

HISTORIAAN POHJAUTUVA LÄHESTYMISTAPA KEMIAN OPETUKSESSA

Pro gradu-tutkielma

Terhi Ahonen

31.1.2005

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Kemian laitos

Helsingin yliopisto

Ohjaajat: Maija Aksela ja Heikki Saarinen

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos – Institution Kemian laitos	
Tekijä – Författare Terhi Ahonen			
Työn nimi – Arbetets titel Historiaan pohjautuva lähestymistapa kemian opetuksessa			
Oppiaine – Läroämne Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto			
Työn laji – Arbetets art Pro gradu -tutkielma		Aika – Datum 31.1.2005	Sivumäärä – Sidoantal 82 + cd-rom
Tiivistelmä – Referat <p>Kemia on tieteenala, jonka opettaminen sisältää oppilaille uusia käsitteitä, runsaasti outoja sanoja sekä malleja. Kemian syvällinen oppiminen vaatii aineen rakenteen ymmärtämistä kolmessa ulottuvuudessa: mikro-, makro- ja symbolisella tasolla. Abstraktiuden vuoksi oppilailla on vaikeuksia hahmottaa kemiaa syvällisesti, ja se jääkin usein irrallisen tiedon osaamiseksi. Asioiden ulkoa opettelussa ilman kontekstia saattaa syntyä myös virheellisiä mielikuvia ja asian syvällinen ymmärrys jää puuttumaan. Myös syy ja seuraus -suhteet jäävät opiskelijoilta havainnoimatta.</p> <p>Tutkimuksissa on saatu kannustavia tuloksia historiallisen perspektiivin mukaan ottamisesta oppitunneille. Historialliset kertomukset motivoivat opiskelijoita ja auttavat heitä ymmärtämään kemiaa syvällisemmin. Kertomukset voivat olla mieleenpainuvia tai jopa dramaattisia ja ne voivat selvittää tunnettujen keksijöiden persoonaa, ajattelutapaa ja käyttäytymistä. Historiallinen perspektiivi antaa lisäksi mahdollisuuden käyttää hyväksi humanististen tieteiden menetelmiä, ja saattaa innostaa humanistisista aineista kiinnostuneen opiskelijan mukaan kemian oppimiseen.</p> <p>Tutkimusten mukaan oppilaiden oma kemian käsitteellinen kehitys etenee kuten historialliset käsitykset aineen rakenteesta. Myös happojen ja emästen opettamisessa löytyy yhtäläisyyksiä happamuuskemian historiaan verrattuna. Happamuuden opettaminen peruskoulusta aina lukioon saakka etenee samoilla jäljillä sen historiallisen kehityksen kanssa. Alaluokilla happamuus käsitetään samoin kuin antiikin kreikkalaiset sen ymmärsivät. Yläluokilla opetellaan <i>Arrheniuksen</i> happamuusteorian mukaan ja lukiossa tätä aiempaa tietoa täydennetään <i>Brønstedin</i> ja <i>Lowryn</i> teorialla sekä <i>Lewisin</i> happamuusteorialla. Lukiossa pyritään antamaan läpileikkaus koko kemian alasta vaatimattoman ajan puitteissa. Opiskelijan tulisi kuitenkin tiedostaa, että kemia ei ole vain valmiita siistejä määritelmiä ja yksinkertaistettuja kaavoja, vaan kemian oppirakenne on pitkän kehitystyön tulos. Samalla on helppo osoittaa kemiaan liittyvän monenlaista inhimillistä toimintaa ja erilaisia ihmiskohtaloita.</p> <p>Tämän tutkielman tarkoituksena on tarkastella aikaisempien tutkimustulosten valossa historiallisen lähestymistavan käyttömahdollisuuksia ja hyötyjä kemian opetuksessa. Tutkielman yhteydessä kehitettiin historialliseen lähestymistapaan pohjautuva verkkomateriaali <i>Löytöretki happamuuteen – kemian historiaa</i> kehittämistutkimuksen periaatteita noudattaen. Internet-sivustoa voi hyödyntää sekä happamuuskäsitteen opetuksessa että lisämateriaalina muussa kemian opetuksessa.</p> <p>Sivuston tarkoituksena on innostaa kemian opettajia käyttämään kemian historiaa opetuksessa sekä auttaa opiskelijoita luomaan jäsentynyt kuva kemian kehittymisestä suhteessa yhteiskunnan kehitykseen. Täten sivuston punaisena lankana on aikajana, jossa tapahtumat kemian historiasta ovat esitetty kronologisessa järjestyksessä rinnallaan koko ajan Suomen historia sekä Euroopan historia.</p>			
Avainsanat – Nyckelord Kemian opetus, kemian historia, historiallinen lähestymistapa, happamuus, emäksisyys			
Säilytyspaikka – Förvaringställe Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan kirjasto ja KEMMA-keskus			
Muita tietoja			

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	5
2. KEMIAN OPETUKSEN TAVOITTEET LUKIOSSA	9
2.1 OPETUKSEN YLEISTAVOITTEISTA	10
2.2 OPISKELUYMPÄRISTÖ JA –MENETELMÄT	10
2.3 KEMIAN OPETUKSEN TAVOITTEISTA	11
2.4 KEMIAN HISTORIA AIHEKOKONAISUUKSISSA.....	12
3. HISTORIAAN POHJAUTUVAN LÄHESTYMISTAVAN MERKITYKSESTÄ	13
3.1 MOTIVAATIO KEMIAN OPISKELUUN	13
3.2 KEMIAN SYVÄLLINEN YMMÄRTÄMINEN	14
3.3 VIRHEKÄSITYKSET JA KRIITTINEN AJATTELU	15
3.3.1 <i>Oppilaiden käsityksiä happamuudesta</i>	17
3.4 KOKEELLISUUS JA KEMIAN HISTORIA.....	18
4. OPPILAIDEN TIEDOT JA KIINNOSTUS KEMIAN HISTORIAA KOHTAAN	20
4.1 OPPIMINEN JA KIINNOSTUS.....	21
4.2 AJALLINEN YMMÄRRYS LUONNONTIETEIDEN KEHITTYMISESTÄ	24
4.3 KEMIAN JA FYSIIKAN HISTORIAN HENKILÖIDEN TUNTEMINEN	25
4.3.1 <i>Fysiikan merkkihenkilöt</i>	26
4.3.2 <i>Kemian merkkihenkilöt</i>	28
5. KEMIAN KEHITTYMINEN ALKEMIASTA MODERNIKSI KEMIAKSI.....	30
5.1 VARHAISIA KÄSITYKSIÄ HAPPAMUUDESTA	30
5.2 TIETEELLISEN AJATTELUN ALKU.....	31
5.3 ATOMOS - JAKAMATON	34
5.4 ARISTOTELES.....	34
5.5 ALKEMISTIT.....	35
5.6 ISLAMIN ALKEMIA – RHASES JA AVICIENNA.....	39
5.7 EUROOPPALAINEN ALKEMIA	40
5.8 ALKEMIAN KEHITTYMINEN MODERNIN KEMIAN SUUNTAAN	42
6. MODERNIN KEMIAN AIKAKAUSI	47
6.1 ANTOINE LAVOISIER	47

6.2 IONIEN, ATOMITEORIAN JA JAKSOLLISUUDEN KEKSIMINEN	49
6.3 HAPPO-EMÄSTEORIOIDEN SYNTY	50
6.3.1 Arrheniuksen happamuusteoria.....	51
6.3.2 Happamuuden mitta-asteikko määritetään	52
6.3.3 Brønstedin ja Lowryn happamuusteoriat	53
6.3.4 Lewisin happamuusteoria.....	54
6.4 ARTTURI ILMARI VIRTANEN JA KEMIAN NOBEL 1945	55
7. WWW-POHJAINEN OPISKELUYMPÄRISTÖ KEMIAN OPETUKSEN	
TUKENA.....	58
7.1 OPETTAJAN TOIVEET JA VALMIUDET.....	58
7.2 WWW-POHJAISEN OPPIMISYMPÄRISTÖN ETUJA	59
7.3 HYVÄN WWW-POHJAISEN OPPIMISYMPÄRISTÖN PIIRTEITÄ.....	61
8. LÖYTÖRETKI HAPPAMUUTEEN - KEMIAN HISTORIAA	63
8.1 SIVUSTON KEHITYSTYÖN VAIHEET.....	63
8.2 SIVUSTON ESITTELY	65
9. POHDINTAA	70
LÄHTEET	72
LIITE 1	76
LIITE 2	79
LIITE 3	82

1. JOHDANTO

”1600-luvun alussa havaintovälineiden kehittyminen teki mahdolliseksi ihmissilmää kauemmaksi näkemisen ja näkymättömän mikromaailman yksityiskohtien paljastumisen. Silloin keksittiin uudet apuvälineet, kaukoputki ja mikroskooppi. Tänä päivänä tutkijoiden käytettävissä on apuvälineitä, joilla ”nähdään” laaja havaittava maailma pienimmästä suurimpaan” (Rahkola, 2002)

Monien tieteen saavutusten ymmärtäminen edellyttää perehtymistä historiaan. Edellä mainitut apuvälineet avasivat aikoinaan tutkijoille uuden ennen näkemättömän maailman useine tutkimuskohteineen. Opettajan olisi tärkeä tietää tieteen prosessien ja kehityslinjojen historiaa, sillä hänen pitäisi pystyä auttamaan opiskelijoita synnyttämään samanlaisten prosessien toteutumista. (Rahkola, 2002) Kemian historia voi olla oppilaalle avain kemian syvällisempään ymmärtämiseen.

Kemia on tieteenala, jonka opettaminen sisältää oppilaille uusia käsitteitä, paljon outoja sanoja sekä malleja. Kemian opetusta leimaa myös runsas käsitteiden käyttö ilman yhteyttä ympäristöön ja arkielämään. Kemian syvälinen oppiminen vaatii aineen rakenteen ymmärtämistä kolmessa ulottuvuudessa: mikro-, makro- ja symbolisella tasolla. Abstraktiuden vuoksi oppilailla on vaikeuksia hahmottaa kemiaa syvällisesti, ja se jääkin usein irrallisen tiedon osaamiseksi. (Gabel, 1999)

Kemian opetuksen ongelmia on tutkittu runsaasti viime vuosikymmeninä. On pyritty löytämään keinoja, joilla oppilaat saataisiin kiinnostumaan kemiasta ja luonnontieteistä yleensä. Osa tutkimuksesta on kohdistunut kemian historiallisen aineiston hyödyntämiseen opetuksessa. Tutkimuksissa (Justi & Gilbert, 1999; Justi, 2000; Rahkola, 2002) on saatu hyviä tuloksia historiallisen perspektiivin mukaan ottamisesta oppitunneille. Historialliset kertomukset motivoivat opiskelijoita ja auttavat heitä ymmärtämään kemiaa syvällisemmin.

Toimiessani tuntiopettajana yläkoulussa, oppilaat usein kysyivät ja ihmettelivät, eri asioita käsiteltäessä, miten joku asia on keksitty, ja kuka sen on keksinyt. Tämä sai minut tarttumaan kemian historiaa käsittelevään kirjallisuuteen ja selvittämään asioita itselleni. Samalla kiinnostuin kemian historian käyttömahdollisuuksista kemian opetuksessa. Tein aiheesta proseminaaritutkimuksen Helsingin yliopiston soveltavan kasvatustieteen laitokselle keväällä 2004. Proseminaarityössäni tutkin oppilaiden kiinnostusta kemian historiaan ja historiallisiin tarinoihin sekä vertasin oppilaiden kemian historian tietämystä fysiikan historian tietoihin. Saamani tutkimustulokset kannustivat minua aloittamaan pro gradu -tutkielman tekemisen samasta aiheesta. Tulokset osoittivat, että oppilaat olivat kiinnostuneita historiasta ja asioiden keksimisestä, mutta tätä tuotiin opetuksessa vain vähän esille. Oppilaiden tiedot kemian historiasta olivat hyvin hataralla pohjalla. Myös omien kouluaikeisten kokemuksieni perusteella kemian historiaan liittyvän aineiston käsittely opetuksessa oli vähäistä.

Tässä tutkielmassa tarkastellaan aikaisempien tutkimustulosten valossa historiallisen lähestymistavan käyttömahdollisuuksia ja hyötyjä kemian opetuksessa. Tutkielman yhteydessä kehitettiin historialliseen lähestymistapaan pohjautuva verkkomateriaali *Löytöretki happamuuteen - kemian historiaa*. Materiaalissa esitellään happamuuteen liittyviä käsityksiä ja malleja historiallisessa järjestyksessä sekä niiden muuttumista tutkimustiedon valossa. Tavoitteena on luoda happamuudesta tietokokonaisuus, joka auttaa oppilasta ymmärtämään aiheen paremmin. Kokonaisuus esittelee happamuuskäsitteen vähitellen avautuvana kohteena. Samalla kun historiallinen perspektiivi laajentaa oppilaiden käsityksiä happamuudesta, se motivoi ja auttaa heitä ymmärtämään kemiaa syvällisemmin.

Löytöretki happamuuteen - kemian historiaa -sivuston aihepiiri rajattiin happamuuteen, koska tarvitsemme malleja ymmärtääksemme happamuutta ja nämä mallit sekä yleinen tietämys happamuudesta ovat kehit-

tyneet tasaisesti muun kemiallisen tiedon ohessa. Lisäksi Suomeen on tullut kemian Nobel-palkinto 1945 *Artturi Ilmari Virtasen* happamuuteen liittyvistä tutkimuksista. Www-sivustoa voi hyödyntää sekä happamuuskäsitteen opetuksessa että lisämateriaalina muussa kemian opetuksessa.

Historiallista lähestymistapaa voidaan käyttää kemian opetuksessa siten, että opettaja kertoo historiallisia tarinoita uuteen aiheeseen siirtäessä tai tarvittaessa jonkin pienen yksittäisen asian kohdalla. Historiallinen perspektiivi voidaan yhdistää myös laboratoriotyöskentelyyn, jolloin aihetta voidaan lähteä käsittelemään esimerkiksi historiallisten ongelmien kautta (Aksela, 1993). Luonnollisesti historialliseen lähestymistapaan kuuluu myös oppilaiden esitelmät kemian henkilöhistoriasta ja kehittämisestä. (Erduran & Scerri, 2002)

Historiallisen lähestymistavan merkitys korostuu erityisesti oppilaan motivoinnissa. Kertomukset voivat olla mieleenpainuvia tai jopa dramaattisia, ja ne voivat selvittää tunnettujen keksijöiden persoonaa, ajattelutapaa ja käyttäytymistä. Historiallinen perspektiivi antaa lisäksi mahdollisuuden käyttää hyväksi humanististen tieteiden menetelmiä, ja saattaa innostaa humanistisista aineista kiinnostuneen oppilaan mukaan kemian oppimiseen. (Erduran & Scerri, 2002) Historiallisen lähestymistavan kautta opettaja saa tukea myös perusteluun ”miksi tämä asia on tarpeellista opettaa koulussa”.

Tämän kehittämistutkimuksen seuraavassa luvussa perehdytään lukion opetussuunnitelman perusteisiin historiallisen lähestymistavan kannalta. Kolmannessa luvussa tarkastellaan historiallisen perspektiivin merkitystä aikaisempien tutkimusten mukaan. Neljäs luku tarkastelee oppilaiden kemian historian tietoja ja kiinnostusta yhdeksännen luokan lopussa hieman ennen lukioikää, näin saadaan käsitys niistä tiedoista, jotka oppilailla on kemian historiasta lukion alussa. Luvuissa viisi ja kuusi käydään läpi happamuuskäsitteen historiallinen kehittyminen antiikin ajasta 1900-luvulle. Luvussa seitsemän luodaan katsaus verkossa olevilta op-

pimateriaaleilta toivottaviin ominaisuuksiin ja opettajien valmiuksiin käyttää niitä opetuksessaan. Näiden edellisissä luvuissa esiin tulleiden tietojen pohjalta luvussa kahdeksan kehitellään www-pohjaista happamuuskemian historiaan pohjautuvaa sivustoa sekä esitellään valmistunut materiaali.

2. KEMIAN OPETUKSEN TAVOITTEET LUKIOSSA

Tämän pro gradu-tutkimuksen tavoitteena on tuottaa verkkomateriaalia lukion opettajien ja opiskelijoiden käyttöön. Sen vuoksi on tärkeää tarkastella lukion opetussuunnitelmaa historiallisen lähestymistavan ja tietokoneavusteisen opetuksen kannalta. Materiaalin tulee tukea lukion opetussuunnitelmaa ollakseen käyttökelpoista ja opetukseen soveltuva.

Opetushallituksen lukio-opetuksen vuoden 2003 opetussuunnitelman perusteet (Opetushallitus, 2003) korostaa oppilaan aktiivista roolia ja kriittistä suhtautumista tietoon ja sen totuudenmukaisuuteen. Lukion opetussuunnitelma korostaa erityisesti lukion yleissivistävää roolia. Koulutuksessa opiskelija ymmärretään oman oppimisensa, osaamisensa ja maailmankuvansa rakentajaksi. Opetuksessa tulee ottaa huomioon, että ihminen havainnoi ja jäsentää todellisuutta kaikkien aistiansa kautta. Opiskelijoiden tulisi tiedostaa, millainen vuorovaikutus vallitsee tieteen ja humanististen arvojen välillä. (Opetushallitus, 2003)

Lukiossa pyritään antamaan riittävä läpileikkaus koko kemian alasta vaatimattoman ajan puitteissa. Opiskelijan tulisi tiedostaa, että kemia ei ole vain valmiita siistejä määritelmiä ja yksinkertaistettuja kaavoja, vaan kemian oppirakenne on pitkän kehitystyön tulos. Samalla on helppo osoittaa kemiaan liittyvän monenlaista inhimillistä toimintaa ja erilaisia ihmiskohtaloita.

Osa opettajista ajattelee historian edustavan menneisyyttä ja itse opettavan aineen nykyisyyttä. Tämän vuoksi he jättävät historialliset katsaukset pois opetuksesta. (Lehikoinen & Sormunen, 1999) Etenkin lukiossa opetettavaa asiaa on paljon ja aikaa vain vähän, jolloin opettaja joutuu valikoimaan, mitä tunneilla ehditään käydä läpi. Toisaalta historiallisella lähestymistavalla päästään lähelle opetussuunnitelman yleistavoitteita ja kemian opetuksen tavoitteita. Myös opettajien oma tietämys

luonnontieteiden historiasta vaikuttaa siihen, miten paljon historiaa painotetaan fysiikan tai kemian tunneilla.

2.1 Opetuksen yleistavoitteista

Lukion opetussuunnitelma (Opetushallitus, 2003) perustuu oppimiskäsitykseen, jossa oppiminen ymmärretään seuraukseksi opiskelijan aktiivisesta ja tavoitteellisesta toiminnasta. Opetussuunnitelmassa korostetaan vuorovaikutusta muiden opiskelijoiden, opettajien ja ympäristön kanssa, jonka avulla tietoa käsitellään ja tulkitaan aikaisempia tietorakenteita hyödyntäen.

Opetussuunnitelman mukaan oppiminen on tilannesidonnaista, joten oppimisympäristön monipuolisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Yhdessä tilanteessa opittu tieto tai taito ei automaattisesti siirry käytettäväksi toisenlaisissa tilanteissa. Opiskelijan tietoisuutta ihmisten toiminnan vaikutuksesta maailman tilaan tulisi myös kehittää. (Opetushallitus, 2003)

2.2 Opiskeluympäristö ja –menetelmät

Opetussuunnitelman mukaan myös opiskelijan motivaatio ja käytetyt työskentelymenetelmät ovat tärkeitä. Oppimisen tulisi olla päämääräsuuntautunutta ja ongelmanratkaisutapoja sisältävää. Opetuksessa tulisi käyttää oppiaineelle ominaisia menetelmiä ja monipuolisia työtapoja, joiden avulla tuetaan ja ohjataan oppimista. Työtapojen tehtävänä on kehittää oppimisen, ajattelun ja ongelmanratkaisun taitoja. Lisäksi erilaisilla työtavoilla kehitetään työskentelytaitoja ja sosiaalisia taitoja sekä aktiivista osallistumista. Opiskelijoille tulisi antaa tilaisuuksia kokeilla ja löytää omalle oppimistyyliilleen sopivia työskentelymuotoja. Heidän tulisi saada välineitä tiedon hankkimiseen ja tuottamiseen sekä tiedon luotettavuuden kriittiseen arviointiin. Opiskelijoita tulisi myös ohjata käyttä-

mään tieto- ja viestintäteknikkaa. Opiskelutilanteet tulisi suunnitella siten, että opiskelija pystyy soveltamaan oppimaansa myös opiskelutilanteiden ulkopuolella. (Opetushallitus, 2003)

2.3 Kemian opetuksen tavoitteista

Vuoden 2003 opetussuunnitelman perusteiden mukaan jokaisen lukion tulee tarjota opiskelijoilleen yhden kemian pakollisen kurssin lisäksi vähintään neljä kemian syventävää kurssia. Kemian soveltavia kursseja lukiot voivat sitä vastoin toteuttaa rajatta mahdollisuuksiensa mukaan.

Opetussuunnitelman mukaan kemian opetuksen tarkoituksena on ohjata opiskelijan luonnontieteellisen ajattelun ja nykyaikaisen maailmankuvan kehittymistä osana monipuolista yleissivistystä. Opetuksen tarkoituksena on välittää mielikuvaa kemiasta yhtenä keskeisenä luonnontieteenä, joka tutkii ja kehittää materiaaleja, tuotteita, menetelmiä ja prosesseja. Opetuksen tulisi auttaa oppilasta ymmärtämään jokapäiväistä elämää, luontoa ja teknologiaa. Opiskelijan tulisi myös ymmärtää kemian merkitys ihmisen ja luonnon hyvinvoinnille. (Opetushallitus, 2003)

Kemian opetuksen tavoitteista pidetään yleensä tärkeimpänä luonnontieteellisen ajattelun kehittämistä. Luonnontieteellisessä ajattelussa keskeistä on se, että luonto itse on tiedon oikeellisuuden kriteeri, ja että tietoa luonnosta saadaan kokeiden, havaintojen ja mittausten avulla. (Meisalo & Lavonen, 1994)

Lukio-opetuksen tulisi tukeutua erityisesti kokeelliseen lähestymistapaan aineiden ja ilmiöiden tutkimisessa. Kokeellisuudesta edetään ilmiöiden tulkitsemiseen, selittämiseen ja kuvaamiseen sekä aineen rakenteen ja kemiallisten reaktioiden mallintamiseen kemian merkkikielellä ja matemaattiseen käsittelyyn. Monipuolisin työtavoin ja arviointimenetelmin opiskelijoita ohjataan kemian tietojen ja taitojen sekä persoonallisuuden kaikkien osa-alueiden kehittämiseen. (Opetushallitus, 2003)

Tärkeää on myös korostaa opetuksessa kokeellisuuden merkitystä kemian tieteenalan kehittymisen kannalta.

