

Perusteet kuntoon – apuneuvoja matematiikan opiskelun aloittamiseen

Kirsi Silius, Thumas Miilumäki ja Seppo Pohjolainen

(etunimi.sukunimi@tut.fi)

*Tampereen teknillinen yliopisto
Matematiikan laitos ja Hypermedialaboratorio
PL 553, 33101 Tampere*

Antti Rasila, Pekka Alestalo, Matti Harjula, Jarmo Malinen ja Esko Valkeila

(etunimi.sukunimi@tkk.fi)

*Teknillinen korkeakoulu
Matematiikan ja systeemianalyysin laitos
PL 1100, 02015 TKK*

Tiivistelmä

Artikkelissa käsitellään Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) ja Teknillisen korkeakoulun (TKK) aloittamia matematiikan perusopetuksen kehittämistoimenpiteitä sekä niitä tukevaa tutkimusta, jonka fokuksena on löytää sellaisia opintomenestystä selittäviä tekijöitä, joiden avulla matematiikan opetuksen järjestelyjä, sisältöä ja oppilaitosten opiskelijavalintaa voitaisiin kehittää. Tutkimus pohjautuu erityisesti perustaitotestin avulla saatavaan tietoon opintojaan aloittavien opiskelijoiden matematiikan lähtötasosta sekä automatisoituun monivuotiseen tilastolliseen dataan, jota on kerätty erilaisista opiskelijoiden suoritteista matematiikan perusopetuksen, insinöörimatematiikan, kursseilla molemmissa oppilaitoksissa. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että digitaalisella ja interaktiivisella opetusteknologialla on selkeä rooli insinöörimatematiikan opetuksen uudistamisessa. Matematiikan opetusta tukevasta tietotekniikan käytöstä on saatu rohkaisevia kokemuksia sekä TKK:lla että TTY:lla.

Avainsanat: matematiikka, opetuksen kehittäminen, oppimisen tukeminen, taitotesti, TVT:n opetuskäyttö, tietokoneavusteinen harjoittelu

1. Johdanto

Modernin, teknillistyneen yhteiskunnan perustoiminnot edellyttävät monimutkaisten syy- ja seuraussuhteiden hallintaa päätöksenteon kaikilla tasoilla. Sofistikoituneet matemaattiset mallit ovat siksi tarpeellisia tekniikan ja talouden alan asiantuntijoiden perustyökaluja. Kansainvälisen kilpailukyvyyn vahvistamiseksi on opiskelijoidenkin – tulevien asiantuntijoiden – omaksuttava aiempaa paremmin matemaattisia apuvälineitä ja ajattelutapoja. Julkisuudessa onkin käyty vilkasta keskustelua suomalaisen koulumatematiikan osaamisen todellisesta tasosta. Koululaisten menestys kansainvälisessä PISA-vertailussa on ollut hyvä, mutta esimerkiksi yli 200 yliopisto-opettajaa on ilmaissut julkisuudessa huolestumisensa lukiomatematiikan, erityisesti algebran perusrutiinien osaamisen heikkenemisestä (Solmu 1/2005). Nämä matemaattiset perustaidot ovat välttämättömiä luonnontieteellis-teknillisen alan yliopisto-opinnoissa

(Huikkola et al. 2008). Puutteet matematiikan ja fysiikan perustaidoissa ennustavat huonoa menestystä myöhemmissä opinnoissa (Erkkilä & Valovirta 2007, 26 - 27), ja välilliset vaikutukset kertautuvat työelämässä mm. opintojen viivästymisen takia.

Tässä artikkelissa käsitellään Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) ja Teknillisen korkeakoulun (TKK) aloittamia perusopetuksen kehittämistoimenpiteitä sekä niitä tukevaa tutkimusta. Tutkimuksen käytännöllinen tavoite on paikallistaa ja kuvata matematiikan 1. ja 2. vuoden perusopetuksen ongelmia sekä löytää havaittuihin ongelmiin käyttökelpoisia ratkaisuja. Samalla etsitään keinoja opiskelijayhteisön sosiaalisen dynamiikan ohjaamiseksi vertaisoppimista tukevaan suuntaan sekä pyritään kohdentamaan tehokkaasti resursseja uusinta opetusteknologiaa apuna käyttäen. Opiskelijoiden yksilöllisten ominaispiirteiden selvittäminen on edellytys näiden tavoitteiden saavuttamiseksi.

