

Kokemuksia matematiikan hyödyntämisestä teollisuudessa

Erkki Heikkola ja Pasi Tarvainen

Numerola Oy, Jyväskylä

Johdantoa

Matemaattiset ja laskennalliset menetelmät ovat keskeinen työkalu teollisuuden tutkimus- ja kehitystoiminnassa, ja niiden merkitys on jatkuvassa kasvussa. Tietokoneiden laskentakapasiteetin ja ohjelmistotyökalujen kehitys on mahdollistanut aiempaa edistyneempien matemaattisten menetelmien ja algoritmien hyödyntämisen eri teollisuusalojen sovelluksissa. Matematiikan ja siihen perustuvan tietokonelaskennan menetelmiä ja teollisia/kaupallisia sovelluksia käsittelevä ala, teollisuusmatematiikka, alkaa olla jo vakiintunut käsite.

Viime vuosina on tehty monia laajoja selvityksiä teollisuusmatematiikan ja laskennallisten tieteiden kehittämiseksi. Niiden lähtökohtana on ollut laskennallisten menetelmien kasvava tarve yhteiskunnan eri aloilla sekä havaitut puutteet alan koulutuksessa ja tieteellisen tietämyksen välittymisessä. Pää tavoitteita on ollut hakea keinoja alan koulutuksen, tutkimuksen ja teollisuusyhteistyön kehittämiseksi. Esimerkiksi OECD julkaisi vuonna 2008 raportin ”Mathematics in Industry”, jossa käsitellään teollisuusmatematiikan alaa ja sen kehitysnäkymiä Euroopassa [1]. Vuoden 2009 alkupuolella taas julkaistiin raportti Yhdysvalloissa tehdystä alan kansainvälisestä selvityksestä [2]. Myös Suomessa opetusministeriön asettama työryhmä on tehnyt selvityksen laskennallisten tieteiden kansallisesta kehittämisestä [3]. Näiden raporttien pohjalta saa kattavan kuvan alan näkymistä ja kehitystarpeista.

Osallistuimme elokuussa 2009 Euroopan tiedesäätiön rahoittamaan workshopiin Wrocławissa Puolassa. Workshop liittyi hankkeeseen ”Forward Look on Mathematics and Industry”, ja sen tarkoituksena oli koota yliopistojen ja yritysten näkemyksiä ja kokemuksia teollisuusmatematiikan koulutuksen kehittämiseksi Euroopassa. Tämän artikkelin sisältö perustuu siellä pitämäämme esitelmään. Lähes saman esityksen pidimme myös lokakuussa Helsingin yliopiston matematiikan laitoksella järjestetyssä teollisuusmatematiikan päivässä sekä marraskuussa Tampereen teknillisellä yliopistolla järjestetyssä laskennallisten tieteiden seminaarissa.

Laskennallisen teknologian palvelut

Numerola Oy on laskennallisten tieteiden asiantuntijayritys. Tarjoamme matemaattiseen mallinnukseen, optimointiin ja laskennallisiin menetelmiin perustuvia konsultointi- ja ohjelmistokehityspalveluja. Yrityksen palveluksessa on tällä hetkellä 17 matematiikan, ohjelmistokehityksen ja insinööritieteiden asiantuntijaa, joista 7 on suorittanut tohtorin tutkinnon omalla alallaan. Suuri osa työntekijöistä on opiskellut Jyväskylän yliopiston matematiikan laitoksella erikoistuen numeerisen analyysin ja tieteellisen laskennan menetelmiin. Nykyinen palvelukonseptimme on toteutettu yhteistyössä kuopiolaisen Kuava Oy:n kanssa, ja kutsumme kokonaisuutta Laskennallisen teknologian palveluiksi.

Olemme jakaneet laskennallisen teknologian palveluiden toiminnot ja osaamisen kolmeen osa-alueeseen: Mallinnus ja optimointi, tekninen laskenta ja ohjelmistoratkaisut.

Mallinnus ja optimointi sisältää ilmiöiden, laitteiden ja prosessien matemaattisen mallinnuksen joko luonnonlakeihin perustuvien yhtälöiden tai empiiristen mittaustulosten perusteella. Muodostettuja malleja käytetään edelleen apuvälineinä prosessien simuloinnissa, ohjauksessa ja optimoinnissa. Mallinnukseen ja optimointiin perustuvassa suunnittelussa suunnittelu-työkalut automatisoidaan yhdistämällä matemaattiset menetelmät, luonnonlait ja tuotteen teknologiset ominaisuudet.