Opetuksen tavoitteena on, että opiskelija osaa kemian keskeisimmät peruskäsitteet ja tietää kemian yhteyksiä jokapäiväisen elämän ilmiöihin sekä ihmisen ja luonnon hyvinvointiin. Tavoitteissa korostetaan myös oppilaan tarvetta saada kokemuksia, jotka herättävät ja syventävät kiinnostusta kemiaa ja sen opiskelua kohtaan. Tavoitteiden toteutumisen arvioinnissa on kohteena erityisesti kemiallisen tiedon ymmärtäminen sekä soveltamisen taito. (Opetushallitus, 2003)

2.4 Kemian historia aihekokonaisuuksissa

”Aihokokonaisuudet ovat yhteiskunnallisesti merkittäviä kasvatus- ja koulutushaasteita. Samalla ne ovat ajankohtaisia arvokannanottoja. Käytännössä aihokokonaisuudet ovat lukion toimintakulttuuria jäsentäviä toimintaperiaatteita ja oppiainerajat ylittäviä, opetusta eheyttäviä painotuksia. Niissä on kysymys koko elämäntapaa koskevista asioista.” (Opetushallitus, 2003)

Lukion vuoden 2003 opetussuunnitelmassa esitellään yhteensä viisi erilaista aihekokonaisuutta. Kemian historian ja tietokoneavusteisen opetuksen merkitys korostuu erityisesti aihekokonaisuudessa *Teknologia ja yhteiskunta*. Tässä aihekokonaisuudessa teknologian lähtökohtana on ihmisen tarve parantaa elämänlaatua, ja sen perustana on luonnossa vallitsevien lainalaisuuksien tunteminen. (Opetushallitus, 2003) Kemialla ja kemian historialla on merkittävä rooli juuri yhteiskunnan elämänlaadun paranemisen kannalta; merkittävää hyvinvoinnin edistämistä on esimerkiksi elintarvike-, lääke- ja materiaaliteknologian kehittyminen. Aihokokonaisuuden tulisi ohjata opiskelija pohtimaan teknologian kehittämistä suhteessa yhteiskunnallisiin muutoksiin historiallisista, ajankohtaisista ja tulevaisuuden näkökulmista.

3. HISTORIAAN POHJAUTUVAN LÄHESTYMISTAVAN MERKITYKSESTÄ

3.1 Motivaatio kemian opiskeluun

”Olisinko itse keksinyt tämän, jos olisin elänyt silloin?” (Justi, 2000)

Koulun ulkopuolinen maailma vaikuttaa oppilaan asennoitumiseen kemiaa kohtaan. Vanhempien kokemukset ja oppiaineen arvostus siirtyvät helposti sukupolvelta toiselle. Tämän vuoksi asenteet oppiainetta kohtaan eivät muutu hetkessä.

Opiskelijoiden motivoimiseksi riittää usein tieto siitä, että uusi opetettava asia on tarpeellinen ja sen oppimisesta on hyötyä jatkossakin. Opiskelijat ovatkin tutkimuksissa toivoneet enemmän käytännön sovelluksia ja havainnollisuutta kemian opetukseen, ettei teoriaopetus tai kokeellisuus jäisi irralliseksi kokonaisuudesta. Opettajan tehtävänä on löytää mielekäs tapa, jolla tämän voisi kertoa opiskelijoille. Motivoiminen ja asenteisiin vaikuttaminen on osa opettajan ammattitaitoa. (Meisalo & Lavonen, 1994)

Oppiaineen kehityshistoria, tähän liittyvät kertomukset ja henkilökuvat sisältävät yleissivistävää tietoa sovellusten kehittymisestä. Kertomukset myös lisäävät opiskelijoiden motivaatiota ja innostusta kemian opiskeluun. Historiallinen lähestymistapa auttaa opiskelijoita saamaan syvällisemmän käsityksen käsitteiden ja teorioiden jatkuvasta muokkautumisesta. Näin he oppivat ymmärtämään, että teoriat eivät ole lopullisia ja ehdottomia. (Ahtee & Pehkonen, 2000) Historialliset kertomukset tuovat vaihtelua perinteiseen kemian opetukseen.

Historiallinen lähestyminen opetettavaan aiheeseen tekee siitä inhimillisempää ja korostaa enemmän sosiaalista näkökantaa. Opiskelijoille, jotka ovat jo valmiiksi motivoituneita voi historiallinen näkökanta tuoda lisää haastetta opiskeluun (Justi, 2000). Joillakin opiskelijoilla oleva ne-

gatiivinen mielikuva kemiasta saattaa johtua sen vieraudesta. Historiallisen perspektiivin avulla voi vierasta ja uutta maailmaa tuoda lähemmäksi opiskelijaa.

3.2 Kemian syväallinen ymmärtäminen

”Nyky päivän tieteessä on liian paljon erikoistumista ja ammattimaistumista. Tieteestä on tullut epäinhimillistä. Tämä pätee historiatieteeseen tai vaikkapa psykologiaan yhtä hyvin kuin luonnontieteisiin.” (Saarikko, 1998)

Kemia koetaan koulussa usein vaativaksi oppiaineeksi. Opiskelijoiden on hankala ymmärtää kemian abstraktia käsitteistöä ja mikrotason tapahtumia. Myös makrotasolla tapahtuvien asioiden yhdistäminen mikrotasoon on hankalaa. Tämä turhauttaa opiskelijoita ja aiheuttaa motivaation laskua. Oppiaine koetaan vaikeaksi, jos opiskelijoiden kykyjen ja oppiaineen asettamien vaatimusten välillä on ero. Kemian opetuksen tulisi kuitenkin sisältää ilmiöiden ihmettelemistä sekä iloa oivaltamisesta ja onnistumisen elämyksien kokemista.

Tieteenalana kemia sisältää erilaisten teorioiden, kaavojen ja mallien ohella myös pitkän kehityskulun siitä, kuinka tämän hetkinen tieteellinen tietämys on saavutettu. Opiskelijoista kemia saattaa tuntua aineelta, jossa on paljon ulkoa opeteltavaa aina alkuaineiden ja yhdisteiden nimitystä ja merkeistä kemian laskuihin saakka. Kemian tieto tarjotaankin usein opiskelijoille valmiiksi pureskeltuna pakettina, joka jää enemmän tai vähemmän ulkoa opeteltavaksi. Asioiden ulkoa opettelussa ilman kontekstia saattaa syntyä myös virheellisiä mielikuvia ja asian syväallinen ymmärrys jää puuttumaan. Myös syy ja seuraus -suhteet jäävät opiskelijoilta havainnoimatta. Opiskelijat eivät ymmärrä kemian tarpeellisuutta yhteiskunnan kannalta eivätkä sen merkitystä teknologian kehittymisessä. (Justi, 2000)

3.3 Virhekäsitykset ja kriittinen ajattelu

”On suuri virhe luoda teoria puutteellisilla tiedoilla. Faktoja aletaan muuttaa järjettömästi teoriaan sopiviksi, vaikka teoriaa pitäisi muuttaa faktoihin sopivaksi.” (Pietiläinen, 2002).

Lapset rakentavat maailmankuvaansa ja elämänkatsomustaan jatkuvasti erilaisista lähteistä: vanhemmilta, ystäviltä, mediasta sekä omien kokeilujen ja leikkien avulla. Näistä lapsuuden mielikuvista saattaa jäädä opiskelijoille virheellisiä ajatuksia ja ennakkokäsityksiä, jotka jäävät estämään oikean tiedon kiinnittymistä tietorakenteeseen (Becker, 2000). Opiskelijoiden virheelliset käsitykset ovat usein pysyviä, eivätkä he ole valmiita muuttamaan niitä edes silloin, kun opetuksessa ne suoraan osoitetaan vääriksi tai kun he kohtaavat arkikokemuksensa vastaisia kokeellisia havaintoja.

Luonnontieteiden nykyistä tietoutta ei voida vain siirtää oppilaisiin, eikä myöskään ulkoa opettelu edistä asioiden syvällistä ymmärtämistä. Vasta, kun asia on yhdistetty omiin kokemuksiin ja ennakkokäsityksiin, muodostuu siitä omaa tietoa, joka etenkin opintojen alkuvaiheessa saattaa sisältää paljon virhekäsityksiä. Kemialle on tyypillistä, että sen käsitteet ja teoriat ovat kehittyneet pitkien aikojen kuluessa ja löytäneet nykyisen muotonsa monien kokeiden kautta. Tällöin arkipäiväiset uskomukset ovat joutuneet väistymään ja aluksi epäuskottavilta kuulostaaneet tieteelliset teoriat ovat korvanneet ne. (Ahtee, 1998) Kouluopetuksen kompastuskivenä on opiskelijoiden kykenemättömyys soveltaa tunnilla opittua asiaa myöhäisemmissä elämänvaiheissa ja eri konteksteissa. On hyvin tavallista, että jopa sangen pitkälle edenneille opiskelijoille on syntynyt käsityksiä, jotka tukevat tietoista toimintaa vain niissä tilanteissa, joissa ne on opittu. (Hakkarainen et. al, 2000)

Opiskelijoiden luontoa koskevat ennakkokäsitykset – ”ajattelun luontaiset polut” – ovat usein analogisia varhaisten tiedemiesten käsityksille. Aikaisempien tutkimuksien taustalla on ollut voimakkaasti esillä ajatus,

jonka mukaan yksilön käsitteellinen kehitys edustaa tieteen historiallista kehitystä. Ihminen joutuu ikään kuin käymään läpi omassa käsitteellisessä kehityksessään koko tieteen historiallisen kehityksen. (Hakkarainen et. al, 2000) Historiallisen perspektiivin avulla on mahdollista tämentää käsitteiden merkitystä ja saavuttaa niiden välisten yhteyksien syvälinen ymmärtäminen (Saarikko, 1998). Historiallinen lähestymistapa auttaa opiskelijaa muuttamaan virhekäsityksiään ja kehittämään ajatteluaan, mutta se auttaa myös opettajaa ymmärtämään oppilaiden joskus naiivejakin ideoita. (Justi, 2000)

Historiallisen aineiston avulla voidaan muodostaa opetusmalleja. Opetusmallit voidaan ajatella historiallisten käsitteenmuodostusprosessien rekonstruktioina. Eräs esimerkki on atomimalli, joka on vähitellen kehittynyt kohti nykyaikaista atomimallia. Englannissa ja Brasiliassa tehdyissä tutkimuksissa havaittiin, että 14-16-vuotiailla opiskelijoilla ei ole käsitystä siitä, mitä malli tarkoittaa. Opiskelijat pitävät mallia ehdottomana yksiselitteisenä totuutena, vaikka käytännössä oppilaiden käsitykset atomista ovat usein monen eri mallin sekoitus. Syynä voidaan esittää, että opetussuunnitelma ei nojaa selkeästi historiallisiin malleihin. Myöskään oppikirjat eivät tuo esille mallien asemaa kemiassa, niiden taustaa tai niihin johtaneita kokeita. Mallien riippuvuussuhteet toisiin malleihin jäävät epäselviksi. Opettajat käyttävät opetuksessaan atomimallien riskeytyksiä, joissa on osia erilaisista historiallisista malleista. (Justi & Gilbert, 2000)

Suomessakin on kokeiltu historiallista perspektiiviä atomin ja aineen rakenteen opetuksessa. Opetuskokeilu toteutettiin peruskoulun yhdeksäsluokkalaisilla. Oppilaat testattiin alku- ja lopputesteillä ja tämän lisäksi selvitettiin heidän kantansa uuden materiaalin sopivuudesta opiskeluun. Materiaali kehitettiin kokeilua varten ja siinä korostui historiallinen lähestymistapa. Tulokset olivat kannustavia sekä oppimistulosten että oppilaiden mielipiteiden osalta. Tutkimuksessa mukana olleista oppilaista suurin osa oli sitä mieltä, että he ymmärsivät aineen rakenteeseen liitty-

viä asioita selvästi paremmin sen jälkeen, kun he olivat perehtyneet siihen historiallisesta näkökulmasta. (Rahkola, 2002)

3.3.1 Oppilaiden käsityksiä happamuudesta

Happamuuden opettaminen peruskoulusta lukioon saakka etenee samassa järjestyksessä sen historiallisen kehityksen kanssa. Kemian tullessa oppiaineeksi alaluokille, opetellaan happoja luokittelemaan kuvailtavasti niiden käyttäytymisen perusteella: aineet ovat happamia, koska ne maistuvat happamalle sekä reagoivat tiettyjen aineiden, esimerkiksi karbonaattien kanssa. Hapot myös vaihtavat indikaattorin väriä. (Oversby, 2000) Nämä makrotason ilmiöt olivat tuttuja jo antiikin kreikkalaisille.

Peruskoulun yläluokilla happamuuden käsitettä laajennetaan. Tällöin happoja kuvataan *Arrheniuksen* mallin mukaisesti: hapot ovat aineita, jotka veteen liuetessaan luovuttavat vety-ionin. Mukana on näin ollen malleja, jotka kuvaavat pienempiä mikrotason hiukkasia. Myös pH-käsite tulee tutuksi käytännön tasolla. Yläkoulussa opitaan, että happamien aineiden pH on alle 7, neutraalien 7 ja emästen yli 7. Vielä yläluokilla oppilaat eivät tiedä, mitä pH-käsite tarkoittaa mikrotasolla. Lukio-opetuksessa happamuuskäsitteeseen liitetään myös muita happamuusmalleja, kuten *Brønstedin* ja *Lowryn* sekä *Lewisin* mallit (katso luku 6.3).

Opiskelijoille kokonaisvaltainen mielikuva happamuudesta kehittyy pitkän ajan kuluessa. Englannissa tehdyn tutkimuksen perusteella jo peruskoulun alaluokkien oppilaat ymmärtävät happamuuden tiettyjä piirteitä. He tunnistavat happamat aineet niiden kirpeän maun ja syövyttävyyden ("polttaa" erilaisia materiaaleja) perusteella. Tutkimuksissa on ajateltu lasten ajattelutavan kehittyneen arkipäivän kokemuksien, makuais-tin ja televisio-ohjelmien sekä mainoksien pohjalta. Käsitys happojen syövyttävyydestä oli yleisin mielikuva vielä 15-vuotiaillakin. Hieman van-

hemmillä, 17-vuotiailla, oli yhä ongelmia kuvailla termiä ”happo”, vaikka heille oli jo kertynyt käytännön kokemusta happamuuden tutkimisesta. Ensimmäisen vuoden yliopisto-opiskelijoilla oli kuitenkin tutkimuksen mukaan muodostunut käsitys heikoista ja vahvoista hapoista. (Oversby, 2000)

3.4 Kokeellisuus ja kemian historia

Kemian opetuksen tavoitteista pidetään yleensä tärkeimpänä luonnontieteellisen ajattelun kehittämistä. Peruskouluun kohdistuneessa arvostelussa on toistuvasti kiinnitetty huomiota siihen, että irrallisten pikkutietojen opettelulla ja muilla perustoiminnoilla on liian suuri merkitys. Toisaalta kaikkia tavoitetasoja tarvitaan. (Meisalo & Lavonen, 1994)

Luonnontieteellinen maailmankuva on kehittynyt nykyiseen muotoonsa pitkän ajan kuluessa. Kehityksen suurilla murrosvaiheilla on ollut mullistava vaikutus ihmisten todellisuuskuvaan. Muinaisaikojen ihminen tulkitsti luontoa maagis-mystisten mielikuvien ja jumalien kautta. Keskiajalla tukeuduttiin *Raamatun* tai *Aristoteleen* teoksiin maailmaa koskevan tiedon selittämisessä. Uudella ajalla kokeellisen metodin esiinmarssi synnytti tieteellisen vallankumouksen. (Saarikko, 1998)

Oppilaiden asenteita ja oppimisilmastoa saattaisi muokata aiempaa myönteisemmäksi sen tärkeän asian korostaminen, että luonnontieteet ovat tieteinä ja oppiaineina yhteinen inhimillinen projekti, eikä kummallista salatiedettä. (Saarikko, 1998). Opetuksen toteuttamisessa kemian historia voi olla ideoiden lähde kokeelliseen työskentelyyn. Opettaja voi demonstroida oppilaille historiallisesti merkittäviä kokeita tarinalla höystettynä tai vastaavasti oppilaat voivat itse työskennellä ja työstää ajatuksiaan entisaikojen tiedemiesten jäljillä. (Aksela, 1993)

3.5 Vuorovaikutus eri tieteiden välillä

Opetussuunnitelmaan on kirjattu yhtenä tavoitteena oppilaiden oppivan sovellusten merkityksen sekä ihmiselle että yhteiskunnalle (Opetushallitus, 2003). Tämä on perusteltua, sillä luonnontieteet ovat erityisesti sovellustensa kautta vaikuttaneet voimakkaasti ihmiskunnan historiaan. Sovelluksia löytyy aina lääketieteestä räjähdysaine- ja sotateknologiaan saakka. Uusien raaka-aineiden ansiosta myös esimerkiksi jokapäiväiset sovellukset, kuten kodin astiat ja tekstiilit, ovat kehittyneet. Yleinen tietämys luonnontieteellisestä kehityksestä lisää edellytyksiä ymmärtää yhteiskunnan kehittymistä sekä lisää tietoa nyky-yhteiskunnassa vaikuttavista tekijöistä. Tämä on tärkeä osa opetuksessa annettavasta yleissivistystä. (Meisalo & Lavonen, 1994)

4. OPPILAIKEN TIEDOT JA KIINNOSTUS KEMIAN HISTORIAA KOHTAAN

Aikaisempien tutkimusten mukaan historiallisella lähestymistavalla on ollut positiivisia tuloksia oppilaiden motivoinnin ja oppimisen kannalta. Keväällä 2004 Helsingin yliopiston soveltavan kasvatustieteen laitoksella tehdyn tutkimuksen (Kataja, 2004) tavoitteena oli selvittää yläkoulun loppuvaiheella olevien oppilaiden asennetta kemian historiaa kohtaan sekä kartoittaa heidän kemian historian tietojaan. Tutkimustulokset näyttävät, millaisella pohjalla oppilaiden tiedot kemian historiasta ovat juuri ennen lukio-opetusta.

Tutkimus oli kvantitatiivinen tapaustutkimus, jossa käytettiin erilaisista osioista koostuvaa kyselylomaketta. Ensimmäinen osuus sisälsi vaihtoehtotehtäviä, toisessa osuudessa oppilaiden tuli sijoittaa ennalta annetut kemian ja fysiikan historian tapahtumat heidän mielestään lähimpänä olevalle vuosisadalle. Tämän avulla pyrittiin selvittämään oppilaiden kemian ja fysiikan historian tietämystä suhteutettuna yhteiskunnan kehitykseen. Kolmas osuus vertaili oppilaiden kemian ja fysiikan historian keksijöiden tietämystä. Tähän osioon oppilaiden täytyi tuottaa niin monta fysiikan ja kemian keksijää kuin mahdollista.

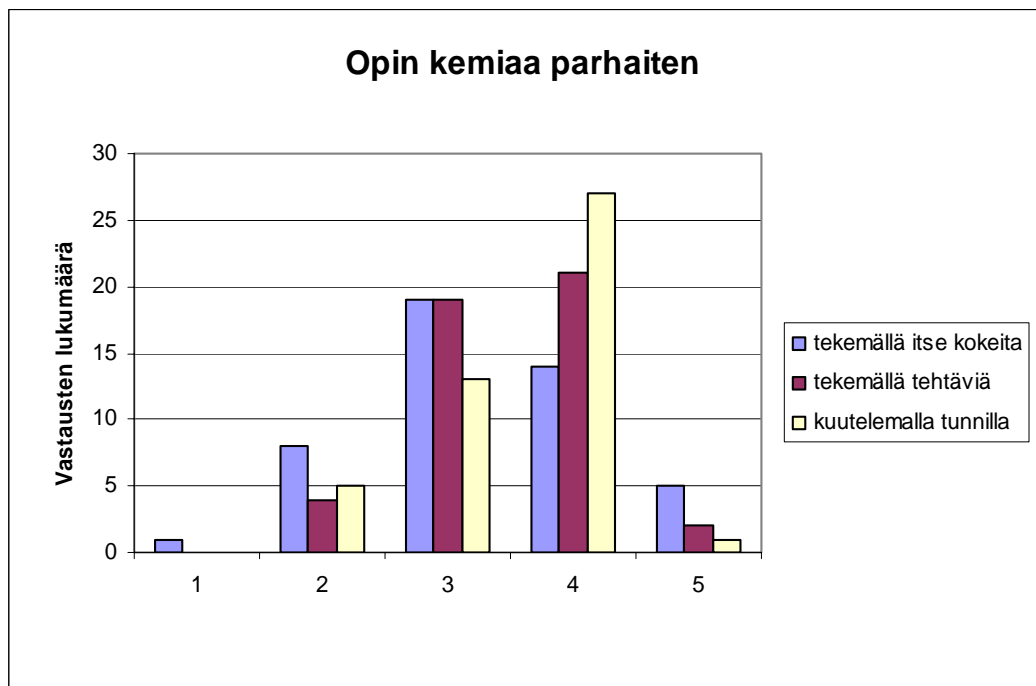
Kyselylomakkeeseen vastasi eteläsuomalaisen peruskoulun 46 yhdeksännen luokan oppilasta. Näistä 23 oli poikia ja 23 tyttöjä. Oppilailla oli ollut seitsemännellä luokalla yksi kurssi fysiikkaa ja yksi kemiaa, kahdeksannella luokalla kaksi kurssia kemiaa ja yhdeksännellä luokalla kaksi kurssia fysiikkaa. Oppilailla oli jokaisella vuosikurssilla ollut eri opettaja. Oppitunnit olivat noudattaneet yleistä kemian ja fysiikan tunti-en rakennetta sisältäen kokeellista työskentelyä.

