

**STOIKIOMETRIA LUKION KEMIAN OPPIKIRJOISSA JA
YLIOPPILASKOKEESSA**

Pro gradu-tutkielma
Elina Rautiainen
12.11.2004
Kemian opettajankoulutusyksikkö
Kemian laitos
Helsingin yliopisto
Ohjaajat: Maija Aksela ja Heikki Saarinen

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET

| | | |
|--|----------------------------|---------------------------------------|
| Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta | | Laitos – Institution Kemian laitos |
| Tekijä – Författare Elina Rautiainen | | |
| Työn nimi – Arbetets titel Stoikiometria lukion kemian oppikirjoissa ja ylioppilaskokeessa | | |
| Oppiaine – Läroämne Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto | | |
| Työn laji – Arbetets art Pro gradu -tutkielma | Aika – Datum 12.11.2004 | Sivumäärä – Sidoantal 81 |
| Tiivistelmä – Referat Stoikiometria on yksi kemian tärkeimmistä ja vaikeimmista osa-alueista. Stoikiometrian käsitteet tuntuvat oppilaista usein hankalilta ja abstrakteilta, koska niitä on vaikea hahmottaa konkreettisesti. Stoikiometria sisältää myös paljon laskemista, joka tekee siitä haastavan aihealueen. Tässä tutkimuksessa selvitettiin, miten keskeinen osa stoikiometrialla on ollut kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003 sekä lukion kemian oppikirjoissa. Ylioppilaskirjoituksista tutkittiin laskennallisia tehtäviä ja sitä, kuinka suuren osan stoikiometriset laskut muodostivat laskennallisista tehtävistä. Selvitettiin myös, mitä käsitteitä ylioppilaskirjoitusten tehtävissä vaaditaan. Opiskelijoiden menestymistä ja vastaajien lukumäärää tutkittiin myös stoikiometristen laskujen kohdalta kemian ylioppilaskirjoituksissa. Oppikirjoista tutkittiin, mitä käsitteitä ne ottivat esille stoikiometriasta ja mikä oli stoikiometristen tehtävien lukumäärä. Lisäksi pohdittiin, miten oppikirjat toteuttivat opetussuunnitelmassa esitetyt tavoitteet. Tutkimuksen mukaan laskennallisilla tehtävillä oli hyvin keskeinen osa kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003. Noin 30 % kaikista tehtävistä oli laskuja ja keskimäärin 16 % niistä liittyi stoikiometrian käsitteisiin. Puolet laskennallisista tehtävistä oli stoikiometrian käsitteisiin liittyviä. Kaikki tutkitut oppikirjat pitivät stoikiometriaa tärkeänä asiana. Siitä oli paljon esimerkkejä ja tehtäviä. Useimmiten oppikirjoissa esitettiin lähinnä laskuja. Oppikirjoissa käsiteltiin hyvin vähän stoikiometriaan liittyviä perusteluja tai käsitteitä syvällisemmin. Oppikirjojen lähestymistapa vastasi ylioppilaskirjoitusten tehtäviä. Valtaosa tehtävistä oli laskennallisia. Oppikirjojen tehtävät luokiteltiin käsitteellisiin, mekaanisiin ja soveltaviin tehtäviin stoikiometrian osalta. Käsitteellisiä tehtäviä oli n. 4 %, mekaanisia n. 42 % ja soveltavia 54 %. Laskutehtäviä stoikiometriassa tulisi kehittää siten, että ne tukisivat käsitteiden ymmärtämistä, eivätkä olisi yksistään mekaanista kaavaan sijoittamista. Laskemisen lisäksi oppilaita pitäisi ohjata ratkaisemaan ongelmia käyttäen erilaisia ongelmanratkaisumalleja. Nämä asiat tulisi huomioida myös opettajien koulutuksessa ja tutkimuksessa. | | |
| Avainsanat - Nyckelord stoikiometria, ylioppilaskirjoitukset, oppikirjat, | | |
| Säilytyspaikka - Förvaringställe Kemian opettajankoulutusyksikkö | | |
| Muita tietoja | | |

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|-----------|
| 1 JOHDANTO | 6 |
| 2 STOIKIOMETRIA | 8 |
| 2.1 STOIKIOMETRIAN MÄÄRITELMÄ | 8 |
| 2.2 KEMIALLISEN REAKTION STOIKIOMETRIA | 8 |
| 2.2.1 Mooli ja ainemäärä | 8 |
| 2.2.2 Atomimassa ja moolimassa | 9 |
| 2.2.3 Yhdisteen kaava ja koostumus | 10 |
| 2.2.4 Kemiallisten reaktioyhtälöiden tasapainottaminen | 11 |
| 2.2.5 Rajoittava reagenssi | 11 |
| 3 STOIKIOMETRIAN OPPIMISESTA | 13 |
| 3.1 AINEMÄÄRÄN JA MOOLIN OPPIMISESTA JA OPETTAMISESTA | 13 |
| 3.2 AVOGADRON LUVUN OPPIMISESTA JA OPETTAMISESTA | 15 |
| 3.3 KEMIALLISEN REAKTIOYHTÄLÖN TASAPAINOTTAMISEN OPPIMINEN JA OPETTAMINEN | 16 |
| 3.4 RAJOITTAVAN REAGENSIN OPPIMINEN JA OPETTAMINEN | 18 |
| 3.5 VAIHTOEHTOISIA KÄSITYKSIÄ STOIKIOMETRIASTA | 18 |
| 3.6 TEHTÄVIEN MUOTOILU JA MERKINNÄT | 19 |
| 4 STOIKIOMETRIA OPETUSSUUNNITELMAN PERUSTEISSA | 21 |
| 4.1 VUODEN 1994 LUKION KEMIAN OPETUSSUUNNITELMA | 21 |
| 4.2 VUODEN 2004 LUKION KEMIAN OPETUSSUUNNITELMA | 22 |
| 5 ONGELMANRATKAISU | 24 |
| 5.1 ONGELMANRATKAISUMALLIT | 24 |
| 5.2 ERILAISET ONGELMANRATKAISIJAT | 25 |
| 5.3 KÄSITTEELLINEN OPPIMINEN JA MATEMAATTINEN ONGELMANRATKAISU | 27 |
| 5.4 ONGELMANRATKAISUN OPETTAMINEN | 29 |
| 5.5 ONGELMANRATKAISUTAPOJA STOIKIOMETRISISSÄ TEHTÄVISSÄ | 30 |
| 6 YLIOPIILASKIRJOITUKSET | 31 |
| 6.1 YLIOPIILASKIRJOITUKSISTA JA VUODEN 1996 MUUTOKSESTA | 31 |
| 6.2 KEMIAN ASEMA KOULUSSA JA YLIOPIILASKIRJOITUKSISSA | 32 |
| 6.3 REAALIKOKEEN UUDISTAMINEN | 33 |
| 7 OPPIKIRJAT | 35 |
| 8 TUTKIMUSONGELMAT | 36 |
| 8.1 TUTKIMUSONGELMIEN VALINTA | 36 |
| 8.2 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN | 37 |
| 9 TUTKIMUSTULOKSET | 40 |
| 9.1 STOIKIOMETRISET JA LASKENNALLISET TEHTÄVÄT KEMIAN YLIOPIILASKIRJOITUKSISSA | 40 |
| 9.2 STOIKIOMETRISISSÄ TEHTÄVISSÄ TARVITTAVAT KÄSITTEET | 42 |
| 9.3 OPPILAIDEN OSAAMINEN KEMIAN YLIOPIILASKIRJOITUKSISSA STOIKIOMETRISISSÄ TEHTÄVISSÄ | 45 |
| 9.4 OPPIKIRJOISSA OLEVAT STOIKIOMETRIAN KÄSITTEET, MÄÄRITELMÄT JA ETENEMISTAPA | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 9.4.1 Reaktioyhtälön tasapainotus | 50 |
| 9.4.2 Moolin määritelmät | 51 |
| 9.4.3 Toisen ja kolmannen kemian kurssien oppikirjat | 52 |
| 9.5 OPPIKIRJOISSA OLEVAT STOIKIOMETRISET TEHTÄVÄT JA NIISSÄ OLEVAT KÄSITTEET | 54 |
| 9.5.1 Tehtävien luokittelu | 57 |
| 9.6 OPPIKIRJAT JA OPETUSSUUNNITELMA | 62 |
| 10 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 64 |
| LÄHTEET | 69 |
| LIITE 1 | 77 |