2. Tilastot ja menetelmät

Tutkimusaineistona on käytetty monivuotisia aikasarjoja osallistumislistoista, välikoe- ja tenttituloksista. Lisäksi on hyödynnetty perustaitotestien tuloksia, jotka on koottu ohjelmallisesti usealta vuodelta sekä tuloksia kyselytutkimuksella kerätystä opiskeluorientaatioista. Tavoitteena on ollut kokonaistutkimus, jonka aineisto kootaan vuosittain kaikilta opintonsa aloittaneilta. Perustaitotestin ja koemenestyksen osalta saadaan lähes täysin kattavaa dataa. Sen sijaan läsnäololistojen kerääminen TKK:n ohjatuissa laskutuvissa on osoittautunut käytännössä vaikeaksi, ja siksi vuoden 2008 tilastot ovat vain suuntaa antavia.

Tutkimusasetelman pohjana on hyödynnetty myös mm. Opetuspalveluiden keräämiä tilastotietoja opintojen etenemisestä. Esimerkiksi joidenkin TTY:n opiskelijoiden opinnot ovat selkeästi viivästyneet: lukuvuonna 2007 - 2008 läsnäolleista 8631 opiskelijasta 376 (4,4 %) ei saanut lainkaan opintosuorituksia. Lisäksi poissaolevaksi oli ilmoittautunut 1805 opiskelijaa eri syistä kuten armeijan, perheenlisäyksen tai työtilanteen takia. Opinnot eivät siis edenneet vähintään 2181 opiskelijalla, mikä on noin viidennes koko opiskelijamäärästä 10436. Samantapaisia tilastoja on tehty myös TKK:lla (Erkkilä & Valovirta 2007; Rantanen & Liski 2009).

Tässä artikkelissa raportoitavan tutkimuksen fokuksena on löytää sellaisia opintomenestystä selittäviä tekijöitä, joiden avulla opetusta, opetuksen järjestelyjä, sisältöä ja oppilaitosten opiskelijavalintaa voitaisiin kehittää. Tutkimus on pitkän aikavälin seurantaa, ja tähän mennessä käytetyt tutkimusmenetelmät ovat kvantitatiivisia. Opetushenkilöstön käytännön kokemukseen perustuvia hypoteeseja tarkastellaan regressioanalyysin avulla. Osaamisprofiileja on etsitty datasta myös klusterianalyysillä (ks. kuva 3) ja pääkomponenttianalyysillä (Pohjolainen et al. 2006).