4.1 Oppiminen ja kiinnostus

Ensimmäisen osuuden kysymyksissä kartoitettiin oppilaiden ajatuksia erilaisin väittämin siitä, miten he parhaiten oppivat kemiaa. Osuuden päätarkoituksena oli mitata oppilaiden kiinnostusta kemian historiaan ja opettajan kertomiin historiallisiin tarinoihin sekä keksintöihin.

Lomakkeessa oppilaita pyydettiin merkitsemään jokaiselle kysymysriville yksi rasti kutakin väittämää parhaiten kuvaavaan ruutuun. Vaihtoehtoja oli viisi: 1=täysin eri mieltä, 2=eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=samaa mieltä ja 5=täysin samaa mieltä.

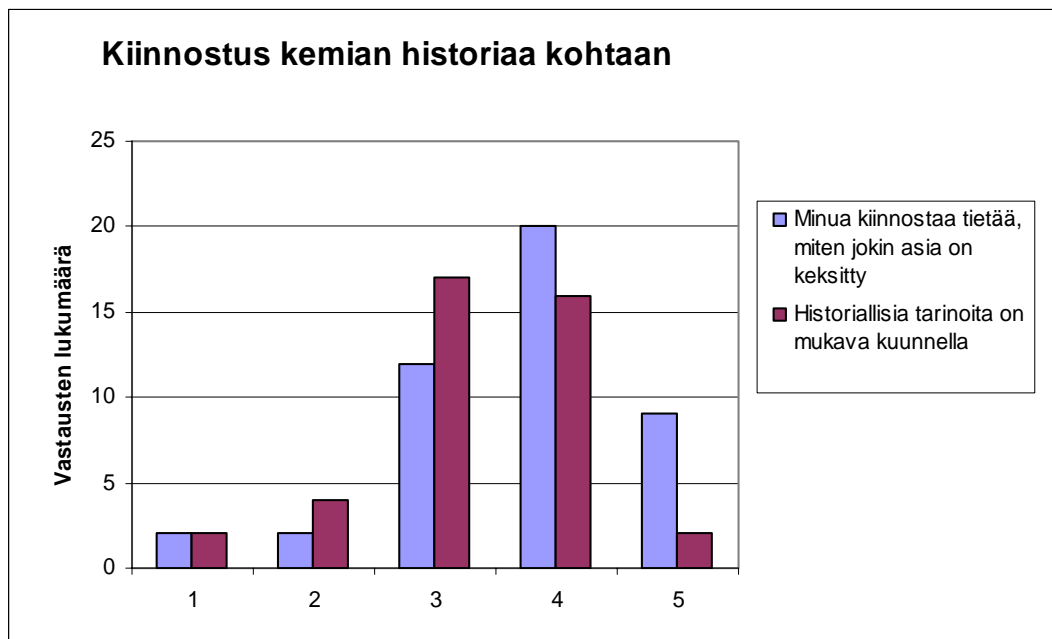
Yleisesti ajatellaan oppilaiden oppivan kemiaa parhaiten oman toiminnan ja kokeellisuuden avulla. Tutkimuksen (Kataja, 2004) ensimmäisen osuuden asennekartoituksen oppimista käsittelevät kysymykset olivat kuitenkin yllättävät. Ennakkokäsityksistä poiketen tunnilla kuunteleminen oli saanut eniten kannatusta (Kuva 4.1.1). Oppilaat ymmärsivät opitunnin seuraamisen merkityksen. Kokeelliselta työskentelyltä ja tehtävien tekemiseltä putoaa pohja, mikäli oppilaat eivät seuraa annettuja ohjeita. Toisaalta myös tulosten läpikäyminen kokeellisen työn jälkeen on tärkeää. Oppilailla saattaa olla vaikeuksia yhdistää makrotason tapahtumia mikromaailmaan ja tällöin kokeellisuus jää vain mukavan puuhastelun tasolle.



1=täysin eri mieltä, 2=eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=samaa mieltä ja 5=täysin samaa mieltä

Kuva 4.1.1 Oppilaiden vastauksia väittämiin, miten he oppivat mielestään kemiaa parhaiten.

Oppilaat olivat kiinnostuneita tietämään, miten jokin asia on keksitty (Kuva 4.1.2). He kuuntelevat myös historiallisia kertomuksia mielellään. Kohtalaisen paljon valintoja sai molempien kysymysten kohdalla vaihtoehto 3, "en osaa sanoa". Tämä saattoi johtua siitä, että oppilailla ei ollut kokemusta tällaisista opetusmenetelmistä. Voi myös olla, että oppilaat eivät mieltäneet opettajan kertomuksia aiheeseen liittyväksi alustukseksi. Jos opettaja kertoo esimerkkinä tarinan *Galileo Galilein* Pisan kaltevassa tornissa tehdyistä omenan pudotuskokeista, oppilas saattaa ajatella sen vain hauskana anekdoottina, eikä osaa yhdistää sitä niinkin tavalliseen asiaan kuin painovoimaan. Tällaisessa tapauksessa opettaja voisi käyttäessään historiallista lähestymistapaa kertoa oppilaille omat motiivinsa. Tämä tuskin vähentää oppilaiden kiinnostusta kertomusten kuunteluun.



1=täysin eri mieltä, 2=eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=samaa mieltä ja 5=täysin samaa mieltä

Kuva 4.1.2 Oppilaiden vastauksia heidän kiinnostuksestaan kemian historiaa kohtaan oleviin väittämiin.

Väittämä ”opettajan kertomat kertomukset keksijöistä ja keksinnöistä elävöittävät opetusta” sai oppilailta kannatusta (Kuva 4.1.3). Vastauksista piirretty kuvaaja on selkeästi kallellaan oikealle väittämiin 4 ”samaa mieltä” ja 5 ”täysin samaa mieltä”. Kohta 3 ”en osaa sanoa” oli kuitenkin yleisin vastaus. Väittämän asettelussa saattoi olla vikaa tai oppilaille ei ole kokemusta tällaisesta menetelmästä.



1=täysin eri mieltä, 2=eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=samaa mieltä ja 5=täysin samaa mieltä

Kuva 4.1.3 Oppilaiden vastauksia väittämään tarinoiden merkityksestä tunnin elävöittäjänä.

Tutkimuksen (Kataja, 2004) ensimmäisen osuuden tavoite oli selvittää, ovatko oppilaat motivoituneet opiskelemaan kemiaa historiallisesta näkökulmasta. Tulokset olivat yhtäpitävät aikaisempien tutkimuksien kanssa. Oppilaiden mielestä historialla höystetty tunti tuo mukavaa vaihtelua ja he ovat kiinnostuneita tietämään, miten asiat ovat keksitty. Oppilaat olivat myös väittämien mukaan sitä mieltä, että kemiaa oppii parhaiten kuuntelemalla tunnilla. Tämäkin osoittaa tarinoiden kertomisella olevan merkitystä oppimisen kannalta.

4.2 Ajallinen ymmärrys luonnontieteiden kehittymisestä

Tutkimuksen (Kataja, 2004) toisen osuuden pyrkimyksenä oli selvittää, miten oppilaat hahmottavat fysiikan ja kemian kehittymistä suhteutettuna yhteiskunnan muihin tapahtumiin. Tätä tarkoitusta varten kyselylomakkeeseen oli tehty aikajana, johon oli merkitty tapahtumia ja aikakausia niin Suomesta kuin Euroopastakin. Oppilaiden tehtävänä oli sijoittaa annetut fysiikan ja kemian keksinnöt oikeille vuosisadoille tai -

tuhansille. Fysiikan keksinnöt olivat optiikka, painovoima, ydinfysiikka ja kompassi. Kemian keksinnöt olivat atomin rakenne, aineen koostuminen alkuaineista, jaksollinen järjestelmä ja tislaukset. Vastausten analysointia varten tehtiin kustakin keksinnöstä taulukko, johon merkittiin kullekin vuosisadalle osuneiden vastausten lukumäärät (LIITE 1).

Kyselyyn vastanneista 65 % sijoitti keksinnöt tasaisesti eri vuosisadoille ja -tuhansille. Tämän perusteella näyttää siltä, että yleisesti oppilaat olettavat luonnontieteiden kehittyneen ajan suhteen lineaarisesti. Vain 10 % kyselyyn vastanneista sijoitti keksinnöt muutamaksi rypääksi joillekin vuosisadoille. Kyselyn perusteella oppilailla ei ollut minkäänlaista käsitystä siitä, milloin mikäkin asia on keksitty. Pahimmillaan sama keksintö sijoitettiin toisilla oppilailla aikaan ennen ajanlaskumme alkua ja toisilla jopa 1900-luvulle.

Oppilaiden keskuudessa oli selvästi vallalla käsitys, että annetut keksinnöt olisivat kehittyneet tasaisesti, vaikka tiede päinvastoin on kehittynyt pääasiassa sykäyksittäin. Lisäksi suuri osa oppilaista piti kemian ja fysiikan keksintöjä vanhempina kuin ne todellisuudessa ovat. Jo tällaisen käsityksen muuttaminen voisi olla saavutus. Ainoastaan ydinfysiikka oli saanut suurimman kannattajajoukon 1900-luvulle. Outoa oli, että oppilaat eivät yhdistäneet atomin rakenteen keksimistä ja ydinfysiikan kehittymistä toisiinsa, vaan atomin keksimistä oli kannatettu tasaisesti aina 1000-luvulta 1900-luvulle saakka. Myös jaksollisen järjestelmän ajateltiin olevan 1500-luvun keksintö.

4.3 Kemian ja fysiikan historian henkilöiden tunteminen

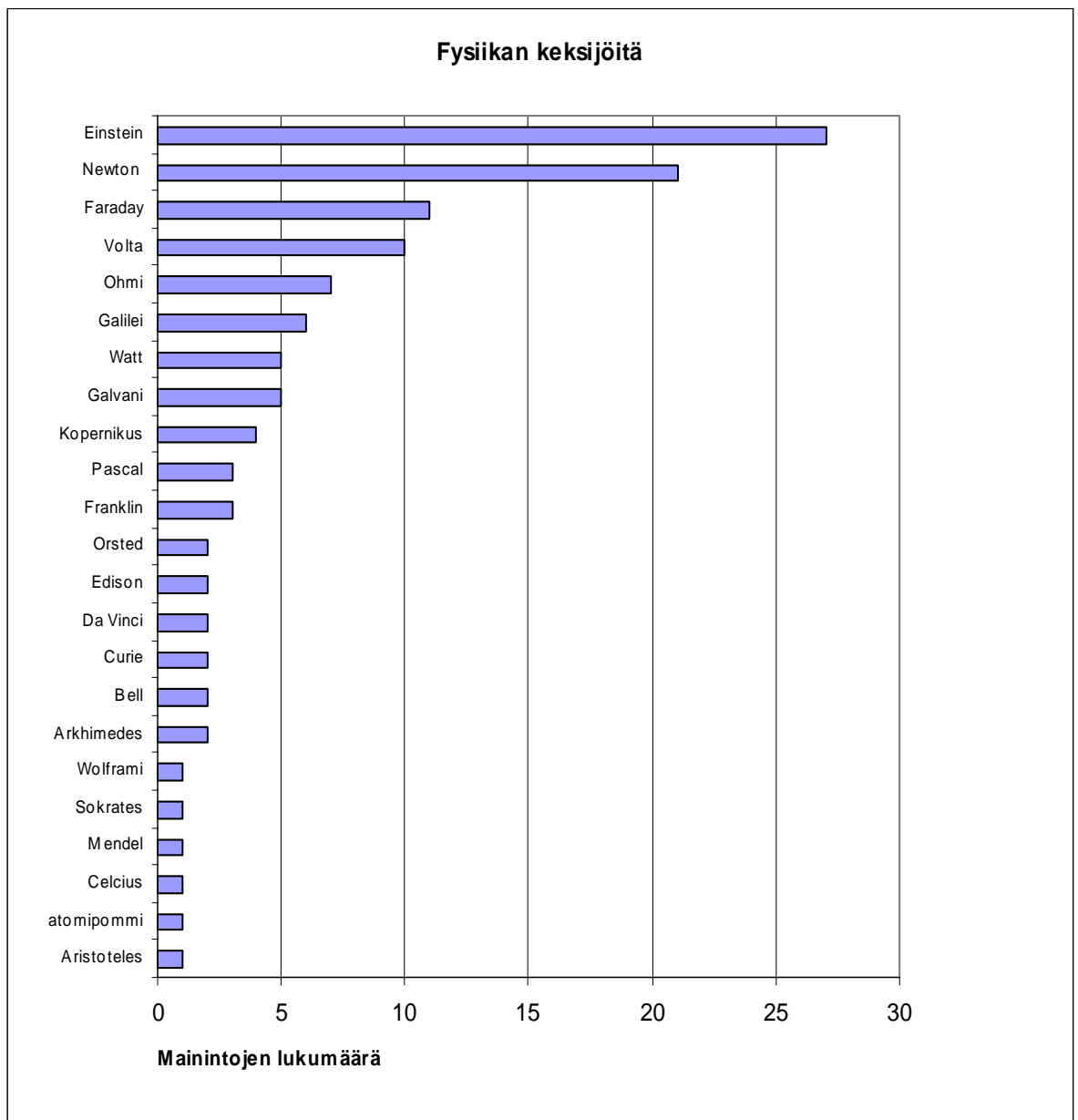
Tutkimuksen (Kataja, 2004) kolmannen osuuden tarkoitus oli selvittää oppilaiden kemian ja fysiikan historian merkkihenkilöiden tuntemista. Kysymyslomakkeessa oleviin ruutuihin oppilaiden oli tarkoitus tuottaa

niin monta fysiikan ja kemian keksijää kuin mahdollista. Tutkimuksen tulokset listattiin mainintojen lukumäärän mukaan.

Osuuden tulokset olivat kaikkein selväpiirteisimpiä koko tutkimuksesta. Oppilaat eivät tienneet kemian merkkihenkilöitä juuri ollenkaan ja useilla ruutu olikin jätetty kokonaan tyhjäksi. Fysiikan merkkihenkilöistä oppilaat osasivat esittää pitkiäkin listoja. Mielenkiintoista olisikin vertailla suomalaisia oppikirjoja: sisältävätkö fysiikan kirjat enemmän mainintoja historiallisista merkkihenkilöistä kuin kemian oppikirjat?

4.3.1 Fysiikan merkkihenkilöt

Oppilaat tiesivät kaikkiaan 19 fysiikan tutkijaa, joiden voidaan ajatella olevan merkkihenkilöitä (Kuva 4.3.1.1). Osa näistä, kuten *Curie* ja *Volta*, voidaan luokitella sekä kemian että fysiikan keksijäksi. Myös *Sokratesta* ja *Aristotelesta* voidaan pitää varhaisina fysiikan ajattelijoina. *Einsteinin* oli muistanut 59 % vastanneista ja *Newtonin* 46 %. Mainintoja olivat saaneet myös *Faraday*, *Ohmi*, *Galilei*, *Watt*, *Galvani*, *Kopernikus*, *Franklin*, *Ørsted*, *Edison*, *Da Vinci*, *Bell*, *Arkhimedes* ja *Celsius*. Mukaan oli päässyt livahtamaan myös matemaatikkona menestynyt *Pascal*, alkuaine volframi väärin kirjoitettuna sekä risteytyskokeistaan tunnettu *Mendel*.

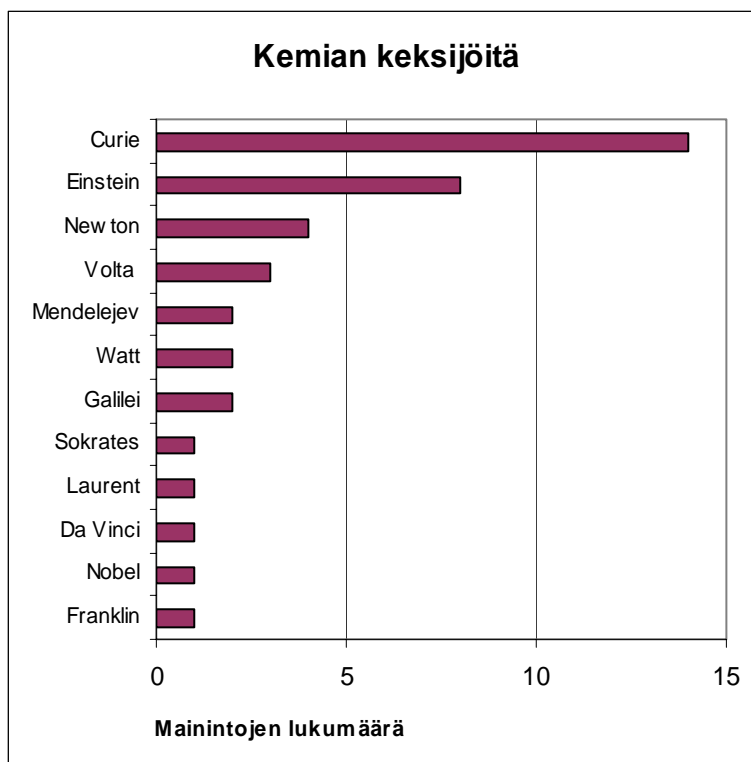


Kuva 4.3.1.1 Oppilaiden luettelemat fysiikan merkkihenkilöt mainintojen lukumäärän mukaan.

Oppilaiden laaja fyysikkojen tuntemus saattaa selittyä arkipäivän puheista ja tuttuisten asioiden keksimisestä. Oppilaat muistavat helposti esimerkiksi *Bellin* keksineen puhelimen ja *Celciuksen* celsiusasteikon. Myös nimi *Einstein* vilahtelee usein lehdissä ja oppikirjoissa. Puhekielessä saatetaan jotain viisasta ihmistä kutsua einsteiniksi ja vähemmän viisaasta saatetaan sanoa, että hän ei kylläkään ole mikään einstein.

4.3.2 Kemian merkkihenkilöt

Kemian merkkihenkilöihin oppilaiden vastauksista voidaan luokitella *Curie*, *Watt*, *Volta*, *Mendelejev*, *Sokrates* (varhainen kemian ajattelija), *Laurent* ja *Nobel*. Kemian keksijöitä tiedettiin vain seitsemän (Kuva 5.4.2).



Kuva 4.3.2.1 Oppilaiden luettelemat kemian merkkihenkilöt mainintojen lukumäärän mukaan.

Oppilaat tunsivat nimeltä vain muutamia kemian kannalta merkittäviä henkilöitä. Vastausten sekaan oli tullut paljon fysiikan saralta merkittäviä tiedemiehiä, kuten *Einstein* ja *Newton*. Toki *Newton* on julkaissut vuonna 1710 yhden kemiallisen julkaisun ”*De natura aciorum – Happojen luonteesta*”, mikä jäikin hänen ainoaksi kemian teoksekseen. *Newtonin* käsitys luonnosta oli maaginen ja hän käytti suuren osan ajastaan perehtymällä alkemiaan. (Hudson, 2002) Oppilaat eivät varmaankaan tienneet *Newtonista* muuta kuin sen, että hänet tunnetaan ennen kaikkea mekaniikan uranuurtajana. He olivat luultavasti sekoittaneet hänet kemian keksijöihin ilman perusteltua tarkoitusta. *Einsteinin* kemistin ura oli

lyhyt, vaikka hän kehittikin matemaattisen mallin nesteessä olevien hiukkasten Brownin liikkeelle selittäen sen molekyylien törmäysten avulla. (Hudson, 2002) *Einsteinin* luokittelu kemian keksijöihin saattaa myös johtua hänen mukaansa nimetystä alkuaineesta einsteinium (Es), joka kylläkin sai nimensä vasta *Einsteinin* kuoltua. *Einstein* ei tätä alkuainetta löytänyt, vaan se nimettiin hänen mukaansa kunnianosoituksena hänen saavutuksistaan fysiikan keksijänä. (Engels & Novak, 1993)

5. KEMIAN KEHITTYMINEN ALKEMIASTA MODERNIKSI KEMIAKSI

5.1 Varhaisia käsityksiä happamuudesta

Käsitteenä happamuus kehittyi samaan aikaan rinnakkain muun kemiallisen kehityksen kanssa. Happamuutta kuvaava englanninkielinen termi *acid* on peräisin latinan sanasta *acetum*, joka tarkoittaa hapanta. (Nicholson, 2004) Antiikin ajoilta aina vuoteen 1777 happoja ja emäksiä kuvailtiin aistienvaraisesti niiden ominaisuuksien perusteella (Oversby, 2000):

- ne maistuvat happamilta
- ne vaihtavat väriään tiettyjen aineiden kanssa (indikaattorit)
- ne reagoivat reaktiivisten metallien kanssa muodostaen vetyä
- ne reagoivat karbonaattien kanssa muodostaen hiilidioksidia
- ne reagoivat emästen kanssa, jolloin niiden happamat ominaisuudet häviävät neutraloitumisen kautta.

Myös emäkset luokiteltiin niiden ominaisuuksien ja maun perusteella. Nimi emäksinen, englanniksi *alkali*, tulee arabiankielisestä sanasta *alkalja* ja tarkoittaa hehkutettua tuhkaa. Termiä käytettiin alunperin vesiliukoisille tuotteille, jotka syntyivät tiettyjen aineiden palamistuotteina. Varhaiset kemistit huomasivat nopeasti, että samoin kuin hapoilla, myös emäksillä on yhteisiä ominaisuuksia (Nicholson, 2004):

- ne ovat liukkaita
- ne poistavat rasvaa ja öljyjä kankaista
- ne vaihtavat lakmuksen värin punaiseksi.

Yritykset kuvailla niiden rakennetta perustuivat niiden konkreettisiin ominaisuuksiin. Uskottiin, että happamat aineet maistuvat kirpeiltä, kos-

ka ne sisältävät teräväreunaisia osia, jotka saavat aikaan kirpeän maun osuessaan kieleen. (Oversby, 2000) Emäksiset aineet puolestaan saivat happamat ominaisuudet häviämään, koska emäksen pyöreät ja pehmeät osaset sulkevat sisäänsä terävät osaset happamasta aineesta. (Nicholson, 2004)

5.2 Tieteellisen ajattelun alku

Kemian historian ja happamuusaiheen ymmärtämiseksi täytyy palata aikaan, jolloin voidaan ajatella tieteellisen ajattelun alkaneen. Tämä merkittävä tapahtuma voidaan sijoittaa 2500 vuoden päähän Kreikkaan.

Kunnia tieteellisen ajattelun aloittamisesta annetaan yleensä *Thaleelle*, joka eli 500-luvulla ennen ajanlaskun alkua kreikkalaisessa Miletoksen kaupungissa Joonian (nykyisen Lounais-Turkin) rannikolla.