KUVAT JA TAULUKOT

| | |
|--|----|
| KUVA 1. Ainemäärän, massan, tilavuuden ja rakenneosasten lukumäärän yhteys..... | 12 |
| KUVA 2. Kemian eri tasot | 14 |
| KUVA 3. Ainemäärän eri tasot | 14 |
| TAULUKKO 1. Tutkimuksessa käytetyt oppikirjat..... | 39 |
| KUVA 4. Laskennallisten tehtävien osuus kemian ylioppilaskirjoitusten tehtävistä vuosina 1994-2003. | 40 |
| KUVA 5. Stoikiometrinen tehtävien osuus kaikista tehtävistä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003. | 41 |
| KUVA 6. Stoikiometrinen tehtävien osuus laskennallisista tehtävistä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003. | 42 |
| KUVA 7. Kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003 stoikiometrissa tehtävissä tarvittavat käsitteet..... | 43 |
| TAULUKKO 2. Stoikiometrinen tehtävien käsitteiden jakaantuminen kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003. | 44 |
| KUVA 8. Stoikiometriin tehtäviin vastanneiden varsinaisten kokelaisten prosettiosuudet kemian ylioppilaskirjoituksissa 1994-2003. | 46 |
| KUVA 9. Esimerkkien lukumäärä stoikiometrian kohdalla oppikirjoissa..... | 55 |
| KUVA 10. Tehtävien lukumäärä stoikiometrian kohdalla oppikirjoissa..... | 55 |
| TAULUKKO 3. Oppikirjojen stoikiometrisissa esimerkeissä olevat käsitteet..... | 56 |
| TAULUKKO 4. Stoikiometrisissa tehtävissä olevat käsitteet..... | 57 |
| KUVA 11. Stoikiometriaan liittyvät käsitteelliset tehtävät oppikirjoissa..... | 59 |
| KUVA 12. Stoikiometriaan liittyvät mekaaniset tehtävät oppikirjoissa..... | 60 |
| KUVA 13. Stoikiometriaan liittyvät soveltavat tehtävät oppikirjoissa..... | 60 |
| KUVA 14. Tutkittujen oppikirjojen arkipäivään liittyvät tehtävät ja esimerkit..... | 61 |

1 JOHDANTO

Laskemisella on hyvin keskeinen osa lukion kemian opetuksessa. Yksi laskennallisuuden tärkeimpiä osa-alueita ovat stoikiometriset laskut. Sekä opettajat että oppilaat kokevat stoikiometriset laskut vaikeina asioina, koska niihin liittyvät käsitteet voivat olla hyvin abstrakteja. Laskut ovat kaukana arkipäivästä ja niitä voi olla hankalaa hahmottaa konkreettisesti.

Stoikiometriset laskut ovat kuitenkin yksi kemian tärkeimmistä osa-alueista. Stoikiometrisia taitoja tarvitaan hyvin monenlaisissa tehtävissä kuten muun muassa reaktioyhtälö-, konsentraatio- ja kaavalaskuissa. Jos ei ole kaavoja kemia ei toimi toisaalta myöskään stoikiometriä ei toimi ilman kemiaa.

Tässä tutkimuksessa halutaan selvittää, mikä on stoikiometrinen laskujen osuus kemian ylioppilaskirjoituksissa ja kemian oppikirjoissa. Oppikirjat ja opetussuunnitelmat ohjaavat vahvasti opetusta, koska monet opettajat etenevät oppikirjan mukaan (Ahtineva, 2000). Toisaalta oppikirjoilla ja opetussuunnitelmalla on tärkeä vaikutus ylioppilaskirjoitukseen ja niiden pitäisikin olla mahdollisimman yhdenmukaisia. Ylioppilaskirjoitusten tulisi pohjautua voimassa oleviin opetussuunnitelmiin ja oppikirjoihin.

Viime aikoina laskemisen rinnalle on nostettu hyvin voimakkaasti käsitteellinen opetus. Tutkimuksessa pohditaan myös miten käsitteellinen etenemistapa näkyy oppikirjoissa ja miksi sitä kannattaisi opettaa stoikiometrian laskujen yhteydessä.

Stoikiometriaan liittyviä opettajien ja oppilaiden vaihtoehtoisia käsityksiä on tutkittu sekä Suomessa että ulkomailla. Aiheeseen liittyvää oppikirjatutkimusta tai ylioppilaskirjoitusten tutkimusta ei kuitenkaan ole tehty aiemmin.

Tässä työssä käsitellään stoikiometrian määritelmät ja peruskäsitteet luvussa 2. Luvussa 3 käsitellään aikaisempia tutkimuksia stoikiometrian opettamisesta ja oppimisesta. Stoikiometrian esiintyminen vuoden 1994 opetussuunnitelman perusteissa ja vuoden 2004 opetussuunnitelman perusteissa käsitellään luvussa 4. Ongelmanratkaisun

opettamista ja oppimista, erityisesti stoikiometriassa, käsitellään luvussa 5. Luvussa 6 käsitellään ylioppilaskirjoituksia ja erityisesti kemian asemaa. Oppikirjojen merkitystä käsitellään luvussa 7. Tutkimusongelmat ja perustelut niiden valitsemiseen esitetään luvussa 8. Luku 9 sisältää tämän tutkimuksen tuloksia sekä ylioppilaskirjoituksista että tutkituista lukion kemian oppikirjoista. Luvussa 10 on yhteenvetoa tuloksista ja johtopäätöksiä.

2 STOIKIOMETRIA

2.1 Stoikiometrian määritelmä

Stoikiometria on laaja alue, johon kuuluu paljon käsitteitä ja asioita. Se jaetaan kemiallisen reaktion stoikiometriaan ja liuosten stoikiometriaan. Kemiallisen reaktion stoikiometria sisältää käsitteet mooli, ainemäärä, yhdisteiden kaava, kemiallinen reaktioyhtälö, kemiallisten reaktioyhtälöiden tasapainotus sekä rajoittava reagenssi. Liuosten stoikiometria sisältää happo-emäsreaktiot, hapetus-pelkistysreaktiot sekä saostumisreaktiot.

Stoikiometria tulee kreikan sanoista stoicheion ("aine") ja metron ("mitata") (Olmsted & Williams, 1994). Stoikiometria määritellään kemiallisessa reaktiossa kuluvien ja syntyvien aineiden määrän käsittelyinä. Sitä sanotaan myös kemialliseksi laskuopiksi.

2.2 Kemiallisen reaktion stoikiometria

2.2.1 Mooli ja ainemäärä

Moolista löytyy useita erilaisia määritelmiä, mutta yleisin kemian kouluopetuksessa käytetty määritelmä on *"Mooli on sellaisen systeemin ainemäärä, joka sisältää yhtä monta keskenään samanlaista perusosasta kuin 0,012 kilogrammassa hiili 12:ta on atomeja."*

Mooli helpottaa atomien laskemisessa. Samassa yhteydessä olisi hyvä määritellä Avogadron vakio: *"Yksi mooli mitä tahansa sisältää $6,022 \cdot 10^{23}$ yksikköä tätä ainetta"*. Yhdellä moolilla jotain ainetta on yhtä suuri massa kuin aineen atomimassa on grammoissa

2.2.2 Atomimassa ja moolimassa

Alkuaineiden atomimassat saadaan selville massaspektrometrin avulla. Jos alkuaineella on useampia isotooppeja, on atomimassa eri isotooppien massojen esiintymisten runsaudella painotettu keskiarvo. Atomimassan yksikkönä käytetään atomimassayksikköä (amu). Se on 1/12 isotoopin hiili-12 massasta eli noin $1,66 \cdot 10^{-27}$ kg.

Kemialliset yhdisteet koostuvat useista eri alkuaineista. Moolimassa ilmoittaa, mikä on yhden moolin massa kyseistä yhdistettä grammoina.

Moolimassa, massa ja ainemäärä yhdistyvät kaavassa:

$$n = m/M$$

$$m = n \cdot M,$$

missä n =ainemäärä, m =massa ja M =moolimassa

ainemäärän yksikkö mol

massan yksikkö g

moolimassan yksikkö g/mol

Ainemäärä, moolien lukumäärä ja Avogadron vakio riippuvat toisistaan yhtälön

$$n = N/N_A$$

kautta, jossa

n = ainemäärä

N = moolien lukumäärä

N_A = Avogadron vakio

2.2.3 Yhdisteen kaava ja koostumus

Yhdisteen alkuainekoostumus voidaan ilmoittaa massaprosentteina tai yhdisteen atomien lukumäärän avulla. Jos yhdisteen koostumus lasketaan massaprosentteina, saadaan yhdisteen atomien massat kertomalla ainemäärät moolimassoilla.

$$m=n*M,$$

missä n=ainemäärä, m=massa ja M=moolimassa

Massaprosentti ilmoittaa prosentteina kunkin alkuaineen osuuden yhdisteen massasta.

$$\text{Massaprosentti}=(\text{yhden moolin massa ainetta}/\text{yhden moolin massa yhdistettä})\cdot 100\%$$

Yhdisteen kaava voi olla empiirinen- tai molekyyli- tai rakennekaava. Empiirinen kaava voidaan laskea massaprosenteista, kun oletetaan, että tuotetta on esimerkiksi 100 g. Näin yhdisteessä olevien alkuaineiden massat saadaan suoraan massaprosenteista. Kun tiedetään aineiden massat ja moolimassat, voidaan laskea moolien lukumäärä. Sen jälkeen jaetaan kaikki muut moolien lukumäärät pienimmällä moolien lukumäärällä. Jos kaikki luvut ovat kokonaislukuja, niiden suhteet ilmoittavat atomien suhteiden lukumäärät. Jos luku on desimaaliluku, se kerrotaan pienimmällä yhteisellä luvulla, kunnes kaikki luvut ovat kokonaislukuja. Jos desimaaliluku poikkeaa vain hieman kokonaisluvusta, se voidaan pyöristää kokonaisluvuksi.

