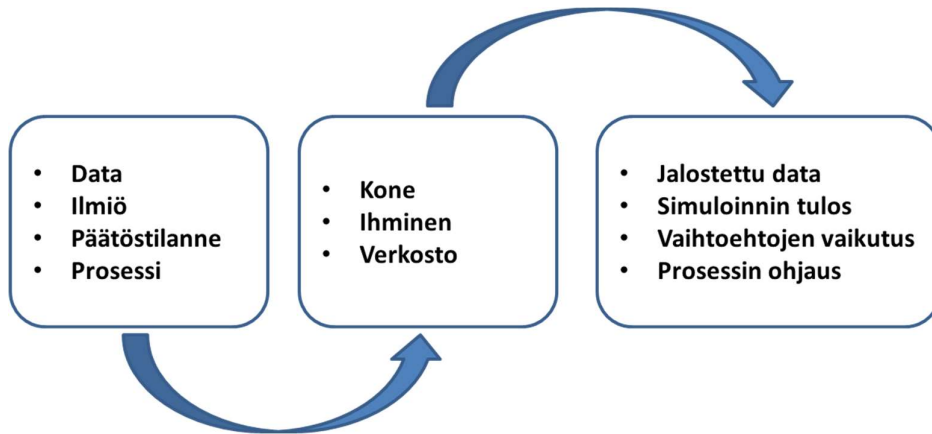
Laskennallisten menetelmien eli analyysin, mallinnuksen, simuloinnin, optimoinnin, data-analyysin ja tiedonhallinnan avulla voidaan hankkia syvempää tietoa eri asioiden riippuvuussuhteista ja hallita tehokkaammin kokonaisuuksia, riskejä ja epävarmuutta.[7]

Laskennallinen ajattelu on mahdollisuus tehostaa digitaalisten taitojen opettamista ja oppimista eri koulutustasoilla. Laskennallisen ajattelun filosofinen perusta, sisältö ja toimintalogiikka kumpuavat tieteellisestä laskennasta ja tietojenkäsittelytieteistä. Se on geneerinen ajattelumalli, jolla haetaan uutta tapaa jäsenellä uudenlaista "kokonaisvaltaisen oppimisen mallia". Olennaista on se, miten erotetaan laskennallisen ajatteluun sisältyvä kognitiivinen toiminta siitä, että pelkästään työskennellään tietokoneella tai muulla digitaalisella työvälineellä. Esimerkiksi tekstinkäsittelyssä tai nettisivujen tekemisessä käytetään digitaalista teknologiaa, mutta ne eivät välttämättä sisällä laskennalliselle ajattelu ominaista käsitteellistämistä.

Tietojärjestelmätieteen professori **Jeannette M. Wing** Carnegie Mellon University:stä määritteli vuonna 2006 artikkelissaan laskennallisen ajattelun seuraavasti [4]:

“Computational Thinking is the thought processes involved in formulating problems and their solutions so that the solutions are represented in a form that can be effectively carried out by an information-processing agent.”

Laskennallinen ajattelu kuvaa toimintaa ongelman määrittelyssä ja ratkaisun hahmotamisessa. Ratkaisun voi saavuttaa ihminen tai kone tai yleisemmin ihmisen ja koneen eri yhdistelmät (ks. kuva 4). Computation (suomeksi laskenta) on yleinen informaation käsittelyä kuvaava termi. Se sisältää laajan alueen inhimillisestä ajattelusta tietokone-laskentaan. Sanalla laskenta tarkoitetaan tässä yhteydessä hyvin määritellyn formaalin mallin olemusta ja sitä, kuinka se voidaan ilmaista algoritmilla, protokollalla, verkkorakenteella tms. [1]



KUVA 4 Laskennallinen prosessi

Laskennallinen ajattelu nivoutuu moniin 21. vuosituhannen taitoihin. Se on joukko taitoja, ongelmanratkaisun tekniikoita, jotka ovat peräisin laskennallisuuden yleisestä luonteesta, eli kuvaavat ajatteluprosessia yleensä. Siihen liittyy sosiaaliset taidot kuten tiimityö ja alakohtaiset ongelmanratkaisun taidot kuten algoritmiajattelu ja rekursiivisuuden ymmärtäminen. Laskennalliseen ajatteluun voidaan liittää seuraavia ajattelutapoja [1]:

- Tieteellinen ajattelu (Scientific Thinking)
- Looginen ajattelu (Logical Thinking)
- Algoritminen ajattelu (Algorithmic Thinking)
- Rinnakkaisajattelu (Parallel Thinking)
- Tehokkaat ratkaisut (Efficient Solutions)
- Innovatiivinen ajattelu (Innovative Thinking)

Laskennallisessa ajattelussa ongelma ja ratkaisu tulee käsittää hyvin laajasti. Laskennallinen ajattelu sopii sekä matemaattisesti hyvin määriteltäviin ongelmiin, että reaali maailman ongelmiin, joiden ratkaisut saattavat olla suurien ja monimutkaisten ohjelmistosysteemien muodossa. Näin laskennallinen ajattelu liittyy loogisen ajattelun ja systeemijattelun kanssa. Se sisältää algoritmisen ajattelun ja rinnakkaisajattelun, jotka vuorostaan liittyvät laskennalliseen ajatteluun muita ajatteluprosesseja, kuten menetelmäajattelun ja rekursiivisen ajattelun. Laskennallista ajattelua käytetään ongelmien ja niiden ratkaisujen määrittelyssä ja analyysissä sekä niiden laaja-alaisessa tulokinnassa. Kaikkein tärkeimpänä ylätasoinen prosessina laskennallisessa ajattelussa on abstraktioprosessi. Abstraktiota käytetään ongelmatilanteen ja sen parametrien määrittelyssä [4]

Kansainväliset ISTE- ja CTA-järjestöt määrittävät laskennallisen ajattelun ongelmanratkaisuprosessiksi, joka sisältää seuraavia tunnusmerkkejä (<http://www.iste.org/learn/computational-thinking>) [2]:

- Ongelman muotoilu siten, että sen ratkaiseminen antaa mahdollisuuden tietokoneen ja muiden työvälineiden käyttöön.

- Datan looginen organisointi ja analysointi.
- Datan abstrahointi sekä esittäminen mallien ja simulaatioiden avulla.
- Ratkaisuiden automatisointi algoritmisen ajattelun avulla.
- Mahdollisten ratkaisuiden identifiointi, analysointi ja toteuttaminen siten, että saavutetaan tehokkain yhdistelmä vaiheita ja resursseja.
- Ongelmanratkaisuprosessin yleistäminen ja siirtäminen erilaisiin ongelmiin.

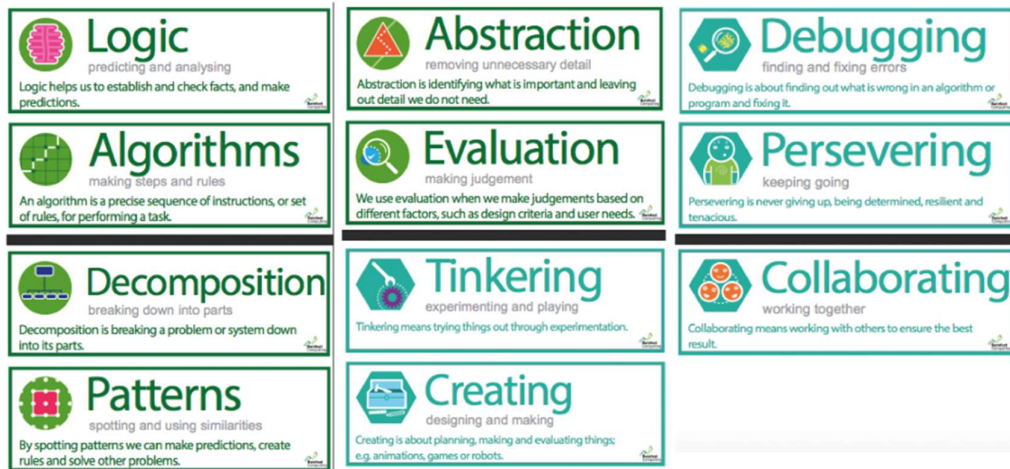
Laskennallisessa ajattelussa ei ole kysymys siitä, että saadaan ihmiset ajattelemaan kuin tietokoneet vaan pikemminkin taidosta käyttää laajaa skaalaa erilaisia inhimillisen ajattelun työkaluja ratkaistaessa tietojenkäsittelyn avulla monimutkaisia inhimillisiä ongelmia. Laskennallisen ajattelun keskeisiä kohtia ovat [2]:

- 1) Se on keino ratkaista ongelmia ja suunnitella järjestelmiä, joissa käytetään hyväksi tietojenkäsittelytieteelle olennaisia käsitteitä
- 2) Se tarkoittaa abstraktion eri tasojen luomista ja käyttämistä ja auttaa siten ymmärtämään ja ratkaisemaan ongelmia tehokkaammin
- 3) Se tarkoittaa algoritmiajattelua ja kykyä soveltaa matemaattisia käsitteitä ja malleja, jotta saavutetaan vaikuttavampia, oikeita ja toimivia ratkaisuja
- 4) Se tarkoittaa seurauksien laaja-alaista ymmärtämistä, ei pelkästään vaikuttavuuden vaan myös taloudellisuuden ja sosiaalisten näkökohtien perusteella

Laskennalliseen ajatteluun kuuluu sellaisia tekniikoita, kuten abstrahointitaito, iterointi, rekursio, ongelman pilkkominen ja synteesi. Laskennallinen ajattelu mallintaa ja vertaa ihmisten ja koneiden kykyjä toisiinsa, jotta tehtäviä voitaisiin sopivasti allokoida niiden välillä. Laskennallinen ajattelu sopii hyvin moniulotteisten ongelmien ratkaisuun eri tieteenaloilla.

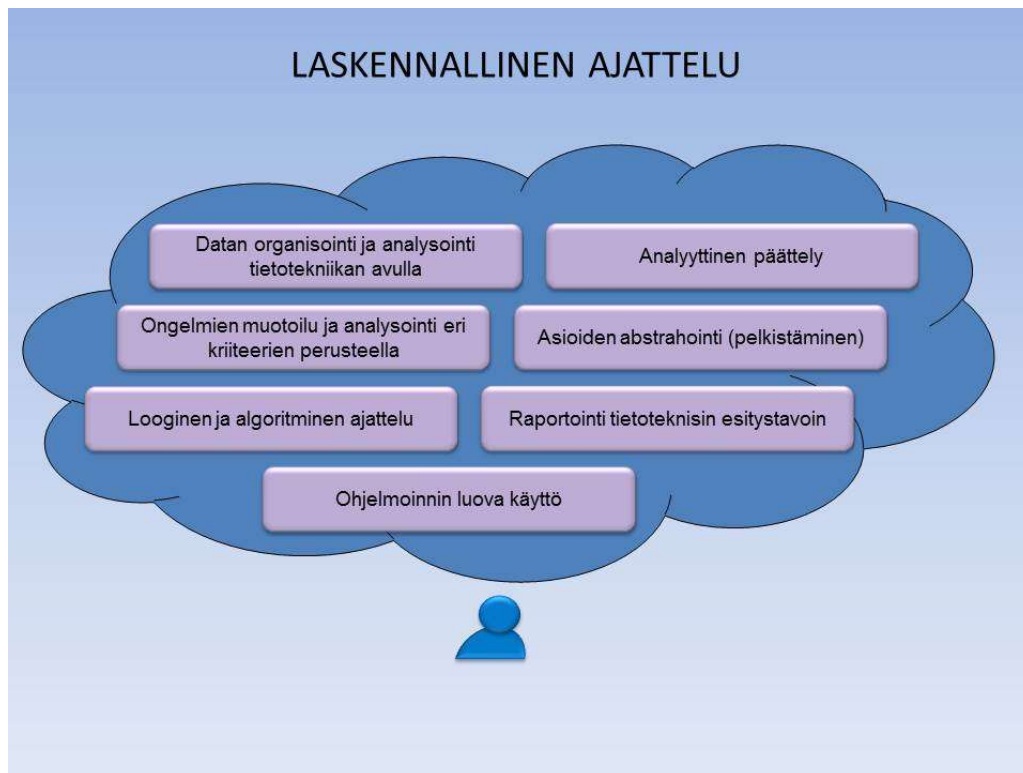
Laskennallinen ajattelu mallintaa ja vertaa ihmisen ja koneitten kykyjä toisiinsa, jotta tehtäviä voitaisiin sopivasti allokoida niiden välillä. Laskennallinen ajattelu nähdään selkeästi motivaattorina, joka vie tietokonelaskentaan liittyviä periaatteita eri soveltaville kursseille. Laskennallinen ajattelu sopii hyvin moniulotteisten ongelmien ratkaisuun, kuten digitaaliseen mediaan, visualisointiin ja bioinformatiikkaan.

Kuvassa 5 on esitetty laskennallisen ajattelun avainkäsitteitä.



KUVA 5 Laskennallisen ajattelun avainkäsitteitä (lähde: Barefoot Computing)

Kuvassa 6 on esitetty laskennallisen ajattelun tekijöitä.

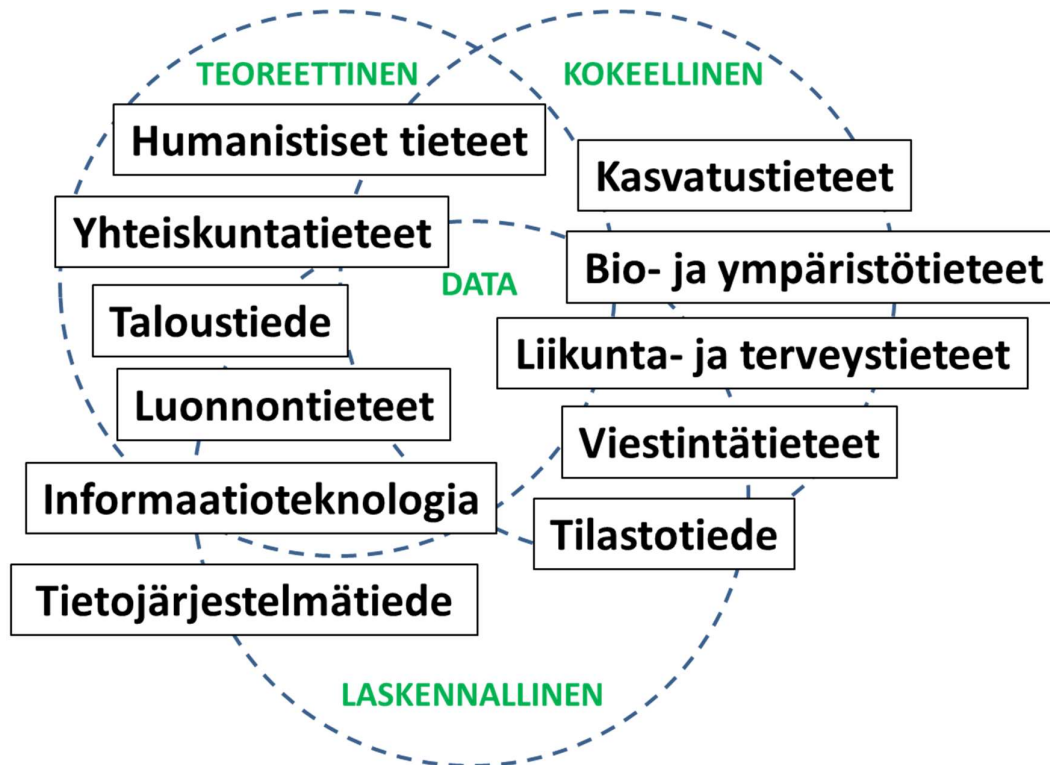


KUVA 6 Laskennallisen ajattelun periaatteita

Laskennallinen ajattelu vie laskentaan liittyviä periaatteita muille opetusaloille. Laskennallisuus voi johtaa monille uusille urapoluille. Se opettaa ongelmanratkaisutaitoa, jota voi käyttää muissa yhteyksissä. Siten se toimii perustana kouluopetuksessa erityi-

sesti LUMA-aineissa, mutta laskennallista ajattelua voidaan hyödyntää osana muitakin koulussa opetettavia aineita. Koulu- ja korkeakouluopetuksessa kaikkia tieteenaloja onkin tarkasteltava ja opetettava tieteen neljän paradigman näkökulmasta.

