

Mittausautomaation hyödyntäminen tutkimuksellisessa kemian opiskelussa

Simo Tolvanen

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto

Maija Aksela

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto

Abstrakti Tutkimuksellisessa kemian opiskelussa oppilaat voivat etsiä vastausta tutkimuskysymykseen suunnittelemalla ja toteuttamalla kokeellisen tutkimuksen ja arvioimalla saamiaan tuloksia. Kokeellisissa tutkimuksissa voidaan hyödyntää mittausautomaatiolaitteita, jotka mahdollistavat reaaliaikaisten kuvaajien laatimisen tutkittavasta ilmiöstä. Kansainvälisessä COMBLAB-projektissa on kehitetty kuusi kokeellista työtä kemian opetukseen. Töiden tarkoituksena on tukea oppilaiden kykyä hyödyntää kemian tietojaan päättelyssä, sekä kehittää heidän tutkimustaitojaan. Töiden kehittämisessä on huomioitu aiempi tutkimus mittausautomaation käytön eduista ja haasteista, ja kehitettyjä töitä on testattu viidessä maassa oppilaiden ja opettajien kanssa. Nyt puoliväliin ehtinyt projekti kaipaa kiinnostuneita opettajia töiden jatkokehittelyä varten.

1 Johdanto

Kemian kokeellisissa töissä voidaan käyttää apuna mittausautomaatiolaitteita. Tällöin käytössä on anturi, joka kerää havaintoja tutkittavasta ilmiöstä ja muuttaa havainnot sähköiseen muotoon. Yksinkertaisimmillaan mittausanturi on kytketty tiedonkeräimeen, joka esittää mittaustulokset lukuarvoina. Tiedonkeräin voi olla tätä tarkoitusta varten suunniteltu kämmentietokone, mutta myös kannettava tietokonetta tai tablettia voidaan käyttää mittaustulosten esittämiseen. Esimerkki mittausautomaation käytöstä kemian oppitunnilla on happo-emästitrauksen suorittaminen siten, että titrauskäyrä piirtyy reaaliaikaisesti tietokoneen ruudulle titrauksen edistyessä.

Mittausautomaation käyttö opetuksessa voi tutkimusten mukaan tukea kemian opiskelua monella tapaa (esimerkiksi Aksela, 2011). Useat tutkimukset ovat havainneet positiivisen vaikutuksen oppilaiden asenteisiin (esimerkiksi Adams & Shrum, 1990; Aksela, 2005; Amend & Furstenau, 1992; Atar, 2002; Newton, 1997). Mittausautomaation käytöllä voidaan tukea myös oppilaita muokkaamaan käsityksiään kemiasta kohti tieteellistä käsitystä (McRobbie & Thomas, 2000), sekä tutkimustaitojen oppimisessa (McRobbie & Thomas, 2000; Settlage, 1995). Mittausautomaation vahvuuksiin kuuluu myös kuvaajien tuottaminen reaaliajassa. Tämä mahdollistaa oppitunnilla ajan käyttämisen kuvaajien piirtämisen sijaan niiden tulkitsemiseen, sekä tarvittaessa mittauksien nopean toistamisen (esimerkiksi Barton, 1997).

Jotta mittausautomaation käyttö tukee oppimista, tulee sen tukena olla soveltuvia pedagogisia menetelmiä (esimerkiksi Lavonen, Aksela, Juuti, & Meisalo, 2003; Nakhleh, 1994; Newton, 2000). Newton (1998) ehdottaa, että hyvän mittausautomaatiotyön tulisi tukea oppilaiden välistä vuorovaikutusta, sekä tarjota oppilaille selkeitä tehtäviä ja

tavoitteita. Mittausautomaatiotyössä ei saisi keskittyä pelkästään tiedon keräämiseen, vaan myös kerättyjen mittausten tulkintaan tulisi kiinnittää huomiota. Oppilaiden tulisi oppia arvioimaan keräämiään havaintoja, erottamaan olennaiset havainnot epäolennaisista, sekä selittämään tuloksiaan ja mahdollisesti niiden kanssa ristiriidassa olevia havaintoja (Newton 1998). Mittausautomaatiolaitteiden käyttö voi olla hankalaa osalle oppilaista (Atar, 2002). Mittausautomaation käyttö vaikuttaisi myös tukevan oppilaiden oppimista tehokkaammin, jos sitä käytetään säännöllisesti pidemmän aikaa (Metcalf & Tinker, 2004).