Molekyylikaava voidaan laskea kahdella eri tavalla. Ensimmäisellä tavalla aluksi määritetään yhdisteen empiirinen kaava. Sen jälkeen lasketaan empiiristä kaavaa vastaava (koko) yhdisteen moolimassa. Sitten lasketaan, kuinka paljon empiirisen kaavan massa on yhdisteen moolimassasta. Tästä saadaan luku, jonka avulla saadaan yhdisteen molekyylikaava. Eli

yhdisteen moolimassa/ empiirisen kaavan massa

$$\text{molekyylikaava}=(\text{empiirinen kaava})\cdot(\text{yhdisteen moolimassa} / \text{empiirisen kaavan massa})$$

Molekyylikaava saadaan laskettua myös toisella tavalla. Massaprosenttien ja moolimassan avulla lasketaan, yhdisteen kunkin alkuaineen massa yhdessä moolissa yhdistettä. Sen jälkeen muutetaan massa mooleiksi, jotta saadaan tietää, kuinka monta moolia kutakin ainetta on yhdessä moolissa yhdistettä. Tämä moolien lukumäärän suhde ilmoittaa molekyylikaavan.

Kun empiirinen- ja molekyylikaava on saatu laskettua, voidaan selvittää rakennekaava. Rakennekaava ilmoittaa atomien sijoittumisen.

2.2.4 Kemiallisten reaktioyhtälöiden tasapainottaminen

Kemiallisessa reaktiossa vähintään kaksi ainetta reagoi toistensa kanssa muodostaen uusia aineita. Atomien lukumäärä kuitenkin säilyy, mutta ne voivat järjestäytyä uudelleen. Kaikki atomit säilyvät mitään ei häviä eikä tule lisää. Kemiallista reaktiota merkitään reaktioyhtälöllä. Reaktioyhtälön vasemmalle puolelle laitetaan lähtöaineet ja oikealla puolelle tuotteet. Lähtöaineet yhdistetään plus-merkillä ja ne erotetaan tuotteista nuolella.

Reaktioyhtälössä esiintyvien aineiden edellä olevaa lukua sanotaan stoikiometriseksi kertoimeksi. Kerroin ilmoittaa aineen reaktioon osallistuvien moolien lukumäärän ja toisaalta myös reaktioon osallistuvien molekyylien lukumäärän. Stoikiometriset kertoimet ovat aina pienimpiä mahdollisia kokonaislukuja.

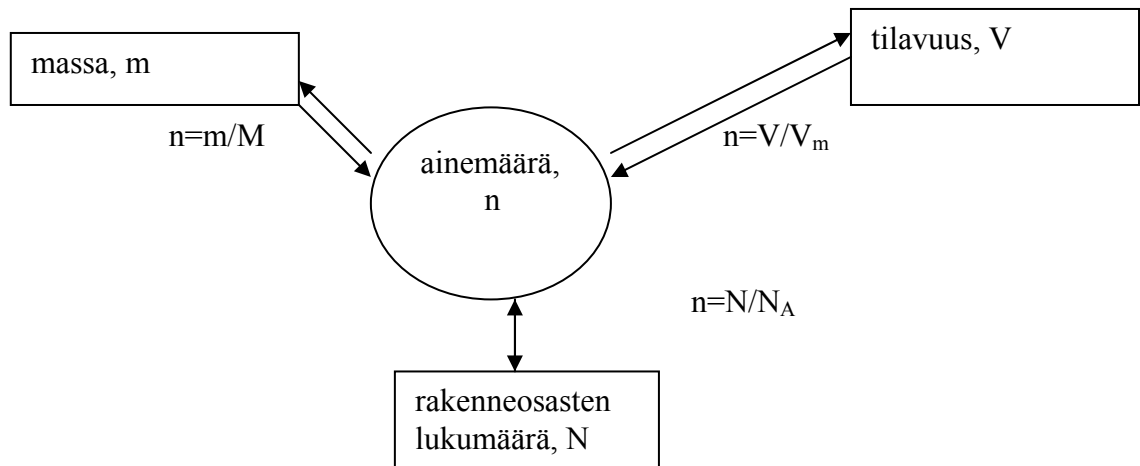
Jotta kemiallisessa reaktiossa atomien lukumäärä säilyisi, täytyy reaktioyhtälö tasapainottaa. Sekä tuotteiden että lähtöaineiden puolella on oltava sama määrä samoja atomeja. Reaktioyhtälöön voidaan tehdä myös merkintöjä aineiden olomuodoista. Kiinteän aineen symboli on s, nesteen l ja kaasun g.

2.2.5 Rajoittava reagenssi

Jotakin lähtöainetta saattaa olla ylimäärä verrattuna toiseen lähtöaineeseen, jolloin toinen aine voi loppua ensin. Tätä ainetta kutsutaan rajoittavaksi reagenssiksi, koska se määrää kuinka paljon tuotetta voi syntyä. Rajoittavan reagenssin laskeminen voidaan

aloittaa laskemalla lähtöaineiden ainemäärä, massojen ja moolimassojen avulla. Kun ainemäärät on saatu laskettua otetaan huomioon reaktioyhtälön kertoimien suhteet ja kerrotaan ainemäärä reaktioyhtälön kertoimien suhteella. Nyt saatua ainemäärää voidaan verrata aiemmin laskettuun ainemäärään ja päätellä kumpi lähtöaineista loppuu ensin. Sen sijaan massoista tai mooleista ei voi suoraan päätellä rajoittavaa reagenssia. Laskuissa on tärkeää selvittää rajoittava reagenssi ja laskea ainemäärät sen mukaan.

NTP-olosuhteissa yhden ideaalikaasumoolin tilavuus on $V_m=22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}$.



KUVA 1. Ainemäärän, massan, tilavuuden ja rakenneosasten lukumäärän yhteys (Furio, 2000).

3 STOIKIOMETRIAN OPPIMISESTA

3.1 Ainemäärän ja moolin oppimisesta ja opettamisesta

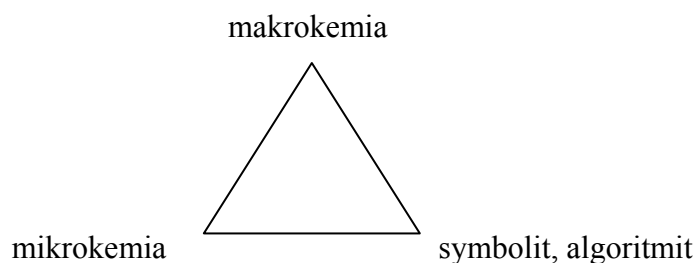
Ainemäärään liittyy paljon vaihtoehtoisia käsityksiä. Opettajat kokevat ainemäärän vaikeana käsitteenä opettaa ja oppilaat vaikeana käsitteenä oppia (Ahtee & Asunta, 1999). Ainemäärästä löytyy myös useita harhaanjohtavia määritelmiä. Ainemäärän määritelmään liittyvistä vaihtoehtoisista käsityksistä yleisin on se, että ainemäärä määritellään Avogadron vakion avulla. Parempi tapa olisi määritellä se isotoopin hiili-12 avulla. Toinen yleinen vaihtoehtoinen käsitys on määritellä ainemäärä atomi- tai moolimassan avulla (Staver & Lumpe, 1995).

Moolilaskuissa oppilailla on ongelmia. Tutkimuksessa, joka oli tehty yläasteen oppilailla Englannissa, havaittiin, että 40 % oppilaista laski moolilaskut väärin. He olivat laskeneet moolimassan jakamalla tai kertomalla atomipainon moolien lukumäärällä (BouJaoude & Barakat, 2000).

Espanjalaisessa tutkimuksessa selvitettiin opettajien näkemyksiä ainemäärästä sekä suullisesti että kirjallisesti ja lisäksi tutkittiin oppikirjoja. Havaittiin, että vain alle puolet opettajaopiskelijoista yhdisti ainemäärän atomistiselle kvalitatiiviselle tasolle ja melkein 40 % opettajaopiskelijoista määritteli ainemäärän vaihtoehtoisella tavalla massan tai atomien lukumäärän avulla. Tutkimuksessa oli myös tarkasteltu oppikirjoja vuosien 1976-1996 väliseltä ajalta. Kirjoista löytyi hyvin vähän asiaa ainemäärästä eikä esille ollut otettu lainkaan historiallista näkökulmaa ainemäärän kehityksestä. Noin 72 % oppikirjoista määritteli ainemäärän vaihtoehtoisella tavalla joko massan tai rakenneyksiköiden lukumäärän perusteella. Opettajien mielestä ainemäärän historiallinen kehitys ei tuntunut tärkeältä asialta opetuksessa. He eivät myöskään pitäneet tärkeänä tuoda esiin massan, ainemäärän ja rakenneyksiköiden lukumäärän välistä yhteyttä. Suurin osa opettajista käsittelivät ainemäärää suoraan ilman motiivointia, historiallista näkemystä tai pohdintaa ainemäärän hyödyllisyydestä. Yksi syy historiallisen näkökulman puuttumiseen saattoi olla siinä, että opettajilla ei ollut tarpeeksi tietoa historiallisesta kehityksestä.