Kuvassa 7 on hahmoteltu eri tieteenalojen sijoittumista neljän paradigman alueelle.



KUVA 7 Eri tieteenaloja tieteen neljän paradigman kentässä

Laskennallisen tieteen osaaminen lisää yritysten kilpailukykyä nopeuttamalla tuotekehitystä (virtuaalimallinnus, simulointi ja optimointi) ja mahdollistamalla kerättyjen tietoa-aineistojen paremman hyödyntämisen (tiedon louhinta). Lisäksi laskennallisen tieteen alueelta syntyy uutta osaamiseen ja ohjelmistoihin perustuvaa palveluliiketoimintaa, jolla on maailmanlaajuiset markkinat. Samalla voi syntyä kansainvälisesti merkittävää tuoteliiketoimintaa uusien innovatiivisten yritysten perustamisen kautta. [6]

3 KANSALLISET JA ALUEELLISET TAVOITTEET

3.1 Globaali näkökulma

Datan hyödyntämismahdollisuudet ja big datan potentiaali ovat nousseet vahvasti esille EU:n datavetoista taloutta käsittelevässä tiedonannossa, EU:n digitaalistrategiassa ja Horizon 2020 -ohjelmaan liittyvissä hankkeissa ja rahoitusinstrumenteissa. Big data ja avoin data ovat komission kasvua ja uusia työpaikkoja hakevan *Digital Agenda for Europe* -kärkihankkeita.

EU komission mukaan ”todistamme parhaillaan uutta teollista vallankumousta, jonka taustavoimina ovat digitaalinen data, tietokoneistuminen ja automatisoituminen. Ihmisten toiminta, teolliset prosessit ja tutkimus johtavat kaikki datan keräämiseen ja käsittelyyn ennennäkemättömässä mittakaavassa. Tämä vauhdittaa uusien tuotteiden ja palvelujen sekä uusien liiketoimintaprosessien ja tieteellisten menetelmien syntymistä. Syntyvät data-aineistot ovat niin suuria ja monimutkaisia, että tällaisen ”ison datan” (big data) käsittelystä eli dataintensiivisyydestä tulee vaikeaa nykyisillä datanhallintatyökaluilla ja -menetelmillä. Samalla tekniikan saavutukset mahdollistavat uudet tavat käsitellä näitä haasteita. Esimerkiksi pilvipalvelut tarjoavat suuren mittakaavan tietojenkäsittelyä palveluna datataloudelle samalla tavoin kuin voimalaitokset palvelevat tuotantoteollisuutta.”[9]

Julkisten palvelujen kiihtyvä digitalisoituminen, jonka taustalla on tarve nykyaikaistaa toimintaa, vähentää kustannuksia ja tarjota innovatiivisia palveluja, avaa uusia mahdollisuuksia datan varastoinnin, siirtämisen, käsittelyn ja analysoinnin optimoimiseksi. Datavetoinen innovointi luo laajoja uusia työllistymismahdollisuuksia. Se edellyttää kuitenkin monialaisia työtiimejä, jotka koostuvat erittäin pätevistä data-analyysin, koneoppimisen ja visualisoinnin asiantuntijoista.[9] [10]

EU komissio edellyttää riittävän dataosaamisen rakentamista yritysten ja korkeakoulujen yhteistyötä. Alalle tulee kouluttaa riittävä määrä alan asiantuntijoita työmarkkinoiden suuren kysynnän kattamiseksi.[9]

Big data nähdään tiedonannossa datavetoiseen talouteen siirtymisen avaintekijäksi ja keskeiseksi eurooppalaisen kilpailukyvyn lähteeksi. Komission tiedonannossa nostetaan esiin myös monia tulevia toimenpiteitä big datan hyödyntämisen ja kyvykkyyden edistämiseksi Euroopan tasolla. Tulevat toimenpiteet liittyvät muun muassa laajempaan toimijoiden yhteistyöhön sekä osaamiskeskusten perustamiseen. Komissio tulee myös hakemaan eurooppalaisia kärkialoitteita aloilta, joilla voidaan saavuttaa suurimpia yhteiskunnallisia hyötyjä.[9] [11]

3.2 Kansallinen näkökulma

Hallitusohjelmassa 2015 on asetettu tavoite vuoteen 2025, jolloin ”Suomi on ottanut tuottavuusloikan julkisissa palveluissa ja yksityisellä sektorilla tarttumalla digitalisaation mahdollisuuksiin ja purkamalla turhaa sääntelyä ja byrokratiaa.”[12]

Hallituskaudelle on asetettu tavoitteeksi, että ”määrätietoisella johtamismallilla on kehitetty käyttäjälähtöiset, tuottavuutta ja tuloksellisuutta nostavat yhden luukun digitaaliset julkiset palvelut. Julkinen päätöksenteko on innovatiivisesti mahdollistanut ja luonut Suomeen suotuisan toimintaympäristön digitaalisille palveluille ja teollisen internetin sovelluksille ja uusille liiketoimintamalleille.”[12]

Hallitusohjelman mukaan ”toimintatavat uudistaen rakennetaan julkiset palvelut käyttäjälähtöisiksi ja ensisijaisesti digitaalisiksi, jotta julkisen talouden kannalta välttämätön tuottavuusloikka onnistuu.” Tämä tarkoittaa sitä, että luodaan kaikkia julkisia palveluita koskevat digitoinnin periaatteet sekä hallinnon sisäiset prosessit digitalisoidaan ja entiset prosessit puretaan.[12]

Valtioneuvoston selonteon Tuottava ja uudistuva Suomi – Digitaalinen agenda vuosille 2011–2020 mukaan tieto- ja viestintäteknologinen kehitys vaikuttaa merkittävästi koulutuksen, tutkimuksen ja kulttuurin tuottamiseen, välittämiseen ja hyödyntämisen tapoihin. Sähköisen asioinnin yleistyminen sekä tieto- ja viestintäteknikan hyödyntäminen laajasti kaikessa työelämässä edellyttää koko väestöltä riittäviä tietoyhteiskunta- ja mediataitoja. Lähes kaikki yhteiskunnan elintärkeät toiminnot, mukaan lukien kansallinen ja kansainvälisiin yhteisöihin liittyvä päätöksenteko, ovat jo sidoksissa tieto- ja viestintäinfrastruktuurin sekä tietojärjestelmien toimintaan.[13]

Liikenne- ja viestintäministeriön *Big Datan käyttö* -työryhmän raportin mukaan ”koulutuspuutteet voivat muodostua merkittäväksi esteeksi big datan laajemmalle hyödyntämiselle. Big datan murrokseen on kyettävä vastaamaan nopeilla ja nykyistä kohdenetummilla koulutustoimilla. Big data edustaa uutta hyppäystä datatutkimuksen ja -soveltamisen alalla, joilla perinteiset koulutusohjelmat eivät vastaa enää ammatillisiin tarpeisiin. Eri toimialojen omat sovellukset edellyttävät soveltavaa osaamista myös muista aloista (esim. kaupan, teollisuuden tai oppimiseen liittyvä osaaminen).[8]

Raportin mukaan Suomella on hyvät edellytykset vastata big datan haasteeseen. Kansainvälisten vertailu-tutkimusten mukaan Suomi on maailman digitaalisesti edistyneimpien maiden joukossa erityisesti mitä tulee teknisiin valmiuksiin. Suomessa on maailmanlaajuisesti poikkeuksellisen korkeatasoiset digitaaliset perusrekisterit ja aiheeseen liittyvää osaamista, joiden pohjalle voidaan suhteellisen nopeasti rakentaa kilpailukykyistä big data -toimintaa.[8]

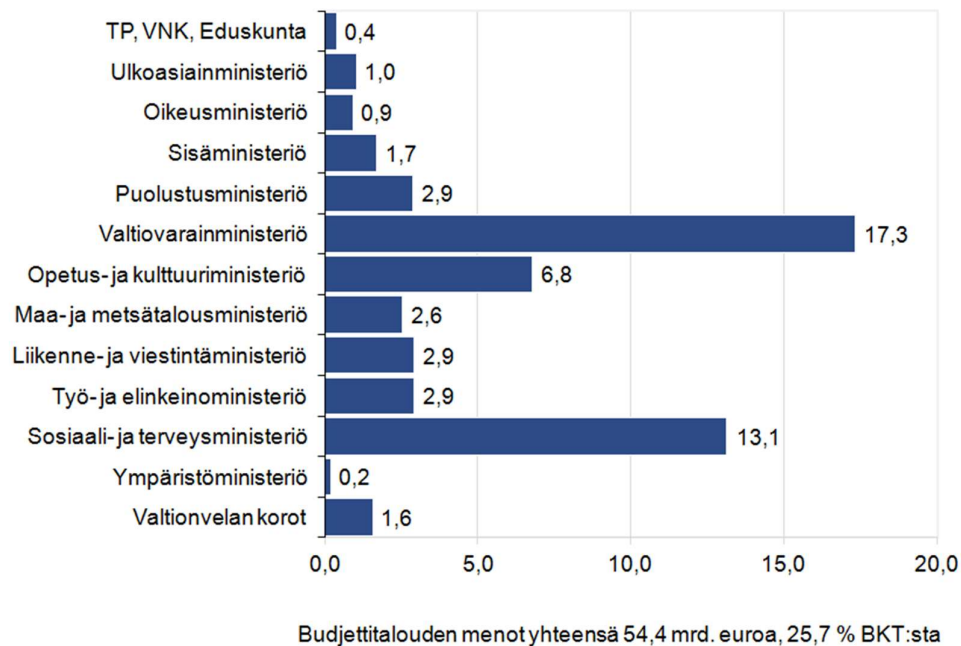
Suomella on vahvaa menetelmä- ja IT-osaamista, jota muuntamalla ja päivittämällä sekä koulutuksen, tutkimuksen ja asiantuntemuksen jakamisen kautta saataisiin ny-

kyistä paremmin hyödynnetyksi big data -kehitystyössä. Suomella on vahvuuksia myös tieteellisessä laskennassa ja tiedon käsittelymenetelmiin liittyvässä osaamisessa.[8]

ICT 2015 -työryhmä esittää tietojenkäsittelyn syväosaamisen kehittämistä: ”Kansainvälisesti kilpailukykyisen ICT-intensiivisen tuotteen ja palvelun kehittämiseen tarvitaan laajaa osaamista. Onnistumisen kannalta on keskeistä, että yrityksellä on käytössään tietotekniikan syväosaajien ydintiimi, joka hallitsee syvällisesti tietojenkäsittelytieteen keskeiset osa-alueet. Kriittisen tärkeitä alueita ovat muun muassa algoritmisuunnittelu, diskreetit rakenteet sekä ohjelmointikielten periaatteet. Samoin tiimillä pitää olla osaamista uusimmista ohjelmistoteknologioista ja kyky soveltaa viimeisintä teknologiaa sovellusten vaatimalla tavalla. Tämä tarkoittaa muun muassa hajautettuja järjestelmiä, verkkoja, tietokantoja, tiedonlouhintaa, koneoppimista, pilvilaskentaa (cloud computing), sulautettuja järjestelmiä, tekoälyä ja kryptologiaa. Tämän vuoksi tarvitaan kansallinen ohjelma vahvistamaan osaamis pohjan kehittymistä korkeakouluissa. Ohjelman tulee nopeuttaa yliopistossa ja ammattikorkeakouluissa olevan osaamisen siirtymistä yrityksiin, jotta uusien ICT-intensiivisten tuotteiden ja palvelujen kehittyminen vauhdittuu.”[3]

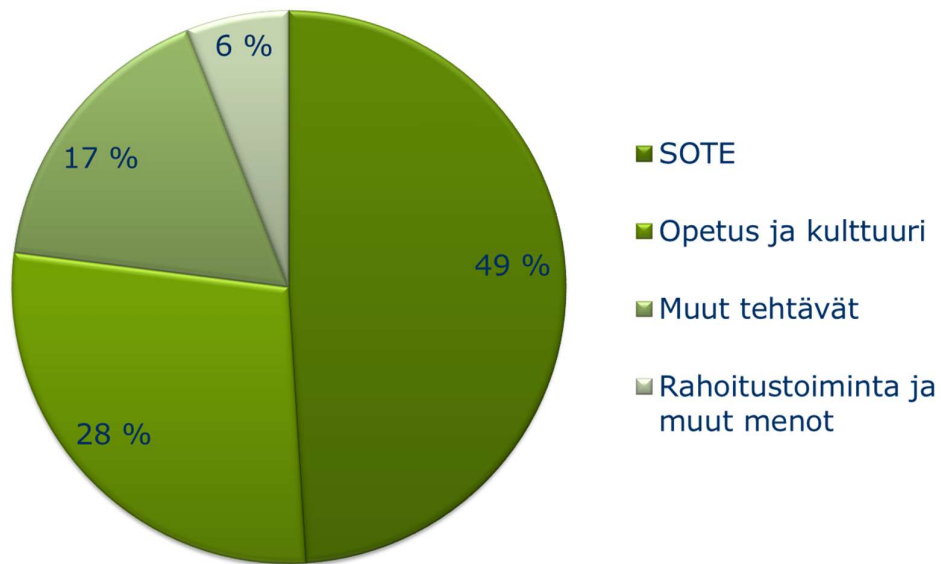
Julkisista menoista suurimmat osuudet muodostuvat sosiaali- ja terveyshuollon, koulutuksen ja sosiaaliturvan menoista. IT-tiedekunnan tutkimuksen ja koulutuksen tavoitteena on tuottaa tietoa ja osaamista niin, että paremmalla tiedon hallinnalla ja toimintojen organisoinnilla päästään merkittäviin säästöihin. Jo muutamien prosenttien säästöt tarkoittavat näillä hallinnonaloilla miljoonien säästöjä.

Kuvassa 8 on esitetty valtion budjettitalouden menot hallinnonaloittain 2016.



KUVA 8 Valtion budjettitalouden menot hallinnonaloittain, miljardia euroa

Kuvassa 9 on esitetty kuntatalouden menojen jakaantuminen eri toiminta-alueille. Kuntatalouden ulkoiset menot ovat yli 45 mrd. euroa vuosittain.



KUVA 9 Kuntatalouden menojen jakaantuminen eri toiminta-alueille

4 LASKENNALLISTEN TIETEIDEN TUTKIMUS

4.1 Perusteita

Laskennallisten menetelmien metoditutkimusta on vähennetty useissa yliopistoissa, ja monissa yliopistoissa metoditutkimus on vähäistä tai se puuttuu kokonaan. Yliopistoissa alan toiminta on hajallaan eri osastoissa. Aiemmat kansalliset tohtorikoulutusverkostot ovat hiipuneet. Systemaattista koulutusyhteistyötä tehdään lähinnä matemaattisen mallintamisen verkkokurssiverkoston puitteissa (TTY:n koordinoiman virtuaaliyliopistohankkeen peruja).

Jyväskylän yliopistolla on ollut kansallisesti vahva rooli

- Jyväskylän yliopistossa on kartoitettu alan koulutuksen tilaa useaan otteeseen (2008 OKM:n toimeksiannosta, 2011 oma-aloitteisesti tilannetta päivittäen)
- Yliopisto on järjestänyt kansallisia englanninkielisiä kursseja vuodesta jo 25 vuoden ajan kansainvälisen kesäkoulun yhteydessä
- IT-tiedekunta vastannut yli puolesta alan tohtorikoulutuksesta 2010–2015
- Kansainvälisessä ECCOMAS-järjestössä vahva kansallinen edustus Jyväskylästä
- Laaja osaaminen yhdessä yksikössä

Jyväskylän yliopiston laskennalliset tieteet ovat kansallisella tasolla johtavassa asemassa. Laskennalliset tieteet ovat olleet merkittävässä asemassa yliopiston ja IT-tiedekunnan profiloitumisessa painopistealueille.

Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunnan profiloituminen on ollut onnistunutta ja on ennakoitunut valtakunnallista kehitystä. IT-tiedekunta on toiminut kehityksen eturintamassa ja useat hallitusohjelman linjaukset on huomioitu IT-tiedekunnan painopistealueissa.

Tällä hetkellä Jyväskylän yliopisto kuuluu OKM:n IT-alan luokituksessa neljän ICT-yliopiston (Aalto, JY, TTY, OY) kärkikategoriaan. Lisäksi yliopisto on päässyt Suomen Akatemia profiloitumishankkeeseen kyberturvallisuuden tutkimuksella.