Legendan mukaan *Thaleen* kerrotaan pitäneen kävelemisestä Miletoksen lähellä olevilla rinteillä. Kerran kävellessään kukkulan rinnettä *Thales* huomasi joitakin kiviä, joissa oli ilmiselvästi simpukoiden fossiileja. Hän oivalsi kävellessään, että rinteeseen, jolla hän käveli, on täytynyt joskus kuulua mereen. Tämä puolestaan johdatti hänet otaksumaan, että maailman on alun perin täytynyt koostua pelkästään vedestä. Edelleen hän ajatteli, että veden täytyy näin ollen olla perusaine, josta kaikki muut aineet koostuvat. Tämä on ensimmäinen tunnettu esimerkki tieteellisestä ajattelusta ja tästä syystä *Thalesta* pidetään ensimmäisenä filosofina. (Strathern, 2000)

Kreikkalaiset olivat ensimmäisiä, jotka yrittivät selittää, miksi kemialliset muutokset tapahtuvat. Kreikkalaiset sanoivat Välimeren Vähä-Aasian rannikkoa Jooniaksi ja perustivat sinne useita siirtokuntia. Kreikan ajattelun varhaista aikakautta, 600-500 e.a.a., kutsutaankin joonialaiseksi tieteeksi. Joonialaiset filosofit tavoittelivat maailmankaikkeudelle mate-

rialistista selitystä, eivätkä he vedonneet mihinkään yliluonnolliseen selitykseen. Heidän teoriansa perustuivat havaintoihin, mutta he eivät tehneet järjestelmällisiä kokeita. Nämä yritykset selvittää maailmankaikkeutta johtivat yleistykseen. On arvoitus, miksi ihmiskunnan tieteellinen ajattelutapa alkoi juuri tällä alueella.

Filosofi *Anaksimandros* yritti kehittää kattavampaa maailmankuvaa. Hänen mielestään kaikki aineet, myös vesi, koostuivat mystisestä alkukantaisesta perusaineesta, jolle hän antoi nimen *rajaton*. Filosofin *Anaximenes* puolesta kumosi *Anaksimandroksen* väitteet ja selitti alkukantaisen aineen olevan vesihöyryä. Hänen mukaansa vesihöyry tuotti harvetessaan tulen ja tiivistyessään veden ja maan. *Herakleitos* taas väitti kaiken koostuvan tulesta. Hän antoi aineille vastakkaisia ominaisuuksia. Näin hän yhdisti kuumaa ja kylmää tuleen ja veteen sekä kostean ja kuivan vesihöyryyn ja maahan. (Hudson, 2002)

Kreikkalainen filosofi *Empedokles* (490-439 e.a.a.) uskoi joonialaisten tavoin havaintoihin. Hänet tunnetaan klepsydraa eli vesikelloa koskevasta kokeestaan. Vesikello oli kartiomainen astia, jonka kärjessä oli pieni reikä. Kartio täytettiin vedellä, ja sen tyhjeneminen mittasi ajan kulun. *Empedokles* käänsi klepsydran pystyasentoon, upotti sen vesiastiaan ja havaitsi, että kartioon ei tullut vettä sen avoimen pohjan kautta, jos hän pani sormensa siinä olevan pienen reiän päälle. Näin hän todisti, että ilma on ainetta, vaikka sitä ei voitukaan nähdä. *Empedoklesin* mukaan maailmassa oli neljä muuttumatonta alkuainetta: maa, ilma, tuli ja vesi, jotka olivat kaiken materian perusta. Hänen mukaansa maailmassa vaikutti myös kaksi perusvoimaa, rakkaus ja viha tai veto- ja hylkimisvoima, jotka yhdistivät ja erottivat alkuaineet toisistaan. Hänen esityksensä mukaan eri aineet muodostuivat, kun alkuaineet yhdistyivät eri suhteissa ja näin hän osoitti, että suunnaton määrä erilaisia alkuaineita saattoi olla olemassa. (Hudson, 2002)

Kemian historiassa käytäntö on aina kulkenut ennen teoriaa. Antiikin aikoihin mennessä oli jo onnistuttu löytämään useita metalleja ja muuta-

mia epämetallisia alkuaineita. Muinaiset egyptiläiset tunsivat kullan, hopean, kuparin ja raudan. Vanhassa testamentissa on mainintoja näistä. Lyijyä tiedetään myös käytetyn puisten ankkureiden painoina. Englannissa taas käytiin kauppaa tinasta, jota saatiin kaivoksista.

Kuparin ja tinan seos, pronssi, antoi nimen ajalle, joka alkoi Välimeren alueella noin 3000 vuotta ennen ajanlaskumme alkua. Kovaa pronssimetallia valmistettiin kuumentamalla tinaa ja kuparia yhdessä. Seosta käytettiin koriste-esineisiin ja astioihin.

Muinaiset kansat tunsivat myös elohopean, joka mainitaan kiinalaisissa ja hindulaisissa kirjoituksissa. Suhde elohopeaan oli mystinen sen poikkeuksellisen ulkonäön ja ominaisuuksien vuoksi (peilipintainen, nestemäinen ja erittäin myrkyllinen). Elohopeaa kunnioitettiin syvästi. (Strathern, 2000)

Epämetalleista hiili ja rikki ovat kauimmin tunnetut alkuaineet. Rikkiä käytettiin lääkinnällisiin tarkoituksiin ja rikkipäisiin tulitikkuihin. Jo luolamiehet tunsivat hiilen puuhiilen ja noen muodossa. Hiili tunnettiin vanhan testamentin mukaan myös arvokkaammassa muodossaan timanttina (tällöin ei tietenkään tiedetty, että kyseessä on saman aineen allotrooppinen muoto).

Sekä kreikkalaiset että roomalaiset tunsivat myös aineen, jota he kutsuivat arseeniksi. Heidän arseeninsa ei ollut puhdas alkuaine, vaan sen rikkiyhdiste, arseenisulfidi. Arseenisulfidia käytettiin nahkojen parkitsemiseen ja vihamiesten myrkyttämiseen.

Antiikin ajan ihmisillä ei ollut aavistustakaan, että he olivat tekemisissä alkuaineiden kanssa. Alkuaineen alkuperäinen idea sai alkunsa filosofien, ei kemistien, parissa. *Thaleen* teoria, jossa kaiken perustana oli vesi, oli todellinen alku: tieteellinen ajatus siitä, mikä alkuaine on. (Strathern, 2000)

5.3 Atomos - jakamaton

Atomos on kreikkaa ja tarkoittaa "leikkaamatonta" eli jakamatonta. Ajatus jakamattomasta aineesta, "atomeista", syntyi *Anaksimeneksen* pohdintojen pohjalta 400 vuotta ennen ajanlaskumme alkua, kun filosofi *Leukippos* kysyi: "Onko aine erillisiin osiin jakautunutta vai jatkuvaa?". Hän toisin sanoen pohti, voidaanko ainetta jakaa osiin loputtomasti vai saavutetaanko jossain vaiheessa piste, jossa asiat muuttuvat jakamattomiksi.

Leukippos päätyi ajattelussaan tähän 100 vuotta sen jälkeen, kun *Thales* oli luonut pohjan tieteelliseen ajatteluun. *Leukippoksen* tunnetuin oppilas *Demokritos* kehitti opettajansa alkuperäistä ajatusta atomista. *Demokritoksen* mukaan atomeja on ääretön määrä, ja ne ovat ikuisessa liikkeessä avaruudessa. Atomeja on myös lukematon määrä erilaisia, ja ne eroavat toisistaan sekä muotonsa ja kokonsa että painonsa ja lämpötilansa puolesta. Kaikki näkyvä oli hänen mukaansa muuttumattomien atomien liittymistä yhä uudelleen ja uudelleen toisiinsa.

Demokritos oli yli tuhat vuotta aikaansa edellä. Kreikkalainen ajattelu ajautui kuitenkin väärille urille ja vei koko ihmiskunnan tieteellisen kehityksen väärälle kurssille sadoiksi vuosiksi. (Strathern, 2000)

5.4 Aristoteles

Aristoteles on Kreikan tieteellisistä filosofeista kuuluisin. Hänellä oli suuri vaikutus seuraajiinsa. Aineen rakenteen kuvauksissa *Aristoteles* laajensi *Empedokleen* ajatuksia aineen neljästä perustilasta eli alkuaineesta: maasta, ilmasta, tulesta ja vedestä. Toisin kuin *Empedokles*, *Aristoteles* väitti aineiden voivan muuttua toisikseen. Hän ei pitänyt näitä puhtaina alkuaineina, vaan käsitti ne pikemminkin aineen eri olomuodoiksi.

Hänen mukaansa kaikki koostui perusaineesta eli *proto hylestä*, kun siihen liittyy muoto, joka oli aineen ominaisuuksien perussy. Aineen perusolemus säilyy muutoksissa samanlaisina, vain sen muoto muuttuu. (Hudson, 2002)

Paremmän käsityksen puuttuessa *Aristoteles* uskoi, että metallit ja malmit koostuivat ekshalaatioista eli henkäyksistä. Toinen oli kostea ja höyrymäinen, ja se syntyi auringonvalon osuessa vedenpintaan. Toinen henkäys oli kuiva ja savuinen, ja se nousi maasta. Kun nämä henkäykset juutuivat maahan, ne muodostivat kiviä ja metalleja riippuen siitä, kumpaa henkäystä aineessa on enemmän. Kun kuiva, savuinen ekshalaatio oli vallitseva, se synnytti kiviä, mutta metallit syntyivät, kun kostea höyrymäistä henkäystä oli aineessa enemmän. *Aristoteleen* käsitykset olivat voimassa 1500-luvun laboratorioskemian (alkemian) alkuun saakka. (Hudson, 2002)

Kreikkalaiset filosofit eivät keksineet keinoa testata omia väitteitään, eikä tällöin päästy lopulliseen tulokseen materian luonteesta. On sanottu, että kreikkalaisten kielteinen asenne kokeisiin johtui siitä, että orjat tekivät ruumiillisen työn ja näitä toimintoja ei pidetty eliitin, johon filosofitkin kuuluivat, arvolle sopivana. Todennäköisempi syy on kuitenkin ollut, etteivät filosofit katsoneet tarpeelliseksi suunnitella ja toteuttaa kokeita, sillä heidän mielestään abstrakti älyllinen toiminta oli ainoa oikea tapa kuluttaa aikaa. (Hudson, 2002)

5.5 Alkemistit

Kreikkalaisten filosofien ajatuksista seuraavat lähes 2000 vuotta hallitsi kemian historiassa pseudotiede, jota kutsuttiin alkemiaksi. Alkemistit olivat usein mystikkoja tai huijareita, joilla oli pakkomielle ideaan valmistaa halvasta, epäjalosta metallista kultaa.

Perinteisesti sanotaan, että alkemia sai alkunsa Aleksandriassa. Kaupungin perustaja oli *Aristoteleen* oppilas *Aleksanteri Suuri* (356-323 e.a.a.). Hän yhdisti pienet kaupunkivaltiot ja valloitti sen aikaisen tunnetun maailman. Hänen imperiuminsa ulottui Egyptistä Kaksoisvirranmaahan ja siitä itään ja Intiaan. Aleksandria oli yksi kreikkalaisen kulttuurin keskuksista, joka perustettiin Niilin suistoon Egyptiin (332 e.a.a.). (Hudson, 2002) Kahdessasadassa vuodessa siitä tuli maailman suurin kaupunki; egyptiläisen, kreikkalaisen ja muiden kulttuurien sulatusuuni.

Aleksandriassa oli antiikin hienoin kirjasto, josta löytyi yli 70 000 kirjaa kääroinä ja papyruksina. Luultavasti juuri kirjaston ansiosta Aleksandriasta tuli suurin oppineiden keskus. Aleksandriassa kreikkalainen ajattelu kohtasi myös paljon vanhemman opin, joka tunnettiin nimellä egyptiläinen taito tai *khemeia*. *Khemeian* alkuperä on kadonnut historian hämärään. Tiedetään, että tämä tieto koostui suurelta osin kuolleiden balsamointiin liittyneistä kemiallisista prosesseista. Tämä yhteys kuolemaan aiheutti sen, että *khemeian* harjoittajia alettiin pitää maagikkoina ja velhoina.

Khemeian yhdistettiin myös muita muinaisten egyptiläisten keksimiä kemiallisia prosesseja, kuten lasin valmistaminen, värjääminen ja erityisesti metallien valmistaminen. *Khemeia* tuli näin liitettyksi seitsemään tunnettuun metalliseen alkuaineeseen (silloin ei vielä tiedetty niiden olevan alkuaineita): kultaan, hopeaan, kupariin, rautaan, hopeaan, tinaan, lyijyyn ja elohopeaan. Kuten metalleja, myös planeettoja eli "vaeltavia tähtiä" oli seitsemän. Ne olivat Aurinko, Kuu, Venus, Mars, Saturnus, Jupiter ja Merkurius. Pian keksittiin yhteys näiden kahden seitsemän ryhmän välille. Aurinko liittyi kultaan (Au), Kuu hopeaan, Venus kupariin jne. Myös elohopean englanninkielinen nimi *mercury* on nimetty Merkurin mukaan. Alkemistit uskoivat keksineensä yhden maailmankaikkeuden salaisuuksista. (Strathern, 2000)

Siinä missä filosofit olivat onnistuneet erottamaan tieteen uskonnosta, alkemistit yhdistivät aineen tutkimisen jälleen siihen. Vaikka mystiikan

yhdistäminen tieteeseen tuntuu meistä ongelmalliselta, oli se alkemistien suuri innoituksen lähde. Alkemistit oivalsivat, että vaikka maa, ilma, tuli ja vesi ajateltiin alkuaineina, ne olivat samalla laatuja. He oivalsivat myös, että laatuja voitaisiin muuttaa; kuuma voitiin muuttaa kylmäksi, kuiva märäksi jne. Jos kerran alkuainetta voitaisiin muuttaa, voitaisiin silloin muuttaa myös epäjaloka aineita kullaksi. (Strathern, 2000) Alkemistit olivat ensimmäisiä laboratoriotyön kehittäjiä ja tässä mielessä tärkeitä kemian historian kannalta. Heidän tavoitteenaan ei ollut kuitenkaan aineiden ominaisuuksien selvittäminen, vaan kullan keinotekoinen tuottaminen. (Hudson, 2002) Kemia omaksui käyttöönsä monet alkemian kehittämät laboratoriotekniikat ja niiden ansiosta eristettiin joukko tärkeitä aineita, kuten etanoli ja epäorgaaniset hapot.

Aristoteleen teoria ennusti, että jokainen aine voi muuttua miksi muuksi aineeksi tahansa, joten vähemmän jalon metallin "kulta" -ominaisuuden parantaminen vaikutti järkevältä tavoitteelta. Uskottiin myös, että koska metallit syntyvät, kun henkäykset juutuivat kuivaan maahan, niin metallit kypsyisivät maassa hitaasti ja muuttuisivat täydellisyyden saavutettuaan kullaksi. Saattoi siis olla mahdollista, että prosessia voitaisiin kiihdyttää keinotekoisesti. (Hudson, 2002)

Pakkomielle kultaan ei kuitenkaan vallannut alkemiaa täysin. Joskus mystifioiminen johti hyväänkin lopputulokseen. Eräät alkemistit puhuivat "sairaana metallin parantamisesta" muuttamalla se kullaksi. Tällaiset puheet saattoi aloitteleva alkemisti tulkita väärin, ja hän saattoi näin ajautua väärille raiteille. Sairaiden metallien parantamisen sijaan nämä alkemistit alkoivat etsiä keinoja parantaa sairaita ihmisiä. Alkemistit perustivat vahingossa tieteellisen farmasian, kemiallisen lähestymistavan lääketieteeseen. (Strathern, 2000)

Arabit saivat kosketuksen kreikkalaiseen kemian oppineisuuteen yrittäessään valloittaa Rooman valtakunnan kristinuskon keskusta Konstantinopolia. Suunnitelman teki tyhjäksi alkemisti *Callinicus*. *Callinicus* piti hallussaan "Kreikkalaisen tulen" kaavaa. Kreikkalainen tuli oli luultavasti

tislattu raakaöljy, johon oli yhdistetty kaliumnitraatin (palamisessa tarvittavan hapen lähde) ja sammuttamatonta kalkkia (tuottaa lämpöä reagoissaan veden kanssa). Kun kreikkalaista tulta kaadettiin mereen, se syttyi ja sytytti samalla arabien laivojen puiset rungot tuleen. Sammutusyrietykset saivat aikaiseksi vain suuremmat liekit. Valloituksen epäonnistuttua arabit olivat vakuuttuneita kreikkalaisten oppineisuudesta ja alkoivat aktiivisesti etsiä muita esimerkkejä *khemeian* tiedoista ja taidoista. (Strathern, 2000)

Viidensadan vuoden ajan kemia ja myös muut tieteet olivat yksin arabien käsissä. Islamilaiset alkemistit uskoivat myös osittain *Aristoteleen* teoriaan; he kuitenkin samaistivat kosteat ja kuumat höyryt elohopean ja rikin höyryihin. Elohopea ja rikki eivät tarkoittaneet kuitenkaan samaa kuin nykyiset puhtaat alkuaineet. Rikki ("palava kivi") yhdistettiin tuleen ja elohopea sisälsi metallisten ominaisuuksien periaatteen. Näitä ominaisuuksia yhdistelemällä oikeassa suhteessa uskottiin saatavan kultaa. Tämä teoria oli kuitenkin tärkeä osa kemian historiaa. (Hudson, 2002)

Islamin alkemistit omaksuivat myös uuden asenteen transmutaatioon eli toiseksi alkuaineeksi muuttamiseen. Vähemmän jaloa metallia oli käsiteltävä ihmeellisellä lääkkeellä eli viisasten kivellä, jotta metallin ominaisuudet asettuisivat vastaamaan kullan ominaisuuksia. Viisasten kivi nähtiin myös lääkkeenä, elämän eliksiirinä, joka ihmeellisesti parantaisi sairaudet ja antaisi ikuisen nuoruuden tai kuolemattomuuden. He tekivät mutkikkaita testejä, jossa he mm. tislasivat vettä ensin 70 kertaa ja sitten 700 kertaa uskoen, että oikeassa suhteessa sekoittaen eri elementtejä (kuuma, kylmä, kostea, kuiva) saataisiin aikaan viisasten kivi. Kun transmutaatiokoe epäonnistui, alkemisti saattoi syyttää koetekniikkaa, eikä taustalla olevaa teoriaa. (Hudson, 2002)

Yksi islamilaisten yleisesti käyttämistä aineista oli etikka. Etikasta myös tislattiin väkevää etikkahappoa. Kreikkalaisetkin olivat tunteneet tämän hapon ja heitä oli kiehtonut sen kyky liuottaa joitain aineita. Islamilaisten onnistui valmistaa myös heikkoja typpihappoliuoksia, joista voidaan teh-

dä paljon väkevämpiä happoja. Arabit lähestyivät kemian ja sen mahdollisuuksien ymmärtämistä. (Strathern, 2000)

5.6 Islamin alkemia – Rhases ja Avicienna

Alkemia tuotti monia hämäräperäisiä ja mystisiä kirjoituksia. Mukana oli kuitenkin myös kirjoituksia, jotka olivat selkeitä sekä vapaita ristiriidoista ja mystiikasta. Tällaisia olivat *al-Razin* (864-925) ja *ibn-Sinan* (980-1037) kirjoitukset. Henkilöt tunnetaan paremmin latinalaisilla nimillä *Rhases* ja *Avicienna*.

Rhases omaksui rikki-elohopeateorian perustan ja uskoi myös transmutaation mahdollisuuteen. Hänellä oli kuitenkin laajat käytännön kemian taidot. Hän kuvasi alkalihydroksilipeän valmistusmenetelmän, joka perustui natriumin ja kaliumin karbonaattien (nämä tuotettiin uuttamalla tuhkaa) käsittelemiseen sammutetulla kalkilla. Sana *alkali* tulee arabian kielen termistä *al kalja*, joka tarkoittaa hehkutettua tuhkaa. Emäksisiä alkalihydroksilipeitä ja happamia etikan, maidon ja sitruunamehun kaltaisia liuoksia kutsuttiin *kirpeiksi vesiksi* (Engl. *sharp waters eli terävät vedet*). *Kirpeitä vesiä* käytettiin laajasti liuottimina.

Rhases luokitteli aineet aikaisempaa monipuolisemmin. Hän jakoi aineet eläinkunnasta saataviin, kivennäisiin ja johdannaisiin. Tämän lisäksi hän jakoi kivennäiset kuuteen ryhmään (Hudson, 2002):

Henget: rikin, elohopean, salmiakin ja arseenin kaltaiset helposti kaasuuntuvat aineet.

Kappaleet: metallit (elohopeaa lukuun ottamatta)

Kivet: malakiitti, hematiitti jne.

Vihtrillit: esim. vihreä vihtrilli (rauta(II)sulfaatti)

Boraasit: boori, sooda

Suolat: ruokasuola, potaska (kaliumkarbonaatti), sammutettu kalkki (kalsiumhydroksidi) jne.

Avecienna oli alkemian islamilaisen kauden viimeinen merkittävä tutkija. Hän oli lääkäri, jonka lääketiedettä koskevat kirjoitukset olivat asiantuntevia vielä 600 vuotta hänen kuolemansa jälkeenkin. Hän luopui transmutaation mahdollisuudesta viisasten kivellä käsiteltäessä, mutta uskoi, että muutos on mahdollinen, jos aineet jaetaan mahdollisimman pieniin osiin ja kootaan uudelleen asianmukaisella tavalla. Hänen näkemyksillään oli merkittävä vaikutus eurooppalaiseen alkemiaan.