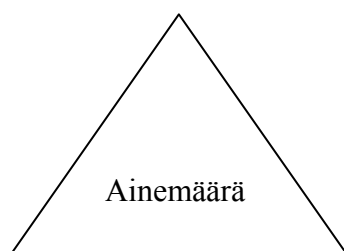
Yhteenvetona voidaan todeta, että sekä opettajien että oppikirjojen tiedoissa on puutteita ja vaihtoehtoisia käsityksiä. Oppikirjojen kehitys on kuitenkin menossa selvästi parempaan suuntaan. Oppikirjat ottavat yhä enemmän esille mooliin liittyviä asioita, tehtäviä ja määrittelevät käsitteet oikein (Furio, 2000).

Ainemäärän opettamisessa olisi tärkeää ottaa huomioon käsitteen eri tasot. Mikrokemiallinen merkitys on atomitasolla oleva selitys ainemäärälle. Makrokemiallinen selitys on taas yleistettävämpi selitys. Algebrallisella tasolla ainemäärä ilmoitetaan kaavana symbolien avulla (Johnstone, 1991).



KUVA 2. Kemian eri tasot (Johnstone, 1991).

Makrokemiallinen merkitys: Yhdellä moolilla ainetta on tietty massa eli moolimassa M .



Mikrokemiallinen merkitys:

yksi mooli mitä tahansa ainetta

sisältää saman määrän (Avogadron luvun ilmoittaman)

hiukkasia $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$

Symboleilla: $n = m/M$, $n = V/V_m$,

$n = N/N_A$

KUVA 3. Ainemäärän eri tasot (Ahtee&Asunta, 1999).

Suomalaisten opetusharjoittelijoiden opetusta ainemäärä-käsitteen yhteydessä on tutkittu (Ahtee & Asunta, 1999). Kaikki opetusharjoittelijat ottivat esiin ainemäärän makrokemiallisen merkityksen. Viisi kahdeksasta opetusharjoittelijasta otti esiin sekä mikro- että makrokemiallisen merkityksen.

Opetuksessa puolet kahdeksasta opetusharjoittelijoista lähti suoraan liikkeelle ainemäärän määritelmästä. Yksi pohti, miksi ainemäärää käytetään, ja toinen historiaa. Muutama opetusharjoittelija lähti liikkeelle siitä, miksi ainemäärää käytetään lukumäärän ilmaisemiseen demoja apuna käyttäen (Ahtee & Asunta, 1999).

3.2 Avogadron luvun oppimisesta ja opettamisesta

Avogadron luvun opettaminen on hankalaa, koska sitä on vaikea havainnollistaa demonstraatioilla ja oppilaat kokevat luvun suuruusluokan vaikeaksi käsittää.

Eräs työtapa Avogadron luvun opettamiseksi on seuraavaksi esitettävä oppilaita aktivoiva menetelmä, jossa oppilaat itse laskevat Avogadron luvun arvon (Goh et al., 1994).

Työtavassa lähdetään liikkeelle oppilailla jo ennestään olevista tiedoista. Tiedetään, että atomin ytimessä on protoneja ja neutroneja, ja niiden ympärillä elektroneja. Näillä tiedoilla pystytäänkin jo laskemaan Avogadron luku. Kun tiedetään protonin, neutronin ja elektronin massat, voidaan laskea suunnilleen jonkin aineen yhden atomin massa. Sen jälkeen lasketaan aineen Avogadron vakio, massaluvun ja järjestysluvun avulla. Eli järjestysluku ilmoittaa ytimessä olevien protonien määrän. Massaluku taas ilmoittaa protonien ja neutronien yhteisen lukumäärän.

$$N_A = \text{massaluku} / \text{yhden atomin massa}$$

Laskettaessa täytyy muistaa että protonin, neutronin ja elektronien massojen täytyy olla grammoina. Oppilaille voidaan antaa eri aineet ja lopuksi kerätä tulokset yhteen.

Havaitaan, että luku N_A on kaikilla melkein sama eli $6,022 \cdot 10^{23}$ eli Avogadron luku. Virhettä syntyy korkeintaan 1 % verran (Goh et al., 1994).

3.3 Kemiallisen reaktioyhtälön tasapainottamisen oppiminen ja opettaminen

Kemiallisen reaktioyhtälön tasapainottaminen on yksi stoikiometrian perustaitoja, joita tarvitaan laskun alkuun pääsemisessä. Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa selvitettiin, osaavatko lukion oppilaat tasapainottaa kemiallisia reaktioyhtälöitä vain mekaanisesti vai ymmärtävätkö he myös tasapainottamiseen liittyvät käsitteet (Yarroch, 1985). Tuloksesta kävi ilmi, että kaikki oppilaat osasivat tasapainottaa reaktioyhtälön, mutta eroja syntyi diagrammeista, jotka heidän piti tehdä käyttämästään ratkaisutavasta. Kaikki oppilaat eivät selvästikään olleet ymmärtäneet käsitettä syvällisesti.

Oppilaat jaettiin tulosten perusteella kahteen ryhmään. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvien oppilaiden vastaukset olivat oikeita. Heitä oli viisi kahdestatoista oppilaasta. He ymmärsivät reaktioyhtälöiden kertoimien ja alaindeksien merkityksen oikein. Annetussa tehtävässä piti piirtää kolme vetymolekyyliä ($3 H_2$). Ensimmäisen ryhmän oppilaat osasivat tehtävän, eli he piirsivät kolme kahdesta vetyatomista koostuvaa molekyyliä. Tämän ryhmän oppilaat ymmärsivät myös kemiallisen reaktion symbolin, nuolen \rightarrow , merkityksen oikein. Oppilaille oli myös selvää, että symbolit, aineet tai hiukkaset säilyvät kemiallisen reaktion tasapainotuksessa.

Toiseen ryhmään kuuluvat seitsemän oppilasta osasivat tasapainottaa reaktioyhtälöt. He piirsivät samat kolme vetymolekyyliä ($3 H_2$) kuuden vetyatomin sarjaan. He eivät ymmärtäneet reaktioyhtälön kertoimien tai alaindeksien merkitystä. Kemiallisen reaktion symboli, nuoli, oli heille sama kuin matemaattinen = -merkki. Tämän ryhmän oppilaat ymmärsivät säilymislain, ennemminkin symbolien säilymisenä kuin massojen tai hiukkasten säilymisenä. Oppilaat olivat haluttomia käyttämään käsitteitä atomi ja molekyyli, vaikka heitä erikseen pyydettiin käyttämään niitä.

Yleinen tulos oli kuitenkin se, että suurin osa oppilaista osasi tasapainottaa reaktioyhtälöt mekaanisesti. Kun heiltä kysyttiin, mitä muuta on jäänyt mieleen

kemiallisesta reaktioyhtälöstä, kukaan ei muistanut muuta kuin mekaanisen tasapainotuksen. Kursseistakin oli mahdollista päästä läpi pelkällä mekaanisen tasapainottamisen osaamisella. Opetuksessa pitäisikin kiinnittää enemmän huomiota merkintöjen ja reaktioyhtälön käyttöön ja merkitykseen (Yarroch, 1985).

Yksinkertaisia reaktioyhtälöitä voidaan tasapainottaa pelkästään päättelämällä yhtälön oikean ja vasemman puolen aineiden lukumäärät samoiksi. Päättely voi kuitenkin olla hankalaa, jos reaktioyhtälö on vaikeampi ja siinä on useita aineita ja varauksia. Yleensä oppikirjoissa esitellään reaktioyhtälöiden tasapainottaminen hapetuslukujen avulla.

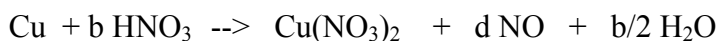
Hankalampiakin reaktioyhtälöitä on mahdollista tasapainottaa yhtälöiden avulla. Aluksi muodostetaan erikseen kullekin aineelle yhtälö, joka muodostuu aineen lukumääristä yhtälön eri puolilla. Sen jälkeen ratkaistaan yhtälöstä tuntematon muuttuja. Tehdään sama kaikille aineille ja lopuksi ratkaistaan kaikki tuntemattomat muuttujat. Tämän menetelmän avulla voidaan helposti laskea myös happo-emäsreaktioita sekä hapettumis-pelkistymisreaktioita.

Seuraavassa on esimerkki reaktioyhtälön tasapainotuksesta (Porter, 1985):

Tasapainota reaktioyhtälö



Nimetään kukin aine. Valitaan kupariatomien lukumäärä yhdeksi. Koska vetyä on yhtälön molemmilla puolilla vain yhdessä kohtaa, voidaan merkitä



Yhtälön tasapainottamiseksi tarvitaan kaksi yhtälöä

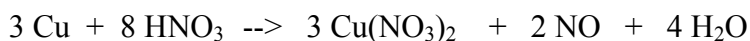
$$\text{N: } b=2+d$$

$$\text{O: } 3b=6+d+b/2$$

Ratkaistaan tuntemattomat muuttujat

$$b=8/3 \text{ ja } d=2/3$$

Kerrotaan kertoimet niin, että niistä muodostuu kokonaislukuja



3.4 Rajoittavan reagenssin oppiminen ja opettaminen

Rajoittava reagenssi voi olla oppilaille hyvin vaikea asia hahmottaa. Kun rajoittavaa reagenssia opetetaan ensimmäisen kerran, pitäisi keskittyä rajoittavan reagenssin hahmottamiseen jollakin yksinkertaisella esimerkillä, joka ei vielä liity kemiaan. Vasta kun ymmärretään mitä rajoittava reagenssi tarkoittaa, se pitäisi yhdistää kemiaan. Ymmärtämistä voisi helpottaa, jos se opetettaisiin visuaalisemmin. Tehtäisiin esimerkiksi pahvista eri aineille eri värisiä ja eri kokoisia ympyröitä kuvaamaan kunkin aineen atomeja. Sen jälkeen laitettaisiin atomit vierekkäin ja kysyttäisiin oppilailta, kuinka paljon tuotetta syntyy.