Teknisessä laskennassa laitteiden ja prosessien toimintaa tarkastellaan mallinnusohjelmistoilla. Voimme esimerkiksi arvioida laitteiden virtausteknisiä toimivuutta, mallintaa akustisia ja sähkömagneettisia aaltoja ja tehdä suurien mittausaineistojen tai signaalien analyysia. Teknisten laskentaohjelmistojen avulla voimme tarjota nopeita ongelmanratkaisuja teollisuuden tarpeisiin.

Laskennallinen teknologia on viime vuosina edennyt yhä selvemmin monimutkaisista simuloinnin yleisohjelmistoista kohti räätälöityjä toimiala- ja sovelluskohtaisia ratkaisuja. Tällä tavoin simuloinneista saadaan tavoiteltu hyöty nopeasti ilman yleisohjelmistojen edellyttämää erityisosaamista ja henkilöstöresursseja. Ohjelmistoratkaisuissa kehitämme laskennallisiin malleihin ja menetelmiin perustuvia räätälöityjä ohjelmistotuotteita, joita asiakas voi hyödyntää mm. tuotekehityksessä, tuotannon suunnittelussa, koetoiminnan tehostamisessa tai myynnin apuvälineenä. Nämä voivat olla esimerkiksi tuotesuunnittelun tueksi toteutetut simulaattorit tai olemassaolevaan järjestelmään lisäominaisuuksia tuovat liitännäisohjelmistot.

Palvelukokonaisuuden tavoitteena on tuottaa mallinnus- ja simulointityökaluja laajasti yritysten erilaisiin liiketoimintaprosesseihin sekä tuotteiden elinkaaren eri vaiheisiin.

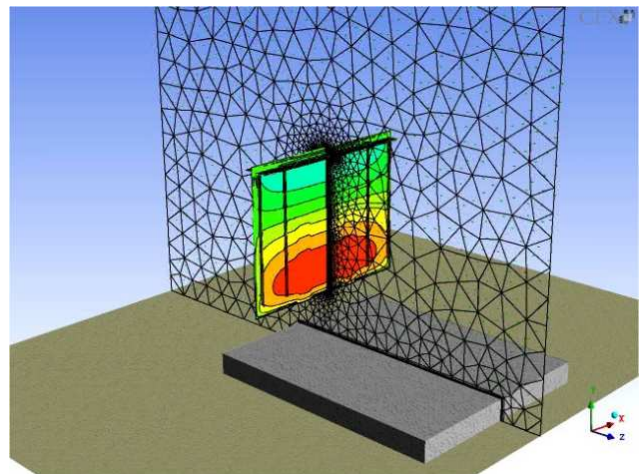
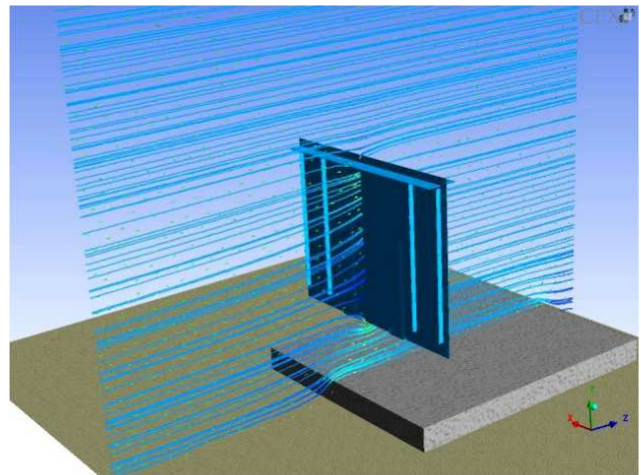
Esimerkkejä teollisuusprojekteista

Esittelemme tässä muutaman esimerkin toteuttamistamme teollisuusmatematiikkaa hyödyntävistä projekteista. Tarkoituksena on havainnollistaa, miten matematiikkaa voidaan hyödyntää monipuolisesti yritysten liiketoiminnassa, ei pelkästään tuotesuunnittelussa.

Aaltovoimala

Numerola on kehittänyt laskennallista teknologiaa, jolla voidaan simuloida aaltovoimalajärjestelmää.

WaveRoller-aaltovoimala on suomalaisen AW-Energy Oy:n kehittämä pohja-aaltoa hyödyntävä voimalakonsepti. Laite koostuu pohja-aallon kaappaavasta ”siivestä” ja siihen hydraulisynteristä kautta kytkettyä hydrauligeneraattorista. Numerolan kehittämä simulointimalli perustuu Ansys CFX:llä ja Numerolan Numerrin-ohjelmistolla toteutettuun ajasta riippuvaan virtaus-rakenne-malliin. Lisäksi kehitystyössä hyödynnetään Numerolan data-analyysiin kehittämää Datain-ohjelmistoa. Simulointimallin avulla voidaan mm. arvioida eri konstruktioiden tehontuottoa ja optimoida koko systeemin säätöä.