Informaatioteknologian tiedekunnalla on keskeinen rooli yliopiston koulutus- ja tutkimustoiminnan kehittämisessä. Tiedekunnan vahvuus on kyvykkyys tarkastella informaatioteknologiaa laajasti, useita näkökulmia yhdistäen ja eri ilmiöiden yhteisvaikutuksia tunnistuen. Tämä yhdistyy kansainvälisesti arvostettuun huippututkimukseen kärkialoilla (laskennalliset tieteet, tietojärjestelmätieteet, tietotekniikka, innovatiiviset oppimisympäristöt) ja aktiiviseen toimijuuteen ympäröivän yhteiskunnan kanssa.

IT-tiedekunnalla on usealla alalla johtava asema Suomessa ja sen toteuttama tutkimus edustaa kansainvälistä huipputasoa monella alueella, esimerkiksi numeriiikka, optimointi, inversio, optimal control, design ja eräät signaalinkäsittelyn alat sekä tietojärjestelmätieteet.

IT-tiedekunnan tutkimus ja koulutus on rakennettu vastaamaan kansainvälisiä standardeja alan kansallisia ja kansainvälisiä strategioita ja ohjelmia ja ICT-2023 työryhmän suosituksia.

Pohjoismaiden ministerineuvoston tutkimusorganisaation NordForsk arvioinnissa keväällä 2015 Jyväskylän yliopiston laskennalliset tieteet sijoituivat sijalle 1. Osana Jyväskylän yliopiston tutkimuksen arviointia vuonna 2010 IT-tiedekunnan tutkimustoiminta oli Jyväskylän yliopiston parhaimmista: tietotekniikan laitos sai arvion 5/5 ja tietojenkäsittelytieteiden laitos 4/5. Tutkimuksessa seitsemän kansainvälistä arviointiryhmää arvioi laitosten tutkimustoiminnan laatua viiden vuoden ajalta. (www.jyu.fi/hallinto/neuvostot/tiedeneuvosto/arviointi/RA2010report)

IT- tiedekunta on edustanut Suomea eurooppalaisessa ECCOMAS (European Community on Computational Methods in Applied Sciences) järjestössä.

IT-tiedekunta on laatinut seuraavia laskennallisiin tieteisiin liittyviä raportteja:

- 11/2014: Lehto, Neittaanmäki. Jyväskylän yliopisto - ICT-alan innovatiivinen kehittäjä. ([suora linkki](#))
- 12/2014: Lehto, Neittaanmäki. IT-alan merkitys yhteiskunnassa ja tutkimus- ja innovaatiotoiminnan kehittäminen. ([suora linkki](#))
- 14/2014: Kankaanranta, Lehto, Neittaanmäki. Kohti laskennallisen ajattelun osaamista. ([suora linkki](#))
- 15/2014: Lehto, Neittaanmäki. Kyberturvallisuuden ja big data-analyysin tutkimus ja opetus. ([suora linkki](#))
- 16/2014: Lehto, Neittaanmäki, Neittaanmäki. ICT-alan kehittäminen Keski-Suomessa - selvitys ICT-alan yrityksille Keski-Suomessa. ([suora linkki](#))
- 17/2014: Lehto, Neittaanmäki. Big datan tutkimus ja opetus Jyväskylän yliopistossa. ([suora linkki](#))
- 18/2014: Lehto, Neittaanmäki. Informaatioteknologian tiedekunnan tutkimus- ja koulutusstrategia - White Paper. ([suora linkki](#))

Laskennallisten tieteiden tutkimusaloja on esitetty liitteessä 1.

4.2 Esimerkkejä laskennallisten tieteiden ja data-analytiikan tutkimuksesta

4.2.1 Sosiaali- ja terveystieteet

Sairaalasuunnittelu

Sairaalaympäristö on hyvä esimerkki big datan hyödyntämismahdollisuuksista. Analysoimalla dataa potilaiden, henkilökunnan, materiaalien sekä laitteiden logistiikasta, potilaille tehtävistä hoitotoimenpiteistä sekä resurssien käytöstä, on mahdollista suunnitella sairaalan hoito- sekä tukipalveluprosessit optimaalisella tavalla toteutettaviksi. Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunnassa keskitytään sairaalatoimintojen kehittämiseen ja prosessien tehostamiseen. Hyvänä esimerkkinä tästä on Keski-Suomen sairaanhoitopiiriin Uusi sairaala -projekti, jossa tiedekunta on ollut mukana jo kahden vuoden ajan.

Sosiaali- ja terveydenhuollon prosessit

Pyrittäessä potilaan hoidon kokonaisvaltaiseen optimointiin, pitää tarkastelua laajentaa organisaatiotasolta potilaan koko hoitoketjun tarkasteluun. Tässä yhteydessä big data ajattelu nousee kokonaan uudelle tasolle. Tämän tiedon perusteella luotujen laskennallisten mallien avulla voidaan lähteä etsimään optimaalista tapaa toteuttaa eri potilaiden hoitoa sekä luomaan ennusteita siitä, missä vaiheessa hoitoon pitäisi puuttua, jotta potilaan tila ei ehtisi huonontumaan. Tällä hetkellä laskennallisen prosessi-analytiikan tutkimusryhmä on kehittämässä uudenlaista työkalua tämän lähestymistavan konkretisointiin ja big datan tehokkaampaan hyödyntämiseen.

4.2.2 Bio- ja ympäristötieteet

Bio- ja ympäristötieteissä, erityisesti biokuvantamisen alalla datamäärän kasvu on huimaa. Korkearesoluutioinen mikroskooppidata tuottaa ison määrän dataa varsinkin kun pyrkimys nykyään on tuottaa kolmiulotteista dataa ajan suhteen (neliulotteista dataa). Mikroskooppikuvantamista käytetään tänä päivänä paljolti potentiaalisten lääkkeiden testaamiseen isoissa näyteaineistossa sekä pyrittäessä tunnistamaan mitkä solun omat molekyylit ovat tärkeitä solun fysiologisten tai patologisten prosessien säätelijöitä. Nämä tutkimukset ovat ns. High-throughput-tutkimuksia, joissa lyhyessä ajassa tuotetaan huimaa määrää mikroskooppidataa, joista pitää tehokkaasti ja automaattisesti tulkita tutkimustulokset. Bio- ja ympäristötieteiden laitoksella on kehitetty yhteistyössä oma ohjelmistoalusta BioImageXD (www.bioimageXD.net), joka pyrkii neliulotteisen datan tehokkaaseen prosessointiin, analysointiin ja animointiin. Ohjelmistoa kehitetään lähitulevaisuudessa helpottamaan high-throughput-aineistojen analysointia.

4.2.3 Liikuntatieteet

Laskennallisten tieteiden näkökulmasta potentiaalisia yhteistyörajoja ovat mm. biomekaaniset ja fysiologiset mittaukset sekä erityyppiset seuranta-aineisto (kuten

fyysisen kunnon parantamiseen tähtäävät harjoitteluprojektit). Jyväskylässä voidaan laskennallisten tieteiden menetelmiä soveltaa lukuisiin tutkimuskysymyksiin:

- Biomekaaniset laboratoriomittausten analyysi (esim. juoksuaskeleen kuormittavuuden ennustaminen liikedatasta)
- Fysiologiset laboratoriomittaukset (esim. aerobisen kestävyyskunnan arviointi kyselylomakkein)
- Puettava ja muu henkilökohtainen mittausteknologia (wearable sensors) (esim. palautumisen ennustaminen fyysisestä rasituksesta)
- Digitaalinen kuntoutuksen ja harjoittelun seuranta (esim. gait retraining, liikemallien palautumisen analysointi kliinisen toimenpiteen jälkeen)
- Data- ja simulaatiopohjaisten mallien kehittäminen skaalautuvien ohjelmistopohjaisten testausmenetelmien kehittämiseen (mm. edulliseen Kinect sensoriteknikkaan ja koneoppimiseen perustuvien diagnostiikkamenetelmien kehittäminen fysioterapiasovelluksiin)
- Geenit (esim. perimätiedon analyysi yksilöllisesti optimaalisten liikunta- ja ravitsemussuositusten kehittämiseksi)

Näiden tietomassojen hyödyntäminen (mm. uusien tutkimushypoteesien generoiminen datapohjaisesti) vaatii syvällistä laskennallista ja tilastollista osaamista ja ymmärrystä sovellusalueesta. Lisäksi on useita spesiaali-alueita joissa datasovelluskehitystä tapahtuu tai on mahdollista tehdä.

4.2.4 Fysiikka

Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksella big dataan liittyvää tutkimustietoa sovelletaan mm. syklotronilaboratoriossa, nanotieteissä ja materiaalitieteissä.

Kiihdytinlaboratorion (JYFL-ACCLAB) tieteellisenä päätehtävänä on tuottaa perustietoa aineen sub-atomaarisesta rakenteesta tutkimalla eksoottisia atomien ytimiä. Tutkimus on luonteeltaan kokeellista. Tutkimusaineistoja tuotetaan useissa mittalaitteistoissa, joiden käyttöön laboratorion kolme hiukkaskiihdytintä tuottavat ionisuihkuja. Tutkimusprojektien tuottaman datan määrä vaihtelee suuresti, muutamista kilotavuista kymmeniin teratavuuhin mittausta kohden. Kokonaisuudessaan laboratorion tuottama aineistomäärä vaihtelee vuosittain 30-70TB:n välillä. Projektien elinkaari mittauksista julkaisuun saattaa olla useiden vuosien mittainen, joten aineistoille tarvitaan luotettava keskipitkän aikavälin tallennusratkaisu.

ALICE:

CERN:n ALICE-projektin osalta Suomi on tehnyt sopimuksen CERN'in kanssa. Sopimuksessa sitoudumme tuottamaan noin 1 % ALICE-kokeen vaatimasta laskentakapasiteetista osana LHC:n GRID-ympäristöä. Itse LHC GRID on vielä huomattavasti suurempi hanke, koska CMS ja ATLAS kokeet ovat suurempia ja niiden laskentakapasiteetin vaatimukset kovempia.

Ryhmän sisällä louhitaan dataa, tuotetaan itse monte carlo -dataa sekä käsitellään ja analysoidaan sitä. ALICE:n mittaaman raa'an datan määrän suuruusluokka on petata-vu/vuosi, josta ALICE:n asiantuntijaryhmän toimesta tehdään analyysiin sopivampia analyysitiedostoja, joiden koko on 0.5-1 % raa'an datan määrästä. Näiden tiedostojen yli ajetaan analyysiä GRID:ssä kootusti ALICE:ssa.

Jyväskylän ALICE-ryhmä tuottaa itse pieniä määriä monte carlo -dataa oman analyysin tueksi. CSC:n kone cPouta on ALICE GRID-käytössä, joten ryhmä käyttää oman MC datan tekoon kemian laitoksella olevaa pientä elektra-klusteria (ja muita vastaavia Suomessa yhteen kytkettyjä).

ALICE on perustutkimusta, jossa kaikki kokeen koodi on kokeen jäsenten itse kirjoittama, eli ALICE-koodi on yhteinen koko kokeelle (37 maata, 151 instituuttia, noin 1550 jäsentä) yhteinen, jota koordinoidaan kansainvälisenä GIT-projektina.

QCD Theory:

Laskentaympäristönä on tavallinen linux-klusteri ja menetelminä erilaiset Monte Carlo menetelmät; moniulotteiset integraalit, ositaisdifferentiaaliyhtälöt. Tutkimuksessa yhdistyy fysiikan asiantuntemus ja numeeriset menetelmät.

Tyypillisiä isompia laskentaprojekteja viime aikoina:

- a. Klassiset värikenttälaskut
- b. JIMWLK-yhtälön Langevin-implemantaatio
- c. NLO BK-yhtälö
- d. Event-by-event hydroajot
- e. Pdf-fitit, BK-yhtälöfitit

Lähtökohtaisesti d ja e on triviaalisti parallelisoituva ja a, b ja c käytetään tällä hetkellä OpenMP:llä eli suhteellisen pienille CPU-määrille parallelisoituja koodeja. Enimmäkseen laskenta-aikavaatimusta näissä sanelee statistiikan kerääminen ja parametriavaruuden läpikäyminen.

Tutkimusprojektissa kaikki koodit kirjoitetaan itse ja uusia teoriaprojekteja varten joudutaan yleensä tekemään paljon uutta koodausta. Tämä rajoittaa massiivisen parallelisaation käyttöä enemmän kuin HW:n saatavuus.

4.2.5 Musiikkitiede

Musiikkitieteessä on käytössä laskentaympäristönä Taito@CSC ja menetelminä datan keruu (fMRI, liikekaappaus), datan analyysi (signaalinkäsittely, koneoppiminen, monimuuttujamenetelmät (PCA, ICA, ...), tilastolliset menetelmät ja graafiteoria. Alan sovelluksia ovat mm:

- Musiikin prosessoinnin neuraaliset korrelaatit
- Aivojen funktionaalinen konnektiivisuus musiikin prosessoinnissa

- Musiikin motoriikka
- Musiikillisten piirteiden irrotus audiosta

Saavutettuja läpimurtoja on mm. naturalistisen menetelmän kehittäminen musiikin aivoprosessien tutkimiseen.

5 LASKENNALLISTEN TIETEIDEN JA DATA-ANALYTIIKAN OPE- TUS

5.1 Perusteita

ICT:n laaja-alaisessa hyödyntämisessä laskennallisen ajattelun lähtökohdaksi on muo-
toutunut:

*Korkeatasoinen TVT-koulutus auttavat opiskelijoita ymmärtämään ja muuttamaan maailmaa laskennallisen ajattelun avulla. Laskennallisen ajattelun perustana ovat on-
gelmanratkaisutaidot. Se kehittää loogista ajattelua ja yhdistää luovuutta reaali-
maailman olosuhteisiin. Opiskelijat soveltavat eri ilmiöiden taustalla olevia periaatteita
ymmärtääkseen reaali maailman järjestelmiä ja luodakseen käyttökelpoisia ratkaisuja.
Laskennalliseen ajatteluun perustuva osaaminen auttaa opiskelijoita ymmärtämään
erilaisia järjestelmiä ja laskennallisella ajattelulla voidaan luoda merkityksellisiä yh-
teyksiä eri oppiaineiden ja erityisesti luonnontieteiden eri alueille.*

Laskennallinen ajattelun tulee nivoutua suomalaisessa opetuksessa etenkin laaja-
alaisen osaamisen teemoihin sekä tieto- ja viestintätekniisiin taitoihin. Tieto- ja viestin-
tätekniiikan keskiössä ovat tietotekniikka, tietojenkäsittelytiede ja tietojärjestelmätie-
de. Tieto- ja viestintätekniikan opetuksessa opetetaan miten digitaaliset järjestelmät
toimivat, miten ne on suunniteltu ja ohjelmoitu sekä informaatioteknologian ja lasken-
nallisuuden peruseriaatteet. Tälle perustalle rakentuva osaaminen auttaa opiskelijoita
soveltamaan tietotekniikkaa erilaisiin ja laaja-alaisiin ongelmanratkaisuihin. Opetus
tehostaa opiskelijoiden digitaalista luku- ja kirjoitustaitoa, jolloin he kykenevät käyttä-
mään ja ilmaisemaan itseään tietotekniikan avulla ja olemaan aktiivisia toimijoita no-
peasti kehittyvässä digitaalisessa maailmassa. Tieto- ja viestintätekniikan osaamisen
parantaminen turvaa tietoyhteiskuntakehityksen ja tuottaa yrityssektorin tarvitsemaa
osaavaa työvoimaa.