Esimerkkinä rajoittavan reagenssin opettamisesta on reaktion $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ opettaminen (Kashmar, 1997):

Alussa oppilaille annettaisiin esimerkiksi 4 kpl happiatomeja ja 12 kpl vetyatomeja. Ensin niistä pitäisi tehdä kahden atomin muodostamia happi- ja vetymolekyylejä. Sen jälkeen oppilaat saisivat itse muodostaa niistä vesimolekyylejä. Molekyyleistä syntyy ainoastaan neljä vesimolekyyliä ja neljä vetyatomia jää yli. Näin voidaan havainnollistaa, että happi on reaktion rajoittava tekijä ja vetyä on ylimäärin. Kun kaikki happi on loppunut, ei vettä enää voi syntyä lisää, vaikka vetyä olisikin ylimäärin.

3.5 Vaihtoehtoisia käsityksiä stoikiometriasta

Eri maiden opiskelijat tekevät samoja virheitä stoikiometrisissa laskuissa (Huddle & Pillay, 1996). Eniten vaihtoehtoisia käsityksiä löytyy kuitenkin rajoittavasta reagenssista. Yleisin virhe on se, että rajoittava reagenssi päätellään suoraan reaktioyhtälön kertoimista ilman, että laskettaisiin aineiden ainemääriä ollenkaan. Toinen yleinen virhe on se, että lasketaan aineiden ainemäärä, mutta ei oteta huomioon reaktioyhtälön kertoimia (Huddle & Pillay, 1996). Reaktioyhtälöstä saatetaan löytää rajoittava reagenssi, vaikka lähtöaineita olisi vain yksi. Ainemäärän laskeminen voi sekoittaa moolimassaan, minkä avulla päätellään rajoittava reagenssi. Jotkut laskevat rajoittavan reagenssin massan avulla ja jos massaa ei ole tehtävässä, rajoittavaa reagenssia ei voi myöskään laskea. Hyvin yleinen virhe on myös se, että verrataan

toisen lähtöaineen tehtävässä annettua määrää toisen lähtöaineen laskettuun määrään (BouJaoude & Barakat, 2000).

Aineen häviämättömyyden laki saatetaan ymmärtää väärin, niin että luullaan moolien lukumäärän säilyvän. Yleinen virhe on myös se, että käytetään kaasujen moolitilavuutta muillakin aineilla kuin vain kaasuilla (BouJaoude & Barakat, 2000).

Yleisiä virheitä, jotka vähensivät pisteitä kemian ylioppilaskirjoituksissa, ovat olleet erilaiset pyöristysvirheet. Varsinkin, jos jo aikaisemmin pyöristettyä tulosta käytettiin uudestaan myöhemmin laskuissa kasaantui virhe lisää (Saarinen, 1995; Saarinen, 2004). Ainemäärä saatettiin laskea ideaalikaasujen tilayhtälöstä $pV=nRT$, vaikka tehtävässä ei olisi mainittu mitään NTP-olosuhteista (Saarinen, 1997; Saarinen, 2001). Usein toistuva virhe on myös se, että rajoittava reagenssi jätetään kokonaan laskematta tai se laskettiin aivan väärällä tavalla (Saarinen, 2001).

3.6 Tehtävien muotoilu ja merkinnät

Stoikiometristen laskujen kysymysten ja tehtävien muotoilu on tärkeää (Lazonby et al., 1985). Oppilaat osasivat huonoiten vastata kysymyksiin, joissa oli yksi laaja kysymys. Oppilaat menestyivät selvästi parhaimmin samantasoisissa tehtävissä, joissa laaja kysymys oli jaettu pienemmiksi kokonaisuuksiksi ja tehtävän aiempien kohtien tietoja tarvittiin aina seuraavassa kohdassa. Parhaimmat pisteet oppilaat saivat tehtävistä, joissa kysymys oli jaettu useampaan kohtaan, mutta joissa edellisen kohdan tietoja ei tarvinnut käyttää hyväksi seuraavissa kohdissa.

Opetuksessa pitäisi enemmän ohjata oppilaita yksittäisten vaiheiden opetteluun ja oppimiseen. Laajojen tehtävien opettelu voi tuntua vaikealta ja vastenmieliseltä. Tehtävien muotoilulla voi siis selvästi vaikuttaa oppilaiden mielenkiintoon ja osaamiseen (Lazonby et al., 1985).

Laskuissa pitäisi pyrkiä siihen, että muistia kuormitettaisiin mahdollisimman vähän. Olisi tärkeää merkitä laskuissa oleviin suureisiin ja kirjaimiin mahdollisimman tarkasti tietoa, esimerkiksi alaindekseillä. Jos laskussa esimerkiksi puhutaan vedyn massasta, ei

pelkkä massan symboli m riittää, vaan pitäisi merkitä tarkemmin, kuten m_{vety} . On epäselvää puhua pelkästään aineen massasta, vaan pitäisi aina puhua jonkun tietyn osan massasta tai tilavuudesta. Alaindeksit ja lisämerkinnät olisi hyvä säilyttää läpi koko laskun. Olisi myös tärkeää kiinnittää huomiota siihen, että yhtälöissä sekä oikea että vasen puoli ovat yhtä suuret. Toinen hyvä tapa olisi tehdä merkinnät sulkujen avulla eli esimerkiksi vedyn massan voisi merkitä $m(\text{H}_2)$.

Joillakin oppilailla voi olla vaikeuksia muuttaa sanallista tehtävää yhtälön muotoon (Dierks et al., 1985). Tätä olisi hyvä harjoitella ja kiinnittää huomiota erityisesti merkintöihin. Esimerkiksi "vedyn tilavuus on 25 l" merkitään $V_{\text{vety}} = 25 \text{ l}$. Tehtävänantojen tulisi olla selkeitä ja ymmärrettäviä, pitäisi puhua ominaisuuksista ja niiden vertailemisesta. Yhtä suuret määrät jotakin pitäisi ilmaista selkeästi esimerkiksi "on yhtä kuin".

Joitakin oppilaita voi auttaa se, että tehtävä ratkaistaan vaiheittain. Ensin voidaan laskea pelkillä kaavoilla, sen jälkeen muutetaan ne sopiviin muotoihin käyttämällä pelkästään symboleita. Vasta sitten kun ollaan saatu yhtälöön oikea muoto, sijoitetaan sinne lukuarvot (Dierks et al., 1985).

4 STOIKIOMETRIA OPETUSSUUNNITELMAN PERUSTEISSA

4.1 Vuoden 1994 lukion kemian opetussuunnitelma

Ennen vuotta 1994 voimassa ollut opetussuunnitelma antoi melko tarkkoja ohjeita opetuksen toteuttamiseksi. Koska valtakunnallinen opetussuunnitelma oli melko yksityiskohtainen, se toteutui lähes samanlaisena kaikkialla. Kouluilla ei ollut suurta mahdollisuutta tehdä muutoksia tai vaikuttaa opetussuunnitelmaan. Vuoden 1994 opetussuunnitelmaa tehtäessä haluttiin kouluille ja kunnille antaa enemmän päätäntävaltaa. Siksi vuoden 1994 opetussuunnitelma on suunniteltu väljäksi, ja kouluille on näin annettu mahdollisuus erikoistua haluamallaan tavalla. Tosin opetussuunnitelman väljyys saattoi aiheuttaa yhä enemmän tukeutumista oppikirjaan, varsinkin jos opettajilla ei ollut tarpeeksi hyvä aineenhallinta (Meisalo & Lavonen, 1994). Kemian ja fysiikan vuoden 1994 opetussuunnitelman rinnalle on opetuksen suunnittelun avuksi tehty lisäksi opas *Fysiikka ja kemia opetussuunnitelmassa*. Tässä oppaassa on hieman tarkemmin kerrottu opetussuunnitelman sisällöistä.

Lukion kemian kurssien yhteisinä tavoitteina on, että opiskelija ymmärtää kemian peruskäsitteet, elämälle välttämättömät aineet ja kemialliset reaktiot. Opetussuunnitelmassa ei tarkemmin määritellä kemian peruskäsitteitä, mutta stoikiometriset laskut ja niihin liittyvien käsitteiden, kuten moolin ja ainemäärän, voidaan ajatella olevan keskeisimpiä käsitteitä kemian opiskelussa. Kemiallisen reaktion ymmärtäminen, kirjoittaminen ja tasapainottaminen ovat tärkeitä asioita kaikilla kemian kursseilla (Lukion opetussuunnitelma, 1994).

