

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	2
2 HAPPAMOITUMINEN	4
2.1 Sadeveden luonnollinen happamuus ja hapan laskeuma	4
2.2 Rikkidioksidi happamoittavana yhdisteenä	7
2.3 Typen oksidit happamoittavina yhdisteinä	10
2.4 Rikkidioksidi- ja typen oksidien päästöt Suomessa	11
2.5 Pintavesien happamoituminen Suomessa	12
3 WWW-POHJAINEN OPETUS JA OPPIMISYMPÄRISTÖ	13
3.1 WWW-pohjaisen oppimisympäristön ja perinteisen luokkahuoneopetuksen eroista	15
3.2 WWW-pohjaisen oppimisympäristön mahdollisuudet opetuksessa	16
3.3 WWW-pohjainen oppimisympäristö kemian opetuksessa	22
4 MITTAUSAUTOMAATIO LUONNONTIETEIDEN OPETUKSESSA	24
4.1 Mittausautomaation edut luonnontieteiden opetuksessa	24
4.2 Mittausautomaatio luonnontieteiden opetuksessa – tutkimustuloksia ja kriittistä tarkastelua	26
5 YMPÄRISTÖKEMIAN TUTKIMUSTORI	29
5.1 Ympäristökemian tutkimustorin kehitystyön vaiheet	29
5.2 Ympäristökemian tutkimustorin esittely	32
6 POHDINTAA	39
7 VIITELUETTELO	41

LIITTEET

1 JOHDANTO

Koulutuksen ja tutkimuksen tietostrategiassa 2000-2004¹ tuodaan selvästi esille digitaalisen oppimateriaalin merkitys tulevaisuudessa. Yleissivistävien ja ammatillisten oppilaitosten oppimateriaalien osalta vuoden 2004 tavoitetilaa kuvataan muun muassa seuraavasti: ”*Laadukkaiden opetukseen soveltuvien digitaalisten oppimateriaalien tuotanto on vakiintunutta aloilla, joilla se kaupallisella pohjalla oppilas- ja muiden käyttäjämäärien vuoksi on mahdollista. Ainakin peruskouluilla on kattava valikoima oppiaineisiin tai laajempiin kokonaisuuksiin integroitua materiaalia, jota oppilaat ja opettajat voivat käyttää joustavasti kirjasarjojen ja muun materiaalin kanssa... Opetusviranomaiset huolehtivat siitä, että aloilla, joilla kaupallinen toiminta ei ole mahdollista, on tärkeisiin aiheisiin vastaavanlaista materiaalia tarjolla.*” Toisaalta nykytilannetta analysoidaan muun muassa seuraavasti: ”*Yhä suurempi osa oppimateriaalista toteutetaan multimedialla keinoilla. Oppikirjasidonnaisuudesta siirrytään runsaiden ja monipuolisten tietovarantojen ja aineistojen käyttöön, mitä yleisemmälle koulutustasolle siirrytään.*” Samassa yhteydessä todetaan myös, että sopivan digitaalisen opetusmateriaalin puute on yksi merkittävä este tieto- ja viestintätekniiikan opetus käytön leviämiseksi.

Lukion opetussuunnitelman perusteissa analysoidaan opetus- ja kasvatustyön päämääriä muun muassa toteamalla, että teknologinen yleissivistys edellyttää sellaista taitotietoa, jota tarvitaan osallistuttaessa teknologiaa koskevaan keskusteluun ja päätöksentekoon, ja toisaalta kykyä ratkaista ongelmia käyttämällä hyväksi teknologian tarjoamia mahdollisuuksia.^{2,3} Opetussuunnitelman perusteissa todetaan myös, että fysiikan ja kemian opetusta voidaan monipuolistaa käyttämällä hyväksi tietotekniikkaa mittauksissa, tulosten käsittelyssä, mallien luomisessa, tiedon analysoimisessa ja

tulosten raportoinnissa.⁴ Perusteissa mainitaan myös, että oppilaan tulisi osata kokeellisen työskentelyn ja muun aktiivisen tiedonhankinnan avulla etsiä tietoa elämän ja ympäristön kannalta tärkeistä kemiallista ilmiöistä ja aineiden ominaisuuksista.

Kemian opetus tänään tutkimuksessa⁵ kartoitettiin muun muassa kemian opettajien koulutustarpeita. Eniten toivottuna koulutusalueena tutkimuksessa tuli esille tietokoneiden käyttö kemian opetuksessa. Erityisesti kemian opettajat toivoivat saavansa mittausohjelmiin, opetusohjelmiin ja internetin käyttöön liittyvää koulutusta. Koulutustarpeissa tuli esiin useassa yhteydessä myös ympäristökemiaan liittyvä koulutus.

Myös FyKe –virtuaalikouluhankkeessa⁶ on tullut esille sekä opettajien että oppilaiden kiinnostus tieto- ja viestintäteknikan opetuskäyttöä kohtaan. Opettajilta saaduissa vapaissa kommentteissa tuotiin esille muun muassa seuraavia kehittämisideoita: ”Verkkoon tulisi saada vapaata oppimateriaalia, työohjeita, demo-ohjeita, vinkkejä, tehtäviä, linkkikokoelmia, ...” , ”Valmiin oppimisympäristön kehittäminen fysiikkaan ja kemiaan on tarpeen.” , ”Tietokoneavusteisen mittaamisen ja siihen liittyvien ideoiden kehittäminen.”

Tässä tutkimuksessa pyritään vastaamaan edellä kuvattuihin haasteisiin kehittämällä WWW -pohjainen, mittausautomaatiota hyödyntävä oppimisympäristö ympäristökemian opetuksen tueksi. Tämän ympäristökemian tutkimustorin aiheena on vesistöjen happamoituminen.

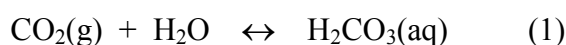
Tutkimuksen alkuosassa luodaan katsaus happamoitumiseen ilmiönä, WWW-pohjaiseen oppimisympäristöön sekä mittausautomaation opetuskäyttöön. Tutkimuksen lopuksi esitellään ympäristökemian tutkimustori, joka on suunniteltu lähinnä lukion kemian opetusta varten.

2 HAPPAMOITUMINEN

Happamoitumisella tarkoitetaan tässä esityksessä sitä, että luonnon kyky vastustaa hapanta laskeumaa heikkenee. Merkittävimmät happamoittavat yhdisteet ovat typen oksidit ja rikkidioksidi. Myös ammoniakki on potentiaalisesti happamoittava yhdiste. Happamoittavia päästöjä aiheuttavat pääasiassa fossiilisia polttoaineita, kivihiiltä ja öljyä käyttävät energiantuotanto ja teollisuuden prosessit (NO_x ja SO_2) sekä liikenne (NO_x). Ammoniakkipäästöjä aiheuttaa puolestaan lähinnä maatalous. Happamoitumisesta voi seurata monenlaisia ongelmia luonnossa, esimerkiksi joitakin lajeja voi hävitä kokonaan vesistöistä ja metsät saattavat vaurioitua.⁷

2.1 Sadeveden luonnollinen happamuus ja hapan laskeuma

Sadevesi on luonnostaan hieman hapanta. Tarkastellaan aluksi ilmakehän hiilidioksidin vaikutusta sadeveden happamuuteen.⁸ Oletetaan ensin, että sadevesi koostuu puhtaasta vedestä joka on tasapainossa ilmakehän hiilidioksidin kanssa yhtälön (1) mukaisesti:



Hiilihappo on luonteeltaan heikko happo ja se protolysoituu vain osittain. Hiilihapon happovakiota on alla merkitty K :lla:



Ottamalla huomioon, että $[\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-]$ saadaan happovakion lausekkeeksi:

$$K = [\text{H}^+]^2 / [\text{H}_2\text{CO}_3] \quad (3)$$

Toisaalta Henryn lain vakio K_H voidaan esittää seuraavasti:

$$K_H = [\text{H}_2\text{CO}_3] / p(\text{CO}_2) \quad (4)$$

Yhtälössä (4) on $p(\text{CO}_2)$ = hiilidioksidin osapaine ilmakehässä. Yhtälöiden (3) ja (4) perusteella saadaan siis:

$$K = [\text{H}^+]^2 / K_H \times p(\text{CO}_2) \quad (5)$$

Yhtälöstä (5) voidaan puolestaan ratkaista $[\text{H}^+]$:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K \times K_H \times p(\text{CO}_2)} \quad (6)$$

Sijoittamalla yhtälöön (6) $K = 3,98 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}$, $K_H = 0,034 \text{ mol dm}^{-3} \text{ atm}^{-1}$ ja olettamalla, että $p(\text{CO}_2) = 3,6 \times 10^{-4} \text{ atm}$ saadaan sadeveden pH:ksi noin 5,6.

Ilmakehän hiilidioksidin vaikutuksesta sadeveden pH:n voidaan katsoa siis pienenevän neutraalista arvoon 5,6. Sadeveden happamuutta lisää hiilidioksidin lisäksi lukuisista

luonnollisista lähteistä peräisin olevat yhdisteet. Esimerkiksi vulkaaninen toiminta ja ukkosmyrskyt aiheuttavat happamoittavia rikin- ja typenoksideja ilmakehään. Toisaalta luonnon biologisissa prosesseissa voi myös syntyä yhdisteitä, jotka pienentävät sadeveden happamuutta. Esimerkkinä tällaisista yhdisteistä mainittakoon ammoniakkikaasu. Tosin ammoniakkin liuetyssä sadeveten ja vastaanottaessa protonin muodostuu ammoniumioneja (NH_4^+) jotka puolestaan voivat myöhemmässä vaiheessa hapettua nitraatti-ioneiksi (NO_3^-) vapauttaen protoneja ja aiheuttaen happamoitumista. Kaasujen lisäksi sadeveden happamuuteen voivat myös vaikuttaa erilaiset ilmakehästä liuenneet kiinteät hiukkaset, kuten ammoniumsulfaatti (lisää happamuutta) ja kalsiumkarbonaatti (pienentää happamuutta).⁹

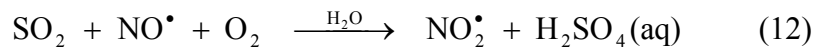
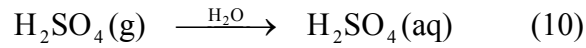
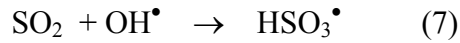
Kuten edellä todettiin, sadeveden happamuuteen vaikuttavat oleellisesti luonnon omat tekijät. Sadeveden happamuus ei siis ole seurausta ainoastaan ihmisen toiminnasta aiheutuvista happamoittavista päästöistä. Luonnontilaisen, saastumattoman sadeveden pH:n voidaankin katsoa olevan noin 5. Ihmisen toiminnasta aiheutuvista happamoittavista päästöistä johtuen sadeveden pH voi olla myös huomattavasti tätä arvoa alhaisempi. Joillain alueilla sadeveden pH saattaa olla jopa 3,5.⁹ Sadeveden pH:n ollessa alle 5 kutsutaankin sadetta usein happosateeksi.¹⁰

Happamoitumista voi aiheuttaa happosateen lisäksi luonnollisesti myös happamoittavista yhdisteistä (tai niiden reaktiotuotteista) koostuva kuivalaskeuma. Märkä- ja kuivalaskeuman suhteelliset osuudet riippuvat mm. päästölähteen etäisyydestä, ilmasto-olosuhteista ja sademäärästä.¹¹ Tässä esityksessä tarkastellaan happamoitumista kiinnittäen huomiota lähinnä märkälaskeumaan.