Mittausautomaatiolaitteiden käyttö mahdollistaa kerätyn mittausaineiston (datan) reaaliaikaisen esittämisen esimerkiksi koordinaatistoon piirretyllä kuvaajalla, sekä tämän aineiston nopean käsittelyn tietokoneen avulla. Kuvaajien käsittelyn ja tulkinnan tekninen helppous tekevät mittausautomaatiolaitteista hyödyllisen työkalun tutkimukselliseen opiskeluun. Tutkimuksellisuudella viitataan tässä tekstissä englanninkieliseen *inquiry*-käsitteeseen. Tutkimuksellisuus on toisaalta osa tieteellisen tiedon tuottamisprosessia (vertaa scientific inquiry) ja toisaalta se voi tarkoittaa myös koulussa tehtävää tutkimusta, jolla on opetuksellisia päämääriä (esimerkiksi inquiry-learning).

Opetuksen yhteydessä tutkimuksellisuudella voidaan tarkoittaa useaa eri asiaa (Capps, Crawford, & Constat, 2012). Yhden määritelmän mukaan tutkimuksellista rakennetta noudattavassa opetuksessa pyritään ratkaisemaan tieteellistä kysymystä todistusaineiston perusteella, ja oppilas pyrkii muodostamaan, esittämään ja perustelemaan tieteelliseen tietoon ja todistusaineistoon pohjaavan selityksen (National Research Council 2000, viitattu Capps et al., 2012).

Tutkimuksellisella kemian opiskelulla voidaan tukea oppilaan tutkimustaitojen kehittymistä. Oppilas voi oppia esittämään mielekkäitä kysymyksiä, tekemään hypoteeseja ja johtopäätöksiä, sekä arvioimaan tulkintojensa luotettavuutta. Tällaisten taitojen oppimisesta voi olla hyötyä myös kemian oppituntien ulkopuolella. Tutkimuksellisen opiskelun on esitetty tukevan myös oppilaan metakognitiivisten taitojen kehittymistä, esimerkiksi oman oppimisensa arviointia. (Tutkimuksellisen kokeellisuuden hyödyistä kemian opetuksessa: Hofstein, Kipnis, & Abrahams, 2013)

Tässä artikkelissa esitellään COMBLAB-projekti, joka pyrkii edistämään mittausautomaatiota hyödyntävää tutkimuksellisuutta kemian, fysiikan ja biologian opetuksessa. Kappaleessa 2 kuvataan projektia yleisesti ja kappaleessa 3 esitellään esimerkkejä kemian opetukseen kehitetyistä töistä. Kappaleessa 4 esitetään vielä kuvaus projektiin liittyvästä tutkimuksesta ja tulevista suunnitelmista.

2 COMBLAB-projekti

2.1 Projektin tavoitteet

COMBLAB-projekti, pidemmältä nimeltään The Acquisition of Science Competencies Using ICT Real Time Experiments, käynnistyi vuoden 2012 alussa. Mukana on kuusi eurooppalaista yliopistoa Espanjasta, Itävallasta, Slovakiasta, Suomesta ja Tšekistä. Projektin tarkoituksena on kehittää kokeellisia töitä kemian, fysiikan ja biologian opetukseen. Projekti päättyy vuoden 2014 lopussa, jolloin opettajille on tarjolla ainakin kuusi kemian työtä, kuusi fysiikan työtä ja kolme biologian työtä. Kemian töiden aiheet on esitetty taulukossa 1. Projektissa tuotetaan myös töiden käyttöä tukevaa opettajan materiaalia, sekä malli täydennyskoulutuksesta tutkimuksellisen opetuksen tueksi. Projektin seuraavassa vaiheessa toteutetaan kehitettyjen töiden testaus niistä kiinnostuneiden opettajien kanssa.