Lukion ensimmäisen kemian kurssin, *Kemia - kokeellinen luonnontiede*, tavoitteissa mainitaan kemiallisten reaktioiden päätyypit ja niiden sovellus käytäntöön. Tämän kaikille pakollisen kurssin tavoitteissa tai sisällöissä ei mainita mitään kemian laskuihin liittyvää.

Kemian syventävien kurssien yhteisissä tavoitteissa mainitaan kemian peruskäsitteet, terminologia ja kemiallisen tiedon ymmärtäminen kvantitatiivisella tasolla. Esille tuodaan myös kemian jatko-opiskeluvälmiuksien antaminen. Kolmannella kemian

kurssilla, *Kemian elementit*, tutkitaan tarkemmin kemiallisia reaktioita. Sisällöissä mainitaan myös reaktioyhtälöiden esittäminen kvantitatiivisesti, Avogadron laki, atomi-, molekyyli- ja kaavamassa (Meisalo & Lavonen, 1994).

Lukion luonnontieteiden didaktisten periaatteiden kohdalla esitetään tärkeänä menetelmänä opitun soveltaminen ongelmanratkaisussa. Sen sijaan kurssikohtaisten opetussuunnitelmien kohdalla tätä ei esitetä (Meisalo & Lavonen, 1994).

Yhteenvetona voi todeta, että vuoden 1994 lukion kemian opetussuunnitelmassa stoikiometrialla ei ole keskeistä osaa. Ainoastaan kolmannen kemian kurssin sisällöissä mainitaan stoikiometria lyhyesti (Lukion opetussuunnitelma, 1994; Meisalo & Lavonen, 1994).

4.2 Vuoden 2004 lukion kemian opetussuunnitelma

Perusopetuksen kemian opetussuunnitelman kohdalla on yhteisinä tavoitteina kemiallisten reaktioyhtälöiden mallintaminen ja kuvaaminen. Lisäksi *Raaka-aineet ja tuotteet* -kurssin kohdalla on sisältönä reaktioyhtälön tulkitseminen ja yksinkertaisten reaktioyhtälöiden tasapainotus. Nämä asiat ovat uusia verrattuna vuoden 1994 perusopetuksen opetussuunnitelmaan. Osa vuoden 1994 lukion opetussuunnitelman asioista on siis siirretty perusopetuksen puolelle vuoden 2004 opetussuunnitelmassa (Perusopetuksen opetussuunnitelma, 2004).

Lukion kemian opetussuunnitelman yhteisissä tavoitteissa korostetaan kemiallisten reaktioiden tärkeyttä. Olisi tärkeää myös ymmärtää kemiallisten reaktioiden merkitys ihmiselle ja luonnolle. Yleisissä tavoitteissa on myös kemian merkkikielen ymmärtäminen ja ilmiöiden mallintaminen. Laskeminenkin on tuotu esille matemaattisen käsittelyn yhteydessä. Kemialliset reaktiot käsiteltiin myös edellisessä opetussuunnitelmassa, mutta laskeminen on tullut uutena asiana mukaan opetussuunnitelmaan.

Ensimmäisellä kemian kurssilla, *Ihmisen ja elinympäristön kemia*, ainemäärä ja pitoisuus käsitellään orgaanisen kemian yhteydessä. Samoin hapettumis- ja

pelkistymisreaktiot. Hapetusluvut ja yhdisteen kaava tulevat toisessa kemian kurssissa *Kemian mikromaailma*. Kolmannessa kemian kurssissa *Reaktiot ja energia* käsitellään reaktioyhtälön symbolista ilmaisua ja stoikiometrisia laskuja.

Vuoden 2004 opetussuunnitelmassa ovat aiheet: ainemäärä, reaktioyhtälön symbolinen ilmaisu, matemaattinen käsittely ja stoikiometriset laskut, mikä on uutta verrattuna vuoden 1994 opetussuunnitelmaan. Vuoden 2004 opetussuunnitelman mukaan kemian ensimmäisellä kurssilla *Ihmisen ja elinympäristön kemia*, eli ainoalla pakollisella kurssilla, ei lasketa kovin paljon. Joillekin oppilaille laskeminen voi viedä vähäisenkin mielenkiinnon kemiaa kohtaan. Stoikiometriä tulee tarkemmin toisessa ja kolmannessa kemian kurssissa. Ne ovat vapaaehtoisia kursseja, ja kurssin valinneet opiskelijat ovat varmasti enemmän motivoituneita opiskelemaan myös stoikiometriä. Ehkä uudistuksen myötä kemian laskut eivät ainakaan vähennä mielenkiintoa kemiaan, koska niitä ei ole pakollisella kurssilla (Lukion opetussuunnitelma, 2004).

5 ONGELMANRATKAISU

Stoikiometria kuuluu kemian vaikeimpiin osa-alueisiin, koska siihen liittyy paljon abstrakteja käsitteitä. Stoikiometria on hyvin kaukana arkipäivästä ja sen selittäminen ja ymmärtäminen koetaan myös usein vaikeaksi. Lisäksi vaihtoehtoiset käsitykset ovat hyvin yleisiä (Huddle & Pillay, 1996). Opettajien pitäisi kiinnittää huomiota siihen, miten he määrittelevät käsitteet ja miten ne tulevat ymmärretyksi, ettei niitä vain opittaisi ulkoa. Käsitteiden osaaminen on oleellinen osa laskujen ymmärtämisessä (BouJaoude & Barakat, 2000).

5.1 Ongelmanratkaisumallit

Kun oppilaat ratkaisevat uudenlaista ongelmatehtävää, erilaisista malleista voi olla hyötyä ongelman ratkaisemisessa. Tutkimuksessa on selvitetty opettajien ja opiskelijoiden ongelmanratkaisumalleja sähkökemian tehtävissä (Lee & Fensham, 1996). Ongelmanratkaisustrategia voitiin jakaa kahteen eri vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa pohdittiin tehtävänantoa joko lukemalla sitä ääneen tai mielessä. Tässä vaiheessa yritettiin piirtää mahdollisia havainnollistavia kuvia tai muita symboleja. Osa oppilaista jakoi ongelman pienempiin kokonaisuuksiin, ja osa käsitteli ongelmaa yhtenä kokonaisuutena. Seuraavaksi osa oppilaista asetti itselleen tavoitteen tai osatavoitteen, johon pyrki.

Toinen vaihe alkoi tehtävässä olevien tärkeiden tietojen poimimisella. Seuraavaksi yritettiin hakea muistista kaavaa tai asiaa, joka auttaisi tehtävän ratkaisemisessa. Ongelma ratkaistiin joko käsitteellisten tietojen avulla tai matemaattisen algoritmin avulla. Lopuksi osa tarkasti vastauksen oikeellisuuden ja osa ei tarkistanut (Lee & Fensham, 1996).

Ongelmanratkaisumallien tarkoituksena on auttaa ratkaisemaan ongelmia tiettyjen vaiheiden ja ohjeiden avulla. Malleja on useita muun muassa Polyan, Deweyn ja Wheathleyn mallit, joissa kaikissa on hyvät ja huonot puolensa.

Polyan ongelmanratkaisumalli koostuu neljästä vaiheesta. Aluksi lähdetään liikkeelle ongelman ymmärtämisestä. Sen jälkeen tehdään suunnitelma ongelman ratkaisemiseksi ja toteutetaan se. Lopuksi pohditaan vielä koko prosessin toimivuutta. Polyan malli lähtee liikkeelle ongelman ymmärtämisestä, mikä voi useissa tapauksissa olla mahdotonta. Voi olla tilanteita, joissa ongelman ymmärtää vasta ratkaisun laskettuaan. Polyan malli soveltuu enemminkin rutiinimuotoisiin laskuihin kuin vaikeampiin ongelmiin.

Deweyn mallissa on viisi vaihetta. Ongelmanratkaiseminen alkaa vaikeuden tai epäilyn tiedostamisesta, minkä jälkeen yritetään tunnistaa ongelma. Ongelman asettelu muutetaan ongelmanratkaisumuotoon tai hypoteesiin, joita sitten testataan. Viimeisessä vaiheessa on löydetty ratkaisu, joka on vielä sovellettava ongelmaan.

Wheatley on myös kehittänyt oman mallinsa ongelmien ratkaisuun. Tässä mallissa on monta kohtaa ja se on hyvin yksityiskohtaisesti kirjoitettu. Ongelman ratkaiseminen aloitetaan lukemalla tehtävä muutaman kerran peräkkäin. Tämän jälkeen kirjoitetaan tehtävässä olleita olennaisia tietoja ylös. Sitten piirretään kuva, tehdään lista ja muodostetaan yhtälö, joka auttaisi ongelman ratkaisemisessa. Jos ratkaisu ei onnistu, luetaan ongelma uudestaan, yritetään uudestaan ja katsotaan mihin se johtaa. Tässä vaiheessa voidaan vertailla tuloksia, ja pohtia edistääkö joku ratkaisusta ongelman ratkaisemista. Tämän jälkeen voidaan vielä lukea tehtävänantoa uudelleen. Jos vastaus on saatu, testataan vielä sen toimivuutta. Jos vastaus ei tunnu olevan oikea, aloitetaan uudelleen alusta. Wheatleyn mallissa on se hyvä puoli, että siinä ongelman ymmärtäminen tulee vähitellen esille, eikä sitä oleteta tiedettävän heti alussa kuten Polyan mallissa (Gilbert et al., 2002).