Kuva 1: Kuvassa on visualisoitu tietyllä ajanhetkellä virtauksen virtaviivoja ja laskentaverkkoa yhdellä poikkitasolla sekä painetta siiven pinnalla.

Mallin lisäksi Numerola on toteuttanut AW-Energyille simulaattorin meren pohja-aaltoa energian tuotannossa hyödyntävän siiven toiminnan analysointiin. Simulaattori

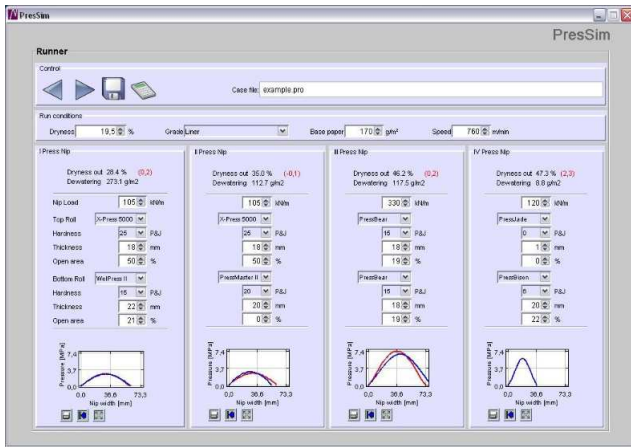
- mahdollistaa aaltovoimalan erilaisten siipikonstruktioiden toiminnan analysoinnin annetuissa meriolo-suhteissa,
- sisältää helppokäyttöisen toiminnon eri siipikonstruktioiden vertailuun,

- sisältää monipuolisen tulosten visualisoinnin.

Ohjelmisto on käytössä AW-Energyn tuotekehitysyksikössä Helsingissä.

Paperikonesimulaattorit

Numerola on toteuttanut Metso Paper Oy:n Service-liiketoimintayksikölle PresSim-simulaattorin paperikoneen puristinkonstruktioiden tarkasteluun. Ohjelmisto sisältää monipuolisia mallinnukseen ja simulointiin perustuvia ominaisuuksia kuten eri puristinkonseptien tarkka ja havainnollinen vertailu ja käyttökohteen mukainen optimointi. Simulaattori on toiminut Metso Paperin markkinoinnin tukena, ja sen avulla on voitu tarjota entistä paremmin sekä asiakasta että Metso Paperia hyödyttäviä ratkaisuja.



Kuva 2: Näkymä PresSim-simulaattorista.

Paperikoneiden laadunvalvonnan tueksi Numerola on toteuttanut Metso Paperille säätöjärjestelmään integroidun optimointiohjelmiston. Ohjelmiston avulla useaa paperikoneen kontrollisuureta voidaan säätää parhaan laaturompmissin ja toimintaikkunan löytämiseksi. Ohjelmisto on osa paperikoneen jälkikäsitteilyyksikön automaattista säätöjärjestelmää, ja se on otettu käyttöön Metso Paperin konetoimitusten yhteydessä mm. Skandinaviassa ja Kanadassa.

Datoin-ohjelmisto

Esimerkki sovelluskohteesta tai asiakkaasta riippumattomasta työkalusta on kehittämämme Datoin-ohjelmisto mittausaineistojen analysointiin. Tavoitteena on ollut toteuttaa helppokäyttöinen työkalu, jolla saa nopeasti selkeän kokonaiskuvan aineistosta. Dataimella voi luoda erilaisia aineistoon perustuvia regressiomalleja ja tehdä malleihin perustuvaa monitavoitteista optimointia. Työkalu on suunnattu erityisesti henkilöille, jotka työskentelevät usein mittausaineistojen parissa, mutta joilla ei ole osaamista tai aikaa perehtyä data-analyysin järeämpiin yleisohjelmistoihin.

Matematiikka ja laskennallinen teknologia teollisuudessa

Matematiikka ja laskennalliset menetelmät tarjoavat monia mahdollisuuksia tukea ja edistää teollista toimintaa. Mallinnuksen avulla voidaan esimerkiksi

- vähentää kalliiden koejärjestelyjen ja prototyyppien tarvetta,
- havaita ja korjata suunnitteluvirheet aikaisessa vaiheessa,
- parantaa koejärjestelyjen laatua ja tehostaa tulosten analysointia,
- optimoida tuotteen ominaisuuksia ja testata uusia ideoita,
- luoda työkaluja markkinoinnin, koulutuksen ja laadunvalvonnan tueksi.