COMBLAB-projektin tavoitteena on kehittää kokeellisia töitä, jotka hyödyntävät mittausautomaatioteknologiaa tutkimuksellisessa opetuksessa. Kehitettävillä töillä asetettiin kahdenlaisia tavoitteita: niiden tulee tukea oppilaan kykyä hyödyntää aiempaa tietoaan uudessa kontekstissa, sekä edistää näiden taitoa tuottaa uutta tietoa tutkimuksellisella työskentelyllä.

Nämä tavoitteet on yhdistetty tutkimuksellisen opiskelun vaiheisiin. Oppilaat oppivat hyödyntämään aiempaa tietoaan kemiasta ja tutkimuksellisuudesta määritellessään tieteellisiä kysymyksiä ja laatiessaan ennusteita siitä mitä tutkimuksessa voi tapahtua. Aiemman tiedon hyödyntämistä tarvitaan myös tutkimuskysymyksen valinnassa ja hypoteesin laidinnassa. Uuden tiedon tuottamisen taitoja harjoitellaan kun oppilaat pyrkivät vastaamaan tutkimuskysymykseensä. He joutuvat suunnittelemaan koejärjestelyn, käsittelemään tuottamaansa mittausaineistoa, arvioimaan saamiaan tuloksia, sekä laatimaan selityksen ja vastauksen tutkimuskysymykseensä.

Taulukko 1. COMBLAB-projektissa julkaistaviksi suunnitellut kemian työt.

Työn nimi	Käsiteltävä aihe
Happamuus ja happosateet	Hiilenpolton vaikutus veden happamuuteen
Hiilidioksidi meressä	Ilmastonmuutoksen torjuminen sitomalla hiilidioksidia meriveteen
Kasvihuoneongelma	Valon värin vaikutus kasvien kasvamiseen
Puhdistusaineiden pH	Puhdistusaineen happamuuden vaikutus puhdistustehoon
Sammutin	Reaktionopeus ja sen manipulointi
Vatsahapon neutralointi	Tehokkaimman närästyslääkkeen määrittely

2.2 Kehitettyjen tutkimuksellisten töiden rakenne

Kaikki kehitettävät työt sisältävät viisi vaihetta: sitouttamisen, virittäytymisen, koejärjestelyn suunnittelun ja toteutuksen, johtopäätösten teon, sekä tulosten esittämisen. Sitouttamisvaiheessa esitetään työlle taustatarina, jonka tarkoituksena on tarjota tutkimukselle merkityksellinen ja kiinnostava konteksti. Taustatarina päättyy kysymykseen, jonka ohjaamana oppilaat suorittavat tutkimuksensa.

Virittäytymisvaiheen tarkoituksena on helpottaa varsinaisen tutkimuksen suorittamista. Oppilaat voivat esimerkiksi opetella käyttämään työssä tarvittavia mittausautomaatiolaitteita, palauttaa mieliinsä työhön liittyviä kemian käsitteitä, tai kerrata työhön liittyvien kuvaajien piirtämistä ja tulkintaa ennen varsinaista tutkimusta. Tarkoituksena on erottaa mekaaninen laitteiden käytön harjoittelu ja aiemmin opittujen käsitteiden muistelemisen korkeamman tason ajattelun taitoja vaativasta tutkimusvaiheesta. Tämän toivotaan tukevan oppilaita tutkimustaitojen paremmassa oppimisessa.