5.7 Eurooppalainen alkemia

Euroopan oppineet löysivät arabian kielellä kirjoitetut tieteelliset ja lääketieteelliset tekstit 1100-luvulla. Samaan aikaan, kun kirjoitukset opittiin tuntemaan Euroopassa, kehittyi myös tislaukset. Silloin alettiin tislata viinejä yhdessä erilaisten kosteutta imevien suolojen kanssa ja saatiin aikaiseksi niinkin väkevää alkoholia, että se syttyi palamaan. 1200-luvulla *Taddeus Alderotti* otti käyttöönsä vesijäähdyttimen ja paransi siten aineiden tiivistymistä tislauksessa. Kierteenomainen tiivistysputki oli noin metrin mittainen ja upotettiin astiaan, johon virtasi kylmää vettä. Näin tuotettu alkoholi sai nimen aqua vitae, elämän vesi ja sitä alettiin käyttää lääketieteellisiin tarkoituksiin. (Hudson, 2002)

Epäorgaaniset hapot keksittiin myös 1200-luvun alkupuolella. Vihtirillejä, eli kaksiarvoisten metallien sulfaatteja oli kuumennettu aikaisemminkin, mutta nyt niiden höyryt tiivistettiin ja saatiin aikaan väkevää rikkihappoa. Tämä keksintö ei niinkään ollut parantuneen tiivistymisen tulosta, vaan perustui siihen, että opittiin rakentamaan laitteet, jotka eivät olleet alttiita tuotteen aiheuttamalle korroosiolle. Kun vitirillia kuumennettiin kalialpietarin eli kaliumnitraatin kanssa saatiin aikaan typpihappoa, jota opittiin pian käyttämään hopean ja kuparin erottamiseksi kullasta. Kun

typpihappoon lisätään salmiakkia (ammoniumkloridia), saadaan aikaan *agua regiaa*, kuningasvettä, joka liuottaa kullankin.

Nyt kun alkemistit olivat löytäneet myös vahvemmat hapot, aukenivat ovet laajamittaisille kokeille. Vahvat hapot näyttivät reagoivan minkä tahansa aineen kanssa muodostaen sakkoja. Alkemistit olivat törmänneet keinoihin, joilla he pystyivät saamaan aikaan valtavan määrän erilaisia kemiallisia reaktioita. Lisäksi (jälkiviisaasti ajatellen) he olivat löytäneet keinon eristää alkuaineita, joita aikaisemmin oli esiintynyt vain yhdisteissä. (Hudson, 2002)

Kalisalpietaria saatiin lannasta, jota koottiin suuriin kansoihin. Salpietari oli seurausta kasoissa tapahtuneesta bakteeritoiminnasta. Aine uutettiin veteen ja liuosta väkevöitettiin, kunnes sen tärkein epäpuhtaus, ruokasuola, kiteytyi astiaan. Liuos suodatettiin ja siitä saatiin verrattain puhtaita kalisalpietarikiteitä. Niitä tarvittiin myös ruudin valmistuksessa, jossa ne sekoitettiin hiilen ja rikin kanssa.

Elämän veden keksiminen ja sen kyky lääkeaineena ja teho estää mätäneminen näyttivät alkemisteista varmaankin askeleilta todellisen elämän eliksiiriin keksimiseen. Viisasten kiveäkin ajateltiin miltei synonyyminä elämän eliksiirille, sillä sen uskottiin parantavan "sairaita", epäjaloja metalleja. (Hudson, 2002)

Yksi suurimmista renessanssi-ajan alkemisteista oli *Theophrastus Philippus Aurelus Bombatus von Hohenheim* (1493-1541). Nykyään hänet tunnetaan paremmin *Paracelsuksena*. *Paracelsus* uskoi vahvasti siihen, että alkemian tarkoitus ei ollut vain tutkia transmutaatiota kullan aikaan saamiseksi, vaan alkemiolla oli tarkoituksena parantaa erilaisia tauteja ja kehittää lääkkeitä ihmisten hyvinvoinnille (tätä kutsutaan iatrokemiaksi). Voidaankin ajatella *Paracelsuksen* ansioksi, että alkemia alkoi muoutua enemmän kemian suuntaan ja kullan tavoittelusta tuli vain toissijaista metallien tutkimista. Tästä huolimatta hän itse omisti hyvin paljon aikaansa kehittääkseen ns. "viisasten kiveä", jonka hän myös uskoi ja

väitti löytäneensä. Saattaa olla, että hänen mieltymyksellään alkoholi-juomiin oli osuutta, kun hän menehtyi hyvin varhain sairauteen, johon ei itse ainakaan tietävästi ollut löytänyt parannusta. (Strathern, 2000)

Alkemia oli myös antoisa lähtökohta huijareille. Historiasta löytyy runsaasti kertomuksia, jossa hyväuskoiset ihmiset joutuivat alkemisteina esiintyvien huijareiden pettäviksi. Huijarit pilasivat alkemian mainetta ja siitä tuli jossain määrin pilkan kohde. Vielä 1700-luvulla jotkut väittivät osaavansa valmistaa kultaa, mutta nämä tavoittelivat pikemminkin kuuluisuutta kuin vaurautta. (Hudson, 2002)

5.8 Alkemian kehittyminen modernin kemian suuntaan

Modernin kemian perustukset kehittyivät 1600-luvulla metallurgian (metallien erottaminen malmeista) kehittymisen ansiosta. Samaan aikaan alkemistien usko kullan valmistamisesta alkoi menettää uskottavuuttaan. Kokeellinen tiede syntyi 1600-luvulla, vaikka kokeita ja havaintoja olikin tehty jo aikaisemmin.

Sir Francis Bacon (1561-1626) oli kokeellisuuden suuri kannattaja ja korosti, että suunnittelu ja tulosten kirjaaminen ovat tärkeitä kokeiden toistamisen ja vahvistamisen kannalta. Hän esitti myös ehdotuksen tieteellisten seurojen perustamiseksi, jossa tiedemiehet voisivat keskustella havainnoistaan. (Hudson, 2002)

Johann Rudolph Glauber (1640-1670) ei ollut lääkäri, kuten monet muuten sen ajan tiedemiehet. Hän oppi käytännön kemiansa vieraillemalla eri puolilla Eurooppaa olevissa kemian laboratorioissa. Hän on tunnettu epäorgaanisten happojen ja niiden suolojen valmistusmenetelmistä. Hän huomasi, että lasikuvun alla poltetusta rikistä syntynyt vihtrilliöljy eli rikkihappo on sama aine, jota saadaan kuumentamalla vihreää vihtrilliä (rauta(II)sulfaattia). Hän tuotti myös suolahappoa ja typpihappoa anta-

malla vihtrilliöljyn reagoida kloridien ja nitraattien kanssa. Hän oli myös ensimmäinen teollisuuskemisti, sillä osan tuotteistaan hän valmisti suuressa mittakaavassa ja hankki elantonsa niitä myymällä. Hänen kuuluisimpia tuotteitaan on kidevedellinen natriumsulfaatti, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Yhdistettä sanotaan vielä nykyisinkin *gläubersuolaksi*. (Hudson, 2002)

Jan Baptist van Helmont (1577-1644) oivalsi, että metallin liuetessa happoon, esimerkiksi kun hopea liukenee *aqua fortikseen* eli typpihappoon, hopea piiloutuu liuokseen ja sen saa myöhemmin sieltä talteen. *Helmont* ymmärsi, että transmutaatiota ei tapahdu, kun metalli saostaa toisen metallin liuoksesta.

Helmont hylkäsi aikaisemmat käsitykset neljästä alkuaineesta. Hän uskoi kaiken koostuvan ilmasta ja vedestä, mutta ilmaa ei voinut kuitenkaan muuttaa aineeksi. Hän perusteli nerokkaasti päätelmänsä kuuluisalla kokeellaan, jossa hän istutti 5 naulaa (2,27 kg) painavan pajun kahteensataan naulaan kuivaa multaa ja kasteli sitä viiden vuoden ajan sekä sadevedellä että tislattulla vedellä. Sen jälkeen hän nosti pajun ruukusta ja totesi sen painavan 169 naulaa (76,66 kg). Hän punnitsi myös mullan ja huomasi sen painavan vain 5 unssia (141,75 g) vähemmän kuin kokeen alussa ja näin päätteli, että pajun painonlisäys johtui vedestä, joka oli muuttunut puuksi. Hän ei tiennyt, että puu ottaa ilmasta hiilidioksidia. Virhe oli ironinen, sillä hän itse oli kuitenkin ottanut sanan kaasun käyttöön ja tunnisti kaasut uudeksi aineluokaksi. Hän kutsui niitä mysteerisiksi villoiksi hengiksi. Sana kaasun on luultavasti johdettu kreikan sanasta *chaos*, joka tarkoitti kaaosta.

Helmont päätteli, että kun 62 naulaa (28,12 kg) puuhiiltä poltetaan, jää jäljelle vain yksi 1 naula (0,45 kg) tuhkaa, on lopun 61 naulan (21,67 kg) kadottava kaasuna ilmaan. Hän antoi tälle nimen *gas sylvester* eli met-säkaasu, joka nykyään tunnetaan hiilidioksidina. (Hudson, 2002)

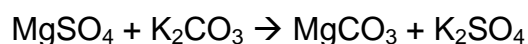
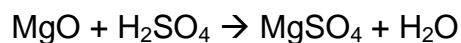
Irlantilainen *Robert Boyle* (1627-1691) oli ensimmäinen ”oikea kemisti”, joka perusti tutkimuksensa kvantitatiivisiin, määrällisiin tutkimuksiin. Kun hän vuonna 1661 julkaisi kirjansa *The Skeptical Chymist*, oli kvantitatiivinen fysiikan ja kemian tieteenala syntynyt. Kirjassaan hän pilkkaa ajatusta, että aineet koostuvat samoista kolmesta tai neljästä alkuaineesta. Hänen ajattelunsa siirtyi kysymyksestä ”Miksi kemialliset reaktiot tapahtuvat?”, kysymykseen ”Miten reaktio tapahtuu?”, johon hän koetti vastata hiukkasten liikkeellä. Vuonna 1665 ilmestyneessä kirjassaan *Experimental History Of Colours*, hän kuvaa monia väriagensseja ja indikaattoreita. *Boyle* tutki happoja muiden kokeidensa ohessa. Hän tuotti vetyä liuottamalla rautaa laimeaan rikki- tai suolahappoon. Kerättyään kaasua astiaan, hän huomasi sen olevan tulenarkaa. Hän ei ollut myöskään ainoa, joka yritti selittää aineiden ominaisuuksia atomin muotojen avulla. (Hudson, 2002)

Nicolas Lemery (1645-1715) esitti, että happojen kirpeä maku johtuu siitä, että niiden atomit ovat piikikkäitä ja pistelevät kieltä. Saman teorian mukaan metallit liukenevat happoihin, sillä piikikkäät kärjet murtavat metallihiukkasten ryppäät. (Hudson, 2002)

Sir Isaac Newton (1645-1727) oli 1600-luvun merkittävin tiedemies. Vaikka hänen ajatuksensa gravitaatiosta oli sen ajan mekaniikan riemuvoitto, koski hänen tutkimuksensa myös alkemiaa. *Newtonin* taipumusta maagiseen ajatteluun osoittaa se, että hän käytti 25 vuotta aikaa aikaisempien alkemiaa käsittelevien kirjoitusten arvoituksiin. Hänen ainoa kemian alalta julkaistu teoksensa on vuodelta 1710, *De natura acidorum* (Happojen luonteesta), jossa hän yritti selittää happamuutta hiukkasten välisten vetovoimien avulla.

Joseph Black (1728-1799) löysi ensimmäisenä todisteita siitä, että kaasu on erillinen käsite, ei ainoastaan ilman muunnos. Lääkäriin taustastaan johtuen hänen päätavoitteensa oli löytää hellävarainen, mutta tehokas virtsakivien emäksinen liuotin. Tutkimusten kuluessa hän osoitti laimeiden ja syövyttävien (karbonaattien ja hydroksidien) emästen eron.

Hän nimesi magnesiumkarbonaatin *magnesia albaksi* ja havaitsi, että kuumennettaessa se menettää seitsemän kahdeksasosaa painostaan. Valtaosa painohäviöstä johtui pakenevasta ilmasta, jota hän nimitti sitoutuneeksi ilmaksi (hiilidioksidi). Hän havaitsi, että *magnesia alba* poireilee, kun sitä laittaa heikkoihin happoihin, mitä kuumentamalla saatu tuote ei tehnyt. Hän punnitsi *magnesia albaa*, kuumensi sitä ja liuotti saamansa tuotteen laimeaan rikkihappoon ja käsitteli saatua liuosta laimealla emäksellä (kaliumkarbonaatti). Hän havaitsi *magnesia alban* saostuvan samoissa määrin, mitä lähtöainetta oli ollut ja osoitti näin, että sitoutunut ilma yhtyi laimeaan emäkseen ja se voitiin siirtää saatavaan aineeseen, jolloin muodostui lähtöainetta. Modernein kemiallisin kaavoin ilmaistuna:



Blackin työt olivat perustana *Antonio Lavoisierin* tulevalle työlle sen lisäksi, että ne vakiinnuttivat happojen, emästen ja suolojen välistä yhteyttä. Hänen emäksiä koskevat työnsä paljastivat myös tärkeitä *sitoutuneen ilman*, hiilidioksidin, ominaisuuksia. (Hudson, 2002)

Georg Ernst Stahl esitti vuonna 1703 *Johann Joachim Becherin* teorian pohjalta, että aineen palaessa siitä vapautuu flogistonია. Flogistonin avulla pystyttiin selittämään monia reaktioita. Koska metalli muuttui haptuessaan ”kalkiksi”, sen täytyi koostua ”kalkista” ja flogistonista. Suljetussa astiassa palaminen loppui siinä vaiheessa, kun astia kyllästyi flogistonilla. Virheellinen flogistonteoria menestyi 1700-luvun jälkipuoliskolle asti.

Joseph Priestley (1733-1804) aloitti tutkimuksensa *Black* ”sitoutunutta ilmaa” (hiilidioksidia) tutkimalla. Hän huomasi, että sitoutunutta ilmaa pystyi hengittämään, mutta se ei pitänyt palamista yllä, vaikkakin sen palamisteho parani, jos samassa kaasussa kasvatettiin kasveja. Hän

havaitti myös, että liuottamalla veteen hiilidioksidia saatiin valmistettua soodavettä. Hän kehotti panimoita valmistamaan soodavettä ja kasvatti täten mainettaan.

Priestley valmisti ensimmäisen kerran happea vuonna 1774 ystävältään saadun aineen, *mercurius calcinatus per se* (elohopea(II)oksidi), avulla. *Priestley* oli hankkinut linssin, jonka ansiosta hän pystyi kuumentamaan aineita korkeaan lämpötilaan auringonsäteiden avulla. Näin hän sai *mercurius calcinatus per sen* tuottamaan happea ja elohopeaa. Hän hämmästytti uuden kaasun käyttäytymisestä, sillä kynttilä paloi siinä kirkkaammin kuin tavallisessa ilmassa. Hän arvioi uuden kaasun olevan viisi tai kuusi kertaa parempaa kuin tavallinen ilma. Hän huomasi myös, että sitä oli erityisen vaivatonta hengittää.

Vuonna 1781 hän teki joukon kokeita yrittäessään määrittellä lämmön massaa, sillä hän piti sitäkin aineena. Kokeiden seurauksena hän selvitti veden koostumuksen, jota oli tähän asti uskottu alkuaineeksi. Hän räjäytti suljetussa tilassa palavan ilman (vedyn) ja tavallisen ilman seosta sähkökipinällä, punnitsi aineet ja huomasi massan vähentyneen. Samalla *Priestley* huomasi astiaan muodostuneen "kastetta". Jatkokokeiden avulla hän huomasi kaasujen muuttuvan kokonaan vedeksi, kun niiden suhde oli 2,02:1. (Hudson, 2002)

6. MODERNIN KEMIAN AIKAKAUSI

Kemia koki vuoden 1770 tienoilla, kahdenkymmenen vuoden aikana, historiansa täydellisimmän muutoksen. Ennen vuotta 1770 miltei kaikki kemistit pitivät flogistonteoriaa kemian suurena yhtenäisenä periaatteena. Kuitenkin jo vuonna 1790 suurin osa kemisteistä oli hyväksynyt happeen perustuvan palamisteorian. Suuri muutos perustui lähes kokonaan yhden miehen, *Antoine Laurent Lavoisierin* (1743-1794) työhön. (Hudson, 2002)

6.1 Antoine Lavoisier

Antoine Laurent Lavoisier syntyi Pariisissa. Hän opiskeli kemiaa, kasvitiedettä, tähtitiedettä ja matematiikkaa. Hänen ensimmäinen kemian alan julkaisunsa ilmestyi vuonna 1764. *Lavoisierin* perustavaa laatua oleva merkitys kemian kehittymiselle johtui hänen tietoisesta yrityksestään selittää kaikki kokeelliset tulokset yhdellä teorialla. Hän vakiinnutti kemiallisen tasapainon teorian johdonmukaisen käytön, kumosi hapen avulla flogistonteorian ja kehitti uuden kemian nimeämisyjärjestelmän, mikä väitti, että happi oli kaikkien happojen oleellinen ainesosa (mikä myöhemmin osoittautui vääräksi).

Lavoisier avioitui 28-vuotiaana 13-vuotiaan *Marie-Anne Pierette Paulze'n* kanssa. *Marie-Anne* oli korvaamaton kumppani tieteellisiä toiminnassa. Hän käänsi englanninkielisiä tekstejä ja kuvitti kirjoja.

Eräät *Lavoisierin* tärkeimmistä kokeista tarkastelivat palamisilmiön luonnetta. Hän osoitti kokeellisesti, että palaminen on palavan aineen ja hapen yhdistymistä. Hän osoitti kokeellisesti myös hapen merkityksen eläinten ja kasvien hengityksessä, samoin kuin hapen merkityksen metallin ruostumisessa. Hän havaitsi myös, että aikaisemmin löydetty "tuli-

ilma”, minkä hän nimesi vedyksi (*kreikaksi: vedenmuodostaja*), tuotti yhdessä hapen kanssa tiivistynyttä kosteutta, mikä näytti olevan vettä.

Lavoisierin työ perustui osittain *Priestleyn* työhön. Hän yritti ottaa kunnian *Priestleyn* havainnoista. *Lavoisier* osoitti, että palamiseen osallistuva ”ilma” oli myös happamuuden lähde. Vuonna 1779 hän nimesi tämän ilman osan hapeksi. Kreikaksi sana happi tarkoittaa hapon muodostajaa. Myös suomen sanat ”happi” ja ”happo” ovat lähellä toisiaan. Julkaisussa *Reflexions sur le Phlogistique*, 1783, *Lavoisier* osoitti flogiston-teorian olevan epä johdonmukainen. (Wikipedia, 2004)

Kokeissaan *Lavoisier* sovelsi ensimmäisenä kvantitatiivisen kemian menetelmiä. Hän osoitti, että vaikka aineen tila muuttuu kemiallisessa reaktiossa, niin aineen määrä säilyy aina samana. Hän nimesi veden rakenneosat vedyksi ja hapeksi tutkiessaan veden rakennetta. (Partington, 1989)

Lavoisier kehitti kemian nimistöä ja nimeämisjärjestelmää mm. ranskalaisen kemistin *Claude-Louis Bertholletin* kanssa. Meidän tuntemamme nykyinen nimistö perustuu heidän aloittamaansa työhön. *Bertholletin* ja *Lavoisierin* jäljiltä on edelleenkin käytössä meille tuttuja käsitteitä, kuten esim. nimet rikkihappo, sulfaatit ja sulfiitit.

Lavoisierin teosta *Traité Élémentaire de Chimie (Elementary Treatise of Chemistry, 1789)* pidetään ensimmäisenä nykyaikaisena kemian oppikirjana, mikä esitti yhtenäisen kuvan uusista kemian teorioista, määritteli selkeästi aineen häviämättömyyden lain sekä kielsi flogistonin olemassaolon. *Lavoisier* selkeytti alkuaineen käsitettä yksinkertaiseksi aineeksi, mitä mikään tunnettu kemiallinen analyysimenetelmä ei pysty pilkkomaan. Hän kehitti teorian kemiallisten yhdisteiden muodostumisesta alkuaineistaan. Lisäksi *Lavoisierin* oppikirja sisälsi luettelon alkuaineista, tai aineista joita ei voida enää pilkkoa pienemmiksi, kuten esimerkiksi happi, typpi, vety, fosfori, elohopea, sinkki ja rikki. Luettelo sisälsi kuitenkin myös valon, sähköä ja lämmön, (ranskaksi: calorique;

englanniksi: *caloric* eli lämmön ilmentymä, alkulähde, nestemäinen, tuhoutumaton ja havaitsematon – aikaisempi käsitys) joiden hän uskoi olevan ainetta.

Lavoisierin elämässä myös lakitieteen opinnoilla oli suuri merkitys. Hän hankki viran verojen kerääjänä yksityisessä *Ferme Generale* nimisessä verojen karhunntaa suorittavassa yrityksessä 26-vuotiaana. Samalla hän kuitenkin kehitti metrijärjestelmää turvatakseen painojen ja mittojen yhdenmukaisuuden koko Ranskassa. Vallankumoukselliset leimasivat *Lavoisierin* petturiksi yhtenä 28 ranskalaisesta veronkerääjästä vuonna 1794 ja hänet mestattiin giljotiinilla Pariisissa 51-vuotiaana. *Lavoisierin* merkitystä tieteelle kuvasi matemaatikko *LaGrange* joka kritisoi teloitusta sanomalla: "Pään katkaiseminen kesti heiltä vain hetken, mutta Ranskalta saattaa kestää vuosisata samanlaisen luomiseen." (Wikipedia, 2004)

6.2 Ionien, atomiteorian ja jaksollisuuden keksiminen

Michael Faraday (1791-1867) oli englantilainen fyysikko ja kemisti, joka kehitti merkittävällä tavalla sähkökemian sekä keksi Bunsen-polttimen. Hän teki monia keksintöjä, kuten sähkömoottorin, sähkömagneettisen induktion, dynamon ja Faradayn häkin. *Faradayn* kehittämä uusi sähkökemiallinen tiede tarvitsi uuden sanaston. Niiltä ajoilta saakka meillekin tutut sanat: elektrodi, anodi, katodi, ioni, anioni, kationi, elektrolyytti ja elektrolyysi, ovat olleet käytössä. Varatun hiukkasen käsite oli silloin vielä tulevaisuutta, sillä alun perin sana *ioni* tarkoitti matkustajaa. (Hudson, 2002)

John Dalton (1766-1844) julkaisi vuonna 1808 atomiteoriansa. *Dalton* oivalsi, että kemiallisiin tapahtumiin liittyvissä määrasuhteisuus voidaan selittää atomien avulla. *Dalton* päätyi siihen, että kemiallisissa reaktioissa atomit eivät juuri muutu, vaan ainoastaan järjestäytyvät uudelleen. *Daltonin* keksintö on myös se, että alkuaineet koostuvat samanlaisista

atomeista ja yhdisteet muodostuvat erilaisten atomien liittyessä toisiinsa. Atomin tieteellinen merkitys kasvoi, vaikka teoria hyväksyttiin yleisesti vasta vuosisadan loppupuolella. (Rahkola, 2002)

1800-luvulla kemian tutkimus edistyi voimakkaasti: uusia alkuaineita löydettiin ja monia reaktioita pystyttiin jo selittämään. Lisääntyneen tiedon hallitsemiseksi kehitettiin merkkijärjestelmä, jossa jokaiselle alkuaineelle annettiin oma kemiallinen merkkinsä. *John Dalton* oli yksi merkkijärjestelmän puolestapuhuja.