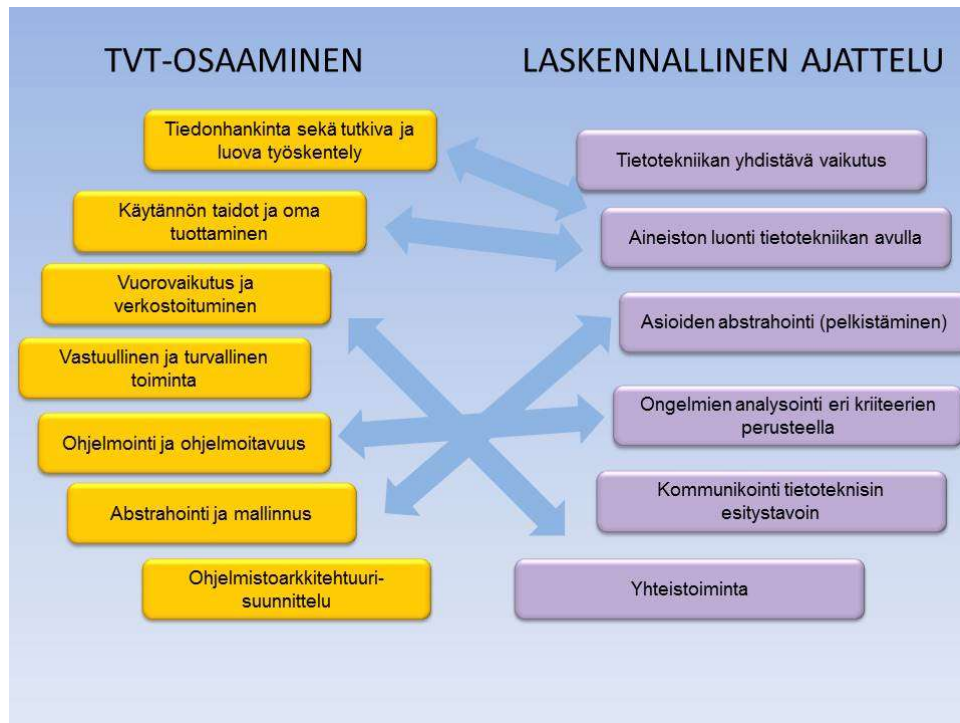
Suomessa laskennallinen ajattelu tulee nostaa osaksi laaja-alaisen osaamisen teemoja
sekä eri luokka-asteiden tavoitteista osaksi tieto- ja viestintäteknologian osaamista.
Tavoitteena on, että opetus tuottaa opiskelijoille uusia kykyjä, joiden avulla hän:

1. Ymmärtää ja soveltaa laskennallisen ajattelun peruseriaatteita, mukaan lukien looginen päättely, algoritmit, data-analyysi ja kommunikaatio.
2. Kykenee analysoimaan erilaisia ongelmia laskennallisen ajattelun avulla ja kykenee ratkaisemaan reaali maailman ongelmia.
3. Kykenee asioiden abstrahointiin (pelkistämiseen) ja ongelmien rajaamiseen ja määrittelyyn.

4. Osaa arvioida ja soveltaa tietotekniikkaa laaja-alaisesti ja analyttisesti myös uusissa ja tuntemattomissa tilanteissa.
5. Hallitsee riittävät käytännön tietotekniset työskentelytaidot.
6. Omaksuu tiedonhallinnan periaatteet, niin että kykenee toimimaan erilaisissa ja kompleksisissa informaatioympäristöissä.
7. Kykenee analyttiseen päättelyyn, synteisien luomiseen ja uuden tiedon tuottamiseen laajoista tietomääristä.
8. Hallitsee tarvittavat viestintä-, media- ja sisällöntuotantotaidot sekä sosiaalisen vuorovaikutuksen verkkoympäristössä.
9. Ymmärtää digitaalisen toimintaympäristön uhat ja riskit ja ottaa ne huomioon kaikessa toiminnassaan.
10. On vastuullinen, luotettava ja luova tieto- ja viestintätekniikan käyttäjä sekä toimii informaatioympäristössä eettisten normien mukaisesti.

Kehitettäessä laskennallisia tieteitä tulee koota tietoa niistä laskennallisen ajattelun menetelmistä ja keinoista, joilla opetuksen laatua ja kiinnostavuutta voidaan tehostaa myös laajasti koko LUMA-opetuksen kentässä. Lisäksi kehitystyössä tulee luoda uusi digitaalinen oppimisympäristö pilvikoulun pilottina, joka tukee sekä oppilaita että opettajia kouluympäristössä sekä kotona ja kodin ulkopuolisessa ympäristössä. Uusi TVT-oppimisympäristö tarjoaa TVT-koulutusta verkossa, tarvittavaa opetusmateriaalia opettajille ja opiskelumateriaalia oppilaille.

Kuvassa 10 on esitetty TVT-osaamisen ja laskennallisen ajattelun vuorovaikutus, jota voidaan kehittää digitaalisessa oppimisympäristössä.

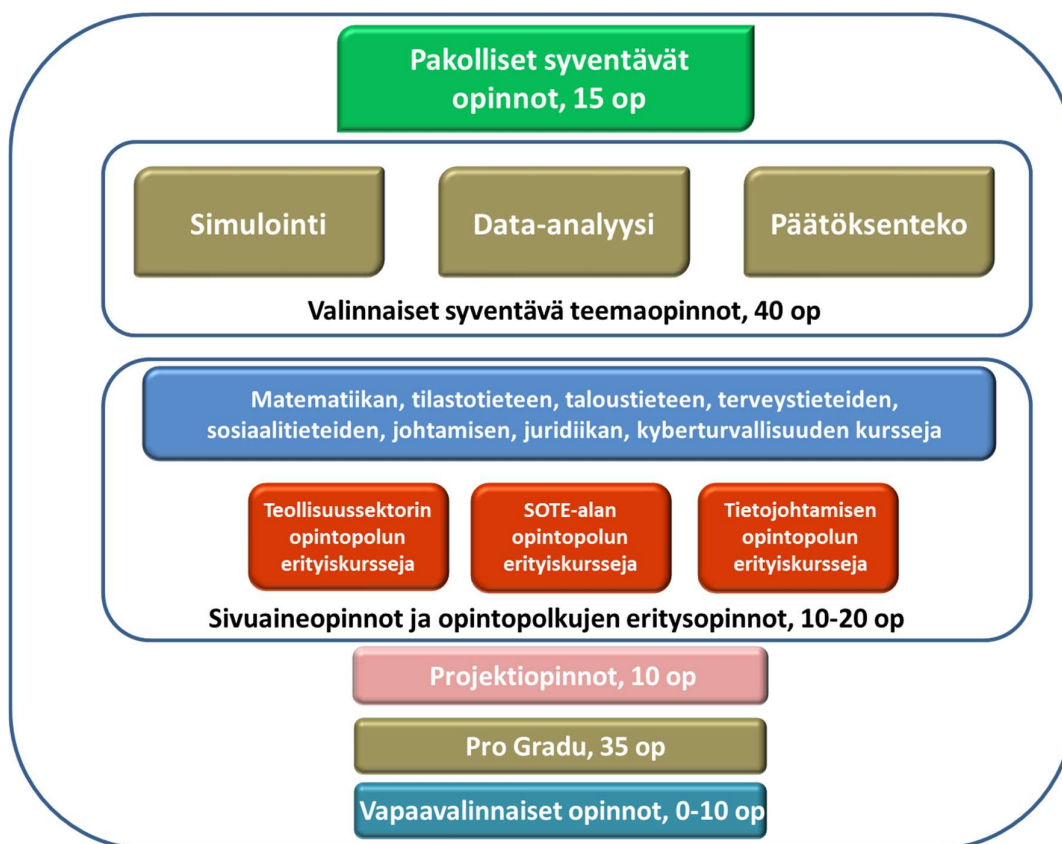


KUVA 10 TVT-osaamisen ja laskennallisen ajattelun vuorovaikutus

5.2 Laskennallisten tieteiden maisteriohjelma 2.0

Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunnan uusi laskennallisten **tieteiden maisteriohjelma 2.0** koostuu simuloinnin, data-analyysin ja päätöksenteon suuntautumisvaihtoehdoista, joissa näiden teemaopintojen perustalle voidaan rakentaa erityiskurssien avulla erilaisia opintopolkua kuten teollisuussektori, sosiaali- ja terveysala sekä tietojohdaminen.

Tieteellisen laskennan maisteriohjelman laajuus on 120 op ja ohjelmassa opiskelija voi valita eri valinnaisista syventävistä teemaopinnoista, sivuaineopinnoista ja eri opintopolun erityiskursseista valitsemansa osaamisprofiilin mukaisen kokonaisuuden. Tätä maisteriopiskelijaa täydentää työelämään liittyvillä projektiopinnoilla ja tiedekunnan tutkimushankkeisiin liittyvällä pro gradu -työllä. Kuvassa 11 on esitetty maisteriohjelman rakenne.



KUVA 11 Laskennallisten tieteiden maisteriohjelma

Maisterikoulutuksen koulutusvolyymitavoite on 20 IT-alan opiskelijaa ja 20 sivuaineopiskelijaa. Koulutus kytketään IT-tiedekunnan eri hankkeisiin kuten Suomen Akatemian, Tekesin, Sitran, EAKR:n ja Keski-Suomen liiton hankkeisiin.

5.3 Mallintamisen opetuksen perusteita

Simuloinnilla on useita erilaisia merkityksiä. Perusajatuksena simuloinnissa on todellisten tapahtumien matemaattinen tai looginen mallintaminen. Mallintamisella voidaan kuvata tai selittää melko tarkasti systeemin käyttäytyminen. Simuloinnin avulla päästään lähelle todellista käyttäytymistä, mutta monissa tilanteissa mallintaminen on joltakin osin kompromissien tekoa. Simuloinnissa keskitytään tyypillisesti jonkin tietyn asian tai ilmiön mallintamiseen.

Simuloinnilla toteutetaan jonkin tuotteen, prosessin tai järjestelmän olennaisten osien tai kokonaisuuden jäljittely. Jäljittely voi koostua biologiseen, fysiologiseen, psykologiseen, sosiaaliseen, tekniseen osaan tai niiden muodostamaan yhteiseen kokonaisuuteen. Kohteen käyttäytymistä ennakoidaan siitä tehtävän simulointimallin avulla. Muuttamalla mallin tai siihen vaikuttavan ympäristön parametreja voidaan tehdä päätelmiä kohteen käyttäytymisestä eri tilanteissa. Simulaatio on yksi virtuaalitodellisuuden ilmenemismuoto.

Simulaatio voidaan jakaa monella eri tavalla. Jakoperusteena voi olla käsitepari dynaamisuus – staattisuus. Dynaamisessa simulaatiossa aika toimii muuttavana elementtinä simuloitavaan tilanteeseen nähden. Staattisessa simulaatiossa tulos lasketaan vain kerran käytettävien muuttujien avulla, tämän jälkeen tilanne ei muutu simuloinnin edetessä. Toinen käsitepari on stokastinen ja deterministinen. Stokastinen simulointi sisältää satunnaismuuttujia, deterministinen simulointi ei sisällä satunnaisuutta. Stokastinen simulaatio sisältää jo ilmiönä sattumaa ja satunnaisuutta. Dynaamisessa simulaatiossa ajan käsittely voi olla diskreettiä tai jatkuvaa. Jatkuvassa simuloinnissa on mukana jatkuva muutos, esimerkiksi potilaan vitaalilintoimintojen muuttuminen ajan funktiona vaikkapa liikenneonnettomuudessa. Diskreetissä mallissa aika sidotaan tapahtumiin, aika käsitetään pikemminkin tapahtumaväliksi.

Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitoksen tutkimusryhmä on keskittynyt reaali maailman ilmiöiden numeeriseen mallintamiseen ja tietokonesimulointiin. Tavoitteena on kehittää tehokkaita menetelmiä suurten yhtälöryhmien ratkaisemiseen. Tutkimuksessa on keskitytty numeeristen menetelmien (lähinnä FEM, finite element method) kehittämiseen, laskennan virhearviointiin ja laskennan suorittamiseen eri tietokoneympäristöissä.

Simuloinnin tutkimusaloja ovat matemaattinen mallintaminen, luotettava malli- ja datapohjainen simulointi, optimointi, adaptiiviset ja tehokkaat numeeriset laskentamenetelmät, epävarmuuden huomioiminen numeerisessa simuloinnissa, hajautettujen systeemien säätö, spline ja spline wavelet -tekniikat signaalin- ja kuvankäsittelyssä, dynaamiset systeemit ja nanoelektroniikan mallinnus.

5.4 Data-analyysin opetuksen perusteita

ICT 2015 työryhmä toteaa: ”Digitaalisessa maailmassa informaation ja tallennetun tiedon määrä on valtava. Kun yhdistetään älykkäästi ja reaaliajassa näennäisesti turhaa tietoa, pystytään luomaan täysin uudentyyppistä, toimialojen rajoja rikkovaa tietoa. Big data on maailmalla kuuma tutkimuksen ja soveltamisen kohde. Big data liittyy läheisesti muihin Suomen kriittisiin avainosaamisalueisiin. Tietoliikenteen osaajina olemme perinteisesti käsitelleet suuria datamääriä. Suurimmaksi ongelmaksi big data tiedon soveltamisessa ja tietojen avaamisessa toimijat kokevat, että organisaatioilla ei ole riittävästi asiantuntemusta. Organisaatiot tarvitsevat tähän osaajia ja koulutusta.”[4]

Datan määrä ja asema yhteiskunnassa on radikaalisti muuttumassa:

- Datan määrä kasvaa eksponentiaalisesti
- Jalostettu ja analysoitu data on yhä keskeisempi tuottavuutta ja kilpailukykyä voimistava tekijä
- Datan tuottaminen ja jalostaminen tulevat merkittäviksi liiketoiminnan alueiksi
- Datan perusteella luodun tiedon esittämisen muodot ja keinot monipuolistuvat
- Data-analyysi on yksi voimakkaimmin kasvavista teknologia-alueista
- Suurien datamassojen käsittelystä on muodostunut uusi tieteen paradigma
- Data-analyysi muuttaa merkittävästi digitaalista palvelutuotantoa

Taphtuva muutos antaa paljon tehtäviä tutkimukselle. Lisäksi tarvitaan tutkimusta, joka liittyy datan tekniseen hallintaan, sen siirtämiseen, analysointiin ja jalostamiseen sekä turvallisuuden erityisesti päätöksenteon tueksi. Tällainen tutkimus tukee kansantalouden kilpailukykyä ja tuotantoa. Toisaalta tarvitaan tutkimusta, joka auttaa ohjaamaan tietoyhteiskunnan kehitystä. Tällöin tutkimuskohteena on inhimillinen näkökulma datan käsittelyyn, sen luottamuksellisuuteen ja yksilön roolista data-analyysin tulosten käytön kohteena.

Big data -tutkimusmenetelmien kehitys tuo eri tieteenalojen tutkijoille parempia mahdollisuuksia tutkia erilaisia asioita ja löytää ongelmiin myös ratkaisuja. Big Data -tutkimuksen menetelmäkehityksen lisäksi on tärkeää ottaa huomioon monitieteisyys ja edistää eri tieteenalat ylittävää työskentelyä, muun muassa matemaatikkojen, tietojärjestelmätieteilijöiden ja yhteiskuntatieteilijöiden kesken.

Big dataa voidaan hyödyntää monilla tutkimusaloilla informaatioteknologian ja tietojärjestelmätieteiden ohella. Esimerkiksi biotieteiden, fysiikan, kognitiotieteen, psykologian ja taloustieteen aloilla big data -kehityksestä ja -menetelmistä on saatavissa selkeitä hyötyjä ja mahdollisuuksia tutkimuksen kehittämiseen.

Suomessa on osaamista mm. lääketieteellisessä tutkimuksessa, mobiiliteknologioissa, peliteollisuudessa ja ympäristömonitoroinnissa, jotka kaikki ovat hyvin dataintensiivisiä ja sen monimuotoiseen analyysiin perustuvia aloja. Data-analyysin hyödyntäminen julkisella sektorilla on vasta alkutekijöissään, mutta tarjoaa suuria mahdollisuuksia niin

palvelujen kuin prosessienkin parantamiseen ja tehostamiseen sekä uusiin toimintatapoihin. Suomi on ollut edelläkävijämaita avoimessa datassa ja julkinen sektori on avaamassa tietoaaineistojaan. Tätä avoimuuden ja julkisten tietovarantojen saatavuuden kulttuuria tulisi hyödyntää myös data-analyysissä. Julkisten ja yksityisten data-aineistojen yhdistämisessä ja analyysissä voidaan saavuttaa merkittäviä eri osapuolia hyödyttäviä tuloksia.

Tehokas Big Data -tutkimus edellyttää moninaisia eri tieteenalojen tutkimusryhmiä. Tietoa louhitaan ja analysoidaan yhteistyössä muiden kanssa ja aineistolle esitetään yhä uusia kysymyksiä. Tällainen toimintatapa antaa mahdollisuuden ymmärtää laajasti digitaalista aineistoa ja tuottamaan yhä laaja-alaisempia ja tarkempia perusteita, analyysijä ja ennusteita päätöksentekijöiden käyttöön.