2.2 Rikkidioksidi happamoittavana yhdisteenä

Rikkidioksidi ei itsessään merkittävästi lisää sadeveden happamuutta. Happamoittava vaikutus perustuukin lähinnä siihen, että rikkidioksidi muuntuu vähitellen rikkihapoksi H_2SO_4 . Rikkihappo puolestaan on luonteeltaan vahva happo ja veteen runsasliukoinen.¹⁰ Seuraavassa tarkastellaan lähemmin reaktio-olosuhteita ja mekanisme, jolla rikkidioksidi muuntuu rikkihapoksi.

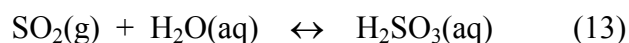
Kirkkaalla ja vähäpilvisellä ilmalla vallitseva mekanismi rikkidioksidin muuntumisessa rikkihapoksi on homogeeninen kaasufaasireaktio.¹² Hydroksyyli-radikaali OH^\bullet aloittaa prosessin yhtälön (7) mukaisesti. Seuraavassa vaiheessa HSO_3^\bullet radikaali reagoi O_2 molekyylin kanssa muodostaen rikkitrioksidia yhtälön (8) mukaisesti. Rikkitrioksidi molekyyli puolestaan yhtyy nopeasti kaasumaisen vesimolekyylin kanssa muodostaen rikkihappoa, yhtälö (9). Lopuksi rikkihappomolekyylit reagoivat ilmakehän kosteudessa yhtälön (10) mukaisesti muodostaen rikkihapon vesiliuosta. Kokonaisreaktiota johdettaessa tulee vielä huomioida se, että HOO^\bullet radikaali reagoi NO^\bullet radikaalin kanssa, yhtälö (11). Yhtälöiden 7-11 perusteella kokonaisreaktioksi saadaan nyt yhtälön (12) mukainen OH^\bullet -katalysoitu hapettumisreaktio, jossa SO_2 ja NO^\bullet hapettuvat muodostaen rikkihapon vesiliuosta.



On kuitenkin huomattava, että yleensä vain pieni osa rikkidioksidista hapettuu ilmakehässä. Valtaosa rikkidioksidista poistuu nimittäin ilmakehästä kuivalaskeumana ennen kuin edellä kuvattu reaktio ehtii tapahtua.¹²

Rikkidioksidin hapettuminen rikkihapoksi voi tapahtua myös nestefaasissa. Ilmakehän kosteuspitoisuuden ollessa suuri (esimerkiksi runsaasti pilviä tai sumua) valtaosa hapettumisesta tapahtuukin juuri nestefaasissa, sillä prosessi on luonnostaan nopeampi nestefaasissa.¹²

Tarkastellaan lähemmin rikkidioksidin hapettumista nestefaasissa. Rikkidioksidi liukenee veteen muodostaen rikkihapoketta alla olevan reaktioyhtälön mukaisesti:



Rikkihapoke on luonteeltaan heikohko happo ja sen protolysoituessa muodostuu vetysulfiitti-ioneita yhtälön (14) mukaisesti:



Vaikka rikkihapoke on heikohko happo, niin laimeissa liuoksissa, kuten ilmakehän vesipisaroissa, valtaosa muodostuneesta rikkihapokkeesta protolysoituu vetysulfiitti-ioneiksi. Tästä huolimatta rikkihapokkeen vaikutuksesta sadevesi ei tule erityisen happamaksi. Olettamalla, että rikkihapoke on ainoa sadeveden happamuutta lisäävä yhdiste, voidaan sadeveden pH-arvoksi johtaa 4,4.¹²

Vesipisaroiden sisältäessä vahvaa happoa rikkihapokkeen merkitys sadeveden happamuutta lisäävänä yhdisteenä jää lähes olemattomaksi. Rikkihapokkeen protolysoitumisessa syntyvien vetyionien määrä on nimittäin häviävän pieni verrattuna vahvojen happojen protolysoitumisessa syntyvien vetyionien määrään. Rikkihapoke on kuitenkin merkittävä tekijä luonnon happamoitumisessa, sillä rikkihapokkeen protolysoitumisessa syntyvä vetysulfiitti-ioni voi hapettua rikkihapoksi. Ilmakehän vesipisarat sisältävät nimittäin pieniä määriä vetyperoksidia H_2O_2 ja otsonia O_3 , jotka voivat toimia hapettimina hapettaen veteen liuennutta rikkidioksidia. Vetyperoksidi ja otsoni voivat hapettaa liuennutta rikkidioksidia hapettamalla vetysulfiitti-ionin lisäksi myös sulfiitti-ioneja ja rikkihapoketta. Vetysulfiitti-ionin hapettuminen on kuitenkin näistä reaktioista nopein ja vallitsevin.¹²

Vetyperoksidin ja vetysulfiitti-ionin välinen kokonaisreaktio on hapon katalysoima. Näin ollen voidaan olettaa, että vetysulfiitti-ionin kanssa reagoikin H_3O_2^+ -ioni. Tällöin vetysulfiitti-ionin hapettuminen rikkihapoksi voidaan esittää yhtälön (15) avulla¹² :



Otsonin toimiessa hapettimena reaktio ei ole hapon katalysoima. Tässä tapauksessa kyseessä on kokonaisreaktio, jossa happiatomi siirtyy O₃ molekyyliltä vetysulfiitti-ionille yhtälön (16) mukaisesti:



Sadeveden ollessa melko hapanta (pH<5) vetysulfiitti-ionin hapettuminen tapahtuu pääasiassa yhtälön (15) mukaisesti, kun taas vähemmän happamissa olosuhteissa hapettuminen tapahtuu lähinnä yhtälön (16) mukaisesti. Liuennut rikkidioksidi voi hapettua myös ei katalysoidussa reaktiossa happimolekyylin O₂ toimiessa hapettimena. Reaktio on kuitenkin ilmeisesti liian hidas, jotta sillä olisi käytännön merkitystä. Mikäli sadevesi sisältää katalyyttejä, kuten esimerkiksi rautaioneja, saattaa myös tämän reaktion nopeus kasvaa merkitykselliseksi.¹²

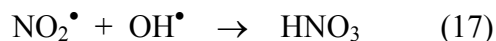
2.3 Typen oksidit happamoittavina yhdisteinä

Typen oksidien happamoittava vaikutus perustuu lähinnä siihen, että ne muuntuvat vähitellen typpihapoksi HNO₃. Typpihappo on luonteeltaan vahva happo ja veteen runsasliukoinen.¹⁰

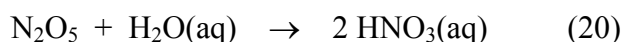
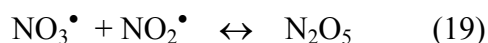
Typpihappo on ilmakehän typpidioksidin hapettumistuote. Typpidioksidia puolestaan muodostuu ilmakehään typpioksidin hapettuessa typpidioksidiksi. Lisäksi pieniä määriä typpidioksidia muodostuu suoraan polttoprosessien yhteydessä.¹³ Seuraavassa tarkastellaan lähemmin typpidioksidin hapettumista typpihapoksi.

Typpihappoa voi muodostua typpidioksidista lukuisten eri reaktioiden välityksellä.

Päiväsaikaan vallitsevin reaktio on yhtälön (17) mukainen kaasufaasireaktio:



Yöaikaan typpihappoa muodostuu puolestaan lähinnä alla olevan reaktiosarjan mukaisesti:



Edellä esitetyllä reaktiosarjalla on merkitystä ainoastaan yöaikaan, koska päiväsaikaan NO_3^\bullet hajoaa nopeasti valon vaikutuksesta.¹⁴

2.4 Rikkidioksidi- ja typen oksidien päästöt Suomessa

Rikkidioksidipäästöt ovat pienentyneet huomattavasti Suomessa 1990-luvulla. Verrattaessa vuoden 1998 tilannetta vuoden 1990 tilanteeseen havaitaan rikkidioksidipäästöjen kokonaismäärän pienentyneen noin 66 %:lla. Päästöjen pienenemisen ovat mahdollistaneet käytettävien polttoaineiden ja teknologian kehittyminen. Vuonna 1998 suurimmat rikkidioksidipäästöjen aiheuttajat olivat Suomessa sähkön- ja lämmöntuotanto (noin 51 % kokonaismäärästä) sekä teollisuuden polttoaineiden käyttö ja tuotantoprosessit (noin 46 % kokonaismäärästä).⁷

Typen oksidien (NO_x) kohdalla kehitys ei ole ollut yhtä suotuisaa. NO_x-päästöjen kokonaismäärä on pienentynyt vuodesta 1990 vuoteen 1998 noin 16 %:lla. Vuonna 1998 merkittävimmät NO_x-päästöjen aiheuttajat Suomessa olivat liikenne - mukaan lukien työkoneet - (noin 66 % kokonaismäärästä), sähkön- ja lämmöntuotanto (noin 18 % kokonaismäärästä) ja teollisuuden polttoaineiden käyttö (noin 12 % kokonaismäärästä).⁷

2.5 Pintavesien happamoituminen Suomessa

Vesistöjen happamoitumiseen vaikuttaa oleellisesti happaman laskeuman määrän lisäksi se, minkä tyyppinen vesistö on kyseessä. Karkeasti voidaan todeta, että parhaiten hapanta laskeumaa kestävät suuret ja rehevät järvet pienien ja karujen järvien happamoituessa herkemmin. Lisäksi esimerkiksi humuspitoisuus vaikuttaa oleellisesti vesistön happamoitumisherkkyteen. Valtaosassa Suomen järvistä humuspitoisuus onkin korkea. Tällöin vesi on humuksen ruskeaksi värittämää ja luonnostaan melko hapanta. Toisaalta juuri humuspitoiset järvet kestävät hyvin hapanta laskeumaa.^{15,7} Happamoituneita järviä on eniten Länsi-Uudellamaalla, Kaakkois-Suomessa, Tampereen pohjoispuolella, Pohjois-Karjalassa ja Oulun ympäristössä.⁷

Sekä kansainväliset että kotimaiset toimet happamoittavien päästöjen vähentämiseksi ovat tuottaneet myös tulosta, sillä uusimpien seurantatulosten mukaan happamoituneimmat järvet ovat toipuneet hiukan 1990-luvulla. Samansuuntainen kehitys näkyy myös laajemminkin Suomen järvissä. Norjaan ja Ruotsiin verrattuna Suomi on kuitenkin toipumisessa muutaman vuoden jäljessä.⁷

3 WWW-POHJAINEN OPETUS JA OPPIMISYMPÄRISTÖ

WWW-pohjainen opetus voidaan määritellä hypermediaperusteiseksi opetuksiksi, jossa hyödynnetään WWW:n ominaisuuksia ja resursseja pyrkimyksenä luoda mielekäs oppimisympäristö missä oppimista vaalitaan ja tuetaan. Tämän oppimisympäristön tulisi olla sellainen, että se tukee yhteistyötä ja toteuttaa WWW-pohjaisia toimia osana oppimiskehystä. Lisäksi oppimisympäristön tulisi tukea sekä aloittelijoita että taitajia.¹⁶

WWW-pohjaiseen opetukseen kuuluu keskeisenä osana erilaisia komponentteja. Nämä komponentit, yhdessä tai erikseen, voivat myötävaikuttaa yhteen tai useampaan ominaisuuteen. Esimerkiksi sähköpostin voidaan katsoa olevan komponentti, joka mahdollistaa asynkronisen kommunikoinnin (ominaisuus) oppilaille ja opettajalle. Vastaavasti sähköposti, uutisryhmät, konferenssityövälineet jne. voivat yhdessä myötävaikuttaa esim. virtuaaliyhteisön luomiseen verkkoon. Komponentit ja ominaisuudet eivät ole staattisia. Tekniikan kehittyessä WWW-pohjaisessa opetuksessa voidaan ottaa käyttöön uusia komponentteja ja myös käytössä olevat komponentit kehittyvät. Tämä puolestaan mahdollistaa uusien ominaisuuksien käyttöönoton. Näillä uusilla ominaisuuksilla voidaan puolestaan WWW-pohjaisia oppimisympäristöjä edelleen kehittää ja rikastuttaa.¹⁶

WWW:n hyödyntäminen etäopetuksessa on viimeaikoina saavuttanut suurta huomiota. Valtaosa opetuksesta tapahtuu kuitenkin edelleen luokkahuoneympäristössä. Tässä esityksessä keskitytäänkin lähinnä siihen, kuinka WWW:ä voidaan käyttää tukemaan luokkahuoneessa tapahtuvaa opetusta. Varjola¹⁷ on yhdistänyt lisensiaattitutkielmassaan Butlerin¹⁸ välinekäytön ja Gordin et al.¹⁹ oppimisyhteisökäytön kuvatessaan WWW:n käyttöä opetusvälineenä (taulukko 1).