Töiden kolmas vaihe on koejärjestelyn suunnittelu ja toteutus. Tässä vaiheessa oppilaat saavat tehtäväkseen miettiä sitouttamisvaiheessa esitettyyn kysymykseen liittyvä tutkimuskysymys, jota he pystyvät kokeellisesti tutkimaan, sekä suunnittelemaan koejärjestelyn kysymykseen vastaamista varten. Tähän vaiheeseen sisältyy myös hypoteesin laadinta.

Kokeen suorittamisen jälkeen seuraa johtopäätösten teko. Oppilaiden tehtävänä on arvioida ja selittää keräämäänsä tutkimusaineisto, sekä tehdä johtopäätöksiä aineiston ja aiempien tietojensa perusteella. Viimeiseksi työohjeeseen kuuluu kommunikaatiovaihe, jonka aikana oppilaat vastaavat sitouttamisvaiheen kysymykseen ja esittävät saamansa tulokset muille opiskelijoille. Tähän vaiheeseen voi sisältyä myös tiedon soveltamista vaativia tehtäviä.

Töiden tarkoituksena on siis etsiä vastausta kontekstiin sidottuun ongelmaan kokeellisen tutkimuksen ja aiempien kemian tietojen avulla. Tämä on haastava tehtävä oppilaille, mutta työn vaiheistamisen toivotaan tukevan oppilaita tehtävässä.

3 Esimerkkejä kemian töistä

Alla kuvataan tarkemmin miten edellisessä kappaleessa kuvatut suunnitteluperiaatteet on toteutettu käytännössä. Esimerkkeinä käytetään kahta työtä, Hiilidioksidi meressä ja Vatsahapon neutralointi, jotka eroavat toisistaan tutkimuksen avoimuuden suhteen.

3.1 Vatsahapon neutralointi

Vatsahapon neutralointi -työssä kontekstina käytetään närästystä ja sen lievittämistä närästyslääkkeillä. Oppilaita pyydetään auttamaan valitsemaan apteekin närästyslääkkeistä tehokkain. Virittäytymisvaiheessa oppilaat kertaavat pH-asteikon käyttöä pohtimalla eri elintarvikkeiden vaikutusta närästykseen. He myös harjoittelevat käyttämään pH-anturia ja tulkitsemaan kuvaajaa pH:n muutoksesta ajan funktiona. Virittäytymisvaiheen lopuksi

oppilaat vielä kertaavat koejärjestelyn suunnittelun perusteet tekemällä harjoitustutkimuksen pH-anturia hyödyntäen.

Koejärjestelyn suunnittelu ja toteutus ohjeistetaan tässä työssä tarkasti. Oppilaat ohjeistetaan vertaamaan kahden närästyslääkkeen tehoa tunnetun suolahappoliuoksen neutraloinnissa mittaamalla pH:n muutosta ajan funktiona. Oppilaiden tehtäviksi jäävät hypoteesien tekeminen ja työssä tuotettujen pH-kuvaajien tulkitseminen. Johtopäätösten teko -osuudessa oppilaat käyttävät tuottamia kuvaajia kahden närästyslääkkeen vertailemiseksi. Tarkoituksena on, että oppilaat kiinnittävät huomiota lopputilanteen pH-arvon lisäksi myös siihen kuinka nopeasti pH kohoaa eri lääkkeitä käytettäessä.

Lopuksi oppilaat vastaavat alussa esitettyyn kysymykseen ja päättävät kumpaa testaamistaan närästyslääkkeistä suosittelevat käytettäväksi. Tämän jälkeen luokan tulokset kootaan yhteen ja oppilaat muodostavat yhdessä testattujen lääkkeiden paremmuusjärjestyksen. Tämän jälkeen testattujen närästyslääkkeiden vaikuttavat aineet selvitetään pakkausselosteista ja oppilaat saavat soveltavia kysymyksiä vastattavikseen.