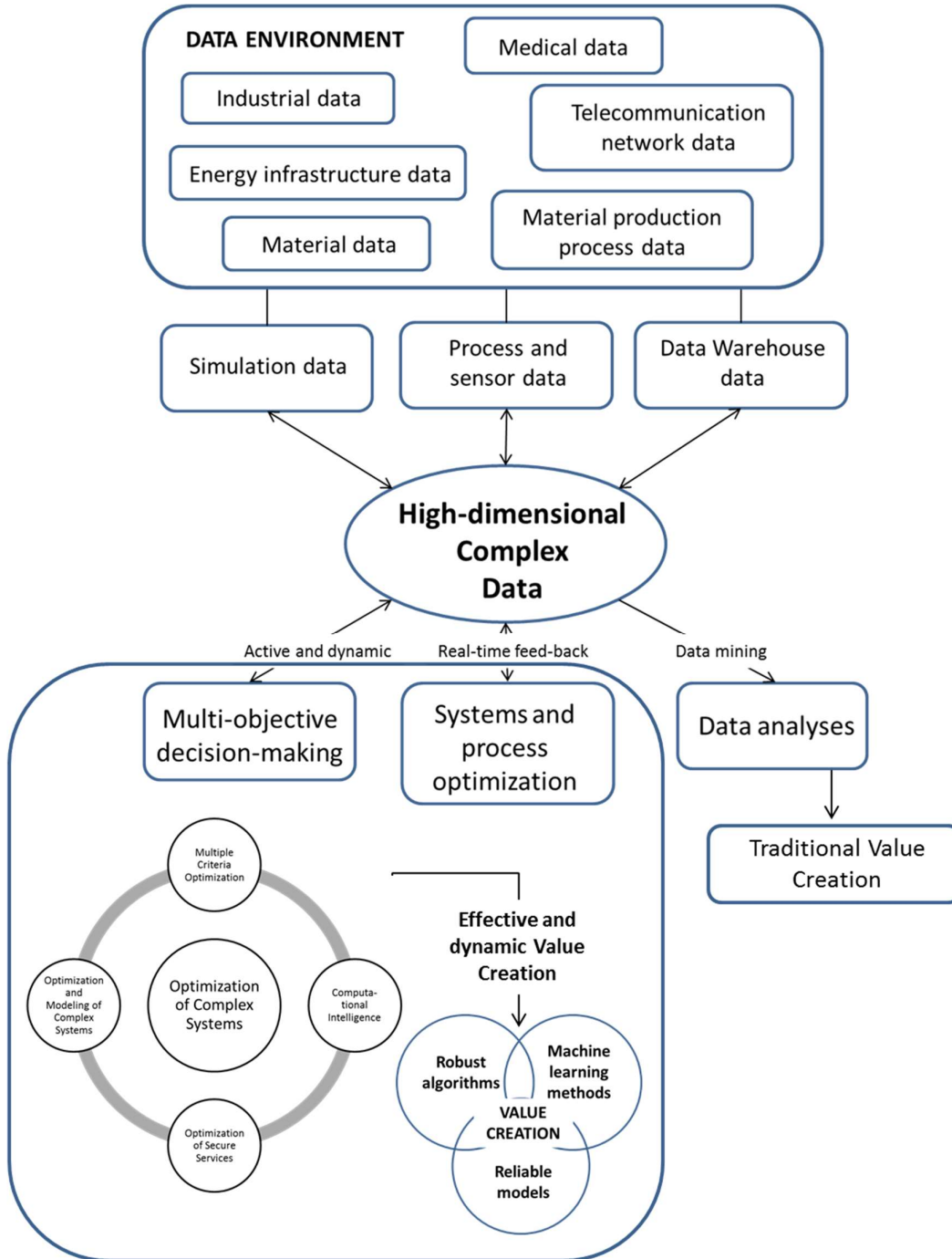
Big data -tutkimukselle on useita sovelluskohteita. SOTE-alalla Suomella on suuri potentiaali big datan suhteen. Suomesta löytyy maailmanlaajuisesti katsoen poikkeuksellisen laadukkaita ja kattavia tietokantoja. SOTE-uudistuksen myötä on mahdollisuus tutkia, kokeilla ja ottaa käyttöön big dataan perustuvia ratkaisuja. Dataan perustuvista hoitomenetelmistä ja -käytännöistä on jo saatu merkittäviä tuloksia ja hyvillä ratkaisuilta voidaan saavuttaa taloudellisia säästöjä.

Big data ajattelutapana (datatietoisuus) ja teknologiana antaa uudenlaisia näkökulmia julkishallinnolle edistää tuottavamman yhteiskunnan ja kestävyysvajeen torjumisen strategisia päätavoitteita, lisäten samalla kansalaisten tyytyväisyyttä julkisiin palveluihin. Data-analyysin avulla on mahdollista realisoida tuottavuushyötyjä useimmilla hallinnon alueilla. Datalähtoisempää julkishallintoa voidaan tarkastella seuraavilla osaluilla:

- Datalähtöinen päätöksenteko ja jatkuva organisaatiokehitys
- Kansalaisten digitaaliset julkiset palvelut
- Yritysten ja kansalaisten parempi osallistaminen julkisten palveluiden kehitykseen

Teollinen internet (IoT) antaa Big Data-tutkimukselle useita sovellusalueita, kuten valmistavan teollisuuden prosessit ja niiden optimointi, ennakoiva huolto, energian käytön hallinta, käyttömöaisuuden hallinta ja ennakoiva huolto. Alan tutkimukselle on laajoja mahdollisuuksia myös muualla elinkeinoelämässä, kuten kaupan ja logistiikan alueella, rakentamisessa ja kiinteistöjen hoidossa sekä kunnallisten ja muiden julkisten palvelujen tuottamisessa.

Kuvassa 12 on esitetty simuloinnin, optimoinnin ja data-analyysin tutkimusympäristö.



KUVA 12 Data-analyysin ja simuloinnin tutkimusympäristö

Datatulvan keskellä ilmaantuu suuria mahdollisuuksia niille, jotka pystyvät ymmärtämään dataa, irrottamaan siitä oleellisen ja visualisoimaan tai muuten selventämään tämän tiedon muille. Tähän massiivisen datan louhimiseen tarvitaan uusia työkaluja ja menetelmiä, mutta ennen kaikkea uusia osaajia – data-analytikkoja.

5.5 Päätöksenteon opetuksen perusteita

Kilpailu kiristyy kaikilla elämänalueilla koko ajan – asiat täytyy suorittaa aina vaan nopeammin, halvemmalla ja paremmin. Asioiden tilan parantaminen edellyttää päätöksentekoa. Päätösten tekemiseen ei riitä vain yritys ja erehdys, koska päätösongelmat ovat aikaisempaa monitahoisempia. Tällaisissa tilanteissa voidaan käyttää optimointia. Optimointia tarvitaan monilla sovellusaloilla. Siinä yhdistyvät tietotekniikan, matematiikan ja tilastotieteen edut.

Optimoinnissa käytetään kehittyneitä analyyttisiä menetelmiä ja ohjelmistoja parhaan mahdollisen päätöksen löytämiseen. Optimoinnin keinoja ovat mm. matemaattinen optimointi ja laskennallinen älykkyys. Optimointiin voi paneutua erilaisista lähtökohdista ja näkökulmista: matemaattisesti, luonnon prosesseja tietokoneella matkien tai keskittyen menetelmien tehokkaaseen toteuttamiseen tietokoneella. Yleensä käytännön ongelmissa on useampi kuin yksi tavoite, sillä päätöksenteko edellyttää usean ristiriitaisen tavoitteen optimointia samanaikaisesti. Esimerkkejä näistä ovat kustannusten minimointi, tuotteen laadun maksimointi, ympäristövaikutusten minimointi sekä työturvallisuuden maksimointi. Tällöin tarvitaan monitavoiteoptimointia.

Tietotekniikan laitos on kansainvälisesti tunnettu monitavoiteoptimoinnin tutkimuksesta johon päätöksenteon opetus perustuu. Monitavoiteoptimointi auttaa päätöksentekijää löytämään hänelle parhaan kompromissiratkaisun ja ymmärtämään tavoitteiden välisiä riippuvuussuhteita. Huomioimalla eri näkökulmat samanaikaisesti hän osaa tehdä parempia päätöksiä.

Datan analyysi ja simulointi (mallinnus) eivät riitä päätöksentekoon vaan yleensä tarvitaan optimointia. Optimointi voi siis perustua data-analyysin avulla tehtyyn malliin tai matemaattiseen mallintamiseen perustuvaan simulointimalliin. Täten nämä kolme teemaa tukevat toisiaan mainiosti. Koska malleihin nojautuvia päätöksentekongelmia on lukuisilla aloilla teollisuudesta talouteen, työllistymisnäköymät ovat hyvät eri asiantuntijatehtäviin. Lisäksi sivuainevalinnoilla voi vaikuttaa tulevaan työkenttään.

6 LUONNOS LASKENNALLISTEN TIETEIDEN MAISTERIOHJELMAKSI

6.1 Maisteriohjelman rakenne

Maisteriohjelman laajuus on 120 op ja se muodostuu pakollisista syventävistä opinnoista, valinnaisista syventävistä opinnoista, projektiopinnoista, pro gradu-tutkielmasta, sivuaineopinnoista ja vapaa valinnaisista opinnoista.

| | |
|--|-------------------------|
| <p>Pakolliset syventävät opinnot</p> <ul style="list-style-type: none"> ● TIES513 Simulointi, 5 op ● TIES483 Epälineaarinen optimointi ● TIES445 Tiedonlouhinta, 5 op | <p>15 op</p> |
| <p>Valinnaiset syventävät opinnot: Valinnaisia syventäviä opintoja valitaan 25 op ja niitä suositellaan valittavaksi seuraavien teemojen sisältä. Halutessaan opiskelija voi kuitenkin valita valinnaiset syventävät opinto-jaksonsa myös teemakokonaisuuksista riippumatta.</p> <p>Simuloinnin teema:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● TIES324 Signaalinkäsittely, 5 op ● TIES411 Koneäkö ja kuva-analyysi, 5 op ● TIES451 Selected topics in soft computing, 5 op ● TIES456 Introduction to SOA and Cloud Computing, 5 op ● TIES581 Numeerinen lineaarialgebra, 5 op ● TIES594 ODY-ratkaisijat, 5 op ● ITKS544 Semantic Web and Ontology Engineering, 5 op <p>Data-analyysin teema:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● TJTST19 Tietokannat ja tiedon louhinta, 5 op ● TIES438 Big data engineering, 5 op ● TIES487 Advanced Data Mining and Machine Learning, 5 op ● TIESXXX Cognitive Computing, 5 op ● TILA 141 Tilastollinen päättely 1, 5 op ● TILA350 Bayes-tilastotiede 1, 5 op ● TILS150 Teoreettinen tilastotiede 1, 5 op ● TILS151 Teoreettinen tilastotiede 2, 5 op <p>Päätöksenteon teema:</p> | <p>40 op</p> |

| | |
|---|-----------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • TIES451 Selected topics in soft computing, 5 op • TIES489 Säättöteorian perusteet, 5 op • TIES583 Optimoinnin jatkokurssi, 5 op • TIES588 Monitavoiteoptimointi, 5 op • TIE0360 Optimointiryhmän seminaari, 5-8 op <p>Muita syventäviä kursseja:</p> <ul style="list-style-type: none"> • TIESXXX Riskianalyysi • TIESXXX, Platform ecosystem architectures • TIESXXX Systemisuunnittelu ja logistiikka, 5 op | |
| <p>Teemaan liittyvät projektiopinnot</p> <ul style="list-style-type: none"> • TIES405 Sovellusprojekti, 10 op tai • Teeman mukainen sovellusprojekti, 10 op | 10 op |
| <p>Pro Gradu -tutkielma</p> <ul style="list-style-type: none"> • TIES501 Pro gradu -seminaari 5 op • TIES502 Pro gradu -tutkielma 30 op • TIES503 Kypsyysnäyte 0 op | 35 op |
| <p>Sivuaineopinnot Kurssit TIEA381 Numeeriset menetelmät, 5 op ja TIEA382 Lineaarinen ja diskreetti optimointi, 5 op mikäli niitä tai vastaavia opintoja ei ole suoritettu alemmassa tutkinnossa.</p> <p>Sivuaineilla suunnataan osaamista valitulle opintopolulle. Maisteritutkinnon suorittaneella tulee olla perusopinnot (20 op) joko matematiikasta tai tilastotieteestä. Lisäksi teemasta riippuen suositellaan matematiikan tai tilastotieteen aineopintoja (35 op).</p> | 10-20 op |
| <p>Vapaavalintaiset opinnot Suositellaan johtamisen, liiketalouden, juridiikan, kyberturvallisuuden tai sosiaali- ja terveystieteiden opintoja.</p> | 0-10 |

Opinnoissa hyödynnetään verkkokursseja kuten MOOC-kursseja (Massive Open Online Course), joita järjestävät mm. Coursera, EdX ja Udacity. Verkkokurssit Courseran ja EdX: n kurssitarjonnasta tuottavat profiloinnin mukaisesti 4-20 op. Liitteessä 2 on esitetty data-analyysin ja tilastotieteen verkkokursseja.

Opinnot järjestetään niin, että työelämässä olevat pääsevät joustavasti osallistumaan. Asiantuntijaluentoja ja lyhytkursseja järjestetään perjantai-iltapäivisin ja lauantaisin. Lisäksi osa luennoista nauhoitetaan niin, että ne ovat katsottavissa yliopiston Moniviestimestä.

Koulutus koostuu intensiivikursseista, lähiopetuksesta ja itsenäisesti etänä tehtävistä online kursseista. Lisäksi henkilökohtaiseen opintosuunnitelmaan voi sisällyttää avoimen yliopiston ja kesäyliopiston kursseja.

Opiskelu etenee projektimaisesti. Opiskelun tavoitteet asetetaan koulutuksen ensimmäisen kuuden kuukauden aikana. Tavoite on, että opiskelijat ratkaisevat joitakin yritysmaailmasta tai julkiselta sektorilta tulevia ongelmia ryhmissä, joissa on eri alan asiantuntijoita. Opiskelun kestolle asetetaan heti opiskelujen alussa aikatavoite.

6.2 Laskennallisten tieteiden sivuaine

Tavoitteena on lisätä laskennallisten tieteiden koulutusta Jyväskylän yliopiston eri tiedekunnan opiskelijoille: luonnontieteet, kauppatieteet ja johtaminen, sosiologia ja sosiaalityö, liikunta ja terveystieteet, psykologia, kasvatustieteet ja viestintätieteet.

IT-tiedekunta tulee räätälöimään yhteistyössä IHME-keskuksen ja matematiikan ja tilastotieteen laitoksen kanssa 20–40 opintopisteen sivuainekokonaisuuden perus- ja jatkokoulutettaville. Koulutuksessa hyödynnetään yliopiston omia kursseja mutta enenevässä määrin myös COURSERA:n ja EdX tarjoamia verkkokursseja. Näin monitieteiset opiskelijaryhmät ja niiden laatimat opinnäytetyöt tuottavat laaja-alaisia osaajia.

6.3 Maisteriohjelman opintopolut

Maisteriohjelman sivuaineopintoihin kootaan tarvittavilta osin matematiikan perus- ja aineopintoja sekä tilastotieteen perusopintoja. Näiden määrä riippuu valittavista teemaopinnoista ja alempaan tutkintoon sisällyvistä matematiikan ja tilastotieteen opinnoista.

Maisteriohjelmaan rakennetaan eri opintopolkuja, joiden avulla opiskelija voi erikoistua mm. teollisuuden alalle, julkishallintoon tai sosiaali- ja terveydenhuoltoon.

Tavoitteena on, että osa opiskelijoita tekisi osan temaattisista opinnoista (esim. SOTE ala) ja pro gradut ryhmissä. Monitieteisissä ryhmissä opiskelu kouluttaa opiskelijoita tuleviin työtehtäviin ja ryhmätyönä tehtävät opinnäytetyöt mahdollistavat laaja-alaisen aiheiden käsittelyn yhteiskunnan keskeisistä kysymyksistä (esim. SOTE, digitalisuus, palvelujen tehostaminen, tietojohdaminen).