5.2 Erilaiset ongelmanratkaisijat

Monet heikommat ongelmanratkaisijat saattavat antaa vastauksen eri kysymykseen mitä tehtävässä kysyttiin. Tehtävä saattaa jäädä kesken, ja välitulos ilmoitetaan lopullisena tuloksena. Heikoimmat ongelmanratkaisijat eivät näe tarpeeksi vaivaa yrittäessään kaivaa muistista jo aiheesta ennestään olevaa tietoa. Kehittyneemmät ongelmanratkaisijat eivät ainoastaan sovelta sääntöjä, vaan osaavat niiden lisäksi myös

muuta. He tarkastavat usein tehtävien vastauksen oikeellisuuden ja toisaalta pohtivat myös tehtävänannon todellisuutta. Heikoimmilla oppilailta vaikeuksia tulee siinä vaiheessa, kun he kohtaavat tehtävän, johon he eivät löydä sopivaa laskusääntöä. Useimmiten myös symbolit ja laskeminen tuottavat vaikeuksia.

Hyvin suurella osalla opiskelijoista on ongelmia, koska he opettelevat ulkoa erilaisia sääntöjä ja algoritmeja. He yrittävät tunnistaa tehtävään sopivan säännön ja ratkaista tehtävän sen avulla. Jos he kohtaavat tehtävän, johon he eivät keksi sopivaa sääntöä, tehtävä jää tekemättä. Monet käyttävät algoritmeja, mutta eivät ymmärrä niissä esiintyviä symboleja tai merkintöjä.

Ongelmanratkaisutehtävien pitäisi olla tärkeä osa kursseilla, kotitehtävissä, laboratorioskokeissa ja tuntitehtävissä. Olisi tärkeää tehdä tehtäviä, jotka eivät ratkea suoraan laskukaavalla tai tehtäviä, joihin ei ole selvää ratkaisutapaa. Tällöin oppilaita pakotetaan itse miettimään ratkaisutapaa. Kehittyneimpien ongelmanratkaisijoiden strategioista voimme oppia paljon. Strategioita pitäisi ottaa esille, mutta ei toisaalta antaa oppilaille suoraa ratkaisumallia. Jos tehtävät ovat arkipäivään liittyviä ja totuudenmukaisia, ne motivoivat aina enemmän (Herron & Greenbowe, 1986).

Parhaiten ongelmanratkaisutehtävissä menestyneet opiskelijat käyttivät systemaattista etenemistapaa, ja huonosti menestyneillä ei ollut systemaattisuutta lainkaan. Systemaattinen ratkaisu kuitenkin unohdettiin, jos tehtävä oli mahdollista ratkaista matemaattisen algoritmin avulla. Hyvät ongelmanratkaisijat käyttivät usein matemaattisen kaavan lisäksi myös järkeilymenetelmää. Ongelmanratkaisijoiden erot olivat pienimmät tehtävissä, jotka voidaan ratkaista suoraan kaavaan sijoittamalla. Jos tehtävä oli mahdollista ratkaista laskemalla, kaikki muut strategiat, kuten päättely, unohtuivat. Opettajien pitäisi antaa ratkaistavaksi erilaisia tehtäviä, joissa olisi pakko miettiä ja toisaalta pitäisi opettaa ratkaisemaan tehtäviä systemaattisesti (Gabel, Sherwood & Enochs, 1984).

Heikommat ongelmanratkaisijat aloittavat ongelmanratkaisun vastausta etsimällä eivätkä olleet niinkään huolestuneita vastauksen oikeellisuudesta tai tarkkuudesta. He yrittävät etsiä muistista jo ennalta tutun kaavan, jonka avulla tehtävä ratkeaisi. Kehittyneemmät ongelmanratkaisijat lukevat yleensä tehtävän läpi, ja kun he ovat

saaneet tarpeeksi tietoa he aloittavat ratkaisemaan ongelmaa. Välillä he palaavat tehtävänantoa lukemaan, eivätkä näin kuormita liikaa muistia. Sen sijaan heikommät ongelmanratkaisijat taas lukevat liikaa tehtävänantoa ja menevät sekaisin jo alkuvaiheessa. Kehittyneemmät ongelmanratkaisijat etsivät yleensä tehtävänratkaisua usealla eri tavalla useita eri reittejä pitkin. Heikommät ongelmanratkaisijat eivät useinkaan ymmärrä eri vaihtoehtojen tutkimista, joten on tärkeää, että opettaja auttaa oppilaita pääsemään alkuun ongelmien ratkaisemisessa. Oppilas kokee ongelmanratkaisun mielekkääksi, kun tehtävät vastaavat hänen omaa osaamistasoaan (Smith & Good, 1984).

Oppilaat voidaan jakaa kehitystason mukaan konkreetille ja formaalille tasolle. Eräässä tutkimuksessa testattiin, kuinka hyvin näillä kahdella eri tasolla olevat opiskelijat pärjäävät konkreettisella tasolla olevissa tehtävissä. Vaikka testi vaati ainoastaan konkreettista tasoa, menestyivät formaalilla tasolla olevat opiskelijat silti paremmin. Kokeiden aikana konkreetilla tasolla olevat opiskelijat kehittyivät kuitenkin nopeammin ja paremmin. Formaalilla ja konkreetilla tasolla olevat oppilaat menestyivät yhtä hyvin tehtävissä, jotka vaativat vain asioiden muistamista tai laskemista, mutta ei asioiden soveltamista. Konkreetilla tasolla oleville oppilaille oppimisyksistä oli hyvin paljon hyötyä ja sitä kannattaisikin käyttää opetuksessa (Ward & Herron, 1980).

5.3 Käsitteellinen oppiminen ja matemaattinen ongelmanratkaisu

On hyvin yleistä, että opiskelijat osaavat kemialliset laskut matemaattisesti, mutta he eivät ymmärrä laskujen taustalla olevia käsitteitä. Kemian yliopisto-opiskelijoille tehtiin tutkimus, jos verrattiin opiskelijoiden taitoja perinteisessä ja käsitteellisissä tehtävissä. Perinteiset tehtävät sisältävät laskujen laskemista, mutta niissä ei vaadita lainkaan käsitteen ymmärtämistä. Käsitteellisissä tehtävissä ei lasketa mitään, vaan nimenomaan testataan käsitteen ymmärtämistä. Tehtävät liittyivät suurimmaksi osaksi stoikiometriaan, mutta mukana oli myös kaasuihin liittyviä tehtäviä. Tulos oli se, että opiskelijat osaavat puolet vähemmän käsitteellisiä tehtäviä kuin perinteisiä laskutehtäviä. Laskemisen tärkeys voi johtua siitä, että oppikirjat korostavat laskennallista lähestymistapaa (Nurrenberg & Pickering, 1987; Gabel, Sherwood & Enochs, 1984).

Vastaavanlaisia tuloksia oli saatu myös tutkimuksessa, joka toteutettiin yliopisto-opiskelijoilla. Tutkimuksessa testattiin kaasuihin ja stoikiometriaan liittyvien tehtävien osaamista laskennallisella ja käsitteellisellä tasolla. Tulos oli, että noin puolella opiskelijoista oli heikot käsitteelliset tiedot, kun taas hyvät laskennalliset taidot oli noin 85 prosentilla opiskelijoista. Monet yrittivät ratkaista puhtaasti käsitteellisiä tehtäviä laskemalla ja oli selvää, että opiskelijat eivät tahtoneet millään päästä eroon laskemisesta. Yksi syy voi olla se, että kun laskemiseen on totuttu, ei luoteta enää kemian käsitteelliseen ymmärtämiseen. Opiskelijat pitivät enemmän käsitteellisten tehtävien tekemisestä. Kuitenkin kurssin kokeeseen he halusivat laskuja, koska ne eivät vaadi niin paljon asian ymmärtämistä ja miettimistä kuin käsitteelliset tehtävät (Nakhleh & Mitchell, 1993).

Opiskelijat, jotka menestyivät parhaiten käsitteellisissä tehtävissä, muodostivat enemmän yhteyksiä eri käsitteiden välille ja käyttivät yhteyksiä nopeammin. Lisäksi heillä oli parempi ratkaisustrategia tai etenemistapa. Käsitteellisissä tehtävissä huonosti menestyneillä ei ollut niin paljon käsitteiden välisiä yhteyksiä eikä heillä ollut selvää strategiaa (Gabel & Bunce, 1994; Herron & Greenbowe, 1986).