Taulukko 1. WWW:n käyttö opetusvälineenä Butlerin¹⁸ välinekäytön ja Gordin et al.¹⁹ oppimisyhteisökäytön mukaan.¹⁷

Maailman tuominen luokkahuoneeseen	Luokkahuoneen toiminnan avustaminen	Luokkahuoneen avaaminen maailmalle
<p>Kokoelmia yleisistä tiedoista, ajasta riippuvia tietolähteitä, keskusteluryhmien ja muiden online-kommunikoinnin arkistoja sekä mahdollisuus päästä tutkimaan juuri itseään kiinnostavaa ilmiötä.</p> <p>Pääsy julkaistuihin töihin, kuten artikkeleihin, kuviin, esityksiin ja analysoituun tietoon. Esimerkiksi kirjastot, museot, hallituksen tiedotteet, opetussuunnitelmat ja aktiviteetit sekä luettelot.</p> <p>Pääsy välineisiin ja raakatietoon, kuten tuotantovälineisiin, laboratorio prosesseihin ja materiaaleihin, yhteisöjen luomiin tietokokoelmiin ja analysointivälineisiin esimerkiksi sääkartat, ilmaston tieteelliset</p>	<p>Helpottamaan opetuksen hallinnollisia tehtäviä, kuten kurssimateriaalin, tehtävien ja muistiinpanojen ja lisälukemisten tarjonta.</p> <p>Projektit, jotka voivat olla tekniikkalähtöisiä (opetellaan WWW:n ja muiden tietokoneohjelmien käyttöä), suunnittelusuuntautuneita (WWW-sivujen suunnitteleminen ja tekeminen) tai lähdesuuntautuneita (haetaan, arvioidaan ja käytetään tietolähteitä).</p> <p>Innovatiivisten luokkahuonetoimintojen avustamiseen ja luomiseen.</p> <p>Keskusteluun yhteisön jäsenten kanssa joko kirjallisesti tai suullisesti, kuten vaihtamalla kirjeitä, sähköposteja, puhelimitse ja haastatteluin esimerkiksi yhteys opettajien ja oppilaiden välillä, vanhempien ja paikallisen yhteisön välillä tai opiskelijoiden ja asiantuntijoiden välillä.</p>	<p>Käytettävissä on muiden opettajien tiedot ja taidot sekä opetusresurssit, muiden oppilaiden työt, opettajalle mahdollisuus seurata oppilaidensa työskentelyä sekä arvioida ja parantaa kurssiaan.</p> <p>Opiskelijoiden työ otetaan mukaan yhteisön julkaistuihin arkistoihin kun tiedemiehet keräävät ja käyttävät opiskelijoiden keräämää tietoa, esimerkiksi projektit TERC ja GLOBE.</p>

visualisoinnit ja interaktiivinen kartoitus.	Yhteistoiminnallinen työskentely oppimisympäristöissä, kuten kokeiden tekeminen yhdessä tai yhteistyöaktiviteettien suunnittelu, esimerkiksi kysymällä kysymyksiä, mentorointi.	
--	---	--

WWW:ä voidaan siis käyttää luokkahuoneessa tapahtuvan opetuksen tukemiseen tuomalla maailma luokkahuoneeseen, avustamalla luokkahuoneen toimintaa sekä avaamalla luokkahuone maailmalle. Opetus voi sisältää yhden tai useamman edellä mainituista osa-alueista riippuen lähinnä opetukselle asetetuista tavoitteista.

3.1 WWW-pohjaisen oppimisympäristön ja perinteisen luokkahuoneopetuksen eroista

WWW-pohjaisessa oppimisympäristössä opettajan ja oppilaan roolit poikkeavat siitä, mihin perinteisessä luokkahuoneopetuksessa on totuttu. Tellan²⁰ mukaan modernia tieto- ja viestintäteknikkaa käytettäessä opettajan työnkuva muuttuu ja oppilaat pääsevät itse hankkimaan informaatiota, jonka opettaja on perinteisesti heille aikaisemmin välittänyt. Parhaimmillaan opettajasta voi kehittyä oppimistilanteen ohjaaja, kanssaoppija, konsultti, neuvoja. Opettajan työnkuvan muuttumiseen tiedon jakajasta oppilaiden auttajaksi ja työnohjaajaksi liittyy myös näkökulma opettajan vallankäytön demokratisoitumisesta. Ts. opettaja jakaa osan entistä ns. valtaansa oppilaille, esimerkiksi antamalla heille mahdollisuuden omaehtoiseen informaation hakuun ja vertailuun. Tella toteaa myös, että telekommunikaatio tehostaa oppilaiden välistä viestintää samalla, kun se antaa heille mahdollisuuden tulla opettajiksi ja jopa ylittää oman opettajansa taidot. Taulukossa 2 on esitetty tiivistäen eräitä tyypillisiä eroja

perinteisen luokkahuoneopetuksen ja modernia tieto- ja viestintäteknikkaa hyödyntävän opiskeluympäristön välillä.

Taulukko 2. Traditionaalisen luokkahuoneopetuksen ja tieto- ja viestintäteknikkaa käyttävän opiskeluympäristön tyypillisiä piirteitä Pollard & Pollardin esittämänä Tellan²⁰ mukaan.

TRADITIONAALINEN LUOKKAHUONEOPETUS	TEKNOLOGIAA HYÖDYNTÄVÄ OPISKELUYMPÄRISTÖ
Vastuu oppimisesta opettajalla	Vastuu oppimisesta oppijalla
Opettaja sisällön asiantuntijana	Opettaja oppimisen asiantuntijana
Opettaminen instruktiivisena prosessina	Opettaminen konstruktivisena prosessina
Passiiviset oppijat	Aktiiviset oppijat
Opettaja asioiden esittäjänä ja tiedonvälittäjänä	Opettaja oppimistapahtuman helpottajana ja tiedon järjestelijänä
Oppijalla käytävissään vain oppikirjoja ja muuta painettua, vanhentunutta aineistoa	Oppijalla käytävissään uuden tekniikan avulla valtavia määriä informaatiota
Luokkahuoneen eristyneisyys	Opiskeluympäristö ulottuu luokan seinien ulkopuolelle
Oppija informaation vastaanottajana	Oppija luovana ongelmanratkaisijana ja informaation käyttäjänä
Painotus yksilöllisissä projekteissa ja saavutuksissa	Painotus yhteistoiminnallisissa ja ryhmäprojektorientoituneissa toiminnoissa
Opettajat hoitamassa hallinnollisia tehtäviä valtaosan päivää	Tietokonetekniikka helpottamassa opettajien hallintotyötä

3.2 WWW-pohjaisen oppimisympäristön mahdollisuudet opetuksessa

WWW-pohjaisen oppimisympäristön mahdollisuuksista opetuksessa on kenties eniten julkisuudessa esillä olleet tiedon saatavuuteen ja hakuun liittyvät näkökulmat. Perinteisiin tietolähteisiin verrattuna WWW:n kautta saatavissa olevien tietolähteiden määrä on moninkertainen. Lisäksi tietoverkot mahdollistavat nopean tiedonhaun. Tiedon määrä yhdistettynä sen nopeaan hakuun mahdollistaa WWW:n käytön mm. oppikirjoissa ja muissa lähteissä olevien tietojen vertailuun. Näin ollen esim. projektityötä tekevät oppilaat eivät ole riippuvaisia ainoastaan yhdestä lähteestä, kuten tietosanakirjasta, vaan tutkittavista asioista on saatavissa hyvin monipuolista tietoa. Nopea tiedonhaku mahdollistaa myös monien toistettujen ja tarkennettujen hakukierrosten toteuttamisen. Useiden tiedonhaun vaiheiden läpikäyminen ei ole ollut kovin yleistä perinteisiä tiedonhaun keinoja käytettäessä, vaan oppilaat ovat yleensä tyytyneet ensimmäiseen löytämäänsä aihepiiriin soveltuvaan lähteeseen. Monivaiheisen ja tarkentuvan tiedonhaun toteuttaminen ei tarjoa ainoastaan mahdollisuutta tutkittavaa teemaa koskevan tiedon syventämiseen, vaan myös mahdollisuuden yleisempien tiedonhaun, käsittelyn ja arvioinnin strategisten taitojen oppimiseen.²¹ Verkossa olevaa tietoa hakemalla, arvioimalla ja yhdistämällä oppija voi olla aktiivinen ja konstruoida ymmärrystään. Laajan tietovaraston ja nopean tiedonhaun lisäksi tietoverkkoja voidaan käyttää tiedonhakuun joustavasti, tietoverkoissa oleva tieto on usein ajankohtaisempaa ja sen saa esille helpommin kuin kirjoista tai muista painetuista lähteistä. Tiedon saatavuutta ei rajoita esim. se, että tarvittava kirja on jo lainattu kirjastosta.²² Edellä mainittu tiedon ajankohtaisuus tarjoaa myös mielenkiintoisia mahdollisuuksia opetukseen. Esim. tieteellistä mittaustietoa sisältävät tietokannat voivat olla täysin avoimia, eli niiden sisältämää mittaustietoa on mahdollista hyödyntää myös suoraan opetuksessa.²³

Tietoa voidaan tarkastella myös julkaisemisen kannalta. WWW-pohjaisen oppimisympäristön suurimpia etuja on sen tarjoama mahdollisuus helppoon ja nopeaan julkaisuun. Lehtinen²¹ toteaa, että World Wide Web on jo nyt muodostanut demokraattisen julkaisukanavan, jossa on helppo julkaista omat tuotokset periaatteessa kenen tahansa internetin käyttäjän nähtäväksi. Tällainen mahdollisuus tuo hänen mukaan oppilaiden toteuttamiin projekteihin aivan uudenlaisen ulottuvuuden. Jotakin asiaa ei enää selvitetä ainoastaan harjoittelun vuoksi, vaan oma tuotos tulee olemaan myös samasta asiasta kiinnostuneiden ulkopuolisten tiedonetsijöiden nähtävissä. Edelleen hän toteaa, että tällainen yhteyden muodostuminen ulkopuolisen maailman kanssa voi olla erityisen merkityksellistä. Hänen mukaan oppilaiden suorittamista selvityksistä tulee paljon mielekkäämpiä, autenttisempia ja myös vaikutuksiltaan merkityksellisempiä, kun aineistosta tulee osa internetin kautta jaettavaa yhteistä tietopääomaa.²¹ Tiedon tuottaminen verkkoon on myös omiaan vähentämään verkon salaperäisyyttä. Tuottamalla tietoa verkkoon myös käyttäjän kyky käyttää itse verkkoa paranee.²⁴