6.3.1 Teollisuussektorin opintopolku

Teollisuussektorin opintopolulla tarjotaan asiantuntijaluentoja ja lyhytkursseja teollisuuden eri sektoreilta.

Teollisuussektorin opintopolun sovellusprojekti toteutetaan yhteistyössä alan toimijoiden kanssa.

Pro gradu -tutkielmat liittyvät IT-tiedekunnan alan hankkeisiin ja ne laaditaan monitieteisissä tutkimusryhmissä tavoitteena tuoda uutta tietoa johonkin yrityssektorin keskeiseen kysymykseen.

Lisäksi sivuainekokonaisuuteen ja vapaavalintaisiin suositellaan liitettäväksi johtamisen, juridiikan, taloustieteen ja kyberturvallisuuden opintoja. Soveltuvia Jyväskylän yliopiston kursseja ovat mm:

Taloustieteet:

- YJOS510 Strategia-ajattelu, 6 op
- YRIS641 Innovative marketing, 5 op
- YJOS467 Työ, organisoituminen ja yhteiskunta, 5 op
- TJTSM61 Business Analytics and Big Data Management, 5 op

Kyberturvallisuus:

- ITKST40 Yhteiskunta ja informaatioturvallisuus, 5 op
- ITKST41 Kybermaailma ja turvallisuus, 5 op
- ITKST53 Ohjelmistoturvallisuus, 5 op
- TIES327 Tietoverkkoturvallisuus, 5 op
- TJTSM65 Information privacy, 5 op

6.3.2 Sosiaali- ja terveydenhuollon opintopolku

Keskeisimmät muutosvoimat SOTE-toimintaympäristössä ovat terveysteknologian kehittyminen, palveluiden kuluttajistuminen, ennakointi ja ennaltaehkäisevä toiminta, sähköisten SOTE-palvelujen kehittyminen, genomisen tiedon määrän kasvu ja avoin data.

Tulevaisuudessa pienikin määrä rakenteista tietoa tarjoaa mahdollisuuksia sekundaarikäyttöön eli siihen, että tietojärjestelmän avulla tietoa sekä yksilöstä että joukosta yksilöitä jalostetaan edelleen. Kehittämisen avaintekijöitä ovat big data, geenidata, omadata, datafuusio ja data-analytiikka. Tämän datan pohjalta voidaan tehdä riskianalyysi ja hoitosuunnitelma potilaalle.

Terveyteen ja hyvinvointiin liittyvää tietoa kertyy reaaliajassa valtavat määrät eri lähteistä, kuten esimerkiksi liikkumista mittaavista rannekkeista, implanteista ja muista terveyden ja lääketieteen laitteista. Ihminen tuottaa elinaikanaan keskimäärin yli miljoona gigatavua terveyteen liittyvää dataa. Lisäksi käytettävissä ovat perinteiset tietolähteet, kuten potilas-, tutkimus- ja perimätiedot. Data on siis pirstaloitunut sinne tänne, eikä sitä ole helppo jakaa tai analysoida.

Opetuksessa hyödynnetään IBM:n Watson-teknologiaa ja koneoppimista, joiden avulla voidaan luoda laadukkaampia ja tehokkaampia hoitointerventiomalleja, koko sosiaali- ja terveysalan johtamismalleja sekä ICT:n tehokasta ja kokonaisvaltaista hyväksikäyttöä SOTE-toimintaympäristössä.

SOTE-alan opintopolulla tarjotaan asiantuntijaluentoja ja lyhytkursseja sosiaali- ja terveydenhuollon eri sektoreilta.

SOTE-opintopolun sovellusprojekti toteutetaan yhteistyössä alan toimijoiden kanssa. Erityisesti Keski-Suomen sairaanhoitopiiri tarjoaa mahdollisuuksia harjoitteluun sen eri toimipisteissä.

Pro gradu -tutkielmat liittyvät IT-tiedekunnan alan hankkeisiin ja ne laaditaan monitieteisissä tutkimusryhmissä tavoitteena tuoda uutta tietoa johonkin SOTE-alan keskeiseen kysymykseen.

Lisäksi sivuainekokonaisuuteen ja vapaavalintaisiin suositellaan liitettäväksi terveystieteiden, sosiaalitieteiden, sosiologian, johtamisen, juridiikan, taloustieteen ja kyberturvallisuuden opintoja. Soveltuvia Jyväskylän yliopiston kursseja ovat mm:

Terveystieteet:

- DEVS222 Globalization: Perspectives from development, culture and civil society, 5 op
- Terveydenhuollon johtaminen, Avance Executive MBA, 5 op
- TERS006 Terveyskasvatuksen ja terveyden edistämisen teoriat ja sovellusmallit, 7 op
- TERS004 Terveyskasvatuksen ja terveyden edistämisen asiantuntijuus III, 3 op

Sosiaalitieteet:

- SOSS110 Sosiologian nykysuuntauksia, 5 op
- SOSS403 Työn ja talouden sosiologia II, 5 op
- YFIP110 Sosiaalityön johdanto, 5 op
- YFIP120 Sosiologian johdanto, 5 op

Taloustieteet:

- YJOS510 Strategia-ajattelu, 6 op
- YRIS641 Innovative marketing, 5 op
- YJOS467 Työ, organisoituminen ja yhteiskunta, 5 op
- TJTSM61 Business Analytics and Big Data Management, 5 op

Kyberturvallisuus:

- ITKST40 Yhteiskunta ja informaatioturvallisuus, 5 op
- ITKST41 Kybermaailma ja turvallisuus, 5 op
- ITKST53 Ohjelmistoturvallisuus, 5 op
- TIES327 Tietoverkkoturvallisuus, 5 op
- TJTSM65 Information privacy, 5 op

6.3.3 Tietojohtamisen opintopolku

Tieto on keskeinen menestystekijä modernissa tietointensiivisessä toimintaympäristössä. Julkiset organisaatiot, yritykset ja muut organisaatiot tarvitsevat yhä enemmän

asiantuntijoita, jotka osaavat hyödyntää tieto- ja viestintäteknologiaa toiminnassaan. Tietojohtamisessa korostuu tiedon lisäksi ymmärrys, jota edesauttaa dataan ja tietoon liitetty laskennallinen ajattelu, analytiikka ja päätöksenteon optimoinnin hallinta.

Tietojohtaminen on kokonaisuus, jossa yhdistyvät johtamisen ontologia, tekniikat, prosessit ja käytänteet. Tietojohtamisessa korostuu tiedon, tietämyksen, tilannetietoisuuden ja ymmärryksen luominen sekä tiedon hyödyntäminen ja jakaminen. Tietojohtaminen on osaamisalue, johon voidaan yhdistää sellaisia ulottuvuuksia kuin liiketoimintatiedonhallinta (Business Intelligence), aineettoman pääoman johtaminen (Intellectual Capital Management), innovaatiojohtaminen (Innovation Management), tietohallinto (Information Management).

IT-tiedekunnan näkökulmasta tietojohtaminen on poikkitieteellinen tutkimus- ja kehittämisalue, jota käsitellään mm. organisaatiotutkimuksen, liiketaloustieteen, kasvustieteen, informaatioteknologian, psykologian, tietojenkäsittelytieteen, tietojärjestelmätieteen ja kognitiotieteen piirissä. Alan tutkimuksessa tarkastellaan erilaisten organisaatioiden (yritysten, julkisen sektorin organisaatioiden sekä muiden instituutioiden) toimintaa, johtamista ja kehittämistä. Tutkimuksellinen lisäarvo syntyy dataan, informaatioon ja tietoon liittyvien resurssien, prosessien ja teknologioiden roolien ymmärtämisestä organisaation toiminnassa. Lisäksi tietojohtamisen tutkimus tuottaa käsitteitä, malleja ja menetelmiä, joilla organisaatioiden toimintaa voidaan edellä mainitusta näkökulmasta analysoida ja kehittää.

Tietojohtajat ovat monialaosaajia, jotka tuntevat digitaalitekniikan mahdollisuudet ihmisten ja asioiden johtamisessa, organisaation viestinnässä, tiedonhallinnassa sekä organisaatioiden kehittämisessä.

Tietojohtamisen opintopolulla tarjotaan asiantuntijaluentoja ja lyhytkursseja johtamisen eri alueilta. Tietojohtamisen sovellusprojekti toteutetaan yhteistyössä alan toimijoiden kanssa.

Pro gradu -tutkielmat liittyvät IT-tiedekunnan alan hankkeisiin ja ne laaditaan monitieteisissä tutkimusryhmissä yritysten ja julkisten organisaatioiden kanssa.

Lisäksi sivuainekokonaisuuteen ja vapaavalintaisiin suositellaan liitettäväksi johtamisen, juridiikan, taloustieteen ja kyberturvallisuuden opintoja. Soveltuvia Jyväskylän yliopiston kursseja ovat mm:

Taloustieteet:

- YJOS510 Strategia-ajattelu, 6 op
- YRIS641 Innovative marketing, 5 op
- YJOS467 Työ, organisoituminen ja yhteiskunta, 5 op
- TJTSM61 Business Analytics and Big Data Management, 5 op

Kyberturvallisuus:

- ITKST40 Yhteiskunta ja informaatioturvallisuus, 5 op

- ITKST41 Kybermaailma ja turvallisuus, 5 op
- ITKST53 Ohjelmistoturvallisuus, 5 op
- TIES327 Tietoverkkoturvallisuus, 5 op
- TJTSM65 Information privacy, 5 op

Maisteriohjelmassa opiskelija voi valita eri valinnaisista syventävistä teemaopinnoista, sivuaineopinnoista ja eri opintopolun erityiskursseista valitsemansa osaamisprofiilin mukaisen kokonaisuuden. Tätä maisteriopiskelija täydentää työelämään liittyvillä projektiopinnoilla ja tiedekunnan tutkimushankkeisiin liittyvällä pro gradu -työllä.

Tällä hetkellä koulutukseen ja pro gradu -tutkimuksiin soveltuvia tutkimushankkeita ovat:

- Strateginen tutkimusneuvosto: Platfom Value Now
- Tekes: Asiakas On-line (Agora center)
- Tekes: Critical Infrastructure Resiliency and Protection, CIRP

6.4 Osaamistavoitteet

6.4.1 Simuloinnin teema

Simuloinnin maisteri tuntee jatkuvan ja diskreetin simuloinnin periaatteet ja sovelluskohteet. Hän osaa listata jatkuvien simulointimallien tavallisimmat diskretisointimenetelmät ja niiden tehokkaan toteuttamisen peruseriaatteet moderneissa tietokonearkkitehtuureissa. Lisäksi hän osaa nimetä yksi- ja monitavoitteisen epälineaarisen optimoinnin periaatteet ja ratkaisumenetelmät.

Hän kykenee muodostamaan tekniikan ja luonnontieteiden ilmiöille matemaattisia simulointimalleja sekä osaa rakentaa mallien ratkaisemiseen kohtuullisen tehokkaat ohjelmistot aliohjelmakirjastoja tai vastaavia valmiita komponentteja hyödyntäen. Hän osaa muodostaa ja ratkaista numeerisesti simulointimalleihin pohjautuvia optimointitehtäviä.

6.4.2 Data-analyysin teema

Data-analyysin maisteri hallitsee laaja-alaisesti tilastotieteen, numeerisen laskennan ja ohjelmoinnin käsitteitä ja menetelmiä, joita käytetään itsenäisen ajattelun ja tutkimuksen perustana. Ymmärtää tilastotieteen ja lähitieteenalojen rajapintojen tietoihin liittyviä tiedon käsittelyyn liittyviä kysymyksiä ja tarkastelee niitä ja uutta tietoa kriittisesti. Hän kykenee ratkaisemaan vaativia ongelmia hyödyntämällä matemaattista, tilastollista, laskennallista ja tietoteknistä erikoisosaamista ja yhdistämällä sitä eri alojen tietoihin.

6.4.3 Päätöksenteon tema

Päätöksenteon maisteri hallitsee päätöksenteon taustalla olevat matemaattiset mallit ja päätöksentekoa tukevat menetelmät, niiden tietokonetoteutukset sekä erilaiset käytännön sovellukset. Hän ymmärtää usean ristiriitaisen tavoitteen samanaikaiseen huomioimisen monitavoiteoptimoinnin avulla.

6.5 Resurssit

Opetuksessa käytetään tiedekunnan osaamisresursseja täydennettynä ulkopuolisilla asiantuntijoilla. Tiedekunnan opetusresursseja on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1 Maisteriohjelman tiedekunnan opetusresurssit

| Mallinnus ja simulointi, numeeriset menetelmät | Optimointi, optimisäättö sekä monitavoiteoptimointi ja päätöksenteko, logistiikka | Data-analyysi, kuva-analyysi ja singaliansanalyysi | Internet, Web 2.0, sovellukset |
|--|---|--|--------------------------------|
| Nikolay Kuznetsov | Jussi Hakanen | Amir Averbuch | Vagan Terziyan |
| Raino Mäkinen | Markus Hartikainen | Gil David | Chiricho Watanabe |
| Pekka Neittaanmäki | Kaisa Miettinen | Jukka-Pekka Kauppi | |
| Sergey Repin | Raino Mäkinen | Tommi Kärkkäinen | |
| Tuomo Rossi | Pekka Neittaanmäki | Ilkka Pölönen | |
| Timo Tiihonen | Olli Bräysy | Tapani Ristaniemi | |
| Jari Toivonen | | Kari Saarinen | |
| Tero Tuovinen | | Valery Zheludev | |

Taulukossa 2 on esitetty ulkopuolisia opetusresursseja

TAULUKKO 2 Maisteriohjelman ulkopuoliset opetusresurssit

| Opettaja | Osaamisalue | Organisaatio |
|---|--|-------------------------------|
| FT Toni Ruohonen | Laskennallinen analytiikka SOTE-rakenteiden ja prosessien kehittämiseen | Agora Center |
| FT Janne Jokinen | Signaalianalyysi | Puolustusvoimat |
| FT Kari Luostarinen | Tietoliikenne ja tiedonlouhinta | K-S liitto |
| Professori Juha Kinnunen | Terveystieteiden johtaminen | K-S shp |
| Tietohallintojohtaja Juhani Paavilainen | Sairaanhoidopiirin ja sairaalan ICT-järjestelmät | K-S shp |
| LTT Pekka Utriainen | Sosiaali- ja terveyspalveluiden tuottaminen ja johtaminen | Pihlajalinna Oy |
| Dos, LTT Ilkka Kunnamo | Yleislääketieteen erikoislääkäri, lääkärin sähköisten työkalujen suunnittelu | Perusturvallielaitos Saarikka |

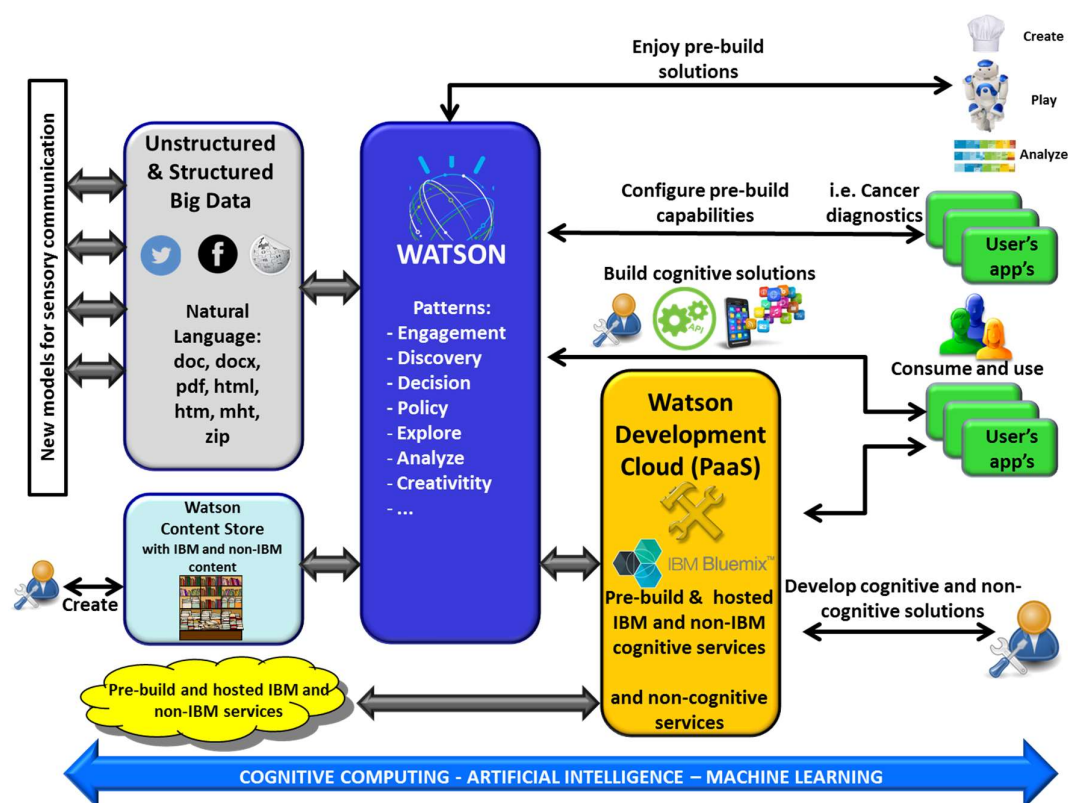
Liitteessä 3 on esitetty sovelletun matematiikan maisteriohjelma.