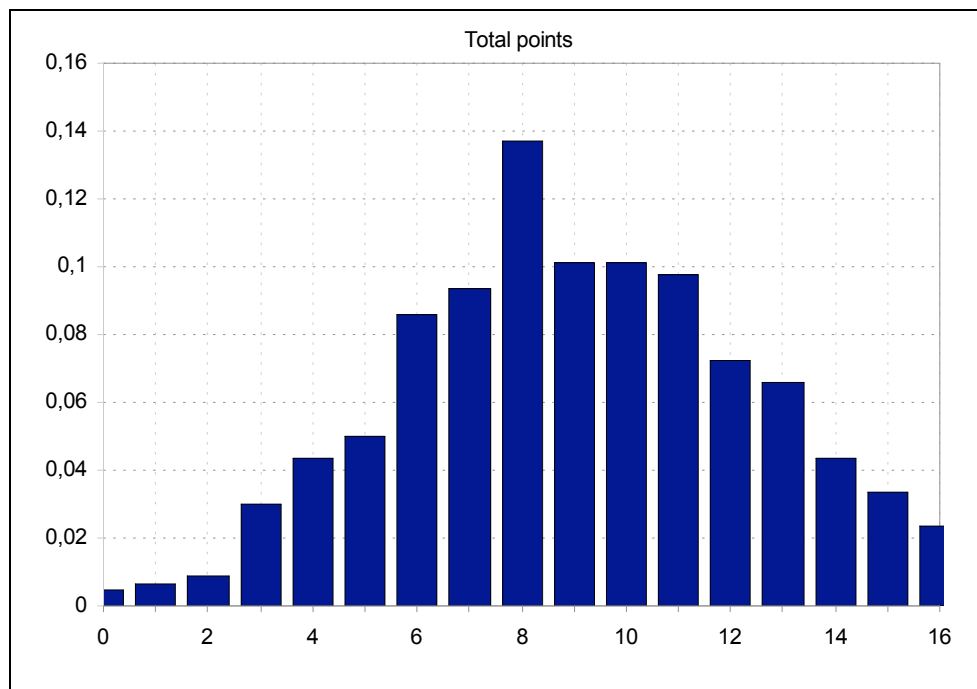
3. Lähtötasotesti

Lähtötasotestauksen päämäärä on löytää ne opiskelijat, jotka tarvitsevat tukea pakollisissa matematiikan opinnoissaan. Lähtötasotestejä on tehty TTY:lla jo vuodesta 2002, ja vuodesta 2008 lähtien myös Teknillisessä korkeakoulussa. Tutkimuksen kohteena ovat ensimmäisen vuoden opiskelijat kunakin vuonna. Testissä opiskelijat ratkaisevat kynällä ja paperilla 16 tehtävää, jotka käsittelevät lukion laajan matematiikan eri alueita. Lähtötasotestissä jokainen opiskelija saa samankaltaisen, mutta hieman erilaisen

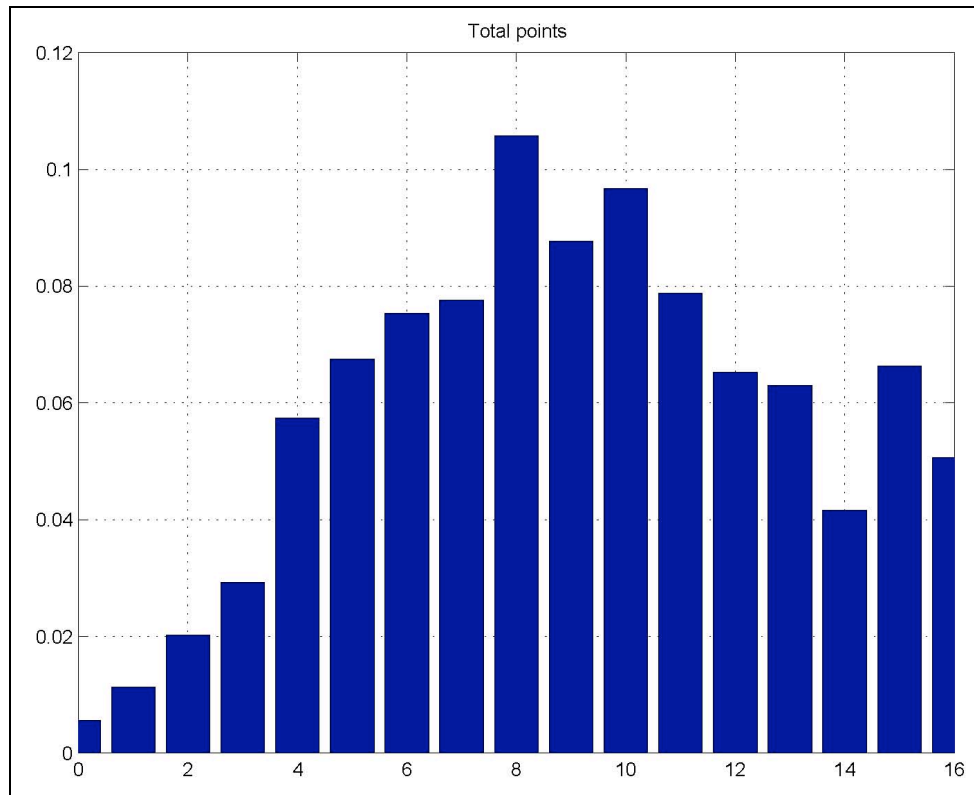
tehtäväsarjan. Siksi samaa testiä voidaan käyttää toistuvasti, mutta yksittäisten opiskelijoiden tulokset eivät toisaalta ole täysin vertailukelpoisia. Asetelma on näin ollen oleellisesti erilainen kuin pääsykokeissa tai tenteissä, joissa kaikki samana vuonna osallistuvat saavat saman tehtäväpaperin, mutta koe vaihtelee vuodesta toiseen (Pohjolainen et al. 2006).