Mallinnus- ja simulointimenetelmien käyttö teollisuudessa on jatkuvassa kasvussa, mutta ne eivät mielestämme ole vielä vakiinnuttaneet asemaansa kaikilla teollisuuden aloilla. Näemme matemaattisen osaamisen hyödyntämisellä vielä suuret kasvun mahdollisuudet teollisuudessa. Menetelmien ja nykyään tarjolla olevien työkalujen soveltaminen vaatii korkeaa asiantuntemusta, erityisosaamista ja resursseja. Suurilla teollisuusyrityksillä on varaa palkata teollisuusmatematiikan ja teknisen laskennan asiantuntijoita, mutta pienemmille yrityksille tämä on usein mahdotonta. Myös simuloinnin integrointi yritysten tuoteprosessin tehokkaaksi työkaluksi on vielä vajavaisesti toimivaa, kuten on todettu VTT:n tekemässä Digitaalinen tuoteprosessi -tutkimusohjelman selvitysraportissa [4].

Yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa on paljon osaamista, joka kuitenkin välittyy huonosti teollisuuteen. Akateemiset julkaisut ja tutkimukset harvoin vastaavat sellaisenaan yritysten tarpeisiin. Ne edustavat alan viimeisintä osaamista, jota harvat osaavat hyödyntää tai ainakaan tehdä sen perusteella kannattavaa liiketoimintaa. Paremmin teollisuudessa hyödynnettävissä olevat perinteisemmät menetelmät taas eivät ole akateemisen tutkimuksen kannalta mielenkiintoisia. Toisaalta teollisuudessa puuttuu osaamista muotoilla ongelmia matemaattiseen muotoon ja esittää niitä tarpeeksi täsmällisesti akateemisen tutkimuksen pohjaksi. Teollisuuden ja yliopistojen suoraa yhteistyötä matematiikan alalla vaikeuttavat erilaiset näkökulmat, tavoitteet ja aikataulut.

Yliopistojen ja teollisuuden välille tarvittaisiin eräänlaisia välittäjiä, jotka ymmärtäisivät molempien osapuolien tarpeita ja edistäisivät vuoropuhelua. Tämä tarve on mainittu esim. OECD:n raportissa. Näkemyksemme mukaan Numerolan kaltaiset asiantuntijayritykset osaltaan toimivat tällaisina välittäjinä. Kokemus

tutkimustyöstä ja sen myötä saavutettu akateeminen osaaminen auttavat työskentelemään yliopistojen kanssa ja hyödyntämään edistyneitä matemaattisia tekniikoita teollisten ongelmien ratkaisussa. Lisäksi palveluyritykset tuntevat teollisuuden sovellusaloja ja osaavat suodattaa akateemisesta tiedosta teollisuudelle olennaista tietoa ja jalostamaan sen ymmärrettävään muotoon. Teollisuusprojekteihin liittyy paljon työvaiheita, jotka eivät kuulu yliopistojen toimenkuvaan kuten palvelujen markkinointi, sovelluskehitys, dokumentointi, käyttötuki, jne. Tästä syystä olisi tärkeää, että akateemisen osaamisen ympärille syntyisi liiketoimintaa, joka välittää tehokkaasti osaamista teollisuuteen. Alan palvelutarjonnan myötä myös pienet yritykset, joilla ei ole mahdollisuutta sitoa omaa henkilöstöä matemaattisiin tehtäviin, voivat hyödyntää matemaattista osaamista.

Matematiikan teollisia sovelluksia kehittäviä projekteja vaivaa usein tehottomuus. Ala on uusi ja sen mahdollisuuksia ei teollisuudessa laajasti vielä tunneta. Projektien tavoitteita ei osata tarpeeksi täsmällisesti määrittellä ja odotukset matematiikan mahdollisuuksista ovat joskus epärealistisia. Ehkä myös matematiikan osaajien puolelta luvataan enemmän kuin mihin pystytään. Epäonnistumisten myötä motivaatio mallinnustoiminnan hyödyntämiseen ja kehittämiseen helposti katoaa, joten projektien aiempaa tarkempaan suunnitteluun ja tavoitteiden ymmärrettävyyteen pitäisi kiinnittää huomiota. Teollisuusmatematiikan projektien pitäisi tarjota selkeitä vastauksia hyvin määriteltyihin kysymyksiin.