Vatsahapon neutralointi -työ sopisi hyvin esimerkiksi lukion ensimmäiselle kemian kurssille, sillä se tarjoaa jo rakenteensa puolesta paljon tukea tutkimustaitojen ja mittausautomaatiolaitteiden käytön harjoittelulle. Tutkimustaidoista työssä korostuvat hypoteesien teko, sekä kuvaajien muodossa esitetyn tutkimusaineiston tulkinta ja arviointi.

3.2 Hiilidioksidi meressä

Hiilidioksidi meressä -työssä kontekstina toimii ilmastonmuutos ja oppilaita pyydetään arvioimaan voisiko valtameriä käyttää hiilidioksidin varastoimiseen. Virittäytymisvaiheessa kerrataan hiilidioksidin liukenemisen reaktioyhtälöt, tasapainolaskujen avulla liukenemisen vaikutus veden happamuuteen, sekä happamuuden vaikutus hiilihapon tasapainoon vedessä. Virittäytymisvaiheen lopuksi oppilaat harjoittelevat pH-anturin käyttöä mittaamalla vesinäytteiden happamuutta ja tuottamalla pH:n muutoksen kuvaajan.

Virittäytymisen jälkeen oppilaat saavat tehtäväkseen suunnitella menetelmän hiilidioksidipäästöjen sitomiseksi veteen. Tehtävänanto on avoin ja oppilaiden päätettäväksi jää sekä hiilidioksidin tuottamistapa että sitomismenetelmä. Suunniteltuaan koejärjestelyn oppilaiden tulee vielä kehittää keino menetelmänsä arvioimiseksi. Hyväksyttyään suunnitelmansa opettajalla he suorittavat kokeen ja arvioivat menetelmänsä tulosten perusteella.

Johtopäätösten teko -vaiheessa oppilaat pohtivat menetelmänsä soveltuvuutta todelliseen tilanteeseen ja esittävät ajatuksia siitä kuinka menetelmää voisi muokata tehokkaammaksi. Lopuksi yhteenvetovaiheessa he joutuvat vielä arvioimaan tuloksiaan meren ekologian näkökulmasta ja lopuksi esittämään muulle luokalle vastauksen kysymykseen voisiko merta käyttää hiilinieluna.

Tässä työssä vaaditaan enemmän sekä kemian että tutkimustaitojen hallintaa kuin kappaleessa 3.1 esitetyssä työssä. Tutkimustaitojen osalta painottuvat koejärjestelyn suunnittelu ja tulosten arviointi, sekä aiemman tietämyksen käyttö näiden vaiheiden

tukena. Myös mittausautomaatiolla on erilainen rooli, sillä kuvaajien tulkinan sijaan laitteistoa käytetään lähinnä veden happamuuden mittaamiseen jotta kehitetyn menetelmän tehokkuutta voidaan arvioida.

4 Loppusanat

Tässä artikkelissa kuvattiin mittausautomaation käytön hyötyjä tutkimuksellisessa kemian opiskelussa, sekä yksi malli käytölle. COMBLAB-projekti on nyt puolivälissä ja kehitettyjen töiden ensimmäisten versioiden arviointi ja jatkokehittely ovat parhaillaan käynnissä. Töiden testaukseen on osallistunut opettajia ja oppilaita kaikista viidestä projektimaasta ja heiltä saatu palaute on keskeisessä osassa töiden kehittämisessä.

Projektin tarkoituksena on tuottaa myös opettajaa tukevaa materiaalia töiden ohjauksen tueksi. Tuen tarve on havaittu sekä mittausautomaation käytössä (esimerkiksi Gerard, Varma, Corliss, & Linn, 2011) että tutkimuksellisen työtavan käytössä (esimerkiksi Capps et al., 2012). COMBLAB-projektin yhteydessä onkin tarkoitus tutkia erilaisia tapoja tarjota opettajille koulutusta tutkimuksellisten, mittausautomaatiota hyödyntävien, töiden suunnittelussa ja ohjaamisessa.