WWW-pohjaisen oppimisympäristön mahdollisuuksia opetuksessa voidaan tarkastella myös oppimateriaalin näkökulmasta. WWW-materiaali tarjoaa useita uusia mahdollisuuksia verrattuna perinteisiin kirjoihin. Hyvän oppimateriaalin tunnusmerkkinä voidaan pitää sitä, että materiaalia voivat käyttää eritasoiset opiskelijat erilaisissa oppimistarkoituksissa. Tietoverkossa oleva hypertekstimateriaali on yksi mahdollisuus tehdä monipuolista, adaptiivista oppimateriaalia. Hypertekstin sisältämät linkit voidaan toteuttaa siten, että ne mukautuvat käyttäjän tai sisällön perusteella.²³ Lisäksi hypermedia sovelluksia voidaan korjata ja päivittää tarvittaessa välittömästi ja sähköposti mahdollistaa nopean interaktiivisen kommunikoinnin materiaalin käyttäjien

ja kehittäjien välillä. WWW-materiaalin avulla on myös mahdollista pienentää materiaalin jakelusta aiheutuvia kustannuksia, sillä materiaalin kopiointi- ja jakelukulut muodostuvat ainoastaan käytettävän palvelimen aiheuttamista kustannuksista. Luonnollisesti materiaali on myös käytettävissä maailmanlaajuisesti vuorokauden ympäri.²⁵

Hypermedian avulla materiaali voidaan myös linkittää varsinaista asiaa tukevaan tietoon, kuviin ja videoleikkeisiin.²⁶ Esimerkiksi kemian oppiminen rakentuu pitkälti oppilaiden aiempien käsitysten varaan. Oppilailla on usein vaikeuksia yhdistää kyseisellä hetkellä opiskeltava aihe aiemmin opittuihin asioihin. Tämä puolestaan voi aiheuttaa uuden asian oppimisen vaikeutumisen ja muuttumisen jopa mahdottomaksi. Tehtävästä suoriutumiseen tarvittavan taustatiedon etsiminen voi olla työlästä ja vaikeaa käytettäessä perinteisiä lähteitä, kuten oppikirjoja. Oppilas ei välttämättä edes tiedä, mikä kaikki taustatieto on tehtävän kannalta oleellista taikka mistä sitä voisi löytää. Lisäksi tarvittava taustatieto voi löytyä useasta eri kirjasta. Tämä linkkien muodostaminen tarvittavien taustatietojen ja työn alla olevan tehtävän välillä onnistuu WWW-pohjaisella oppimisympäristöllä joustavasti ja toimivasti. Tarvittavat linkit voidaan liittää suoraan työn alla olevaan tehtävään ja oppilas pääsee näin ollen välittömästi käsiksi tehtävän kannalta oleelliseen taustatietoon. Paluu alkuperäiseen tehtävään käy yhtä vaivattomasti. Tämä voi edesauttaa oppilasta näkemään ”suuren kuvan” aikaisemmin. Suuren kuvan näkemisellä tarkoitetaan tässä yhteydessä kykyä muodostaa yhteyksiä ilmiöiden, käsitteiden ja tietojen välillä.²⁵ Lisäksi linkkien etuna on se, että ne voidaan sisällyttää alkuperäiseen tehtävään siten, että oppilaan ei tarvitse niitä välttämättä edes käyttää, mikäli hänellä on edellytykset suoriutua tehtävästä ilman aiempien tietojen ja käsitysten kertaamista. Linkkejä voidaan muodostaa luonnollisesti

myös varsinaista aihetta syventävään tietoon. Lopuksi todettakoon vielä, että tietoverkossa oleva oppimisdokumentti voi sisältää elementtejä, joita on mahdoton esittää paperimuodossa, esimerkiksi fysikaalisten ilmiöiden simulaatiot ja niiden reaaliaikainen ohjaaminen.²³

Monissa tämän päivän ammateissa uusi asiantuntijuus eli osaaminen edellyttää kykyä käyttää tieto- ja viestintäteknikkaa. Näin ollen on ilmeistä, että tieto- ja viestintäteknikkaa tarvitaan myös kouluun. Uusien välineiden avulla voidaan siirtyä perinteisistä koulun työmuodoista kohti työmuotoja ja työkulttuuria, joita elävä elämä edustaa. Tieto- ja viestintäteknikka avaa koulun yhteiskuntaan ja yhteiskunnan kouluun tehokkaammin kuin mikään aikaisempi väline.²⁷ Lehtinen²¹ toteaaakin, että simulaatioiden ja tietoverkkojen avulla on mahdollista ottaa opiskelijat mukaan aitojen tai niitä mahdollisimman aidosti jäljittelevien reaalimaailman ongelmien ratkaisuun. Hänen mukaan vastaavasti tietotekniikan keinoin on voitu antaa oppilaiden käyttöön sellaisia tiedon hankinnan, analysoinnin ja organisoinnin työvälineitä, joilla kompleksisten ongelmien hallinta käy mahdolliseksi.²¹

WWW-pohjainen oppimisympäristö antaa uusia mahdollisuuksia myös opiskelijoiden väliseen kommunikointiin. Sähköposti mahdollistaa lähes reaaliaikaisen yhteyden jopa toisella puolella maailmaa olevien opiskelijoiden tai asiantuntijoiden kanssa. Myös videokonferenssia on mahdollista käyttää opiskelijoiden, opettajien ja asiantuntijoiden välisessä kommunikaatiossa.²³

WWW-pohjaisen oppimisympäristön mahdollisuuksia voidaan tarkastella myös yhteistoiminnallisuuden kannalta. WWW-työt ovat nimittäin luontevasti

yhteistoiminnallisia projekteja. Ne voivat olla rajattuja projekteja, joissa projektityön ja yhteistyön taidot kehittyvät. Usein työt ovat laajahkoja kokonaisuuksia, josta johtuen työt edellyttävät oppilailta sisällön suunnittelua ja tekemistä, visuaalista näkemystä ja osaamista sekä teknistä taitoa. Jokaisella oppilaalla ei näin ollen ole kaikkia tarvittavia taitoja, mutta ei myös toisaalta tarvitsekaan olla. Tällöin työtä voidaan pitää luonnollisena ja aitona yhteistyöprojektina, kuten koulun ulkopuoliset ”oikeat” hankkeetkin ovat. Jokaisella oppilaalla on omaa erityisosaamista, jota ei välttämättä muilla oppilailla tai opettajalla ole. Tätä kutsutaan jaetuksi asiantuntijuudeksi, joka on kiinnostava ja haasteellinen seuraus muuttuvasta oppimisympäristöstä.²⁸ Jaetun asiantuntijuuden merkitystä opetuksen yhteydessä lisää osaltaan se, että tulevaisuuden työelämässä osaaminen ja oppiminen perustuvat yksilöllisen taituruuden lisäksi olennaisesti myös sosiaalisesti jaettuun tiedon hallitsemiseen.²¹

Tarkastellaan vielä lähemmin WWW-pohjaisen oppimisympäristön mahdollisuuksia asiantuntijuuden näkökulmasta. Lehtisen²¹ mukaan tietoverkkojen välityksellä oppilailla ja opiskelijoilla on mahdollisuus opettajan välittömästä ohjauksesta riippumatta seurata verkoissa tapahtuvaa asiantuntijoiden keskustelua ja myös osallistua tähän omalla panoksellaan. Hänen mukaan tällaisessa vuorovaikutuksessa raja opiskelijan ja alan asiantuntijayhteisön ”puhevaltaisen jäsenen” välillä ei ole enää yhtä jyrkkä kuin se on ollut perinteisessä akateemisessa maailmassa. Opiskelija ei ole ainoastaan erityisesti suunniteltujen opetustoimintojen kohde, vaan vähitellen vaativampiin suorituksiin pystyvä asiantuntijuuden kulttuurin ”oppipoika ja kisälli”.²¹

Edellä keskityttiin lähinnä www-pohjaisen oppimisympäristön tarjoamiin mahdollisuuksiin kiinnittämättä juuri huomioita siihen liittyviin rajoituksiin ja

ongelmiin. Luonnollisesti myös WWW-pohjaiseen oppimisympäristöön liittyy rajoituksia ja ongelmia, joista seuraavassa muutamia esimerkkejä. WWW:ssä olevaan tietoon voi liittyä useita ongelmia. WWW:n laajojen tietovarastojen hyödyntäminen edellyttää usein riittäviä taustatietoja kyseisestä aiheesta. Oppilaille ei välttämättä kuitenkaan ole tarvittavia taustatietoja, mikä voi estää WWW:n tietovarastojen tehokkaan hyödyntämisen. Opettaja voi tällöin helpottaa tiedonhakuja esim. antamalla oppilaille tilanteeseen sopivia hakusanoja. Toisaalta WWW:ssä ei välttämättä ole käyttökelpoista tietoa jokaisesta aiheesta. Käynti kirjastossa voi tällöin olla parempi vaihtoehto verrattuna usean tunnin kestäväan WWW-sivujen selailuun. Myös tiedon julkaisuun saattaa liittyä odottamattomia ongelmia. Oppilaat eivät välttämättä kiinnitä riittävästi huomiota tuottamansa materiaaliin laatuun tai sisällön asianmukaisuuteen.¹⁸ Usein verkkotöissä ei mielletä lähdesuojaa lainkaan ja luvaton kopiointi on teknisesti erittäin helppoa. Lisäksi verkossa julkaistavia tehtäviä ei juuri mielletä kirjallisiksi julkisiksi tuotoksiksi.²⁹ Ongelmia voi aiheuttaa myös WWW-pohjaisen oppimisympäristön integroiminen käytävään kurssiin. Mikäli WWW:ä käytetään ainoastaan erillisenä lisukkeena, sen vaikutukset jäänevät vähäisiksi.¹⁸ WWW-pohjaisen oppimisympäristön käyttöön liittyy useita muitakin ongelmia ja rajoituksia mutta tässä yhteydessä niihin ei sen enempää syvennyttä.