Teollisuusmatematiikan pätevyysvaatimuksia

Teollisuusmatemaattisten projektien toteutuksessa harvoin riittää yhden henkilön tai osa-alueen osaaminen, vaan tarvitaan useiden eri alojen osaajien yhteistyötä. Laskennalliset tieteet on tieteiden välinen ala, jossa tarvitaan matematiikan lisäksi mm. luonnontieteiden, tilastotieteen, ohjelmistotekniikan ja insinöritieteiden osaamista. Tarkemmat osaamisvaatimukset riippuvat aina tarkasteltavasta sovellusalueesta. Mutta matematiikan ja tietokonealaskennan menetelmien osaaminen on keskeistä teollisuusmatematiikan menestykselle soveltamiselle. Yksi perusvaatimus, josta ei kannata tinkiä, on perusteellinen ja laadukas peruskoulutus omalla alalla. Esimerkiksi hyvää luonnontieteellistä tai matemaattista peruskoulutusta on helppoa täydentää teollisuussovellusten vaatimalla lisäosaamisella, mutta peruskoulutuksen puutteita on vaikeaa korjata teollisuusprojektien yhteydessä.

Teollisuusmatematiikassa on joitakin aloja tai teemoja, joiden merkitys on viime vuosina huomattavasti kasvanut. Koulutuksen ei ole syytä seurata jokaista viimeisintä trendiä, mutta kasvavat tarpeet esimerkiksi data-analyysin ja peliteollisuuden alalla olisi hyvä huomioi-

da myös teollisuusmatematiikan opetuksessa. Näin on monessa yliopistossa kiitettävästi tehtykin.

Ohjelmistokehityksen tarpeita on tärkeää ymmärtää myös muiden kuin ohjelmistokehittäjien. Matemaattisten mallien ja menetelmien laajamittainen leviäminen teolliseen käyttöön edellyttää, että ne on liitetty helppokäyttöisiin simulaattoreihin ja käyttöliittymiin. Pelkkä ansiokas mallinnus ei riitä. Sovelluskehityksen on tärkeää tuottaa käytettäviä, muunneltavia ja ylläpidettäviä kokonaisuuksia.

Monissa alan asiantuntijayrityksissä kuten Numerolas ja Kuavassa työntekijöiden koulutustaso on korkea, ja monilla on paljon kokemusta tieteellisestä tutkimustyöstä. Tutkijan tausta ei ole välttämätöntä, mutta usein sen myötä kehittyvät taidot ja ominaisuudet ovat hyödyllisiä. Esimerkiksi kyky hakea uutta tieteellistä tietoa alan matemaattisista julkaisuista on tärkeää. Teollisuuden ongelmat ovat usein erittäin haastavia, ja projektien alkuvaiheessa ei ole aina selvää, pystytäänkö asetettuihin kysymyksiin vastaamaan ja ratkaisuja löytämään. Tarvitaan siis usein tietynlaista tutkijan rohkeutta perehtyä itselle uusiin asioihin ja näkemystä siitä, mistä olennainen tieto voisi löytyä.

Teollisuudessa matematiikan soveltaminen on yleensä ongelmien ratkaisua jollakin tavalla ja harvemmin uuden tieteellisen tiedon tuottamista. Projekteja rajoittavat lyhytjänteiset aikataulut, rahalliset resurssit ja tiukat tavoitemääritykset. Perimmäisenä tavoitteena on yleensä tuottaa rahallista hyötyä yritykselle. Tätä voi olla esimerkiksi ajan tai raaka-aineiden säästyminen, kilpailuedun saavuttaminen tai virheiden välttäminen. Teollisuusmatematiikan koulutuksen olisi hyvä antaa perustietoja projektinhallinnasta ja liiketoiminnasta, koska nämä ovat tärkeitä tekijöitä myös matemaattisen osaamisen kaupallistamisessa. Myös erilaisten yleisten taitojen kuten kirjallinen raportointi, suullinen esiintyminen sekä kielitaito merkitystä ei voi väheksyä, kun matematiikan ja teollisuuden yhteistyötä pyritään kehittämään. Näiden osaamista voisi parantaa esimerkiksi sopivilla matematiikan opetusmenetelmillä.

Viitteitä

1. OECD Global Science Forum, Report on Mathematics in Industry, 2008.
2. WTEC Panel Report on International Assessment of Research and Development in Simulation-Based Engineering and Science, 2009.
3. Laskennallisen tieteen kehittäminen Suomessa, Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2007:23.
4. O. Ventä, J. Takalo, P. Parviainen, Digitaalinen tuoteprosessi -selvitysraportti, VTT, 2007.