Tehtävät palautetaan ja arvostellaan tietokoneohjelmistoa käyttäen. Opiskelijat saavat tietoonsa omat tuloksensa testin jälkeen. Tilastoinnin lisäksi tavoitteena on antaa opiskelijalle realistinen käsitys koulutusohjelman yleisestä vaatimustasosta ja siitä, mitkä aihealueet opiskelija hallitsee. Yhteenvedoja testituloksesta toimitetaan matematiikan peruskurssien opettajille, TTY:ssa koulutusohjelmien johtajille ja TKK:ssa tiedekuntien dekaaneille.

Esimerkiksi TTY:n ja TKK:n vuoden 2008 perustaitotesteissä 16 tehtävän osaaminen jakautui seuraavasti (kts. kuvat 1 ja 2).



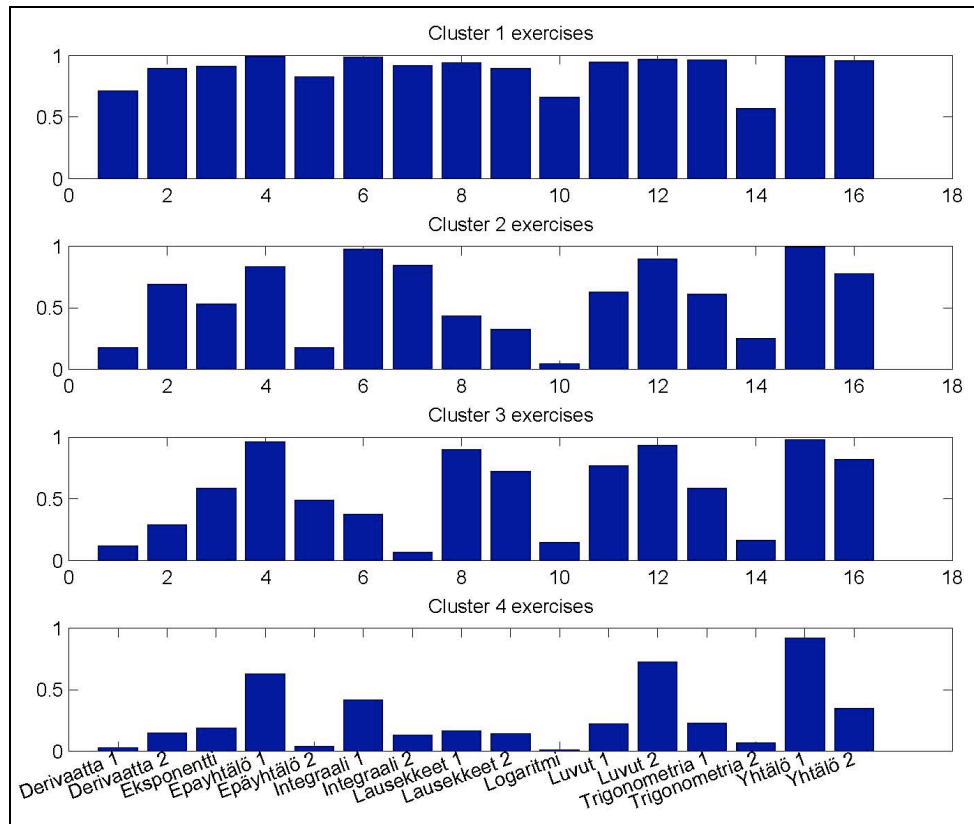
Kuva 1. TTY:n vuoden 2008 perustaitotestin jakauma (0-16). TTY:n perustaitotestiin osallistui 801 opintonsa juuri aloittanutta opiskelijaa.



Kuva 2. TKK:n vuoden 2008 perustaitotestin jakauma (0-16).

Syksyllä 2008 TKK:n testauksessa käytettiin ensimmäistä kertaa räätälöityä versiota avoimen lähdekoodin STACK -järjestelmästä (Harjula 2008). Testikysymykset perustuivat TTY:n käyttämiin, ja siksi TKK:n ja TTY:n tuloksia voidaan pitää karkeasti vertailukelpoisina vaikka toteutusteknologia on ollut toinen. Testiin osallistui 889 opiskelijaa. Yllättävää kyllä, melko suuri osa testiin osallistuneista opiskelijoista ei aloittanut matematiikan opiskelua lainkaan ensimmäisenä syksynä.