3.3 WWW-pohjainen oppimisympäristö kemian opetuksessa

WWW-pohjaista oppimisympäristöä kemian opetuksessa on tutkittu erittäin vähän. Aksela³⁰ on tutkinut kehittämäänsä WWW-pohjaista oppimisympäristöä, jota seuraavassa kutsutaan tutkimustoriksi (Virtual Research Platform, VRP). Hänen kehittämä tutkimustori on suunniteltu interaktiiviseen kemian opetukseen yläaste- ja

lukiotasolla ja sen aiheena on orgaaniset reaktiot ja niiden ominaisuudet. Tutkimustori koostuu tutkimus-, kirjasto-, keskustelu- ja arviointiosastosta, joita oppilaat voivat käyttää tutkimuksissaan kohti ennalta määriteltyjä tavoitteita. Tutkimusosastossa oppilailla on käytössään mittausautomaatio järjestelmä ja internetyhteydet. Mittausautomaatio järjestelmä koostuu antureista (kuten lämpötila- ja pH-anturi), jotka voidaan yhdistää tietokoneeseen. Tietokoneen avulla antureilla kerätty data voidaan esittää ja analysoida monin eri tavoin reaaliajassa. Internetyhteyksien avulla oppilaat voivat puolestaan hyödyntää erilaisia tietopankkeja ja kirjastoja sekä konsultoida asiantuntijoita.³⁰

Akselan alustavien tapaustutkimustulosten mukaan tutkimustori tarjoaa joustavan ja tehokkaan oppimisympäristön kemian opiskeluun. Oppilaat olivat innostuneita ja laboratoriotyöskentely oli aktiivista. He keskustelivat aktiivisesti aiheesta ja kysyivät myös neuvoa internetin välityksellä teollisuudessa työskentelevältä kemian tutkijalta. Oppilaat saivat motivoivan ja mielekkään kokemuksen kemian opiskelusta ja sanoivat olevansa erittäin halukkaita käyttämään tutkimustoria myös jatkossa.³⁰

Kuten edellä todettiin, WWW-pohjaisesta oppimisympäristöstä kemian opetuksessa ei ole tehty juurikaan tutkimuksia. Tosin Varjola³¹ on tutkinut hieman yleisemmällä tasolla internetin käyttöä kemian opetuksessa ja opiskelussa. Hän on tutkimuksessaan pyrkinyt selvittämään, miten internetiä käytetään kemian opiskelussa koulun oppitunneilla ja miten tavoitteisuus ja vuorovaikutteisuus toteutuvat internet-oppitunneilla sekä miten internet välineenä otettu käyttöön. Tutkimuksen hän toteutti tekemällä neljä tapaustutkimusta eri kouluilla. Tulosten perusteella hän toteaa internetin olevan opetuksessa väline, joka voi innostaa oppilaita uutuudellaan, mutta myös hyödyttää

havainnollistamisessa ja auttaa tavoitteisuuden ja vuorovaikutteisuuden toteuttamisessa tunneilla siten, että opettajakin saa hyödyllistä lisätietoa oppilaittensa osaamisesta ja käsityksistä jo oppitunnin aikana.³¹

4 MITTAUSAUTOMAATIO LUONNONTIETEIDEN OPETUKSESSA

Tietokoneeseen liitettävällä mittausjärjestelmällä tarkoitetaan tässä esityksessä sellaista mittausohjelman ja mittalaitteiden muodostamaa kokonaisuutta, jolla mitataan ja käsitellään mittaustuloksia. Mittausjärjestelmällä tulokset voidaan esittää näytöllä, ne voidaan tallentaa levykkeelle tai tulostaa paperille. Mittausohjelmalla tarkoitetaan puolestaan tietokoneessa käytettävää ohjelmaa, jolla voidaan ohjata tietokoneeseen liitettyä anturia, kerätä sen avulla luonnosta tietoa, esittää tietoa ja mallintaa ilmiöitä. Mittausjärjestelmän avulla on mahdollista tehdä samoja mittauksia kuin erillisillä mittalaitteilla kuten jännitemittarilla. Mittausautomaation opetuskäyttö on mittausjärjestelmän käyttöä oppitunnilla.³²

4.1 Mittausautomaation edut luonnontieteiden opetuksessa

Luonnontieteiden opetuksessa keskeisessä asemassa on kokeellinen lähestymistapa. Mittausautomaation käytöllä voidaan saavuttaa useita etuja verrattuna perinteisiin kokeellisiin menetelmiin. Mittausautomaation avulla mittaukset voidaan suorittaa erittäin nopeasti. Samoin tulosten esittäminen ja käsittely tapahtuu mittausautomaation avulla nopeasti. Säästynyt aika voidaan käyttää esimerkiksi lisämittauksiin ja oppilaiden välisen vuorovaikutuksen lisäämiseen. Lisäksi oppilaille voidaan antaa enemmän aikaa esimerkiksi kokeellisen työskentelyn suunnitteluun ja raportointiin. Nopeuden ansiosta

voidaan kokeellisuutta opetuksessa myös lisätä. Mittausjärjestelmän avulla voidaan myös tarvittaessa nopeasti testata oppilaiden esittämien hypoteesien ja arveluiden paikkansapitävyyttä sekä tutkia myös hyvin nopeita (tai vastaavasti hitaita) ilmiöitä, joita perinteisillä laitteilla olisi mahdotonta tutkia. Mikäli käytettävissä on siirtoheitin tai videotykki, voidaan mittausjärjestelmän avulla esittää esimerkiksi opettajan suorittama demonstraatio hyvin suurellekin ryhmälle.^{33,34}

Mittausautomaation etuihin kuuluu myös monipuolisuus. Mittaustuloksia voidaan käsitellä, muokata, mallintaa ja saada tulokset helpommin tulkittavaan muotoon. Mittaustuloksia voidaan käsitellä varsinaisessa mittausohjelmassa (esimerkiksi derivoiminen ja suoran sovitus), tai tulokset voidaan siirtää ja käsitellä nopeasti erilaisten analysointiohjelmien avulla. Mittaustulosten siirtäminen tekstinkäsittelyohjelmaan esimerkiksi raportin laatimista varten käy myös vaivattomasti. Monipuolisuutta lisää myös se, että mittausjärjestelmän avulla voidaan mitata useampia suureita samanaikaisesti ja tutkia eri suureiden välisiä riippuvuuksia. Lisäksi mittauksissa saadut tulokset voidaan esittää monin eri tavoin, esimerkiksi taulukkoina tai graafisessa muodossa. Esittämällä tulokset graafisessa muodossa tuloksien tulkintaa voidaan helpottaa. Tuloksien graafinen esittäminen auttaa oppilasta hahmottamaan suureiden välisiä riippuvuuksia ja näin todentamaan ilmiöön liittyviä kokeellisia lakeja. Lisäksi mittaustulosten graafinen esitys saadaan jo mittauksen kuluessa. Tällä on suuri merkitys oppimiselle, sillä jos ilmiöstä kerätty tieto esitetään vasta viiveen jälkeen graafisesti, tiedon tulkitseminen on hankalampaa. Myös mittaustulosten graafisen esityksen käyttömahdollisuudet ovat monipuoliset. Tarkasteltavasta ilmiöstä saatuja mittaustuloksia voidaan vaivattomasti esittää eri tavoin eri koordinaatistoissa. Tällä voidaan edesauttaa ilmiön syvällisempää ymmärtämistä.^{33,35}

Mittausautomaation avulla voidaan luonnollisesti myös vähentää havainto- ja mittausvirheitä ja lisätä mittausten tarkkuutta.³³ Tämä mahdollistaa entistä vaativampien kvantitatiivisten kokeiden tekemisen.³⁶

Mittausautomaation opetuskäyttö antaa oppilaille mahdollisuuden tutustua nykyaikaiseen mittaus- ja säätötekniikkaan. Tällä on merkitystä muun muassa sen vuoksi, että opetusta antavan laitoksen tulee olla yhteiskunnan käyttämän teknologian tasolla.³⁴ Mittausautomaation opetuskäytöllä voi olla myös oppilaiden yleistä motivaatiota kohottava vaikutus, sillä tietokoneiden kanssa työskentely on yleensä motivoivampaa kuin työskentely ilman niitä. Lisäksi hyödynnettäessä mittausautomaatiota avoimissa luonnontutkimustehtävissä mittausautomaation opetuskäyttö lähestyy luonnontieteilijän työskentelytapaa.³³

4.2 Mittausautomaatio luonnontieteiden opetuksessa – tutkimustuloksia ja kriittistä tarkastelua

Edellä esiteltiin lukuisia etuja, joita mittausautomaation opetuskäytöllä voidaan luonnontieteiden opetuksessa saavuttaa. Eduista huolimatta ei ole itsestään selvää, että perinteisten kokeellisten menetelmien korvaaminen mittausautomaation opetuskäytöllä johtaisi parempiin tuloksiin. Lazarowitz ja Tamir³⁵ ovat tiivistäneet luonnontieteiden opetuksen ja oppimisen tutkimuksen käsikirjaan tutkimuksista saatuja tuloksia. Heidän mukaan tutkimustulokset viittaavat siihen, että mittausautomaation opetuskäytöllä ei ole pääsääntöisesti saavutettu oleellisesti parempia tuloksia verrattuna perinteisiin kokeellisiin menetelmiin. He toteavat kuitenkin, että käytettäessä mittausautomaatiota oppilaat tarvitsevat vähemmän aikaa päästäkseen tietylle suoritustasolle. Lisäksi he

arvioivat mittausautomaation opetuskäytön mahdollisuudet valtaviksi. Nakhleh³⁷ puolestaan tiivistää mittausautomaation opetuskäyttöä koskevista tutkimuksista saatuja tuloksia toteamalla, että mittausautomaatio näyttää olevan tehokas motivoija ja oppimisen väline, kunhan vain opettaja ja oppilaat osaavat käyttää sitä viisaasti.

Luonnollisesti mittausautomaation opetuskäyttöön voi liittyä myös monenlaisia ongelmia. Lavonen³⁸ jakaa nämä ongelmat käytännön ongelmiin ja pedagogisiin ongelmiin. Kun mittausautomaation opetuskäyttö ei tue oppiaineen luonteen mukaisia lähestymistapoja tai uuden oppimiskäsityksen mukaista oppimista, ollaan tekemisissä pedagogisten ongelmien kanssa. Käytännön ongelmat liittyvät puolestaan mm. inhimillisiin ja taloudellisiin resursseihin. Esimerkiksi opettajien tiedot ja taidot tietotekniikan hyödyntämisestä ovat usein puutteellisia. Käytännön ongelmista hän tuo myös esiin muun muassa sen, että tietokoneita on hankittu kouluissa lähinnä tietokonealuokkiin. Jotta tietotekniikan hyödyntäminen opetuksessa olisi joustavaa, tulisi tietokoneita olla myös aineluokissa.

Hämäläinen³⁴ kuvaa artikkelissaan mittausautomaation opetuskäyttöön liittyviä haittoja lähinnä uuden välineen käytön kannalta. Hänen mukaansa uuden välineen hallitseminen edellyttää asiaan perehtymistä ja ainakin hieman mittaustekniikan opiskelua. Tämä yhdistettynä yleiseen tietokoneita kohtaan tunnettuun epävarmuuteen on omiaan herättämään torjuntaa. Vaikka mittausautomaation avulla voidaan nopeuttaa ja helpottaa kokeellisia mittauksia ja tulostenkäsittelyä, on kokeelliseen työskentelyyn valmistautuminen kuitenkin vaativampaa. Hämäläinen tuo esiin myös yleisen väittämän, jonka mukaan tietokone on ”musta laatikko”, joka hämärtää fysiikan. Toisin sanottuna oppilaille ei muodostu yhteyttä fyysikaalisen tapahtuman ja koneen esittämien

tulosten välille. Tämän taustalla on ajatus, jonka mukaan kokeissa saa käyttää ainoastaan sellaisia välineitä, joiden toiminnan oppilaat täysin ymmärtävät. Tutkimuksista ei ole kuitenkaan saatu tukea tälle ajattelutavalle. Ajattelutapaa voidaan kyseenalaistaa myös sen perusteella, että harva oppilas ymmärtää täysin, miten esimerkiksi taskulaskin toimii.³⁴

Mittausautomaatiolla ei tulisi korvata kokonaan perinteisten välineiden käyttöä kokeellisessa työskentelyssä. Monet kokeet on jopa helpompi toteuttaa perinteisillä välineillä. Lisäksi perinteisillä välineillä voidaan joitakin kokeita havainnollistaa tehokkaammin. Esimerkiksi analoginen viisarimittari saattaa kvalitatiivisessa kokeessa osoittaa paremmin ilmiön voimakkuuden tai tapahtumien etenemissuunnan.³⁹ Toisaalta ei ole tarkoituksenmukaista asettaa vastakkain mittausautomaation opetuskäyttöä ja perinteisiä menetelmiä. Lavonen⁴⁰ toteaaakin, että kehitettäessä mittausautomaation opetuskäyttöä tarkoituksena on löytää keinoja, joiden avulla oppilasta voidaan kehittää monipuolisemmin koululle asetettujen tavoitteiden suunnassa ja toisaalta rikastaa oppilaiden oppimiskokemuksia.