Ensimmäiset alkuaineiden jaksolliset järjestelmät julkaistiin 1869, kun venäläinen *Dmitri Ivanovitsh Mendelejev* (1853-1907) ja saksalainen *Lothar Meyer* (1830-1895) esittivät toisistaan tietämättä omat versionsa järjestelmästä. Molemmat olivat havainneet joidenkin alkuaineiden ominaisuuksien toistuvan säännöllisinä jaksoina, kun alkuaineet laitetaan atomipainojensa mukaiseen järjestykseen. Nykyisen jaksollisen järjestelmän muotoutuminen alkoi. (Rahkola, 2002)

6.3 Happo-emästeorioiden synty

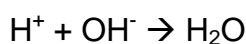
Happojen ja emästen määritelmiä on useita. Ne eivät ole ristiriitaisia vaan toisiaan täydentäviä. Keskeisin näistä on *Brønstedin ja Lowryn teoria*, mutta lukion kemian oppikirjoissa käytetään vielä *Arrheniuksen teoriaa* tosin usein nimeltä mainitsematta. Hapon ja emäksen käsitteiden laajennuksista mainitaan esimerkkinä *Lewisin teoria*. (Opetushallitus, 2004)

6.3.1 Arrheniuksen happamuusteoria

Svante August Arrhenius (1859-1927) oli kotoisin Upsalasta, Ruotsista. Hän esitti ensimmäisenä teorian, joka lopulta selitti happojen, emästen ja suolojen epänormaalin käyttäytymisen. Hän tutki väitöskirjaansa varten näiden aineiden liuosten sähkönjohtavuutta ja havaitsi, että liuosten laimettaessa niiden sähkönjohtavuus pieneni, mutta ei niin paljon kuin aineiden konsentraation laskusta olisi voinut odottaa. *Arrhenius* esitti kokeensa pohjalta, että kun natriumkloridin kaltainen elektrolyytti liukenee veteen, osa molekyyleistä hajoaa varautuneiksi hiukkasiksi, ioneiksi. Hänen teoriansa ei tehnyt väitöskirjan tarkastajiin vaikutusta, vaan oli tulla hylätyksi. Toisaalla kuitenkin ymmärrettiin hänen tutkimuksensa merkitys.

Arrhenius osasi arvioida annettujen liuosten dissosioitumisasteen sen sähkönjohtavuuden perusteella ja pystyi laskemaan sen perusteella liuoksessa olevien hiukkasten määrän siitä, mitä ne olisivat olleet ilman dissosiaatiota (hajoamista ioneiksi liuoksessa). Jotkin sähköä johtavat liuokset, esimerkiksi natriumkloridi (ruokasuola) näyttivät liukenevan voimakkaasti, kun liuos on laimea, kun taas toiset, esimerkiksi etikka-happo, jakautuivat paljon heikommin.

Pitkään oli jo tiedetty, että vety liittyy olennaisesti happoihin, mutta vasta *Arrhenius* julkisti teoriansa, jonka mukaan kaikki hapot tuottavat veden dissosioituessaan vetyioneja. Vastaavalla tavalla emäksiset aineet luovuttavat veteen liuetessaan hydroksidi-ioneja. Uusi teoria hapoista ja emäksistä sai myös vahvaa tukea siitä, että sama lämpöenergia vapautui aina, kun jokin tietyn suuruinen happomäärä neutraloitiin minkä tahansa emäksen samansuuruisella määrällä. (Hudson, 2002) Koska vahvat hapot dissosioituivat liuoksessa aina melkein kokonaan, reaktioyhtälö oli kaikissa tapauksissa:



Arrheniuksen teoria on nykytiedon valossa suppea, sillä sen mukaan hapon ja emäksen käsite rajoittuu vesiliuoksiin. Toisaalta nykyään tiedetään myös, että vesiliuoksessa ei myöskään esiinny pelkkiä vety-ioneja, vaan ne ovat aina liittyneenä vesimolekyyliin hydratoituneiksi ioneiksi. *Arrheniuksen* teoria on edelleen käytössä perusopetuksessa.

6.3.2 Happamuuden mitta-asteikko määritetään

Puhtaan veden heikon sähkönjohtavuuden perusteella voitiin päätellä, että se on myös hiukan dissosioitunut vety- ja hydroksidi-ioneiksi. Vedен ionitulon arvoksi saatiin $1 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{l}^2$, kun lämpötila oli $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Nykyisin kaavoin ilmaistuna:

$$[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{l}^2$$

Väkevissä happoliuoksissa puolestaan havaittiin vetyionikonsentraation olevan noin 1 mol/l .

$$[\text{H}^+] = 1 \text{ mol/l}$$

ja 10^{-14} mol/l vahvoissa emäksisissä liuoksissa.

$$[\text{H}^+] = 10^{-14} \text{ mol/l}$$

Vaikka jo vetyionikonsentraatio oli selvästi happamuuden ja emäksisyyden mitta-asteikko, kehitti tanskalainen *Sørensen* (1868-1939) vuonna 1909 käyttökelpoisemman mitan happamuudelle. *Sørensenin* mukaan:

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

eli pH-arvo on vetyionikonsentraation kymmenkantaisen logaritmin vastaluku. Puhtaassa vedessä on yhtä paljon vety- ja hydroksidi-ioneja. Näin ollen puhtaan veden pH arvo on 7.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ mol/l}$$

$$\text{pH} = \text{pOH} = 7$$

Nykyään usein katsotaan, että pH on oksoniumionikonsentraation kymmenkantaisen logaritmin vastaluku.

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}_3\text{O}^+]$$

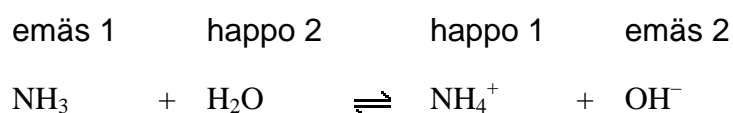
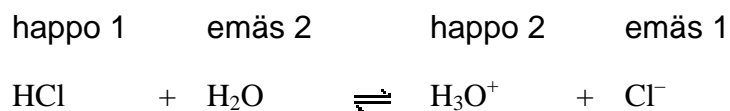
6.3.3 Brønstedin ja Lowryn happamuusteoriat

Tanskalainen *Johann Nicolaus Brønsted* (1879 -1947) ja *Thomas Martin Lowry* (1874 - 1936) esittivät toisistaan riippumatta *Arrheniusta* laajemmat happamuutta ja emäksisyyttä kuvaavat teoriat vuonna 1923. He pitivät happoja vetyionien luovuttajina ja emäksiä niiden vastaanottajina. Aine voi olla happo vain siinä tapauksessa, kun se on yhteydessä toiseen aineeseen, joka ottaa vastaan hapon vetyionin:



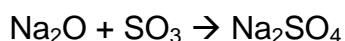
Kun happo synnyttää uuden emäksen, *konjugoidun emäksen* niin vastaavalla tavalla emäs synnyttää uuden *konjugoidun hapon*. *Brønstedin* ja *Lowryn* teoria salli näin ollen vetyionin siirtymiseen perustuvan luokittelun happo-emäsreaktioksi muissakin kuin vesiliuoksissa. Uusi happo-emäskäsite merkitsi sitä, että veden kaltaiset liuottimet voivat toimia emäksinä, jolloin ne vastaanottavat vetyionin ja muodostavat oksoniumionikompleksin H_3O^+ , tai happoina, jolloin muodostuu hydroksidi-ioni OH^- . (Hudson, 2002)

Suolahapon ja ammoniakkin protolyysireaktio vedessä *Brønstedin* ja *Lowryn* mukaan:



6.3.4 Lewisin happamuusteoria

Yhdysvaltalainen kemisti *Gilbert Lewis* (1875 -1946) laajensi happo-emäskäsitettä *Brønstedin* ja *Lowryn* teoriasta vuonna 1923 esittämälään ja vuonna 1936 laajentamallaan ajatuksella. Hän määritteli hapon aineeksi, joka ottaa vastaan kovalenttisen sidoksen elektroniparin, kun taas emäs on aine, joka luovuttaa kovalenttisen sidoksen elektroniparin. Tämä *Lewisin* määritelmä pystyi käsittämään kaikki tähän asti jo tunnetut hapot ja emäkset, mutta myös monet uudet aineet. Esimerkiksi *Lewisin* määritelmän mukaan prosessi

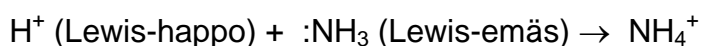


on happo-emäs-reaktio, sillä rikkiatrioksidi (*Lewis*-happo) ottaa vastaan oksidi-ionilta O^{2-} (*Lewis*-emäs) elektroniparin ja muodostaa sulfaatti-ionin.

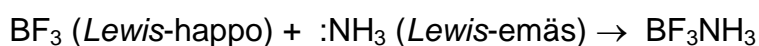
Lewisin teorian mukaan esimerkiksi vesi on emäs, mutta oksoniumioni ei ole happo vaan erään *Lewis*-hapon kantaja. Varsinainen *Lewis*-

happo on protoni. *Lewisin* teorian mukaan hapon ei tarvitse sisältää vetyä.

Kaikki *Brønstedin* happo-emäsreaktiot voidaan esittää myös *Lewisin* teorian mukaan. Esimerkiksi



Kaikkia *Lewisin* happo-emäsreaktioita ei voi kuitenkaan esittää *Brønstedin* teorian mukaan. Esimerkiksi



6.4 Artturi Ilmari Virtanen ja kemian Nobel 1945

Artturi Ilmari Virtanen (1895-1973) on yksi suomalaisen tieteen suurmiehistä. Hän sai *Nobelin* kemian palkinnon vuonna 1945 maatalouden ja ravintokemian alan tutkimuksistaan ja erityisesti vuonna 1932 patentoitusta AIV-rehunsäilytysmenetelmästä.

Artturi Ilmari Virtanen syntyi 15.1.1895 Helsingissä, joskin hän muutti jo pienenä Viipuriin. Hän kävi Viipurin lyseon, jonka suoritti erinomaisin arvosanoin. Lyseon jälkeen hän aloitti opinnot keisarillisessa Aleksanterin yliopistossa Helsingissä, missä hän opiskeli kemiaa, biologiaa ja fysiikkaa. Hän suoritti kandidaatintutkinnon vuonna 1916 pääaineenaan kemia, ja tohtoriksi hän valmistui vuonna 1919 jo 24-vuotiaana väitellen pinabietiinihapon rakenteesta. (Heikonen, 1990)

Virtanen toimi Valion kemistinä muutaman vuoden ja opiskeli samalla muun muassa fysikaalista kemiaa Zürichissä, rasvakemiaa Münsterissä ja bakteriologiaa Tukholmassa. Laboratorion johtajaksi hän ryhtyi vuonna 1921. *Virtanen* pysyi koko tutkijanuransa aikana valiolaisena. Hänet

nimitettiin 1931 teknillisen korkeakoulun biokemian professoriksi, ja 1939 Helsingin yliopiston biokemian professoriksi. *Virtanen* siirtyi Suomen Akatemian esimieheksi 1948 ja koko ajan hän johti Valion tutkimuksia. Hän loi laajat suhteet ulkomaisiin tiedeyhteisöihin jo nuorena tutkijana, mikä avasi ulkomaat myös muille suomalaisille opiskelijoille. (Jussinniemi & Parhi, 2004)

Virtanen tajusi ensimmäisenä maailmassa pH:n merkityksen biologisessa säilöntäprosessissa. Keväällä 1928 *Virtanen* oivalsi happolisäyksen merkityksen ja kehitti täten AIV-menetelmän. Se perustui rehun pH-arvon riittävän voimakkaaseen alentamiseen haitallisten bakteerien lisääntymisen ja virhekyymisten estämiseksi. *Virtanen* valmisti AIV-rehua hapattamalla nopeasti tiiviissä säiliössä tuoretta nurmiheinää säilöntäaineen avulla. (Jussinniemi & Parhi, 2004)

Ratkaisevaa oli, että tuotteen pH laski tarpeeksi nopeasti alle neljän. Näin saatiin rehukasvien solujen ja mikrobien entsyymitoiminta pysähtymään tai ainakin hidastumaan, jolloin rehu säilyi paremmin. Laboratorio-oloissa säilöntään oli käytetty suolahappoa. Suolahappo oli kuitenkin kallista ja sitä jouduttiin ostamaan ulkomailta. Samaan aikaan Valiolla oli ongelmana ensimmäisestä maailmansodasta ylijäämäksi jäänyt maitohappo. *Virtanen* keksi sekoittaa maitohapon ja suolahapon realisoiden näin ylijäämämaitohapon kelpo hintaan. Maitohapon loputtua muutaman kesän jälkeen siirryttiin käyttämään halvempaa kotimaista rikkihappoa. Nykypäivänä tähän tarkoitukseen käytetään orgaanisia happoja, kuten muurahaishappoa. (Jussinniemi & Parhi, 2004)

Arvostetuimpana tiedepalkintona pidetyn tunnustuksen, Nobelpalkinnon, *Virtanen* sai vuonna 1945. Palkintoon liittyi seuraava perustelu: ”Tutkimuksia ja keksintöjä maatalous- ja ravintokemian alalta, erikoisesti hänen rehusäilöntämenetelmänsä”.

Virtanen uuttera tutkimustoiminta jatkui keskeytyksettä hänen viime päiväänsä saakka. Hän toimi aktiivisesti varsinkin ravitsemukseen ja kan-

santerveyteen sekä luonnontieteellisen tutkimuksen edistämiseen liittyvissä toimikunnissa. Häntä voidaan pitää poikkeuksellisen lahjakkaana tiedemiehenä, jonka lukuisat tutkimukset ovat edistäneet kansan hyvinvointia. *Virtasen* ja hänen tutkimusryhmänsä kehittämä AIV-rehu on edelleen käytössä maissa, joissa karjan talviruokinta on ongelma. (Jussinniemi & Parhi, 2004)

7. WWW-POHJAINEN OPISKELUYMPÄRISTÖ KEMIAN OPETUKSEN TUKENA

Vuoden 2003 lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaan tietotekniikan mukaan ottaminen opetukseen avaa uusia mahdollisuuksia opiskelun yksilöllistämiseen. Internetin käyttö mahdollistaa opiskelijan aktiivisen työskentelyn ja etenemisen omassa tahdissa sekä tarjoaa monipuolisen ympäristön teknologisen sivistyksen ymmärtämiseksi ja kehittämiseksi. Samalla se auttaa opiskelijoita tottumaan nyky-yhteiskunnan kannalta keskeisen työvälineen käyttöön. (Opetushallitus, 2003)

7.1 Opettajan toiveet ja valmiudet

Matemaattisten Aineiden Opettajien Liitto (MAOL ry) sekä Teollisuuden ja Työnantajain Keskusliitto (TT) toteuttivat keväällä 1996 kartoitustutkimuksen matemaattisten aineiden nykytilasta ja kehittämistarpeista peruskouluissa ja lukioissa. Tutkimuksessa mainittiin kemian työtavoista yläasteella useimmin oppilastyöt, pari- ja ryhmätyöt sekä demonstraatiot. Tietokoneen käyttö opetuksessa oli mainittu vähemmän käytettyjen työtapojen joukossa. Tietotekniikan hyödyntämisestä oltiin kuitenkin selvästi kiinnostuneita, sillä kuten vuonna 1999 ilmestyneestä Kemian opetus tänään –tutkimuksesta käy ilmi, että yksi opettajien kemian opetuksen kehittämistoiveista koski tietokoneavusteista opetusta. Opettajat toivoivat tietokoneavusteisen kurssin käyttöön ottamisesta ja siihen soveltuvan materiaalin kehittämisestä. Tietokoneavusteinen opetus, erityisesti mittausohjelmat, opetusohjelmat ja Internetin käyttö kemian opetuksessa, olivat opettajien eniten toivomia koulutusaihepiirejä. Internetin käyttöön toivottiin valmiita tietopankkeja aihealueittain, tiedon etsimistä, valmiita internetosoitteita, materiaalia opetuskäyttöön ja erityisesti lukion kemian opetukseen. (Aksela & Juvonen, 1999)

Tietotekniikan opetuskäytön ja opettajien tietotekniikan taitojen kehittämisen kannalta on tärkeää, onko opettajalla käytössä tietokone kotonaan, jolloin hän voi perehtyä siihen rauhassa ja käyttää sitä opetuksen suunnittelussa ja valmistelussa. Suomen itsenäisyyden juhlarahastolle (Sitra) *Liisa Huovisen* vuonna 1998 toimittamasta kyselytutkimuksesta selvisi, että 83 %:lla opettajista oli tietokone kotona. Kyselyn mukaan ne, joilla ei konetta kotonaan ole, jakautuivat tasaisesti kaikkiin ikäryhmiin ja molempiin sukupuoliin. (Huovinen, 1998) Tällä hetkellä voidaan olettaa lähes jokaisella opettajalla olevan tietokone kotonaan ja se antaa hyvän perusteen tuottaa materiaalia opetuskäyttöön myös verkkoon.

7.2 WWW-pohjaisen oppimisympäristön etuja

Lyhenne www muodostuu englannin kielen sanoista world wide web (maailman laajuinen verkko). Alun perin world wide web oli tiedonhallintapalvelin, jonka tavoitteena oli levittää reaaliaikaisesti tutkimusten tuloksia maailmanlaajuisesti. Tänä päivänä siitä on muodostunut internetin helppokäyttöinen yleisliittymä jonka kautta käyttäjä pääsee käsiksi kaikkiin internetin tarjoamiin palveluihin. www on erittäin monipuolinen. Se sisältää kuvia (kaksi- ja kolmeulotteista, liikkuvia ja liikkumatonta), tekstiä ja äänitallenteita. www- sivut voivat olla myös vuorovaikutteisia. (Muurinen, 2004; Skarp, 2004)

www-pohjaisesta oppimisympäristöstä voidaan käyttää myös nimitystä verkkotyökalu. Verkkotyökalu-nimeä käytetään yleisesti puhuttaessa internetissä käytettävästä opetussovelluksesta, jota voidaan hyödyntää opetuksessa. Verkkotyökalulle voidaan hahmottaa useita vaihtoehtoisia tavoitteita. Tällaisia ovat esimerkiksi (Sinko & Lehtinen, 2000):

- 1) opetustyön helpottaminen
- 2) opetustyön rikastuttaminen uusilla metodeilla

- 3) tehokas tukiopetus
- 4) oppimateriaalin taloudellisempi tuotanto ja jakelu
- 5) oppimateriaalin laadun kehittäminen ja
- 6) uusien opetusmenetelmien kehittäminen.

Verkkotyökaluilla voidaan tuoda oppilaan ulottuville paljon sellaista, mikä muutoin ei ole saatavilla. Yleisesti verkkotyökalun käyttö tiedon saatavuuden kannalta on eniten julkisuudessa esillä oleva näkökulma niiden käytöstä. Perinteisiin tiedonhankintamenetelmiin 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 oppikirjoissa ja muissa lähteissä olevaan tiedon vertailuun. Näin esimerkiksi projektityötä tekevät oppilaat eivät ole riippuvaisia ainoastaan yhdestä lähteestä, kuten tietosanakirjasta, vaan tutkittavasta aineistosta on saatavilla hyvin monipuolista tietoa. Tiedon saatavuutta ei rajoita verkossa myöskään se, että tarvittava kirja onkin jo lainattu kirjastosta. (Heikinaho, 2001)

Sähköinen oppimateriaali voi tarjota useampia näkökulmia ilmiöihin ja näin mukautua erilaisiin oppimistyyliin. (Sinko & Lehtinen, 2000) Hyvän oppimateriaalin piirteenä pidetään sitä, että materiaalia voivat käyttää eritasoiset opiskelijat erilaisissa oppimistarkoituksessa. Sähköisen oppimateriaalin aineistoa voidaan tarvittaessa korjata ja päivittää välittömästi ja sähköposti mahdollistaa nopean interaktiivisen kommunikoinnin materiaalin käyttäjien ja kehittäjien välillä. Verkkojulkaisun avulla voidaan myös pienentää materiaalin jakelusta koituvia kustannuksia, sillä materiaalin kopiointi- ja jakelukulut muodostuvat ainoastaan käytettävän palvelimen aiheuttamista kustannuksista. Luonnollisesti materiaali on käytettävissä maailmanlaajuisesti ympäri vuorokauden. (Heikinaho, 2001) Useat opettajat käyttävät verkkomateriaalia ja tietotekniikkaa myös eräänä oppilaiden motivointikeinona. (Aksela & Juvonen, 1999)

7.3 Hyvän www-pohjaisen oppimisympäristön piirteitä

Kun mietitään hyvän, opetuskäyttöön suunnitellun, www-sivuston piirteitä, tulee ottaa huomioon, ettei mikään opiskeluympäristö ole samanlainen kaikille siihen osallistuville oppilaille. Oppiminen on luonteeltaan yksilöllistä ja siihen vaikuttavat niin oppilaan aikaisemmat tiedot, motivaation kohteet kuin tapa hahmottaa ympäröivää maailmaa. Siksi on mahdotonta luoda yleispäteviä ohjeita siitä, mitä hyviltä sivuilta tulee vaatia. (Muurinen, 2004; Skarp, 2004)

www-pohjaista oppimateriaalia suunniteltaessa ja tehtäessä tulee kiinnittää huomiota ensisijaisesti sivuston selkeyteen, loogisuuteen ja johdonmukaisuuteen. Myös visuaalisuus on tärkeää. Tekijän tulisi valita sivustolle miellyttävä fontti, väritys ja välttää liian suurta tekstin määrää yhdellä sivulla. Verkkopohjaista oppimateriaalia laadittaessa, kuten mitä tahansa oppimateriaalia tehtäessä, tulee tehdä tarkka luotettavuuden arviointi. Hyvä www-pohjainen oppimateriaali herättää ajatuksia ja mahdollistaa opiskelijalle ”löytöretkeilijän” roolin. Oppilas tekee ja etsii tietoa mielellään. Oppimateriaali on rakennettava siten, että huomioidaan kohderyhmä ja opiskeltavan aineksen asettamat vaatimukset. Myös käytettävissä olevat resurssit sekä oppimisympäristö on huomioitava. (Tikkanen, 2004)

Verkkopohjaista oppimateriaalia tehtäessä tärkeää on myös käyttöliittymän suunnittelu. Käyttöliittymän on oltava helppo ja selkeä, ettei sivujen käyttö olisi kiinni opiskelijan tietotekniikan taidoista. Ikkunoiden vieritystoimintoa tulisi välttää, sillä vierivä teksti rasittaa silmiä ja vaikeuttaa kokonaiskuvan sekä oleellisten seikkojen hahmottamista. Tekstin tärkeimmät ja keskeisimmät asiat tulisi sijoittaa näytön yläosaan, kappaleten alkuun. (Muurinen, 2004; Skarp, 2004)

Verkkotyökaluista ja sähköisistä oppimateriaaleista puhuttaessa on hyvä muistaa, ettei teknologia sinänsä edistä oppimista, sillä kaikkeen oppimiseen tarvitaan myös ajattelua. (Muurinen, 2004; Skarp, 2004) Esi-

merkiksi "Löytöretki happamuuteen – kemian historiaa" - sivuston avulla pyritään tuomaan oppilaille ja opettajille materiaalia kemian historiasta sekä tuomaan samalla uutta teknologiaa kemianopetukseen. Toivomuksena on, että tämän materiaalin helppo saatavuus kannustaisi opettajia käyttämään historiallista perspektiiviä opetuksessa.