Lukuvuonna 2008–2009 TKK:lla on seurattu testissä saatujen pisteiden yhteyttä opiskelijoiden menestykseen matematiikan opinnoissa. Lähtötesti näyttää selittävän hyvin menestystä joillakin matematiikan osa-alueilla kuten differentiaali- ja integraalilaskennassa mutta vain vähän koulumatematiikkaan kuulumattomissa, yliopistossa opetettavissa uusissa asioissa. Opiskelija-aines näyttää jakautuvan neljään ryhmään, joiden osaamisprofiilit eroavat selkeästi toisistaan, kts. kuva 3.



Kuva 3.

Testin tuloksissa on muitakin yllättäviä ja toistaiseksi selittämättömiä ilmiöitä, joiden syitä tutkitaan tällä hetkellä.

4. Tietokoneavusteiset tehtävät

Perustaitotestauksen pohjalta TTY:ssa suositellaan osalle opiskelijoista matematiikan kertausharjoittelua eli jumppaa. Jumppa järjestetään sekä ohjattuna verkko-opetuksena että monimuoto-opetuksena. Jumpan tarkoituksena on tukea matematiikan rutiinien hallintaa. Vuonna 2008 perustaitotestiin TTY:ssa osallistuneista 801 opiskelijasta ohjattiin noin neljännes (184) pakolliseen kertausharjoitteluun. Kaiken kaikkiaan jumppaan osallistui 235 opiskelijaa, joista jumpan jätti suorittamatta lopulta 55 (23 %) opiskelijaa. Opiskelijat, joilla jumppa jää suorittamatta, eivät saa ensimmäisen lukuvuoden aikana aloittaa pakollisia matematiikan perusopintoja.. Perustaitotestissä huonosti menestyneille opiskelijoille tarkoitettua kertausharjoittelua suunnitellaan myös TKK:ssa, mutta sitä ei ole toistaiseksi toteutettu.

TKK:ssa on syksystä 2006 alkaen otettu käyttöön tietokoneavusteista matematiikan laskuharjoitustehtävien tarkastamisjärjestelmää (Rasila et al. 2007), ja vuonna 2008 se oli laajassa käytössä jo useilla insinöörimatematiikan peruskursseilla. Teknologia pohjautuu avoimen lähdekoodin ohjelmistoon STACK, jota on edelleen kehitetty TKK:lla paremmin yliopistotasaisen insinöörimatematiikan opetuksen vaatimuksiin soveltuvaksi (Harjula 2008). Järjestelmää on käytetty muillakin kuin varsinaisilla matematiikan

kursseilla, esimerkiksi TKK:n automaatio ja systeemitekniikan laitoksella. Samaa teknologiaa on sovellettu myös TKK:n perustaitotestauksessa, ja sitä ollaan ottamassa käyttöön muissakin suomalaisissa oppilaitoksissa.

TKK:n tehtävissä on käytetty STACK-järjestelmän edistyneitä ominaisuuksia kuten satunnaistamista, jonka avulla jokaiselle opiskelijalle saadaan oleellisesti samanlainen tehtävä eri lukuarvoilla. Tämä vähentää olennaisesti ratkaisujen kopioimista ja pakottaa myös sitä yrittävät käymään läpi ratkaisun periaatteen. Tehtävissä on pyritty säilyttämään mahdollisimman samankaltainen ratkaisuprosessi ja oppimistavoite kuin perinteisissä tehtävissä. Opiskelijalta voidaan myös kysyä ratkaisun välivaiheita tai täydentäviä, tehtävään liittyviä lisäkysymyksiä. Saatujen kokemusten perusteella STACK-järjestelmän käyttäminen ei ole liian vaikeaa, ja opiskelijapalaute on ollut pääosin myönteistä (Rasila et al. 2007; Rasila, 2008).

Tehtävien palautusjärjestelmässä on tilastointia helpottavia toiminnallisuksia, joiden avulla opiskelijoiden edistymistä voidaan seurata. On havaittu, että koetulokset ovat huomattavasti parantuneet järjestelmän käyttöönoton jälkeen.

Harjoittelemisen järjestelmän avulla selittää myös koemenestystä paremmin kuin läsnäoloaktiivisuus perinteisissä laskuharjoituksissa. Kummatkin näistä selittävät paremmin kurssimenestystä kuin perustaitotesti, ks. taulukko 1.