5 YMPÄRISTÖKEMIAN TUTKIMUSTORI

Edellisissä luvuissa tarkasteltiin happamoitumista, WWW-pohjaista oppimisympäristöä ja mittausautomaation opetuskäyttöä. Tässä luvussa puolestaan esitellään WWW-pohjainen oppimisympäristö, jossa hyödynnetään mittausautomaatiota ja jonka aiheena on vesistöjen happamoituminen. Tätä oppimisympäristöä kutsutaan seuraavassa ympäristökemian tutkimustoriksi. Se on laadittu lähinnä lukiotason kemian opetusta varten.

5.1 Ympäristökemian tutkimustorin kehitystyön vaiheet

Ympäristökemian tutkimustorin kehitystyön lähtökohtana oli Akselan aiemmin laatima orgaanisten reaktioiden tutkimustori.⁴¹ Ympäristökemian tutkimustorin kehittäjällä oli siis käytettävissään valmis sivusto, jota muokkaamalla oli tarkoitus kehittää tutkimustori, jonka teemana on ympäristökemia. Tutkimustorin kehittäjällä oli puolestaan entuudestaan käsitys siitä, kuinka mittausautomaatiota voidaan hyödyntää kemian opetuksessa tutkittaessa vesistöjen happamoitumiseen liittyviä kemian ilmiöitä. Näin ollen hän valitsi ympäristökemian tutkimustorin aiheeksi vesistöjen happamoitumisen.

Aiheen valinnan jälkeen tutkimustorin kehittäjä perehtyi kirjallisuuden avulla WWW-pohjaiseen oppimisympäristöön, mittausautomaation opetuskäyttöön ja

happamoitumiseen ilmiönä. Tämän vaiheen rinnalla käynnistyi myös konkreettinen tutkimustorin muokkaaminen Akselan tutkimustorista⁴¹ kohti ympäristökemian tutkimustoria. Ympäristökemian tutkimustorin kehitystyössä hyödynnettiin palautetta, jota Aksela oli saanut oppilailta kehittämästään tutkimustorista. Palaute välittyi torin kehittäjälle Akselan kanssa käytyjen keskustelujen muodossa. Aksela oli mukana ympäristökemian tutkimustorin kehitystyössä laajemminkin antamalla palautetta ja parannusehdotuksia kehitystyön kaikissa vaiheissa.

Kehitystyön seuraavassa vaiheessa pyrittiin hyödyntämään opettajien mielipiteitä tutkimustorin sen hetkisestä versiosta. Opettajien mielipiteitä selvitettiin lukion keskeinen kemia –kurssin yhteydessä 29.03-30.3.2001. Opettajat tutustuivat tutkimustoriin ja kokeilivat myös käytännössä tutkimus 3:ta (hiilidioksidi ja veden happamuus). Lopuksi he täyttivät kyselylomakkeen (liite 1). Lomakkeen palautti yhteensä kahdeksan opettajaa.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan kyselylomakkeen avulla oli tarkoitus perehtyä varsin syvällisesti opettajien käsityksiin ja mielipiteisiin tutkimustorista. Mielipiteiden keräämisvaiheessa tutkimustori oli kuitenkin vielä keskeneräinen ja vastauksia saatiin ainoastaan kahdeksan kappaletta. Lisäksi opettajilla oli käytettävissään tutkimustorin arvioimiseen suhteellisen vähän aikaa - valtaosa opettajista käytti arviointiin enintään puoli tuntia. Näin ollen mielipiteiden keräämisen päätarkoituksiksi muodostui opettajien kehittämisajatusten ja ideoiden kerääminen. Toisin sanottuna kysely toimi välineenä kehitettäessä tutkimustoria eteenpäin.

Kaikki kyselyyn osallistuneet opettajat opettivat joko lukiossa tai yläasteella ja lukiossa. Opettajien ikäjakauma oli hyvin tasainen, opettajakokemuksen vaihdellessa muutamasta vuodesta yli 20 vuoteen. Jokainen opettaja ilmoitti käyttävänsä tietokonetta joko päivittäin tai usein. Mittausautomaatiolaitteistoja puolestaan ilmoitti käyttäneensä opetuksessa ainoastaan kolme opettajaa kahdeksasta. Huomionarvoista opettajien taustassa oli myös se, että kaikki kyselyyn osallistuneet opettajat olivat kiinnostuneita käyttämään mittausautomaatiojärjestelmää kemian opetuksessa. Toisaalta kuusi opettajaa kahdeksasta koki tarvitsevansa lisäkoulutusta mittausautomaation käytössä kahden opettajan vastatessa ”en osaa sanoa” ko. kysymykseen. Kiinnostus tutkimustoryyppisiä sivustoja kohtaan oli myös korkea, sillä jokainen opettaja ilmoitti olevansa kiinnostunut käyttämään tutkimustoryyppisiä sivustoja kemian opetuksessa.

Opettajien esille tuomien ajatusten pohjalta tutkimustoriin tehtiin useita muutoksia. Luonnollisesti kaikkia esille tulleita muutosehdotuksia ei toteutettu, vaan torin kehittäjä toteutti ehdotuksista ne, joita hän piti tärkeinä ja toteuttamiskelpoisena. Valitessaan toteutettavia muutosehdotuksia hän sai apua Akselan kanssa käydyistä keskusteluista. Seuraavassa tarkastellaan keskeisimpiä muutoksia, joita opettajien esittämien ajatusten perusteella tutkimustoriin tehtiin.

Saadun palautteen perusteella tutkimustorin ohjeita pyrittiin selkeyttämään. Esimerkiksi tutkimuksien tutkimustehtäviä muokattiin selkeämmiksi ja yleisohjeiden luettavuutta parannettiin ryhmittelemällä ohjeen sisältö havainnollisemmaksi. Opettajien toiveiden perusteella myös tekstin määrää hieman vähennettiin. Tekstin määrän vähentäminen todennäköisesti myös selkeytti ohjeita. Saadun palautteen perusteella myös kirjasto-osaston tiedonhaun linkkejä muutettiin. Linkkien määrää vähennettiin karsimalla

tehtävien kannalta vähemmän hyödyllisiä linkkejä ja linkit ryhmiteltiin kotimaisiin ja ulkomaisiin. Lisäksi opettajien toiveiden mukaisesti tutkimustorin kuvia vaihdettiin.

Edellä kuvattiin lyhyesti ympäristökemian tutkimustorin kehitystyön eri vaiheet. Seuraavassa luvussa esitellään tämän kehitystyön tuloksena syntynyt tutkimustorin viimeisin versio.

5.2 Ympäristökemian tutkimustorin esittely

Ympäristökemian tutkimustorin kehitystyössä keskeisessä asemassa oli ajatus, jonka mukaan torin tulisi soveltua hyvin monenlaisten oppilasryhmien opetukseen. Toisaalta olisi ollut erittäin vaikeaa laatia torista sellainen, että se soveltuisi suoraan erilaisten oppilasryhmien opetukseen. Tämä ongelma pyrittiin ratkaisemaan siten, että kemian opettajat voivat ladata tutkimustori sivuston kokonaisuudessaan koulun tietokoneille. Tällöin opettajat voivat helposti itse muokata sivustosta kuhunkin opetustilanteeseen sopivan. He voivat esimerkiksi poistaa sivustosta osia, jotka eivät sovellu kyseessä olevan oppilasryhmän opetukseen. Näin ollen torin kehittämässä pyrittiin siihen, että siinä olisi runsaasti erityyppistä materiaalia. Opettajien on todennäköisesti helpompi poistaa sivustosta ”ylimääräistä ainesta” kuin luoda sivustoon kokonaan uutta sisältöä. Ladattaessa sivusto koulun omille koneille myös sen käyttö nopeutuu koska sivustoa käytettäessä ei tarvitse odottaa sivuston latautumista internetin välityksellä. Torin lataaminen ei vielä tällä hetkellä ole mahdollista, mutta onnistunee lähiaikoina.


Ympäristökemian tutkimustorista saa parhaimman kuvan tutustumalla sivustoon tietokoneella, jossa on internetyhteydet. Painettuna versiona sivustosta ja sen

ominaisuuksista saa hyvin vaillinaisen kuvan. Seuraavassa esitellään kuitenkin tori lyhyesti viitaten torista tehtyyn tulosteeseen (liite 2.1-2.23). Tulosteen sivuissa oikeassa yläkulmassa on kunkin tiedoston tarkka www-osoite.

Ympäristökemian tutkimustorin aloitussivu on liitteessä 2.1. Siinä on esitelty lyhyesti torin sisältämät osastot. Oppilaat aloittavat tutkimuksensa valitsemalla tältä sivulta tutkimusosaston päätyen liitteeseen 2.2.

Tutkimusosasto sisältää neljä vesistöjen happamoitumiseen liittyvää tutkimusta, yleisohjeet ja yhden harjoitustehtävän. Sivulla olevan ohjeen mukaisesti oppilaat valitsevat sivulta yleisohjeet päätyen liitteeseen 2.3. Yleisohjeissa on annettu esimerkki siitä, kuinka työskentely tutkimustorilla voidaan toteuttaa yhteistoiminnallisesti ryhmässä, jossa on 16 oppilasta. Sivun linkeistä harjoitus 1 on linkki liitteeseen 2.4. Harjoituksen tarkoituksena on tutustuttaa oppilaat Empirica 2000 mittausjärjestelmään. Harjoituksessa sivun 3/4 alareunassa on puolestaan linkki Empirica 2000 mittausjärjestelmän käyttöohjeeseen (linkki torin ”ulkopuolelle”). Harjoituksen 1 tekemisen jälkeen oppilaat kirjoittavat yleisohjeiden mukaisesti lyhyen koonnin harjoituksesta kysy asiantuntijalta –palstalle (liite 2.5). Yleisohjeissa oleva keskustelupalstalle -linkki johtaa puolestaan liitteeseen 2.6. Kysy asiantuntijalta- ja keskustelupalsta esitellään tarkemmin keskustelu-osaston esittelyn yhteydessä. Loput yleisohjeissa olevat linkit ovat linkkejä tutkimusosaston tutkimuksiin, jotka esitellään seuraavassa.