8. LÖYTÖRETKI HAPPAMUUTEEN - KEMIAN HISTORIAA

Tässä luvussa esitellään www-pohjainen kemian historiaa käsittelevä sivusto happamuuskemian kehittymisestä antiikin ajoilta nykypäivään. Sivusto on kehitetty lähinnä lukiotason kemian opetusta varten, mutta sivustoa voidaan hyödyntää myös kemian opetuksessa alemmilla luokkatasoilla.

8.1 Sivuston kehityksen vaiheet

Löytöretki happamuuteen – kemian historiaa -sivuston kehityksen lähtökohtana oli tämän tutkimuksen tekijän oma innostus kemian historiasta ja sen hyödyntämisestä opetustarkoituksessa.

Kehittämistutkimuksen lähtökohtia olivat:

1. Tarpeet materiaalin kehittämiseksi
2. Aikaisemmat tutkimustulokset historiallisen perspektiivin hyödyistä
3. Tutkijan omat kokemukset

Tutkimuksen tekijän aikaisemmin Helsingin yliopiston soveltavan kasvatustieteen laitokselle tekemän kemian ainedidaktisen proseminaaritutkielman tulokset osoittivat, että peruskoulussa oppilailla ei ole juuri minäkäänlaista käsitystä kemian historiasta, eikä kemian historian kannalta merkittävistä henkilöistä. Lisäksi tutkimustuloksista voitiin todeta, että oppilailla oli hyvin hataralla pohjalla ymmärrys siitä, milloin mikäkin kemiaan liittyvä asia oli keksitty. Suurin osa vastaajista luuli kemian olevan tieteenä hyvin vanha.

Tutkimustulosten ja aiemmin luvussa 7.1 esiteltyjen opettajien toiveiden pohjalta päätin kehittää kemian historiaa käsittelevän www-pohjaisen sivuston, jonka avulla kemian historiaa voitaisiin tuoda lähemmäksi kemian opetusta ja oppilaita. www-pohjaisen sivuston kehittämiseen roh-

kaisivat myös Helsingin yliopiston kemian laitokselle aikaisemmin kehitetyt sivustot: Ympäristökemian tutkimustori (Heikinaho, 2001), Laskennallisen kemian tutkimustori (Muurinen, 2004; Skarp, 2004) sekä Organisen kemian tutkimustori (Aksela, 2000).

Löytöretki happamuuteen - kemian historiaa -sivuston kehitystyö alkoi, kun perehdyin aikaisempiin tutkimuksiin kemian historian merkityksestä kemian opetuksessa, opiskelin ja luin kemian historiaa sekä etsin tietoa www-pohjaisen oppimisympäristön hyödyntämisestä opetuskäytössä. Kun rungot kemian historian merkityksestä, verkko-opetuksen hyödyntämisestä opetuksessa sekä happamuuskemian historiallisesta kehitymisestä olivat valmistuneet, alkoi myös konkreettinen internetsivujen tekeminen.

Perustana sivuston kehittämisessä pidin aikajanaa, jossa tapahtumat kemian historiassa on esitetty kronologisessa järjestyksessä. Ettei historia jäisi irrallisiksi vuosiluvuiksi, päätin kiinnittää tapahtumat myös Suomen ja Euroopan historian tapahtumiin. Näin syntyy opiskelijoille parempi kokonaiskuva kemian ja yhteiskunnan historian suhteesta.

Pyrin saamaan historian tiiviiseen, mutta helposti luettavaan muotoon. Tiiviillä tekstillä pyrittiin välttämään lukemisen raskautta, mutta teksti yritettiin silti pitää helppolukuisena ja vivahteikkaina.

Toteutin aikajanelle lisäksi pienempiä ”tietoruutuja”, jotka aukeavat viettäessä tietokoneen hiiren osoitin punaisella painetun tekstin päälle. Tietoruudut sisältävät lyhyen tekstin jostain sen hetken merkittävästä henkilöstä tai kemian historian käännekohdasta. Tietoruuduilla pyrittiin myös houkuttelemaan opiskelijoita tutkimaan aikajanaa.

Sivustoa kehitettäessä huomioitiin se seikka, että sivustoilla ei ole tarjottavanaan kuvamateriaalia esimerkiksi historiallisista henkilöistä kuvien tekijänoikeussuojan vuoksi. Toisaalta internet tarjoaa mahdollisuuden etsiä myös kuvamateriaalia asiasta kiinnostuneelle.

Sivujen ulkoasu ja käyttöliittymä pyrittiin pitämään yksinkertaisena ja selkeänä. Harmaasävyinen väritys valittiin siksi, ettei turha värien räikeys häiritsisi tekstiin ja sivuston sisältöön paneutumista. Saman syyn vuoksi vältettiin sivustolle laittamasta mitään liikkuvaa materiaalia.

8.2 Sivuston esittely

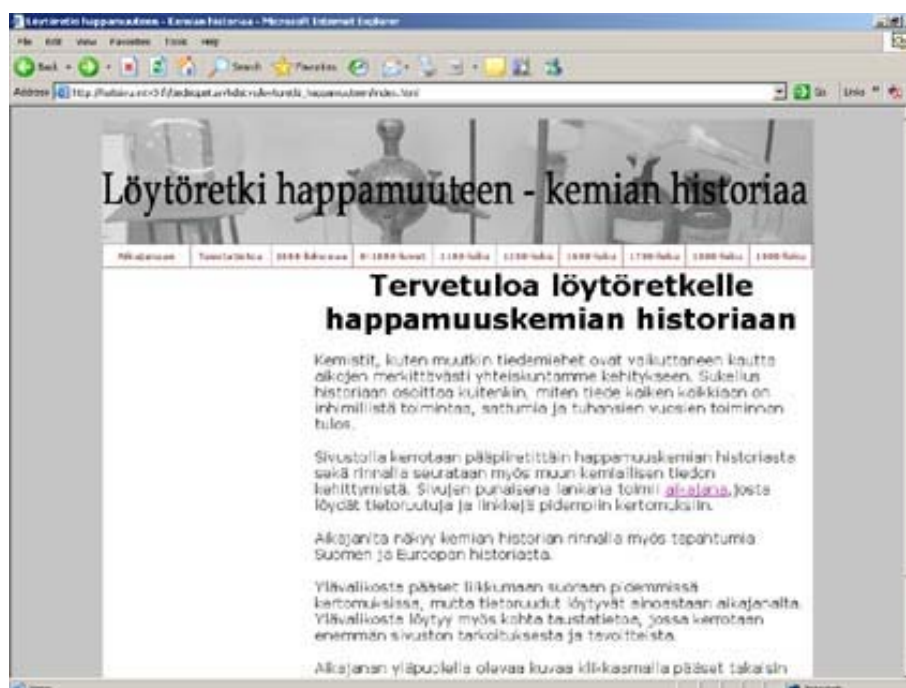
Löytöretki happamuuteen – kemian historiaa internet-sivustoa voidaan käyttää oppilaiden motivoimiseen uuteen aiheeseen siirryttäessä tai rakennettaessa kemian kurssia historiaan nojautuen. Sivustolla hyödynnetään www-pohjaista opetusta. Sivusto julkaistaan ja levitetään globaalissa www:ssä.

Löytöretki happamuuteen – kemian historiaa –internet-sivustoa kehitettäessä päällimmäisenä ajatuksena oli tehdä sivut, jotka ovat käyttökelpoiset moneen tarkoitukseen. Sivustoa voi esimerkiksi käyttää opetuksessa koko kemian kurssin ajan siten, että opettaja näyttää sivuilta löytyvältä aikajanalta milloin ja miten opetettava asia on keksitty. Sivusto integroi näin tietokoneen tavalliseen luokahuoneopetukseen. Lisäksi sivustoa voivat opiskelijat käyttää lähteenä etsiessään tietoa esimerkiksi tutkielmaa tai esitelmää varten. Opettaja voi myös antaa opiskelijoille tehtäväksi tutkia happamuuskäsitteen historiaa ja antaa opiskelijoiden tutkia sivustoa itsenäisesti.

www-sivuista on pyritty tekemään mahdollisimman helpot ja selkeät. Sivujen selailu on yksinkertaista aikajanan ja yläpalkista löytyvien linkkien vuoksi. Sivuja luodessa on pyritty kiinnittämään huomiota niihin seikkoihin joita kohdassa 7.3 "Hyvän www-pohjaisen oppimisympäristön piirteitä" on käsitelty. Sivujen teossa on käytetty apuna Macromedia Dreamweaver MX 2004 -ohjelmaa ja JavaScriptejä.

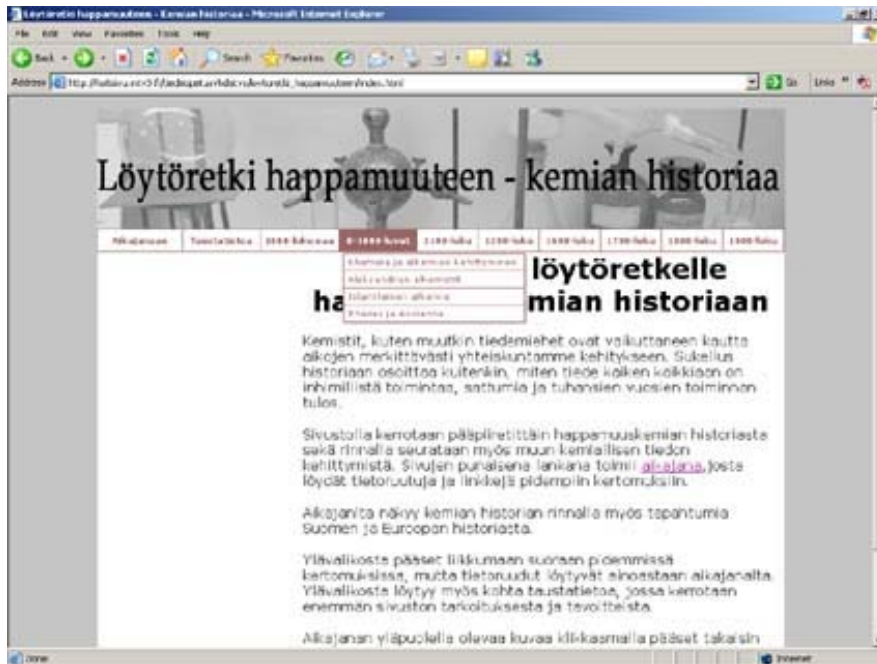
Löytöretki happamuuteen – kemian historiaa -internet-sivustosta saa parhaimman kuvan tutustumalla sivustoon tietokoneella, jossa on internetyhteys. Painettuna versiona sivustosta ja sen mahdollisuuksista saa hyvin vaillinaisen kuvan. Seuraavassa esitellään sivusto kuitenkin lyhyesti kuvien avulla. Sivustot löytyvät myös liitteenä olevalta cd-levyltä (LIITE 3).

Etusivulta (kuva 8.1) löytyy alustus sivuston käyttöön, sekä valikko, josta pääsee helposti siirtymään sivulta toiselle. Lisäksi johdantosivulla on linkki aikajanaan.



Kuva 8.1 Löytöretki happamuuteen – kemian historiaa etusivu

Sivuston ylävalikko (kuva 8.2) on toteutettu JavaScriptinä. Samalla on tiedostettu se, etteivät JavaScript-ratkaisut toimi kaikissa selaimissa, vaikka yleisimmin käytetyt tukevatkin tätä toimintoa. Ylävalikosta löytyy linkki ”Taustatietoa”, jossa esitellään opettajille historiaan pohjautuvaa lähestymistapaa ja sivuston tarkoitusta. Ylävalikko toimii myös tiivistetynä aikajanaan, jonka avulla pääsee helposti siirtymään pidempiin kirjoituksiin historiasta.



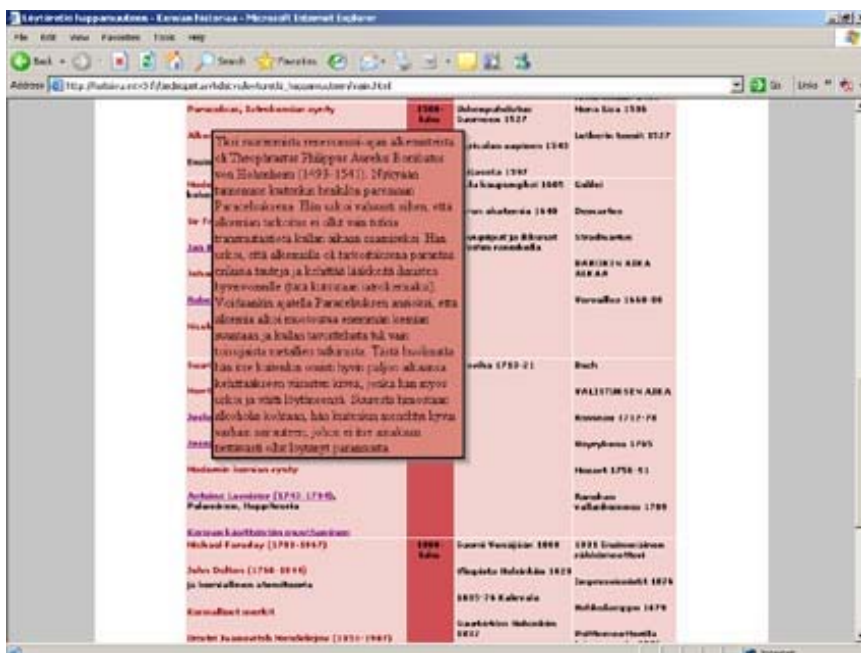
Kuva 8.2 Ylävalikko

Koska sivuston päätarkoituksena on innostaa kemian opettajia käyttämään kemian historiaa opetuksessa sekä auttaa opiskelijoita luomaan jäsentynyt kuva kemian kehittymisestä suhteessa yhteiskunnan kehitykseen, toimii sivuston punaisena lankana aikajana (kuva 8.3) (LIITE 2), jossa tapahtumat kemian historiassa on esitetty kronologisessa järjestyksessä rinnallaan koko ajan Suomen historia sekä Euroopan historia. Toivomuksena on, että näkyvillä oleva suppea katsaus Suomen ja Euroopan historiaan auttavat oppilasta kiinnittämään tapahtumat omaan tietorakenteeseensa ja kenties tämä inspiroi historiasta, mutta ei luonnontieteistä kiinnostunutta oppilasta ottamaan lisää selvää asiasta. Aikajana toimii näin usealla eri tavoitetasolla.



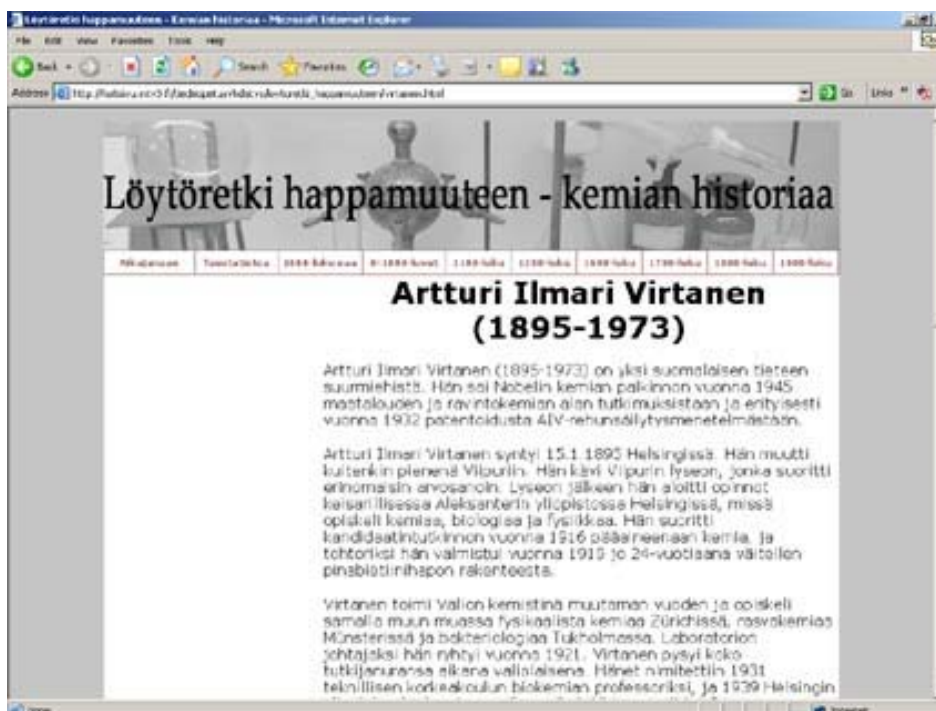
Kuva 8.3 Aikajana (vuodet 1700-1900)

Aikajanassa (LIITE 2) on sekä linkkejä tarkempiin teksteihin koskien happamuuskäsitteen ja kemian kehittymistä sekä pienempiä ”tietoruutuja” (kuva 8.6) keskeisistä kemian historian käännekohtista, jotka liittyvät oleellisesti myös happamuuskemian ja yleisesti kemian kehittymiseen alkemiasta kemiaksi. Pienemmät ”tietoruudut” avautuvat samaan ikkunaan ja ne on myös toteutettu JavaScriptiä hyödyntäen.



Kuva 8.6 Tietoruutu aikajanalla

Sivusto sisältää 14 tietoruudun lisäksi yhteensä 21 kertomusta kemian historiasta vuodesta 1000 e.a.a. aina 1900-lukuun saakka. Kertomukset ovat tiivistettyjä tarinoita henkilö- ja tapaatumahistoriasta kyseiseltä ajalta. Kertomukset alkavat filosofien pohdinnoista ja päättyvät kertomukseen *A. I. Virtasen* elämäntyöstä (kuva 8.7). Kirjoitukset löytyvät paitsi sivustolta myös tämän tutkielman luvuista 5-6.



Kuva 8.7 Kertomus A.I Virtasesta

9. POHDINTAA

Opetusta kehitetään jatkuvasti. Kehitys tapahtuu yleensä opetussuunnitelmien ja opetusmenetelmien tasolla. Luokassa tapahtuva työskentely pakottaa myös yksittäisiä opettajia ottamaan huomioon oppilaiden erilaiset tarpeet. Tässä kehittämistutkimuksessa tuotetun opetuspaketin materiaali on eräs osa opetuksen kehittämistä. Materiaalin avulla luodaan kemian lukio-opetuksen avuksi kokonaisuus, jonka avulla oppilas voi jäsentää jo oppimaansa tietoa happamuudesta ja kemiasta yleisesti. Kun opiskelija käy läpi materiaalia, hän voi omakohtaisesti oppia, miten happamuuskäsite on kehittynyt. Samalla opiskelija törmää väistämättä myös kemian kannalta keskeisiin historiallisiin henkilöihin.

Tässä työssä kehitettyä www-pohjaista kemian historiaa käsittelevää oppimisympäristöä, *Löytöretki happamuuteen – kemian historiaa*, voidaan käyttää opetuksessa johdantona happamuuskemian opiskelussa tai kemiallisen tiedon jäsentäjänä. Sivustoa voi käyttää opettaja valmistellessaan oppitunteja tai oppilaat kerätessään aineistoa esimerkiksi projektitöihin tai tutkielmien tekemiseen. *Löytöretki happamuuteen - kemian historiaa* -sivusto antaa opiskelijoille mahdollisuuden työskennellä ja tutkia kemian historiaa myös kotoa käsin.

Sivustoa kehittäessä tutustuttiin historiallisen aineiston merkitykseen kemian opettamisessa ja aikaisempiin tutkimuksiin, jotka käsittelevät kemian historian hyödyntämistä kemian oppimisessa. Tutkimusten mukaan oppilaiden käsitteellinen kehitys etenee kuten historialliset käsitykset aineen rakenteesta. Myös happojen ja emästen opettamisessa löytyy yhtäläisyyksiä happamuuskemian historiaan verrattuna.

Happamuuden opettaminen peruskoulusta aina lukioon saakka etenee samoilla jäljillä sen historiallisen kehityksen kanssa. Alaluokilla happamuus käsitetään samoin kuin antiikin kreikkalaiset sen ymmärsivät. Yläluokilla opetellaan *Arrheniuksen* happamuusteorian mukaan ja lukiossa tätä aiempaa tietoa täydennetään *Brønstedin* ja *Lowryn* teorialla sekä

Lewisin happamuusteorialla. Tieto näiden mallien kehittymisen historiasta edistää oppilaiden tietorakenteiden syntymistä ja estää virheellisten käsitysten syntyä.