Liitteessä 4 on kuvattu aineistointensiivisen tutkimuksen vaatimukset IT-infrastruktuurille.

7 YHTEISTOIMINTA IBM WATSONIN KANSSA

IT-tiedekunnassa ja koko yliopistossa kehitetään data-analyysin koulutusta ja tutkimusta yhteistyössä IBM Watson-toimintaympäristössä. IBM Watsonin Cognitive computing -pohjainen järjestelmä luo interaktiivisen suhteen ihmisen ja koneen välille. Malli antaa ihmiselle mahdollisuuden päästä käsiksi kompleksiseen datamassaan, kohdistamaan siihen hakuja ja saamaan relevantteja vastauksia ja analysejä päätöksenteon pohjaksi.

Kuvassa 13 on esitetty kuvaus IBM Watsonin toimintaympäristöstä.



KUVA 13 IBM Watson toimintaympäristö

IBM Watson tukee yliopistoa laajasti eri tavoin kuten:

- IBM ammattilaisten tuki (systeemikehittäjiä, tutkijoita) auttamaan kurssien ja materiaalien valmistelussa
- Vierailuluentoja

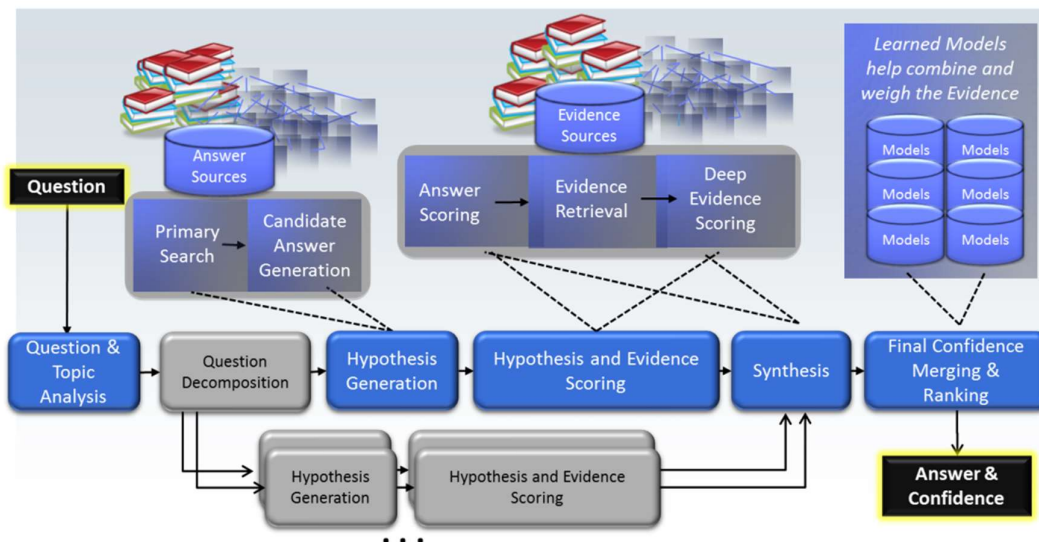
- IBM Watsonin tekninen tuki kurssien aikana opiskelijoiden suunnitelmassa ja rakentaessa applikaatioita
- Pääsy IBM Watson järjestelmään *Watson Developer Cloud*:in avulla

Tavoitteena on tuottaa yhdessä IBM:n kanssa kaksi kurssia, joiden avulla opiskelijat tutustuvat Watsonin teknologiaan ja sen mahdollisuuksiin. Nämä kurssit ovat osa data-analyysin teemaopintoja. Kurssit ovat:

- Cognitive Computing 1: Innovation with Watson
- Cognitive Computing 2: Question Answering Technologies behind IBM Watson's Jeopardy! -system

Tavoitteena on, että IBM Watson-yhteistyö kattaa laajasti koko yliopiston koulutus- ja tutkimusaloja, aloja, joissa data-analyysi tuottaa lisäarvoa. Alkuvaiheessa on suunniteltu, että toiminta-alueita IBM Watsonin kanssa on kasvatustieteissä, informaatioteknologiassa, tilastotieteessä, liikuntatieteissä ja taloustieteissä. Toiminta vahvistaa monitieteistä toimintaa tiedekuntien ja laitosten välillä.

IBM Watson arkkitehtuuri tuottaa monia hypoteeseja, kerää suuren joukon havaintoja ja tuottaa relevantteja ja tasapainotettuja tuloksia käyttäen yli 100 eri analytiikkaa. Tapahtumien analyysi toteutetaan käyttäen erilaisia lähestymistapoja. Kuvassa 14 on esitetty Watsonin analytiikka-arkkitehtuuri.



KUVA 14 IBM Watsonin kognitiivinen tietojenkäsittely- ja analytiikka-arkkitehtuuri

LÄHTEET

- [1] Laitila Erkki, Koululaitos kohti digitaaliajan haasteita, Englannin kehittämiä linjauksia teemana: Computational Thinking, 7.5.2014
- [2] Lu James J. and Fletcher George H. L., Thinking About Computational Thinking, SIGCSE'09, March 3–7, 2009, Chattanooga, Tennessee, USA
- [3] Työ- ja elinkeinoministeriö, 21 polkua Kitkattomaan Suomeen, ICT 2015 - työryhmän raportti 17.1.2013, http://www.tem.fi/ajankohtaista/julkaisut/julkaisujen_haku/21_polkua_kitkatto_maan_suomeen.98249.xhtml
- [4] Wing Jeannette M., Computational Thinking, Communications of the ACM 49(3), p. 33–35, 2006
- [5] Wing Jeannette M., Computational Thinking: What and Why? 17 November 2010, <http://www.cs.cmu.edu/~CompThink/resources/TheLinkWing.pdf>
- [6] Laskennallisen tieteen kehittäminen Suomessa, Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä, 2007:23
- [7] IT-alan merkitys yhteiskunnassa ja tutkimus- ja innovaatiotoiminnan kehittäminen, Jyväskylän yliopiston informaatioteknologian tiedekunnan raportti 3.4.2014, https://www.jyu.fi/it/uutiset/tiedekunta/ICT_kehittaminen_08042014.pdf
- [8] LVM, Big datan hyödyntäminen, Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 20/2014, 13.8.2014
- [9] Euroopan digitaalistrategia - Euroopan kasvun vauhdittaminen digitaalisin keinoin, (COM(2012) 784), 18.12.2012
- [10] Euroopan komissio, Euroopan digitaaliagenda, KOM(2010) 245 lopullinen, Bryssel 26.8.2010, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0245:FIN:FI:PDF>
- [11] European Council, 24/25 October 2013 Conclusions, EUCO 169/13, http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/139197.pdf
- [12] Hallitusohjelma, Ratkaisujen Suomi - Neuvottelutulos strategisesta hallitusohjelmasta, 27.5.2015
- [13] Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle, Tuottava ja uudistuva Suomi – Digitaalinen agenda vuosille 2011–2020, Liikenne- ja viestintäministeriö 2010, <http://www.lvm.fi/julkaisu/1225475/tuottava-ja-uudistuva-suomi-digitaalinen-agenda-vuosille-2011-2020>

LIITE 1: Laskennallisten tieteiden tutkimusalat

Laskennallisten tieteiden tutkimusaloja ovat:

1. Numerical Analysis
 - Computationally Efficient Numerical Method
 - Reliable Computing
 - Numerical Modeling in Nano-electronics
2. Optimization, Optimal Control and Shape Optimization
 - Computational Intelligence Optimization
 - Optimal Control, Shape Optimization and Inversion Problems
 - Evolutionary Optimization and Game Strategies
3. Industrial Optimization - Multiobjective Optimization
 - New Interactive Multiobjective Optimization Methods
 - Hybridizing Evolutionary Multiobjective Optimization and Multiple Criteria Decision Making Methods
 - Use of Approximations in Multiobjective Optimization
 - Software Development for Multiobjective Optimization
 - Developing Methods for Computationally Complex Optimization Problems
4. Dynamical Systems
 - Stability
 - Moving Materials

LIITE 2: Data-analyysin ja tilastotieteen verkkokurseja

<https://www.edx.org/course/subject/data-analysis-statistics>)

| Course | Link | Future sessions | Duration (weeks) | Workload (hours/week) | University | Price of certificate |
|--|---|-------------------------------|------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------|
| Data Analysis: Take It to the MAX() | https://www.edx.org/course/data-analysis-take-it-max-delftx-ex101x-0 | January 15, 2016 - Self-Paced | 8 | 4-6 | Delft University of Technology | \$50 |
| Data Analysis: Visualization and Dashboard Design | https://www.edx.org/course/data-analysis-visualization-dashboard-delftx-ex102x | April 2016 | 6 | 4-6 | Delft University of Technology | \$70 |
| Data Analysis: Building Your Own Business Dashboard | https://www.edx.org/course/data-analysis-building-own-business-delftx-ex103x | June 2016 | 6 | 3-5 | Delft University of Technology | \$70 |
| Machine Learning for Data Science and Analytics | https://www.edx.org/course/machine-learning-data-science-analytics-columbiadx-ds102x | January 25, 2016 | 5 | 7-10 | Columbia University | \$99 |
| Enabling Technologies for Data Science and Analytics: The Internet of Things | https://www.edx.org/course/enabling-technologies-data-science-columbiadx-ds103x | March 7, 2016 | 5 | 7-10 | Columbia University | \$149 |
| Statistical Thinking for Data Science and Analytics | https://www.edx.org/course/statistical-thinking-data-science-columbiadx-ds101x | December 14, 2015 | 5 | 7-10 | Columbia University | \$99 |
| Data Analysis for Life Sciences 4: High-Dimensional Data Analysis | https://www.edx.org/course/data-analysis-life-sciences-4-high-dimensional-data-analysis-harvardx-ph525-4x | January 15, 2016 - Self-Paced | 4 | 2-4 | Harvard University | \$50 |

| | | | | | | |
|--|---|-------------------------------|----|------|---------------------------------------|-------|
| Introduction to Python for Data Science | https://www.edx.org/course/introduction-python-data-science-microsoft-dat208x | January 19, 2016 | 4 | 2-4 | Microsoft | \$49 |
| Foundations of Data Analysis - Part 1: Statistics Using R | https://www.edx.org/course/foundations-data-analysis-part-1-utaustinx-ut-7-10x | February 2, 2016 | 6 | 3-6 | University of Texas at Austin | \$49 |
| Introduction to Probability - The Science of Uncertainty | https://www.edx.org/course/introduction-probability-science-mitx-6-041x-1 | February 2, 2016 | 16 | 12 | Massachusetts Institute of Technology | \$99 |
| Career Edge: Business and Data Analysis | https://www.edx.org/course/career-edge-business-data-analysis-fullbridgex-career3x | February 9, 2016 - Self-Paced | 4 | 1-2 | Fullbridge | \$29 |
| Policy Analysis Using Interrupted Time Series | https://www.edx.org/course/policy-analysis-using-interrupted-time-ubcx-itsx-0 | February 9, 2016 | 5 | 6-8 | University of British Columbia | \$395 |
| Knowledge Management and Big Data in Business | https://www.edx.org/course/knowledge-management-big-data-business-hkpolyux-ise101x-0 | February 23, 2016 | 6 | 4-6 | The Hong Kong Polytechnic University | \$50 |
| Implementing Predictive Analytics with Hadoop in Azure HDInsight | https://www.edx.org/course/implementing-predictive-analytics-hadoop-microsoft-dat202-3x | Quarter 1 2016 | 5 | 3-4 | Microsoft | \$50 |
| Data Science and Machine Learning Essentials | https://www.edx.org/course/data-science-machine-learning-essentials-microsoft-dat203x-0 | Self-Paced | 5 | 3-4 | Microsoft | \$49 |
| Big Data in Education | https://www.edx.org/course/big-data-education-teacherscollegex-bde1x | no info | 8 | 6-12 | Teachers College, Columbia University | \$30 |
| Data Science Ethics | https://www.edx.org/course/data-science-ethics-michiganx-ds101x | May 1, 2016 | 5 | 2-3 | University of Michigan | \$49 |
| Introduction to R Pro- | https://www.edx.org/course/introduction-r-programming-microsoft- | Self-Paced | 4 | 2 | Microsoft | \$49 |

| | | | | | | |
|---|---|------------|---------|---------|---|---------|
| gramming | dat204x-0 | | | | | |
| Data Analysis for Life Sciences 1: Statistics and R | https://www.edx.org/course/data-analysis-life-sciences-1-statistics-harvardx-ph525-1x | Self-Paced | 4 | 2-4 | Harvard University | \$50 |
| Data Analysis for Life Sciences 2: Introduction to Linear Models and Matrix Algebra | https://www.edx.org/course/data-analysis-life-sciences-2-harvardx-ph525-2x Massachusetts Institute of Technology | Self-Paced | 4 | 2-4 | Harvard University | \$50 |
| Predictive Analytics | https://www.edx.org/course/predictive-analytics-iimbx-qm901x | no info | 7 | 4-5 | Indian Institute of Management, Bangalore | \$25 |
| Analyzing and Visualizing Data with Excel | https://www.edx.org/course/analyzing-visualizing-data-excel-microsoft-dat206x | Self-Paced | 4 | 2-4 | Microsoft | \$49 |
| Data Analysis for Life Sciences 3: Statistical Inference and Modeling for High-throughput Experiments | https://www.edx.org/course/data-analysis-life-sciences-3-harvardx-ph525-3x | Self-Paced | 4 | 2-4 | Harvard University | \$50 |
| Explore Statistics with R | https://www.edx.org/course/explore-statistics-r-kix-kiexplorx-0 | Self-Paced | no info | 8 | Karolinska Institutet | no info |
| The Analytics Edge | https://www.edx.org/course/analytics-edge-mitx-15-071x-0 | no info | 12 | 10-15 | Massachusetts Institute of Technology | no info |
| Introduction to Statistics: Inference | https://www.edx.org/course/introduction-statistics-inference-uc-berkeleyx-stat2-3x | no info | 5 | no info | University of California, Berkeley | no info |
| Introduction to Statistics: Probability | https://www.edx.org/course/introduction-statistics-probability-uc-berkeleyx-stat2-2x | no info | 5 | no info | University of California, Berkeley | no info |

| | | | | | | |
|--|---|---------|---|---------|------------------------------------|---------|
| Introduction to Statistics: Descriptive Statistics | https://www.edx.org/course/introduction-statistics-descriptive-uc-berkeleyx-stat2-1x | no info | 5 | no info | University of California, Berkeley | no info |
| Data, Analytics and Learning | https://www.edx.org/course/data-analytics-learning-utarlingtonx-link5-10x | no info | 9 | 5 | University of Texas at Arlington | no info |

Verkkokurssit Courseran ja EdX: n kurssitarjonnasta tuottavat profiloinnin mukaisesti 4-20 op.

Liite 3 Sovelletun matematiikan maisteriohjelma

Sovelletun matematiikan avulla pyritään ratkaisemaan tosielämän ongelmia. Sovelletun matematiikan tavoitteena on mallintaa erilaisia ilmiöitä, kuvailla niitä ja yrittää ymmärtää niitä. Sovelletun matematiikan opiskelussa yhdistyy tieteellisen laskennan käsitteet ja menetelmät, joita käytetään kysymyksiin, jotka ilmentyvät matematiikan ja muiden tieteenalojen rajapinnoissa. Jyväskylän yliopistossa opinnoissa keskitytään sellaisiin osa-alueisiin, kuten funktionaalianalyysi, mitta- ja integraaliteoria, kompleksianalyysi, numeerinen analyysi, optimointi ja simulointi.