Tutkimusosasto sisältää siis neljä tutkimusta (liitteet 2.7-2.10). Tutkimuksien runko on hyvin samankaltainen. Tutkimuksissa oleva tutkimuspäiväkirjaan –linkki johtaa

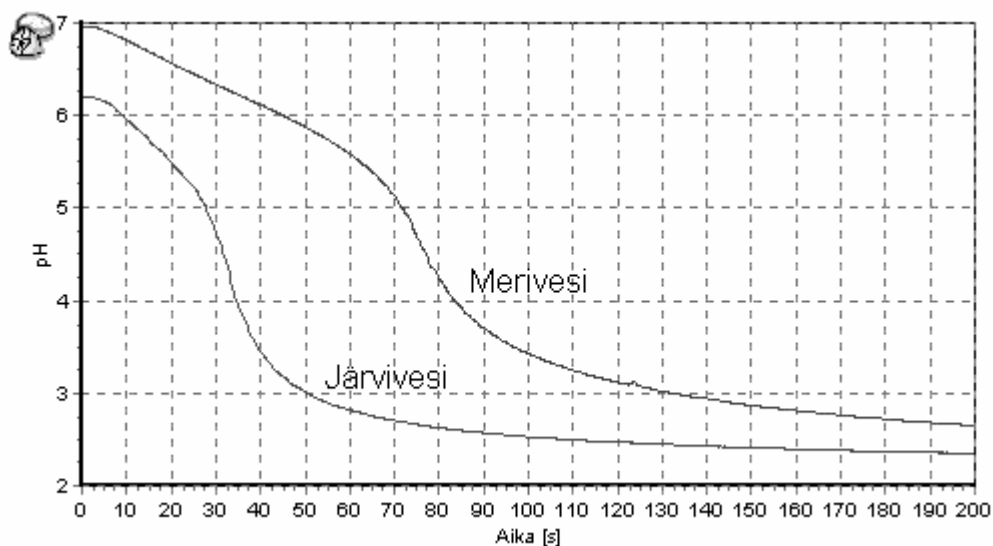
liitteeseen 2.11. Jokaisessa tutkimuksessa on myös  -painike. Painiketta napsauttamalla aukeaa Empirica 2000 mittaustiedosto jossa on valmiina kuhunkin mittaukseen sopivat asetukset. Tällöin mittaus voidaan aloittaa välittömästi, eikä aikaa tarvitse kuluttaa oikeiden asetusten etsimiseen. Luonnollisesti ominaisuutta voidaan hyödyntää ainoastaan, mikäli käytössä on Empirica 2000 mittausjärjestelmä. Jokaisen tutkimuksen yhteyteen on myös laitettu linkki kyseisen mittausjärjestelmän käyttöohjeeseen (linkki torin ”ulkopuolelle”). Linkin avulla käyttöohje on vaivattomasti jokaisen käyttäjän saatavilla.

Tutkimuksien käsitekartta –linkki johtaa liitteeseen 2.12. Tällä sivulla olevien linkkien avulla saa tietoa käsitekartasta sekä voi ladata SmartDraw -käsitekarttaohjelman (linkit torin ”ulkopuolelle”). Tutkimuksien lopussa on linkki tutkijan sähköpostiin raportin palauttamista varten. Sähköpostia voidaan käyttää luonnollisesti ainoastaan mikäli yhteistyössä on mukana ulkopuolinen tutkija. Keskusteluosasto –linkki johtaa puolestaan liitteeseen 2.13.

Tutkimuksien ohjeet on laadittu varsin avoimiksi. Ohjeiden laatimisessa on pyritty välttämään ”reseptinomaista” ohjeen muotoilua. Tutkimukset ovat näin ollen suhteellisen vaativia ja aikaa vieviä. Toinen yhteinen piirre tutkimuksille on se, että tutkimustehtävien selvittämiseksi oppilaiden tulisi hyödyntää sekä saamiaan mittaustuloksia että kirjasto-osastosta löytyvää tietoa (kirjasto-osasto esitellään jäljempänä).

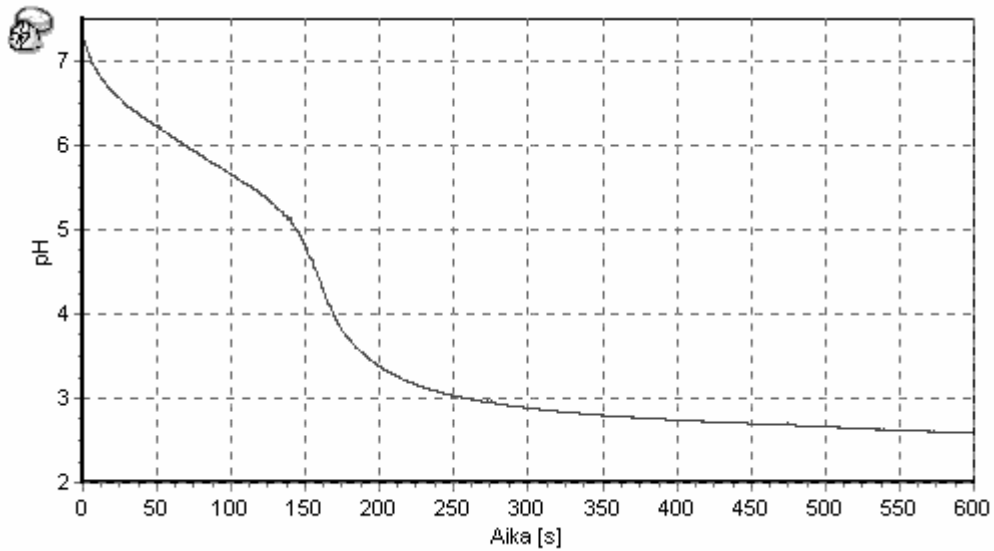
Tutkimuksessa 1 (liite 2.7) vesistöjen happamoitumisherkkyyttä voidaan tutkia käytettävissä olevilla välineillä esimerkiksi lisäämällä vesinäytteisiin byretistä tipoitain

laimeaa suolahappoa. Suolahappoa tulee lisätä näytteisiin luonnollisesti mahdollisimman samalla nopeudella (vaihtoehtoisesti suolahappoa voidaan lisätä tunnettu määrä tasavälein ja mitata liuoksen pH jokaisen lisäyksen jälkeen – tällöin päästään suurempaan tarkkuuteen). Alla olevassa kuvaajassa on esitetty mittauskäyrät, jotka on saatu lisäämällä 50 ml näytteisiin byretistä tipoittain 0,01 M suolahappoa. Kuvaajasta voidaan havaita järiveden happamoituvan huomattavasti nopeammin verrattuna meriveteen.



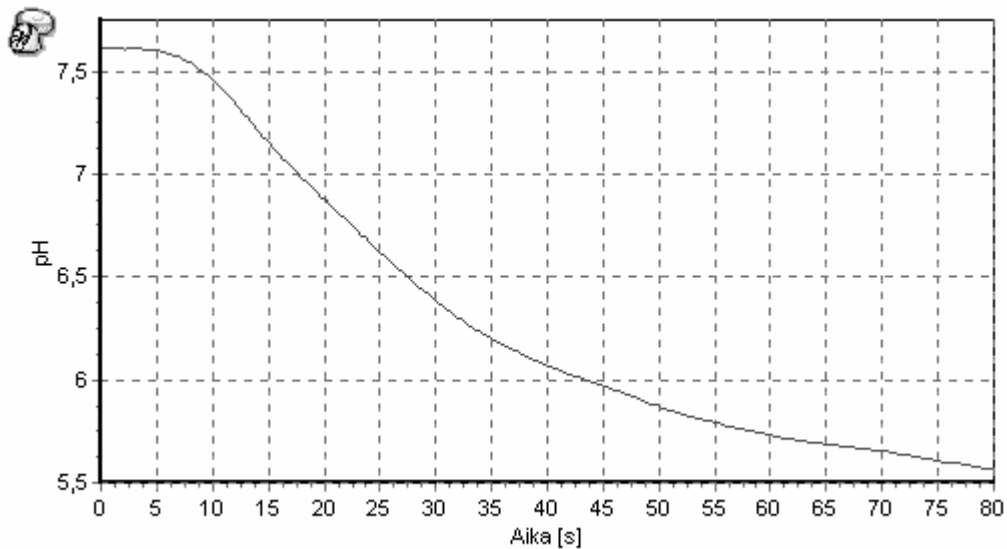
Kuvaaja 1. Meri- ja järiveden happamoituminen.

Tutkimus 2:ssa (liite 2.8) on annettu kuva valmiista koejärjestelystä, joten se on siinä mielessä hieman tutkimus 1:tä helpompi. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty mittauskäyrä, joka on saatu käyttämällä kyseistä koejärjestelyä.



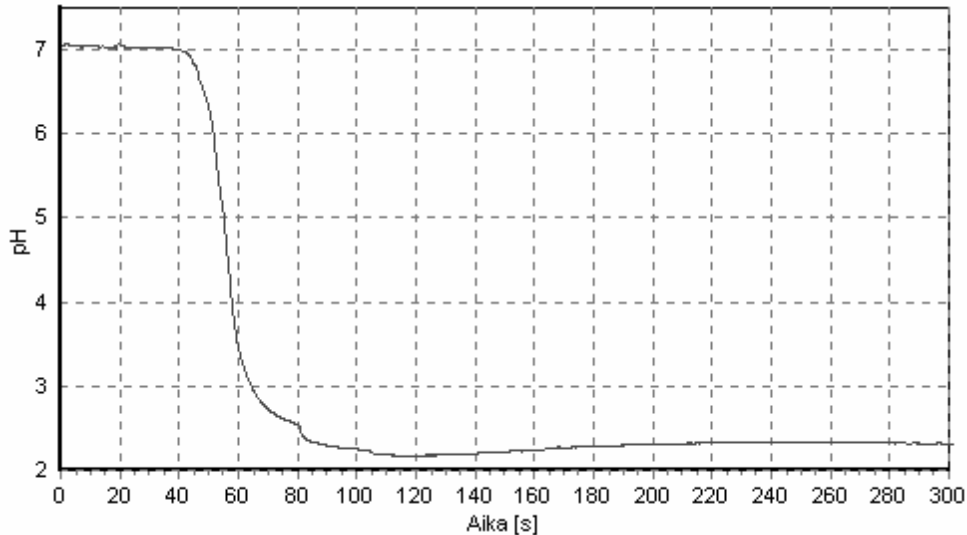
Kuvaaja 2. Veden happamoituminen rikkidioksidin vaikutuksesta.

Tutkimus 3:ssa (liite 2.9) hiilidioksidin vaikutusta veden happamuuteen voidaan tutkia puhaltamalla pillillä keittopullossa olevaan veteen. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty veden happamuuden muuttuminen 80 sekunnin yhtämittaisen puhaltamisen aikana.



Kuvaaja 3. Veden happamoituminen hiilidioksidin vaikutuksesta.

Tutkimus 4:ssä (liite 2.10) esitetyn koejärjestelyn avulla voidaan tutkia typen oksidien vaikutusta veden happamuuteen. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty mittauskäyrä, joka on saatu käyttämällä kyseistä koejärjestelyä.



Kuvaaja 4. Veden happamoituminen typen oksidien vaikutuksesta.

Edellä viitattiin tutkimusosaston esittelyn yhteydessä myös kirjasto- ja keskustelu osastoihin. Seuraavassa keskitytään lähemmin näiden osastojen esittelyyn. Kirjasto-osaston aloitussivu on liitteessä 2.14. Tällä sivulla oleva Hae tietoa –linkki johtaa liitteeseen 2.15. Tämän sivun linkit johtavat puolestaan tutkimustori sivuston ulkopuolelle. Hakukoneita –linkki johtaa sivulle, jossa on esitelty tunnetuimmat internetin hakukoneet (sivulla myös linkit kyseessä oleviin hakukoneisiin). Loput liitteen 2.15 linkit ovat linkkejä sivustoille, joista löytyy tutkimustehtävien suorittamiseen tarvittavaa tietoa. Kirjasto-osaston aloitussivulla (liite 2.14) oleva Kuvia –linkki johtaa puolestaan liitteeseen 2.16. Tällä sivulla oleva Tutkimusympäristöistä –linkki johtaa liitteeseen 2.17 ja Tutkivista oppilaista –linkki liitteeseen 2.18. Kirjasto-osaston aloitussivulla (liite 2.14) oleva Video –linkki taas johtaa liitteeseen 2.19. Tämän

sivun Videolla –linkistä voi käynnistää lyhyen videon (linkki torin ”ulkopuolelle”), joka on kuvattu Kemiran kemian luokassa. Liitteessä 2.14 oleva Käsitekartta –linkki puolestaan johtaa liitteeseen 2.12, jonka sisältöön perehdyttiin jo tutkimusosaston esittelyn yhteydessä. Liitteen 2.14 Kysy mitä tahansa kemiasta –linkki johtaa torin ulkopuoliselle sivulle, jossa kemian asiantuntija antaa vastauksia oppilaiden esittämiin kysymyksiin.