	Koepisteet	
	2007	2008
STACK -harjoitukset	0,63	0,72
Palautettavat harjoitukset	0,45	0,67
Taululla esitettävät harjoitukset	-	0,65
Tasotesti	-	0,41

Taulukko 1. Menestys matematiikan peruskurssilla S1 (korrelaatiomatriisi).

Perustaitotestauksessa huonostikin menestyneiden opiskelijoiden on siis mahdollista saavuttaa kurssien kannalta riittävä vaatimustaso ahkeralla työskentelyllä. Tehtävien automaattinen tarkastaminen on myös todettu kustannuksia ja henkilöstöresursseja säästäväksi. Näin asiantuntevin opetushenkilöstö voidaan sijoittaa vaativimpiin lähiopetustehtäviin kuten laskutupaopetukseen.

5. Oppimistyylien huomioiminen matematiikan opetuksessa

Syrjäytyminen tavanomaisesta opiskelurutiinista johtaa helposti opintojen viivästymiseen, ja syrjäytymisen syyt vaihtelevat huomattavasti. Opiskelijoiden toisistaan poikkeavien elämäntilanteiden takia on vaikea sanoa milloin opintojen viivästymisen tosiasiallisesti alkaa. Arvellaan, että vakiintuneet opetustavat eivät sovi kaikille opiskelijoille yhtä hyvin. TTY:ssä on tehty tutkimus, jonka tavoitteena on tunnistaa erilaiset oppijat ja syrjäytymisprosessin eri vaiheet (vrt. Korhonen 1999). Syrjäytymisprosessin alkuvaiheessa ongelmat ovat usein ratkaistavissa joko omin, opiskelijayhteisön tai opiskelijapalveluiden voimin (vrt. Korhonen 1999; Lämsä 1999).

Tällaisia opiskelijoita pyritään tunnistamaan esimerkiksi matematiikan perustaitotestauksessa.

TTY:n matematiikan perusopetuksessa on otettu käyttöön perinteisten harjoitusryhmien rinnalle ohjatut, vapaaehtoiset harjoitukset, joissa opettaja keskittyy jokaisen opiskelijan ongelmanratkaisuprosessiin harjoitusten aikana. Kokeilu aloitettiin vuonna 2007 ja saman vuoden syksyn aikana ryhmiä lisättiin niiden suosion takia. TKK:ssa on niin ikään järjestetty vapaaehtoisia laskutupia jo muutaman vuoden ajan, ja toimintaa on laajennettu merkittävästi vuoden 2008 aikana. Molempien uudistusten tarkoituksena on lisätä yksilöllisyyttä tarjottavaan opetukseen. Laskutuvat ovat osoittautuneet opiskelijoiden keskuudessa hyvin suosituiksi (Helsingin sanomat 2.12.2008), mutta järjestelyn todellinen vaikutus varsinkin heikommin menestyvien opiskelijoiden suoriutumiseen on edelleen epäselvä ja tutkimuksen kohteena.

Yksi keskeinen ongelma on opintojen hidaskäynnistyminen ensimmäisenä syksynä. Syynä siihen voi olla esimerkiksi se, ettei monellakaan opiskelijalla ole opintojen alussa yhtään tuttua opiskelutoveria. Opiskelijoiden integroitumista opiskelijayhteisöön voidaan tukea erilaisin keinoin. Tukena voidaan käyttää esimerkiksi ns. sosiaalisen median (ns. Web 2.0) tarjoamia mahdollisuuksia, tekniikoita ja käytäntöjä. Viime vuosina esimerkiksi Facebook, LinkedIn, IRC-galleria ja Last.fm ovat tulleet suosituiksi. Opiskelijoiden ikäpolvi on ottanut webin omakseen sosiaalisessa verkostoitumisessa sekä käyttää aikaansa menneitä, nykyisiä ja tulevia verkostojaan määritellen.

TTY:lla on kehitetty vuodesta 2008 alkaen opintonsa aloittaville suunnattua verkostoitumiseen ja myöhemmin ensimmäisen lukuvuoden aikana matematiikan perusopiskelun vertaistuen ja opiskelupiirien muodostamiseen tarkoitettua sosiaalista verkkoyhteisöä. Opiskelijat saavat verkkoyhteisössä halutessaan myös vihjeitä, miten omia oppimismenetelmiä tulisi kehittää. Vihjeet perustuvat perustaitotestin yhteydessä muodostuneeseen oppimisprofiiliin.