Löytöretki happamuuteen - kemian historiaa -sivuston tarkoituksena on innostaa kemian opettajia käyttämään kemian historiaa opetuksessa. Kun opettaja tuntee tieteen prosesseja, hän pystyy edistämään niiden toteutumista myös oppilaissaan. Materiaali auttaa opiskelijoita ymmärtämään kemian ja yhteiskunnan kehityksen suhteita. Opetusmateriaalin punaisena lankana on aikajana, jossa tapahtumat kemian historiasta ovat esitetty kronologisessa järjestyksessä rinnallaan koko ajan Suomen historia sekä Euroopan historia. Toivomuksena on, että näkyvillä oleva suppea katsaus Suomen ja Euroopan historiaan auttaa opiskelijaa kiinnittämään tapahtumat omaan tietorakenteeseensa ja kenties tämä myös inspiroi oppilasta ottamaan lisää selvää asiasta.

Opetuksen toteuttamisessa voi *Löytöretki happamuuteen – kemian historiaa* toimia ideoiden lähteenä myös kokeelliseen työskentelyyn. Opettaja voi demonstroida oppilaille historiallisesti merkittäviä kokeita tarinalla höystettynä tai vastaavasti oppilaat voivat itse työskennellä ja työstää ajatuksiaan entisaikojen tiedemiesten jäljillä. Mielenkiintoista olisikin jatkossa tutkia, kuinka opettajat ja oppilaat ovat hyödyntäneet sivustoa. Toisaalta olisi mielekästä valmistaa oppimateriaalia, jossa yhdistyvät kemian historia ja kokeellinen työskentely. Sivustoa voisi kehittää kohti kokeellista työtapaa ja testata, miten näiden yhdistelmä auttaa kemian oppimisessa. Mielenkiintoista olisi myös tutkia opitaanko sivuston avulla muita arkipäivän elämässä tarvittavia tietoja ja taitoja, kuten tiedonhaku, tietotekniikan hyödyntämistä ja tiedon käsittelyn taitoja.

LÄHTEET

Ahtee M. ja Pehkonen E., 2000, Johdatus matemaattisten aineiden didaktiikkaan, Edita.

Ahtee M., 1998, Luonnontieteiden opettaminen ja konstruktivismi, teoksessa Lavonen J. ja Erätuuli M. (toim.): *Tuulta purjeisiin – Matemaattisten aineiden opetus 2000 -luvulle*, WSOY.

Aksela M., 1993, Aiv ja pH, *Dimensio* 7/1993.

Aksela M. ja Juvonen R., 1999, Kemian opetus tänään, Opetushallitus, www.edu.fi/julkaisut/kemia1.pdf (viitattu 30.12.2004) tutkimus.

Aksela M., 2000, Orgaanisen kemian tutkimustori, verkkomateriaali, <http://www.edu.helsinki.fi/malu/tutkimustori/peruskoulu/> (viitattu 30.1.2005).

Becker B., 2000, Mind Works: Making Scientific Concepts Come Alive, *Science & Education*, 9, 269-278, Kluwer Academic Publishers.

Erduran S. ja Scerri E., 2002, The Nature of Chemical Knowledge and Chemical Education, Teoksessa Gilbert J.K (toim.) *Chemical education: Towards Research-based Practice*. Kluwer Academic Publishers.

Engels ja Novak, 1993, Kemian keksintöjä, Alkuaineiden löytöhistoria. suom. Koskikallio J., Gummerrus kirjapaino oy, Jyväskylä.

Forsius A., 2000, Nobelisti A. I. Virtanen (1895—1973) ravintotutkijana ja kansanterveyden edistäjänä, artikkeli julkaistu aikaisemmin: *Suomen Lääkärilehti* 1997, 4, 365, <http://www.saunalahti.fi/arnoldus/virtanen.html>, (viitattu 1.1.2005).

Gabel, D., 1999, Improving Teaching and Learning through Chemistry,

Education Research: A Look to the Future, *Journal of Chemical Education*, Vol. 76, No.4.

Hakkarainen K., Lonka K. ja Lipponen L., 2000, Tutkiva oppiminen, WSOY, Porvoo.

Heikinaho S., 2001, Ympäristökemian tutkimustori, Pro gradu- tutkielma, Helsingin yliopisto, Kemian laitos.

Heikinaho S., 2001, Ympäristökemian tutkimustori, Verkkomateriaali, <http://www.edu.helsinki.fi/malu/tutkimustori/ymparistokemia/> (viitattu 30.1.2005)

Heikonen M., 1990, AIV – Keksintöjen aika, Kirjayhtymä.

Hudson J., 2002, Suurin tiede –Kemian historia, Gummerrus kirjapaino Oy, Jyväskylä.

Huovinen L., 1998, Peruskoulun ja lukion tieto- ja viestintätekniiikan tilanne, kirjassa Sinko M. ja Lehtinen E: *Bitit ja pedagogiikka*, WSOY, Juva.

Jussinimi S. ja Parhi K., 2005, Artturi Ilmari Virtanen (1895-1973) kirjoitelma
http://www.torus oulu.fi/arschemica/Dokumentit/artturi_ilmari_virtanen.htm, (viitattu 1.1.2005).

Justi R., 2000, Teaching with Historical Models, Teoksessa Gilbert J.K (toim.) *Developing Models in Science Education*, Kluwer Academic Publishers.

Justi R. ja Gilbert J., 2000, History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'. *International Journal of Science Education*: vol. 22, NO. 9.

Kataja T., 2004, Historiallinen työtapa kemian opetuksessa – Tapaus- tutkimus oppilaiden kemian ja fysiikan historian tiedoista ja kiinnostuk- sesta, Helsingin yliopisto, Soveltavan kasvatustieteen tiedekunta, Pro- seminaaritutkielma.

Lehikoinen A. ja Sormunen K., 2001, History of Science in School Teaching. Teoksessa Leena Aho (toim.) *Research on science teaching and learning* N:o 81, Joensuun yliopisto.

Muurinen M. ja Skarp N., 2004, Laskennallisen kemian tutkimustori, verkkomateriaali, <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/lasketut/> (viitattu 30.1.2005).

Muurinen M., 2004, Oivaltamisen iloa laskennallisesta kemiasta. Pro gradu- tutkielma, Helsingin yliopisto, Kemian laitos.

Meisalo V. ja Lavonen J., 1994, Fysiikka ja kemia opetussuunnitelmas- sa, Opetushallitus.

Nicholson J., 2004, A brief history of acidity, *Education in Chemistry* N:o 1, 2004. Royal Society of Chemistry, London.

Opetushallitus, 2004, Etälukio [http://www.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/ kemia/kemia4/hapem.html](http://www.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/kemia/kemia4/hapem.html), (viitattu 31.12.2004).

Opetushallitus, 2003, Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman pe- rusteet 2003, <http://www.oph.fi>, (viitattu 28.12.2004).

Oversby J., 2000, Models in Explanations of Chemistry: The Case of Acidity, *Sciense Education*, 227-251, Kluwer Academic Publishers. Printed in Netherlands.

Partington J.R., 1989, A Short History of Chemistry, Dover Publications, Inc., New York.

Pietiläinen A., 2000, ...Sanoi tiedemies – Tieteen lentävät lauseet ja aforismit, Terra Cognita.

Rahkola A., 2002, Historiallinen perspektiivi aineen rakenteen opetuksessa peruskoulussa, Pro gradu- tutkielma, Helsingin yliopisto, Fysikaalisten tieteiden laitos.

Saarikko H., 1998, Fysiikan ja luonnonfilosofian historia osana inhimillistä kulttuuria. Teoksessa Lavonen J. ja Erätuuli M. (toim.), *Tuulta purjeisiin – Matemaattisten aineiden opetus 2000 -luvulle*, WSOY.

Sinko M. ja Lehtinen E., 1998, Bitit ja pedagogiikka, WSOY.

Skarp N., 2004, Oivaltamisen iloa laskennallisesta kemiasta. Pro gradu- tutkielma, Helsingin yliopisto, Kemian laitos.

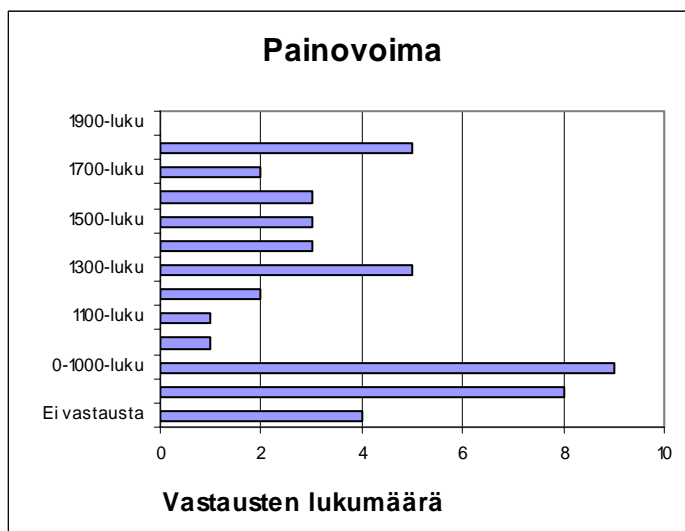
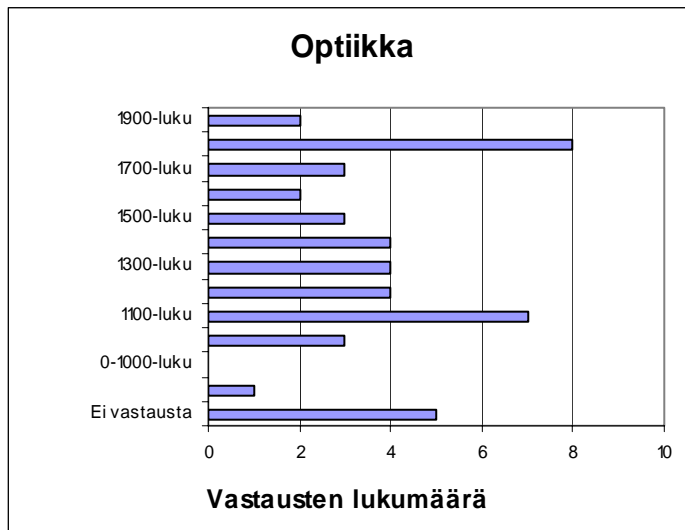
Tikkanen J., 2004, Palautetta verkkomateriaalin tekeminen -kurssin keskustelusta, <http://jukkatikkanen.internetix.fi/fi/sisalto/luennot/verkkomat02> Lahti. (viitattu 31.12.2004).

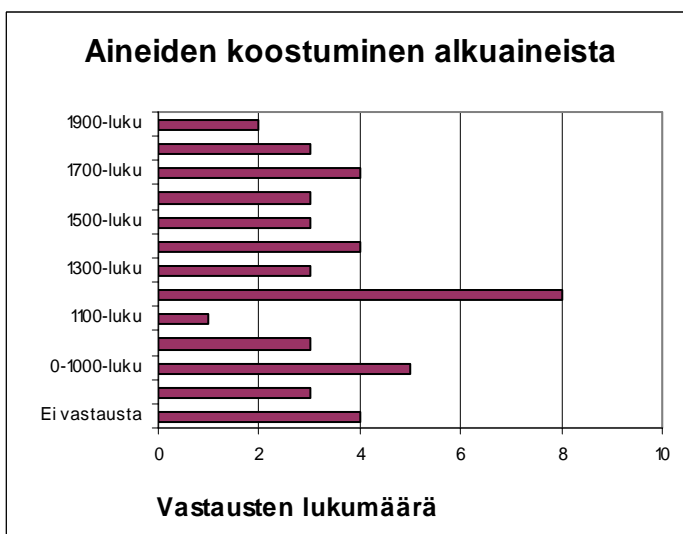
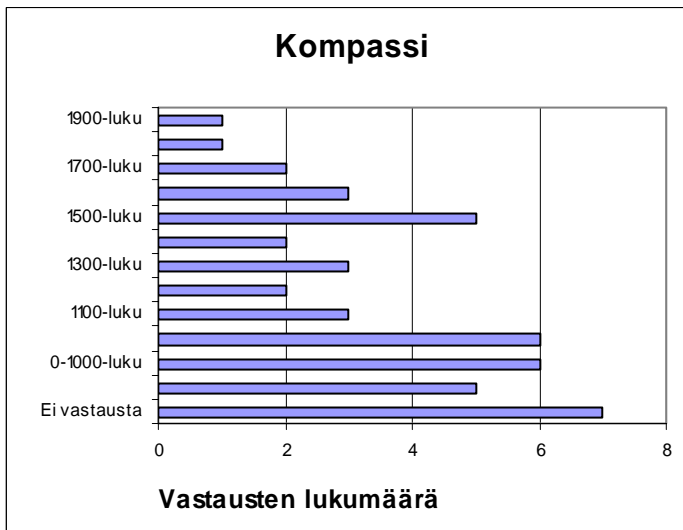
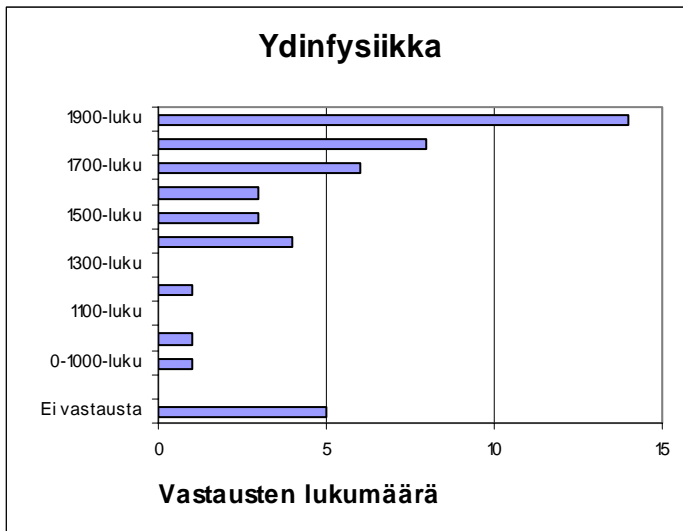
Wikipedia, 2004, Vapaa tietosanakirja, <http://www.wikipedia.fi> (viitattu 31.12.2004)

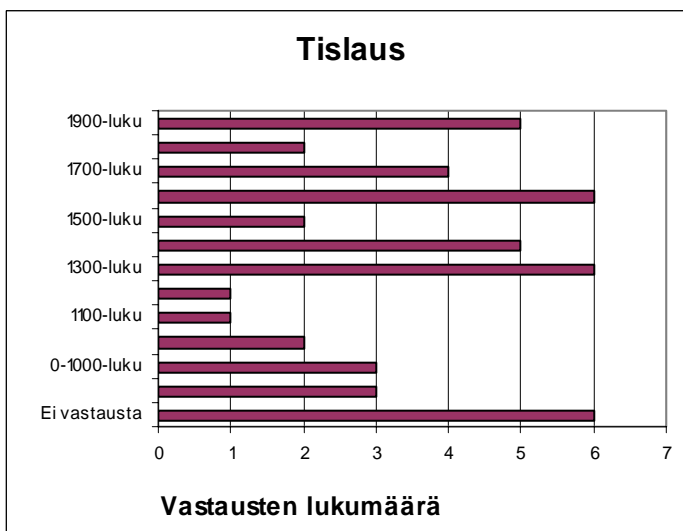
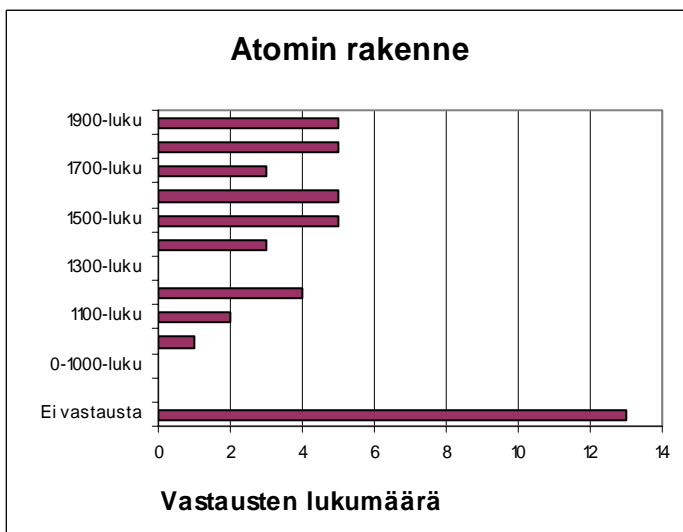
LIITE 1

Oppilaiden ajallinen ymmärrys luonnontieteen kehittymisestä

Vastausten analysointia varten on kustakin keksinnöstä tehty taulukko, johon on merkitty kullekin vuosisadalle osuneiden vastausten lukumäärät .







LIITE 2

AIKAJANA

Kemian historia	-3000-luku e.a.a.	Suomen historia	Euroopan historia PRONSSIKAUSI EUROOPASSA
	2000-luku e.a.a.	PRONSSIKAUSI SUOMESSA	RAUTAKAUSI EUROOPASSA
Tieteellisen ajattelun alku , joonialainen tiede Atomos-jakamaton , Leukippos ja Demokritos Aristoteles	1000-luku e.a.a.		Antiikin aika Latinalaiset aakkoset Hippokrates
Khemeia ja alkemian kehittyminen Aleksandrian alkemistit , kullan etsintä alkaa	0-500	Suomalaisten tulo Suomeen RAUTAKAUSI ALKAA SUOMESSA	Kristinuskon valtaantulo 323 KESKIAIKA ALKAA
Islamilainen alkemia Alkali ja kirpeät vedet , Rhases ja Avicienna	500-1000	Ruotsin valtakunta syntyy	Viikingit Paperi Eurooppaan
	1000-luku		1. Ristiretki 1095
Euroopan alkemia Viinien tislauk	1100-luku	KESKIAIKA ALKAA SUOMESSA katolinen uskonto Suomeen	Pariisin Notre Damen rakentaminen 1163-1325
Epäorgaaniset hapot , typpihappo ja rikkihappo	1200-luku	Kivikirkkoja Ahvenanmaalle Kastelholman linna Turun tuomiokapituli 1276	GOTIIKAN AIKA ALKAA Ristiretket loppuvat 1271

		Turun linna rakennetaan	
	1300-luku	Pähkinäsaaren rauha 1323	Satavuotinen sota Ranskan ja Englannin välillä (1339-1453) Musta surma (1348-1351)
	1400-luku	Olavinlinna 1475 Täyssinän rauha 1495	UUSI AIKA ALKAA RENESSANSSI Leonardo da Vinci (1452-1519) Michelangelo (1475-1564) Columbus purjehti Amerikkaan 1495
Paracelsus, iatrokemian syntä Alkemistihuijarit Ensimmäinen kemian oppikirja 1597	1500-luku	Uskonpuhdistus Suomeen 1527 Agricolan aapinen 1543 Nuijasota 1597	Mona Lisa 1506 Martti Luther (1483-1546) Lutherin teesit 1527 William Shakespeare (1564-1616)
Modernin tieteen kehitys kokeellinen tiede syntyy Sir Francis Bacon (1561-1626) Jan Babtist van Helmont (1577-1644) Johan Rudolf Glauber (1604-1670) Robert Boyle (1627-1691) Nicolas Lemery (1645-1715)	1600-luku	Oulu kaupungiksi 1605 Turun akatemia 1640 Savupiiput ja ikkunat taloihin rannikolla	Galilei (1564-1642) Descartes (1596-1650) Kolmikymmenvuotinen sota Euroopassa (1618-1648) Noitavainot BAROKIN AIKA ALKAA
Suuri flogistonteoria Newton Joseph Black (1728-1799) Joseph Priestley (1733-1804) Modernin kemian synty Antoine Lavoisier (1743-1794) , Palaminen, Happiteoria Kemian käsitteistön muut-	1700-luku	Isoviha 1713-21	Bach (1685-1750) VALISTUKSEN AIKA Rosseau (1712-1778) Höyrykone 1765 Mozart (1756-1791) Ranskan vallankumous 1789 Teollinen vallankumous alkaa Iso-Britanniasta

taminen			
<p>Michael Faraday (1791-1867)</p> <p>John Dalton (1766-1844) ja kemiallinen atomiteoria</p> <p>Kemialliset merkit</p> <p>Dmitri Ivanovitsh Mendelejev (1853-1907) ja aineiden jaksollisuus 1869</p> <p>Svante August Arrhenius (1859-1927)</p>	1800-luku	<p>Suomi Venäjään 1808</p> <p>Yliopisto Helsinkiin 1828</p> <p>1835-76 Kalevala</p> <p>Suurkirkko Helsinkiin 1837</p> <p>Vänrikki Stoolin tarinat 1848</p>	<p>Napoleon valloittaa suuren osan Eurooppaa (1803 – 1815)</p> <p>Ensimmäinen sähkömoottori 1831</p> <p>Euroopan "hullu vuosi" 1848</p> <p>Charles Darwinin Lajien synty 1859</p> <p>Hehkulamppu 1879</p> <p>Polttomoottorilla toimiva auto 1896</p>
<p>Lauritz Sørensen (1868-1939), happamuuden mitta-asteikko syntyy 1909, pH-käsite</p> <p>Marie Curie (1867-1934)</p> <p>Niels Bohr (1885-1962) ja Atomin elektronirakenne</p> <p>Johann Nicolaus Brønsted (1879 -1947) ja Thomas Martin Lowry (1874 - 1936)</p> <p>Kemiallinen sidos, J.J. Thompson</p> <p>Gilbert Lewis (1875 -1946)</p> <p>Artturi Ilmari Virtanen (1895-1973), Nobel 1945</p>	1900-luku	<p>Naisille äänioikeus suomessa 1906</p> <p>Suomi itsenäistyi 1917</p> <p>Vapausota</p> <p>Suomen talvisota (1939-1940)</p> <p>Jatkosota (1941-1944)</p>	<p>Albert Einstein julkaisee suhteellisuusteoriaansa 1905</p> <p>Ensimmäinen maailmansota (1914-1918)</p> <p>Alexander Fleming keksii penisiliinin 1928</p> <p>Toinen maailmansota (1939-1945)</p> <p>DNA :n rakenne selvitetiin 1953</p> <p>Ensimmäinen kuulento 1969</p>

LIITE 3

Cd-rom: Löytöretki happamuuteen – kemian historiaa

Löytöretki happamuuteen - kemian historiaa sivujen käynnistyksessä huomioitavaa:

Opetuspaketin aloitus tapahtuu avaamalla www-selaimella *Löytöretki happamuuteen* kansioista tiedosto *index.html*