Keskusteluosaston aloitussivu on liitteessä 2.13. Sivulla oleva Keskustelupalsta –linkki johtaa liitteeseen 2.6 ja Kysy asiantuntijalta –palsta –linkki liitteeseen 2.5. Palstoille jätetyt viestit ovat kaikkien luettavissa ja edelleen kommentoitavissa. Palstat ovat tällä hetkellä Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitoksen palvelimella. Mikäli tutkimustorin keskusteluosastoa halutaan käyttää kemian opetuksessa, tulee kyseiset palstat luoda koulun omalle palvelimelle. Kysy asiantuntijalta –palstan käyttö edellyttää luonnollisesti myös sitä, että opetuksessa on käytettävissä ulkopuolinen asiantuntija.

Tarkastellaan lopuksi vielä arviointiosastoa. Arviointiosaston aloitussivu on liitteessä 2.20. Tämän sivun linkeistä ennen opiskeluasi –linkki johtaa liitteeseen 2.21 ja opiskelusi jälkeen –linkki liitteeseen 2.22. Liitteet 2.21 ja 2.22 ovat sivujen otsikkoja lukuun ottamatta samanlaiset. Näissä liitteissä oleva käsitekartan –linkki johtaa liitteeseen 2.12, joka on esitelty jo edellä. Arviointiosaston aloitussivulla (liite 2.20) on myös kolme linkkiä, joiden avulla voi ladata internetistä digitaalisen portfolion laatimiseen tarkoitettuja ohjelmia (linkit torin ”ulkopuolelle”). Arvioi tutkimustorisivustoa –linkki puolestaan johtaa liitteeseen 2.23. Tällä sivulla on linkit palautteen antamista varten Maija Akselan sähköpostiin. Arviointiosaston aloitussivun

(liite 2.20) viimeisen linkin avulla saa lisätietoa arvioinnista (linkki torin ”ulkopuolelle”).

6 POHDINTAA

Tutkimuksessa kehitettiin WWW-pohjainen, mittausautomaatiota hyödyntävä oppimisympäristö, jota voidaan käyttää happamoitumiseen liittyvien kemian ilmiöiden opiskeluun ja opettamiseen. Kehitystyössä hyödynnettiin aktiivisilta kemian opettajilta saatua palautusta. Tutkimuksen teoriaosuudessa tarkasteltiin happamoitumista myös ilmiönä. Lisäksi perehdyttiin WWW-pohjaiseen oppimisympäristöön sekä mittausautomaation opetuskäyttöön tutkimuksen näkökulmasta.

Ympäristökemian tutkimustori tarjoaa uusia mahdollisuuksia kemian opetukseen hyödyntämällä modernia teknologiaa. Se antaa uuden vaihtoehdon happamoitumiseen liittyvien kemian ilmiöiden ja niihin liittyvien käsitteiden opiskeluun. Tutkimus-, kirjasto-, keskustelu - ja arviointiosastojen avulla oppilaat saavat mahdollisuuden opiskella kemiaa monipuolisesti asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Oppilaat oppivat kokeellisen työskentelyn ja aktiivisen tiedonhankinnan avulla etsimään tietoa elämän ja ympäristön kannalta tärkeistä kemiallisista ilmiöistä ja aineiden ominaisuuksista lukion kemian opetussuunnitelman perusteiden tavoitteiden suunnassa. Tutkimustori on kokonaisuus, jossa on oppilailla on käytettävissä kokeellisen työskentelyn, tiedonhankinnan - ja käsittelyn, kommunikoinnin ja arvioinnin välineet. Oppilas pystyy helposti keräämään ja käsittelemään tietoa samassa ympäristössä. Tutkimustori on helposti muokattavista opettajan ja oppilaiden tavoitteiden mukaiseksi. Opettaja voi tutkimustorilla esimerkiksi lisätä tai poistaa haluamiaan kokonaisuuksia.

Ympäristökemian tutkimustori voidaan integroida *'Kemia kokeellinen luonnontiede'* -kurssiin ja/tai syventäviin ja soveltaviin kemian kursseihin. Sitä voidaan käyttää opiskeltaessa happamoitumista ilmiönä tai esimerkiksi kaasuja ja niiden ominaisuuksia. WWW -pohjainen tutkimustori antaa oppilaalle mahdollisuuden työskennellä myös koulun ulkopuolelta käsin. Oppilas voi esimerkiksi tutustua tutkimustehtäviin ja kirjasto-osastossa löytyvään tietoon, tehdä arviointiosastolla olevia tehtäviä, keskustella muiden oppilaiden, opettajan ja/tai alan asiantuntijan kanssa ennen varsinaista tutkimustehtävien kokeellisesta suorittamista.

Mittausautomaatiojärjestelmän käyttäminen mahdollistaa perinteisin menetelmin hyvin vaikeasti tutkittavien happamoitumiseen liittyvien ilmiöiden kokeellisen tutkimisen. Tutkimustorista saa suurimman hyödyn käytettäessä Empirica2000 -mittausjärjestelmää, mutta tutkimustehtävät voidaan suorittaa muillakin mittausautomaatiojärjestelmällä.

Toisaalta uusi väline tuo mukanaan uusia haasteita ja todennäköisesti myös uudentyyppisiä ongelmia. Lisäksi keskeiseksi kysymykseksi nousee se, kuinka hyvin oppilaat oppivat opiskellessaan tutkimustorin avulla happamoitumiseen liittyviä kemian ilmiöitä. Onko oppimisessa määrällisiä tai laadullisia eroja verrattuna perinteisempiin opetuksen työmuotoihin? Entä opitaanko tutkimustorin avulla opiskeltaessa kenties merkittävässä määrin kemiallisten ilmiöiden ymmärtämisen lisäksi myös muita tämän päivän elämässä tarvittavia tietoja ja taitoja, kuten esimerkiksi tiedon haun, prosessoinnin ja käsittelyn sekä yhteistyön taitoja? Lisäksi olisi mielenkiintoista saada selville minkälaisia ongelmia tutkimustorin opetuskäytössä voi syntyä. Muun muassa näihin kysymyksiin olisi mielenkiintoista saada vastauksia jatkotutkimuksien avulla.

7 VIITELUETTELO

1. Opetusministeriö, *Koulutuksen ja tutkimuksen tietostrategia 2000-2004*,
http://www.minedu.fi/toim/koul_tutk_tietostrat/welcome.html, (viitattu 7.6.2001)
2. *Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994*, Opetushallitus, Painatuskeskus,
Helsinki, 1994, s. 12.
3. V. Meisalo, E. Sutinen ja J. Tarhio, *Modernit oppimisympäristöt, Tietotekniikan
käyttö opetuksen ja oppimisen tukena*, Tietosanoma Oy, Juva, 2000, s. 31.
4. Viite 2, s. 80.
5. M. Aksela ja R. Juvonen, *Kemian opetus tänään*, Opetushallituksen moniste 27/99,
<http://www.edu.fi/julkaisut/kemia1.pdf>, (viitattu 7.6.2001)
6. J. Lavonen, *Dimensio, Matemaattis-luonnontieteellinen aikakauslehti*, 2001 **1** 38.
7. Valtion ympäristöhallinnon www-sivut, <http://www.vyh.fi/>, (viitattu 17.4.2001)
8. A. G. Howard, *Aquatic Environmental Chemistry*, Oxford University Press, New
York, 1998, s. 30.
9. G. Howells, *Acid Rain and Acid Waters*, Ellis Horwood Limited, West Sussex,
1990, s. 9.
10. C. Baird, *Environmental Chemistry*, W. H. Freeman and Company, USA, 3.p.,
1997, s. 90.
11. Viite 9, s. 17.
12. Viite 10, s.112.

13. J. H. Seinfeld ja S. N. Pandis, *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, John Wiley & Sons, USA, 1998, s. 67.
14. Viite 13, s. 1056.
15. *Ympäristön tila Suomessa*, toimittajat E. Wahlström, T. Reinikainen ja Eeva-Liisa Hallanaro, Forssan kirjapaino Oy, Forssa, 1992, s. 272.
16. B.H. Khan, teoksessa *Web-based Instruction*, toimittaja B.H. Khan, Educational Technology Publications, USA, 1997, s. 5.
17. I. Varjola, *Internetin käyttö kemian opiskelussa: Neljä tapaustutkimusta peruskoulussa ja lukiossa*, liseniaattitutkielma, Helsingin yliopiston kemian laitos, 2000, s. 16.
18. B.S. Butler, teoksessa *Web-based Instruction*, toimittaja B.H. Khan, Educational Technology Publications, USA, 1997, s. 417.
19. D. N. Gordin, L. M. Gomez, R.D. Pea, B. J. Fishman, *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1996 **2**
20. S. Tella, teoksessa *Verkkopedagogiikka*, toimittaja E. Lehtinen, Oy Edita Ab, Helsinki, 1997, s. 41.
21. E. Lehtinen, teoksessa *Verkkopedagogiikka*, toimittaja E. Lehtinen, Oy Edita Ab, Helsinki, 1997, s. 12.
22. L. Ilomäki ja P. Silander, *Opettaja verkossa, Apua WWW:n koulukäyttöön*, WSOY, Porvoo, 1.p., 1997, s.14.
23. J. Multisilta, teoksessa *Verkkopedagogiikka*, toimittaja E. Lehtinen, Oy Edita Ab, Helsinki, 1997, s. 101.
24. Viite 22, s. 12.
25. B. M. Tissue, *Journal of Chemical Education*, 1996 **73** 65.
26. A. L. Parrill ja J. Gervay, *Journal of Chemical Education*, 1997 **74** 329.

27. Viite 22, s. 7.
28. Viite 22, s. 62.
29. Viite 22, s. 74.
30. Maija Akselan tiivistelmä, tuleva artikkeli.
31. Viite 17, tiivistelmä.
32. J. Lavonen, *Fysiikan opetuksen kokeellisuus ja mittausautomaatio*, väitöskirja, Helsingin yliopiston fysiikan laitos, 1996, s. 122.
33. J. Lavonen ja V. Meisalo, *Luonnontieteiden opetuksen kokeellisuus ja mittausautomaatio*, Helsinki, 1997, s. 234.
34. A. Hämäläinen, teoksessa *Näe ja tee, Askel parempaan opetukseen*, toimittaja Pentti Parviainen ja pedagoginen valiokunta, MAOL ry, Nettopaino OY, Joutsa, 1997, s. 87.
35. R. Lazarowitz ja P. Tamir, teoksessa *Handbook of research on science teaching and learning*, toimittaja D. L. Gabel, Macmillan, New York, 1994, s. 94.
36. A. Hämäläinen, Tietokoneavusteinen mittaus ja tulostenkäsittely fysiikan opetuksessa, <http://www.helsinki.fi/~aohamala/mbl/tiivis.htm>, (viitattu 4.4.2001)
37. M. B. Nakhleh, *Journal of Computers in Mathematic and Science Teaching*, 1994 **13** 368.
38. Viite 32, s. 143.
39. Viite 32, s. 140.
40. Viite 32, s. 139.
41. M. Aksela, Orgaanisten reaktioiden tutkimustori, <http://www.edu.helsinki.fi/malu/tutkimustori/peruskoulu/index.htm>, (viitattu 22.5.2001)