6. Opiskelijoiden profilointi

Matematiikan oppimistulokset eivät riipu ainoastaan annetusta opetuksesta, riittävästä resursoinnista ja muista oppimiseen ulkoisesti vaikuttavista seikoista. Opiskelu on ennen kaikkea omaa aktiivista toimintaa oppimistavoitteiden saavuttamiseksi. Opiskelijan toimintaan vaikuttavia tekijöitä ovat mm. asenteet: orientaatiot, intentiot ja motivaatio. TTY:n tutkimuksen perusteella matematiikan opiskelijat on profiloitu osajiin, omin päin opiskeleviin, pintasuuntautuneisiin mallista oppijoihin, vertaisoppijoihin ja tukea tarvitseviin (Pohjolainen et al. 2006).

TTY:ssa profilointi tehdään vuosittaisen perustaitotestin yhteydessä, jolloin opiskelijat valitsevat omaa matematiikan opiskelutapaa ja tavoitteita kuvaava profiili viiden erilaisen kuvauksen joukosta. Profiilinsa valinneista 669 opiskelijasta 76 (11,4 %) kuvasi itseään tukea tarvitseväksi. Tämä on alle puolet niistä opiskelijoista, jotka ohjattiin suorittamaan matematiikan jumppaa. On näin ollen syytä epäillä, että korkeakouluopintonsa aloittavilla on usein epärealistinen käsitys matematiikan osaamisestaan. Lukiossa matematiikan opinnoissa hyvin menestyneet voivat myös kohdata ongelmia korkeakoulumatematiikan opinnoissa, mikäli käsitykset omasta osaamisesta eivät vastaa todellisuutta.

Osaajilla ja omin päin oppijoilla on muihin ryhmiin verrattuna paremmat edellytykset

hyvään opintomenestykseen yliopistomaailmassa vakiintuneilla opetusjärjestelyillä. Sen sijaan pintasuuntautuneet mallista oppijat, tukea tarvitsevat ja vertaisoppijat tulisi ottaa entistä paremmin huomioon matematiikan peruskurssien opetuksessa (Pohjolainen et al. 2006).

7. Johtopäätöksiä ja jatkotoimenpiteitä

Matematiikan perusopetuksen kehittämiseksi on tehty lukuisia hankkeita ja uudistuksia viimeisen 15 vuoden aikana sekä Tampereen teknillisellä yliopistolla että Teknillisellä korkeakoululla. 1990-luvulta lähtien on mm. kehitetty digitaalista oppimateriaalia ja harjoitustehtävien automaattista tarkastusta molemmissa yliopistoissa. Viimeisen kolmen vuoden aikana on lisäksi tehty yhteistyötä ja jaettu kokemuksia, tietotaitoa sekä kehitettyjä teknisiä ratkaisuja kuten tietokoneistettuja tehtäväsarjoja ja lähtötasotestauksen menetelmiä yliopistojen välillä. Molemmissa yliopistoissa matematiikan ymmärtäminen ja osaaminen on opiskelijoiden opintojen kannalta merkittävässä asemassa. Lisäksi molemmissa yliopistoissa on havahduttu siihen, että kaikkien opiskelijoiden tieto- ja taitotaso matematiikan suhteen eivät ole teknillisille aloille tarvittavalla tasolla.

Vuoden 2008 kokemukset ovat nostaneet esille teknillisille aloille tyypillisiä ongelmia matematiikan opetuksessa mutta myös mahdollisia ratkaisuja. Digitaalisella ja interaktiivisella opusteknologialla on selkeä rooli insinöörimatematiikan opetuksen uudistamisessa. Jotta opetusta voitaisiin mielekkäästi ja kustannustehokkaasti uudistaa tai ylipäänsä keskustella uudistusten vaikutuksista tieteellisesti kestäväällä tavalla, on välttämätöntä kerätä tilastollista tietoa opiskelijoiden suorituksista. Ilman ATK-järjestelmiä tällaisen tiedon hankkiminen ja käsittely on resurssisyistä käytännössä mahdotonta. Matematiikan opetusta tukevasta tietotekniikan käytöstä on saatu rohkaisevia kokemuksia sekä TKK:lla että TTY:lla. Tällaisen teknologian käyttöä lisätään jatkuvasti, ja uskomme sen myös lähivuosina leviävän laajasti muihin oppilaitoksiin.