Aiemman tutkimuksen perusteella katsomme mittausautomaation soveltuvan tutkimuksellisessa opiskelussa juuri tutkimusaineiston keruun nopeuttamiseen sekä graafisessa muodossa esitetyn tutkimusaineiston tulkintataitojen harjoitteluun. Tämä lähtökohta on ohjannut meitä töiden suunnittelussa, ja tarkoituksenamme on myös tutkia ja arvioida onnistumistamme. Projektin seuraavassa vaiheessa toteutetaan kehitettyjen töiden testaus niistä kiinnostuneiden opettajien kanssa.

Hanke on rahoitettu Euroopan komission tuella. Tästä julkaisusta vastaa ainoastaan sen laatija, eikä komissio ole vastuussa siihen sisältyvien tietojen mahdollisesta käytöstä.



Elinikäisen
oppimisen
toimintaohjelma

Lähdeluettelo

Adams, D. D., & Shrum, J. W. (1990). The effects of Microcomputer-based Laboratory exercises on the acquisition of line graph construction and interpretation skills by high school biology students. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 777 – 787.

Aksela, M. (2005). Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: A design research approach. Haettu ethesis-tietokannasta. <http://urn.fi/URN:ISBN:952-10-2708-8>

- Aksela, M. (2011). Engaging students for meaningful chemistry learning through Microcomputer-based Laboratory (MBL) inquiry. *Educació Química EduQ*, 9, 30 – 37.
- Amend, J. R., & Furstenau, R. P. (1992). Employing computers in the nonscience-major chemistry laboratory. *Journal of College Science Teaching*, 22, 110 – 114.
- Atar, H. Y. (2002). Examining student' and teachers' perceptions of microcomputer based laboratories (MBLs) in high school chemistry classes. (30.9.2013). Haettu: http://www.ict.org/T01_Library/T01_182.PDF
- Barton, R. (1997). How do computers affect graphical interpretation. *School Science Review*, 79(287), 55 – 60
- Capps, D. K., Crawford, B. A., & Constan, M. A. (2012). A Review of empirical literature on inquiry professional development: alignment with best practices and a critique of the findings. *Journal of Science Teacher Education*, 23, 291 – 318.
- Gerard, L. F., Varma, K., Corliss, S. B., & Linn, M. C. (2011). Professional development for technology-enhanced inquiry science. *Review of Educational Research*, 81, 408 – 448.
- Hofstein, A., Kipnis, M., & Abrahams, I. (2013). How to learn in and from the chemistry laboratory. In Eilks, I. & Hofstein, A. *Teaching chemistry – A studybook* (pp. 153 – 182). SensePublishers.
- Lavonen, J., Aksela, M., Juuti, K., & Meisalo, V. (2003). Designing user-friendly datalogging for chemical education through factor analysis of teacher evaluations. *International Journal of Science Education*, 25, 1471 – 1487.
- McRobbie, C. J., & Thomas, G. P. (2000). Epistemological and contextual issues in the use of microcomputer-based laboratories in a year 11 chemistry classroom. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 19(2), 137 – 160
- Metcalf, S. J., & Tinker, R. F. (2004). Probeware and handhelds in elementary and middle school science. *Journal of Science Education and Technology*, 13, 43 – 49.
- Nakhleh, M. B. (1994). A review of microcomputer-based labs: How have they affected science learning? *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 13, 368 – 381.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Newton, L. (1997). Graph talk: some observations and reflections on students' data-logging. *School Science Review*, 79(287), 49 – 53.
- Newton, L. R. (1998). Gathering data: does it make sense. *Journal of Technology for Teacher Education*, 7, 379-394
- Newton, L. (2000). Data-logging in practical science: research and reality. *International Journal of Science Education*, 22, 1247 –1259.
- Settlage, J. (1995). Children's conceptions of light in the context of a technology-based curriculum. *Science Education*, 79, 535 – 553.