Maisteriksi valmistuva opiskelija hallitsee laaja-alaisesti sovelletun matematiikan ja tieteellisen laskennan käsitteitä ja menetelmiä, joita käytetään itsenäisen ajattelun ja tutkimuksen perustana. Hän myös ymmärtää matematiikan ja lähitieteenalojen rajapintojen tietoihin liittyviä laskennallisia kysymyksiä ja tarkastelee niitä ja uutta tietoa kriittisesti.

| | |
|---|-------------------------------|
| <p>Pääaineen pakolliset opinnot, 44 op + 35 op</p> <ul style="list-style-type: none"> • MATS110 Mitta- ja integraaliteoria, 9 op • MATS120 Kompleksianalyysi, 10 op • MATS220 Funktionaalianalyysi, 10 op • TIES594 ODY-ratkaisijat, 5 op • TIES481 Simulointi, 5 op • TIES483 Epälineaarinen optimointi, 5 op • TIES501 Pro gradu -seminaari, 5 op • TIES502 Pro gradu -tutkielma, 30 op • TIES503 Kypsyysnäyte, 0 op <p>Syventäviä opintoja, ko. alaan/teemaan liittyen 1-30 op</p> <p>Valitaan seuraavista:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MATS340 Osittaisdifferentiaaliyhtälöt, 9 op • MATS348 Inversio-ongelmat, 9 op • MATS255 Markov-prosessit, 4 op • MATS262 Todennäköisyysteoria 1, 5 op • MATS442 Stokastinen simulointi, 4 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 | <p>Vähintään 80 op</p> |
|---|-------------------------------|

| | |
|---|-----------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • TIES595 Numerical Analysis of PDEs, 5 op • TIES588 Monitavoiteoptimointi, 5 op • TIES583 Optimoinnin jatkokurssi, 5 op | |
| <p>Projektiopinnot/projektityö</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sovellusprojekti, 10 op tai • Sovelletun matematiikan tutkimusprojekti, 10–15 op | 10–15 op |
| <p>Valinnaiset opinnot</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valinnaisiin opintoihin voi sisällyttää johtamista ja yrittäjyyttä, sekä kieli- ja viestintä-opintoja (englanti, ulkomaalaistaustaisille myös ”suomi vieraana kielenä” -kurssi tms. opintojakso). | 25–30 op |
| Tutkinto yhteensä | 120 op |

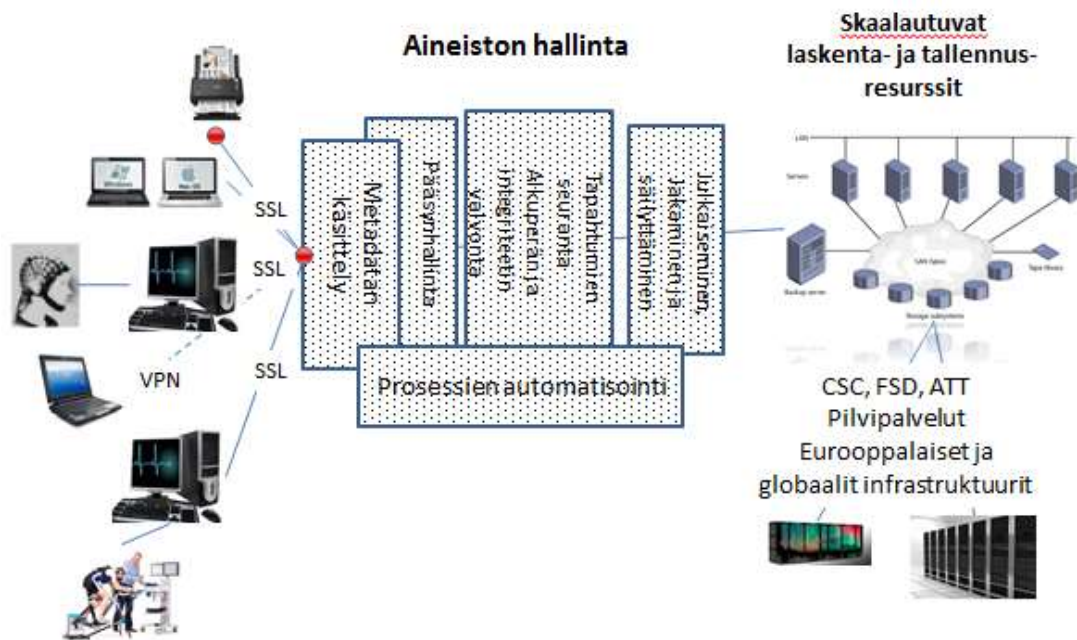
Liite 4 Aineistointensiivisen tutkimuksen vaatimukset IT-infrastruktuurille

1. IT-infrastruktuurin aineistointensiivisen tutkimuksen mahdollistajana

Nykyaikaisen aineistointensiivisen tutkimuksen menetelmien laaja käyttöönotto edellyttää uudenlaista lähestymistä tutkimuksen tukeen. Big data ei ole mitä tahansa dataa missä tahansa tallennusvälineissä, vaan hallitusti ja tietoturvallisesti käyttöönotettavaa ja analysoitavissa olevaa aineistoa. Analyysimenetelmät saattavat edellyttää laskentakapasiteettia, että tutkimusryhmän omien resurssien puitteissa sen tuottaminen ei ole järkevää. Nykytilanteessa tutkimukselle on tarjottu lähinnä peruspalveluja ja tutkimusta spesifisti tukevat palvelut on jätetty tutkijoiden ja tutkimusryhmien omalle vastuulle. Aalto yliopistossa tehdyn diplomityön mukaan dataintensiivinen tutkimus tarvitsee ympäristön, joka yhdistää aineiston hallinnan, jakamisen ja julkaisemisen.¹ Aineistointensiivisen tutkimuksen osaamis- ja kapasiteettivaatimukset ovat niin kovat, että tutkimuksen IT-tuessa keskitettyjen palvelujen lisäämisen tarve on ilmeinen. Samalla voidaan tarjota kustannustehokkaasti peruspalvelut (tietoturva, varmuuskopiointi yms.) tutkijoille niin, ettei jokaisen tutkimusryhmän tarvitse käyttää resurssejaan omien palvelujen tuottamiseen.

Tutkimuksen IT-palveluilta edellytetään sekä uudenlaisten mahdollistavien palvelujen että kustannuksia säästävien ja tasoa nostavien peruspalvelujen tuottamista. Samalla on löydettävä tasapaino tutkimusryhmän tuottamien, keskitetysti yliopiston IT-palvelujen tuottamien ja ulkopuolelta hankittujen palvelujen välillä. Tutkimusryhmän ja yksittäisen tutkijan näkökulmasta sekä omien että ulkoa hankittujen tallennus- ja laskentapalvelujen tulee näyttäytyä mahdollisimman läpinäkyvänä kokonaisuutena käyttöliittymään saakka. Kuva 14 hahmottaa tavoitteena olevaa kokonaisuutta.

¹ Nurmela, Miro: Aalto Data Repository. Research data management, sharing and publishing in the world of data intensive science. Aalto University School of Science: Degree Programme in Computer Science and Engineering 2015.



KUVA 15 Tutkimuksen tiedonhallinta tutkijan kokonaispalveluna

2. Tutkimuksen aineistoinfrastruktuuri

2.1 Aineistojen tuottaminen

Aineistointensiivisessä tutkimuksessa lähtökohtana voi olla esimerkiksi

- Olemassa oleva rakenteinen rekisteridata tai julkaistu/tutkimusryhmässä jaettu aineisto
- Rakenteeton tekstimassa
- Dokumentti-/kuva-/videoaineisto
- Tutkimuslaitteiden tuottama datavuo
- Kerättävä kyselyaineisto

Aineiston keruu tai käyttöönotto on useimmiten tutkimusryhmien tai tutkijoiden omalla vastuulla. Keskitettyä palvelua tarjotaan lähinnä aineistojen digitointiin ja verkkokyselyjen toteuttamiseen (Jyväskylän yliopistossa Webropol) tarjotaan keskitettyjä palveluja.

2.2 Aineistojen hallinta

Aineistointensiivistä tutkimusta tukeva tallennusinfrastruktuurin keskeisiä ominaisuuksia ovat kustannustehokas skaalautuvuus suurin datamääriin sekä aineiston hallittavuus. Tavanomaisissa tallennusjärjestelmissä (block storage) nämä ominaisuudet ovat hankalasti toteutettavissa ilman erityisjärjestelyjä. Sen sijaan massiivisille, kumuloituville tutkimusaineistoille soveltuu erityisen hyvin oliopohjainen tallennusjärjestelmä (object-based storage), joka skaalutuu lähes rajattomasti ja jossa hallinta perustuu

avainarvon ja metatiedon yhdistelmään.² Skaalautuva tallennus on erityisen tärkeää nykyaikaisten analyysimenetelmien käytön kannalta siksi, että kumuloituvat aineistot voidaan pitää aktiivisessa tilassa kustannustehokkaasti.

Kehittyneissä tutkimusaineistoinfrastruktuureissa tutkimusaineiston hallintaohjelmisto (Jyväskylän yliopistossa iRODS³) on integroitu järjestelmään.⁴ Aineistohallintaohjelmistolla voidaan toteuttaa myös automatisoituja tallennus- ja käsittelyprosesseja (esim. anonymisointi sensitiivisen datan käsittelyssä), mikä on tärkeää suurten aineistomäärien käsittelyssä. Hallintaohjelmistolla voidaan toteuttaa myös muita hallinnan kannalta tärkeitä tehtäviä kuten pääsynhallinta, aineiston integriteetin ja alkuperän valvonta sekä lokitietiedon käsittelyyn perustuva auditoitavuus.⁵

3. Alueellinen tutkimusinfrastruktuuri

Aineistointensiivisen tutkimuksen ”kyberinfrastruktuuri” on sekä investointina että tarvittavan osaamisen kannalta niin vaativa, että sen toteutus täytyy tehdä yhteistyössä. Kansalliset palvelut, CSC ja aineistotyyppistä riippuen myös eurooppalaiset infrastruktuurit on syytä käyttää hyväksi mahdollisimman joustavasti ja läpinäkyvästi. Jyväskylän yliopistossa on tehty tähän liittyvää käyttöliittymä- ja palvelukehitystä.⁶ Alueellisessa yhteistyössä on Keski-Suomen keskussairaala, joka paitsi tuottaa potilastietojärjestelmien ja tutkimuslaitteiden kautta dataa, on myös tutkimusorientoitunut sairaalayksikkö. Sairaalan lääketieteellisen ja kliinisen osaamisen yhdistäminen mahdollistavassa infrastruktuurissa avaa laskennalliseen/mallinnus-/optimointi-/simulointiosaamiseen uusia tutkimusmahdollisuuksia.

Kun alueelliseen yhteistyöhön lisätään muut toimijat, kuten KIHU, Likes, NMI ja JAMK sekä yhteistyökumppanina myös KYS, voidaan perustellusti puhua terveys- ja hyvinvointitutkimuksen osaamiskeskittymästä, jota palvelemaan dedikoitu tutkimusinfrastruktuuri tulisi rakentaa. Keskeinen osa infrastruktuuria ovat nopeat (n*10 mb) ja suojatut tietoliikenneyhteydet osapuolten välillä niin, että aineiston käsittely ja analyysi voi tapahtua reaaliaikaisesti ja tietoturvallisesti. Kuva 15 havainnollistaa alueellisen tutkimusinfrastruktuurin kokonaisuutta.

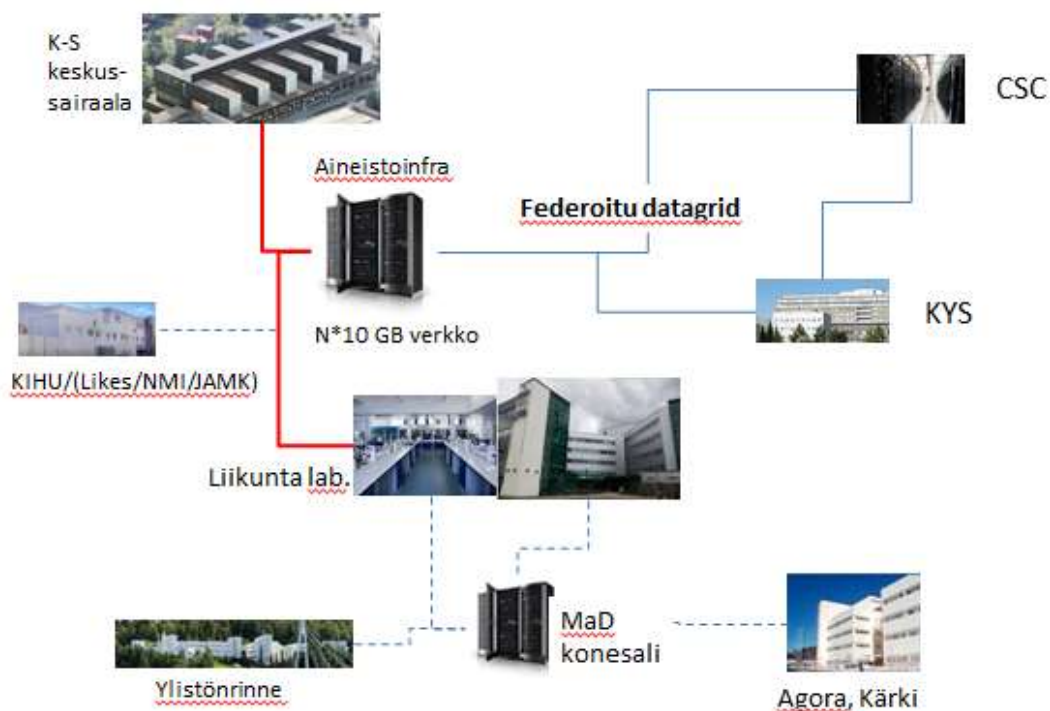
² Yadin Porter de León and Tony Piscopo: Object Storage versus Block Storage: Understanding the Technology Differences. Druva.com 2014. <http://www.druva.com/blog/object-storage-versus-block-storage-understanding-technology-differences/>

³ ks. <http://irods.org/>

⁴ Cornell, Vic: iRODS in complying with Public Research Policy. iRODS user meeting 2015. <https://irods.org/wp-content/uploads/2015/06/Cornell-iRODS-PublicResearchPolicy.pdf>

⁵ Esimerkki tutkimuksen ”kyberinfrastruktuurista” iDASH-hanke: <https://idash.ucsd.edu/idash-leading-way-healthier-world>

⁶ Ilari Korhonen and Miika Nurminen. Development of a native crossplatform iRODS GUI client. pages 21–28, 2015. URL <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ju:201509213186>.



KUVA 16 Alueellinen tutkimusinfrastruktuuri

Merkittävä alueellisen infrastruktuurin tutkimusta mahdollistava ja kustannuksia säästävä etu on tutkimuslaitteiden, laskenta- ja mallinnuspalvelujen sekä ohjelmistojen yhteiskäyttö. Myösn esimerkiksi MEG-laboratorion kliinisestä käytöstä on sovittu KYSin kanssa. CSC:n laskenta- ja tallennuspalvelut voidaan integroida kokonaisuuteen federoidussa datagridissä kertakirjautumisella tutkijan käyttöliittymän tasolle saakka.

4. Aineistojen julkaiseminen, jakaminen ja säilyttäminen

Jyväskylän yliopistolla on jo nyt useita vaihtoehtoja tutkimusaineistojen julkaisemiseen

- JyX: dokumenttikokoelmat, digitoidut kartta- ja kuva-aineistot
- Dataverse: erityisesti tilastollisten aineistojen julkaiseminen
- kansalliset julkaisualustat kuten Tietoarkisto, IDA ja avoindata.fi

Pitkäaikaissäilytykseen on tulossa kansallisen digitaalisen kirjaston (KDK) tutkimusaineisto-PAS. Pitkäaikaissäilytyksen vaatimaa aineiston kuvailua ja paketoitua on testattu Jyväskylän yliopiston kiihdytinlaboratorion ja CSC:n pilotissa.

Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja
No. 22/2016

ISBN 978-951-39-6619-5 (verkkokj.)
ISSN 2323-5004