Tutkimuksen aikana on myös kiinnitetty huomiota siihen, että kaikki eivät opi matematiikkaa samalla tavalla. Ongelmia esiintyy niin matematiikan kielen ymmärtämisessä kuin siinä, että ulkoa opettelu on yleistynyt opiskelumenetelmänä. Näihin seikkoihin tullaan kiinnittämään huomiota mietittäessä matematiikan opetusta, opetuksen järjestelyjä, sisältöä ja oppilaitosten opiskelijavalintaa sekä mahdollisesti erilaisia tukiovetusjärjestelyjä. Lisäksi EU-hankkeessa (nk. MathBridge -hanke) keskitytään matematiikan lukion ja yliopiston välisten siltaopintojen suunnitteluun, testaamiseen ja toteuttamiseen Euroopan laajuisesti.

Lähteet

- Erkkilä M. & Valovirta T. 2007. Lukuvuoden 2006-2007 rekisteriaineiston tarkastelu: opintojen eteneminen ensimmäisenä ja toisena läsnäololukuvuotena.
http://www.dipoli.tkk.fi/ok/p/opintojenseuranta/_2raportit.php
- Harjula, M. 2008. Mathematics exercise system with automatic assessment. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu.
PDF-muodossa: <http://intmath.org/home/aharjula/?download=thesis.pdf>.
- Huikkola, M., Silius, K. & Pohjolainen, S. 2008. Clustering and achievement of engineering students based on their attitudes, orientations, motivations and intentions. WSEAS TRANSACTIONS on ADVANCES in ENGINEERING EDUCATION, Issue 5, Volume 5, May 2008: 342-354.
- Korhonen, J. 1999. Tunteettomien haasteiden yhteiskunta. Teoksessa: Laurinkari, J. & Niemelä, P. (toim.) 1999. Elämäntilanne ja syrjäytyminen Suomussalmella. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 1999:28. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö, 67 - 80.
- Lämsä, A-L. 1999. Nuorten elämäntilanne syrjäytymisen ja selviytymisen näyttämönä [online]. Teoksessa: Kuorelahti, M. & Viitanen, R. (toim.). 1999. Holtittomasta hortoiluusta hallittuun harhailuun - nuorten syrjäytymisen riskit ja selviytymiskeinot. NUORAN julkaisuja nro 14. Helsinki: Mannerheimin Lastensuojeluliitto ja Nuorisosiain neuvottelukunta, 49 - 60.
PDF-muodossa: http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Nuoriso/nuoriso_asiain_neuvottelukunta/julkaisut/muut_tutkimukset/holtittomasta_hallittuun.pdf.
- Pohjolainen, S., Raassina, H., Silius K., Huikkola M. & Turunen E. 2006. TTY:n insinöörimatematiikan opiskelijoiden asenteet, taidot ja opetuksen kehittäminen. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Matematiikan laitos. Tutkimusraportti 84.
PDF-muodossa: <http://matriisi.ee.tut.fi/hypermedia/julkaisut/MOK-raportti-1.pdf>.
- Rantanen, E. & Liski, E. 2009. Valmiiksi tavoiteajassa? Teknillistieteellisen alan opiskelijoiden opintojen eteneminen ja opiskelukokemukset tekniikan kandidaatin tutkinnossa. Teknillisen korkeakoulun opetuksen ja opiskelun tuen julkaisuja 3/2009.
http://www.dipoli.tkk.fi/ok/p/opintojenseuranta/_2raportit.php
- Rasila, A. 2008. Automaattisesti tarkastettavat tehtävät matematiikan opetuksessa. Tuovi 5, Tampere University Press, Hypermedialaboratorion verkkojulkaisu 15, 27 – 32.
<http://tampub.uta.fi/tulos.php?tiedot=215>
- Rasila, A., Harjula, M. & Zenger, K. 2007. Automatic Assessment of Mathematics Exercises: Experiences and Future Prospects. Reflektori 2007.
PDF-muodossa: <http://www.dipoli.tkk.fi/ok/p/reflektori2007en/?p=english>.
- Helsingin sanomat, 2.12.2008. Tekniikan opinnot viivästymässä valtaosalla.
Matematiikkalehti Solmun erikoisnumerot. <http://solmu.math.helsinki.fi/>