Amerikkalaisessa yliopistossa tehtiin tutkimus, jossa vertailtiin luentomuotoista opiskelua ja pienryhmässä tapahtuvaa käsitteellistä opiskelua (Phelms, 1996). Useimmiten kemian opetus koostui lähinnä luennoista, ja tunneilla oli hyvin vähän keskustelua tai yhteistä asioiden pohtimista. Opiskelijat olivat tottuneet ratkaisemaan tehtäviä laskemalla, ja kaikenlainen muutos tuntui pelottavalta. Käsitteellinen opetus tuntui liian vaikealta, koska opiskelijat eivät olleet enää varmoja omasta osaamisestaan. Luento-opetuksessa opiskelijat oli passiivisia ja lähinnä vain kopioivat muistiinpanoja. Pienryhmäopiskelussa tehtiin paljon ryhmätöitä ja pohdittiin yhdessä käsitteitä, ei niinkään laskettu. Ennen kokeilua opiskelijoilta oli kysytty mielipiteitä kemiasta. Suurin osa ei pitänyt kemiasta, koska opiskelijoiden mielestä siinä laskettiin liikaa. Laskennallinen lähestymistapa opettaa liikaa siihen, että tehtäviin on olemassa ainoastaan yksi oikea vastaus. Siinä myös unohdetaan luonnontieteiden perusluonne, johon kuuluu havainnointi, pohdinta ja yhdessä työskentely. Saaduista tuloksista voidaan havaita, että opetuksella ja opetusmenetelmillä on suuri vaikutus oppilaisiin. Opetuskokeilun jälkeen pienryhmässä olleet opiskelijat olivat selvästi

motivoituneempia, läsnäolot tunnilla lisääntyivät ja kiinnostus kemiaa kohtaan oli selvästi kasvanut. Ryhmätöiden aikana oppilaat keskustelivat enemmän käsitteistä keskenään ja jakoivat kokemuksiaan muiden kanssa. Aluksi opiskelijoilla oli pelkoja vääristä vastauksista, mutta kun ne saatiin poistettua, koko luokan keskustelut olivat mahdollisia. Ryhmätöiden tekeminen tuntui aluksi hankalalta ja opiskelijat yrittivät välttää sitä kaikin keinoin, mutta jonkin ajan kuluttua tilanne parani. Kysymysten esittäminen ja pohdinta nousi myös esille. On tärkeää, että oppilaat voivat ja uskaltavat kysyä opettajalta, jos he eivät ymmärrä tai osaa. Opettajan olisi tärkeää luoda ilmapiiri, joka on avoin pohdinnalle ja ajattelulle (Phelms, 1996).

5.4 Ongelmanratkaisun opettaminen

Jotta voisimme päästä eroon erilaisten sääntöjen soveltamisesta, oppilaita pitäisi totuttaa erilaisiin tehtäviin, joihin ei ole olemassa mekaanista sääntöä. Hyvistä ongelmanratkaisijoista voimme ottaa oppia ja yrittää toimia heidän mallinsa mukaan. Oppilaita ei pitäisi ohjata tietyn kaavan tai tavan avulla pääsemään suoraa reittiä lopputulokseen. Pitäisi opettaa erilaisia ratkaisutapoja ja ohjata pohtimaan ja miettimään. Lopputulokseen päätyminen ei ole aina helppoa, vaan vaatii useita yrityksiä. Todellisia ongelmia pitäisi käyttää enemmän, koska ne motivoivat oppilaita (Pickering, 1990). Ongelmienratkaisua pitäisi opetella oikeiden ongelmien avulla eikä vain tunnetuilla harjoituksilla. Oikeiden ongelmien ratkaisussa tulee paremmin esiin ongelmanratkaisun eri vaiheet ja niiden opettaminen (Bodner & McMillen, 1986).

Jos oppilaille opetetaan ongelmanratkaisun vaiheita, niitä ei pitäisi antaa valmiina. Tällöin oppilaiden oma ajattelu unohtuu ja he seuraavat vaiheita konemaisesti. Oppilas, joka ei ole suoraan noudattanut ongelmanratkaisun vaiheita, vaan on keksinyt ne itse, on parempi ongelmanratkaisija kuin pelkkä ohjeiden mukaan etenevä oppilas. Kun oppilaat joutuvat itse miettimään ongelmanratkaisun vaiheita, heidän on pakko oppia kemiaa päästäkseen eteenpäin (Lythcott, 1990).

5.5 Ongelmanratkaisutapoja stoikiometrisissä tehtävissä

Oppilaiden ratkaisut stoikiometrisiin laskuihin voidaan luokitella kolmeen eri ratkaisustrategiaan. Ensimmäisessä strategiassa lasketaan käyttäen ainemäärää ja moolimassaa. Toisessa strategiassa lasketaan massojen ja moolimassojen suhteiden avulla. Kolmannessa strategiassa laskun vastaus saadaan loogisesti päättämällä. Laskemista ei siis tarvita lainkaan.

Ruotsalaisessa tutkimuksessa analysoitiin neljän lukio-opiskelijan ratkaisustrategioita eritasoisiin stoikiometrisiin laskuihin (Schmidt & Jigneus, 2003). Tulos oli se, että helpoimmissa laskuissa käytettiin eniten kolmatta strategiaa eli loogista päättelyä. Siirryttäessä vaikeampiin laskuihin suurin osa opiskelijoista alkoi käyttää ensimmäistä tai toista strategiaa. Eli siirryttäessä vaikeampiin laskuihin opiskelijat käyttivät enemmän laskennallisia strategioita ja käyttivät yhä vähemmän loogista päättelyä. Kaikissa laskuissa (yhteensä) eniten käytetyin strategia oli looginen päättely, toiseksi yleisin strategia suhteiden avulla laskeminen ja vähiten käytetyin strategia oli ainemäärän avulla laskeminen. Opiskelijat saattoivat käyttää useampia strategioita saman laskuna aikana. Vaikeimmissa tehtävissä käytettiin myös hyväksi helpoimmissa tehtävissä opittuja taitoja (Schmidt & Jigneus, 2003).

Vastaavanlaisia tuloksia on saatu myös saksalaisilla lukio-opiskelijoilla. Opiskelijat yrittävät viimeiseen asti välttää ainemäärien avulla laskemista ja käyttävät sitä vasta viimeisenä keinona. Strategioiden tuloksia oli verrattu myös oppikirjoissa esiintyneisiin strategioihin. Oppikirjat käyttivät tiettyä strategiaa, kun taas opiskelijat käyttivät yhdistelmiä eri strategioista. Opiskelijat eivät olleet täysin omaksuneet kirjan esittämää strategiaa, vaan olivat itse keksineet oman strategian yhdistelemällä (Schmidt, 1994).

6 YLIOPPILASKIRJOITUKSET

6.1 Ylioppilaskirjoituksista ja vuoden 1996 muutoksesta

Ylioppilastutkinnon tarkoituksena on selvittää onko opiskelija omaksunut opetussuunnitelmassa esitetyt tiedot ja taidot. Lisäksi testataan, onko opiskelijalla riittävä kypsyyden (Lukiolaki, 1998). Ylioppilastutkinnon kysymykset tehdään voimassa olevan opetussuunnitelman pakollisista ja syventävistä kursseista (Ylioppilastutkintoasetus, 1994).

Vuonna 1996 ylioppilastutkintoa uudistettiin. Suurimpia muutoksia oli muun muassa valinnanvapauden lisääntyminen. Pakollisia kokeita olivat äidinkieli, toinen kotimainen ja vieras kieli. Lisäksi kokelas sai itse valita neljänneksi pakolliseksi kokeeksi matematiikan tai reaalikokeen. Kokelaille oli mahdollisuus hajauttaa ylioppilastutkinnon suorittaminen, jolloin kaikkia kokeita ei tarvinnut tehdä yhtä aikaa (Reaalikokeen kehittämistyöryhmän muistio, 2001; Saarinen, 1997).

Uutta oli myös se, että arvosteluun otettiin mukaan uusi arvosana, *eximia cum laude approbatur*. *Eximia cum laude approbatur* sijoittui *magna cum laude approbaturin* ja *laudaturin* väliin. Tämä aiheutti sen, että *laudatur*-arvosanojen osuutta pienennettiin.

Myös tehtävien lukumäärä reaalikokeessa kasvoi. Joissakin aineissa tehtävien lukumäärä nousi jopa useammalla tehtävällä, mutta kemiassa tuli yksi tehtävä lisää eli kemiassa varsinaisia tehtäviä on seitsemän kappaletta ja niiden lisäksi yksi jokeritehtävä. Ylioppilaskirjoitusten tehtävien lukumäärä saadaan kun lasketaan pakollisten ja ylimääräisten kurssien lukumäärä yhteen ja kerrotaan se kahdella. Eli jokaisesta kurssista on tällöin kaksi kysymystä. Ylioppilaskirjoituksissa saa vastata enintään kahdeksaan tehtävään (Ylioppilastutkintolautakunta).

6.2 Kemian asema koulussa ja ylioppilaskirjoituksissa

Jo peruskoulun yläasteella kemia saatetaan kokea vastenmielisenä ja tylsänä aineena. Jos opettajat eivät ole onnistuneet muuttamaan oppilaiden käsityksiä kemiasta yläasteella, saattaa sama näkemys säilyä aina lukioon asti. Yleisesti ottaen lukiossa valitaan kemian kursseja melko vähäisesti ja vähäinen kiinnostus kemiaa kohtaan näkyy myös ylioppilaskirjoitusten vastausten lukumäärässä (Saarinen, 1996; Saarinen, 1997).

Syitä kemian "tylsyyteen" voidaan hakea muun muassa kemian opettajista. Opettajilla voi olla liian heikot tiedot kemiasta tai opettajien käyttämät opetusmenetelmät ovat vähemmän mielenkiintoisia. Useita projekteja opettajien täydennyskouluttamiseksi on jo aloitettu. Erityisen tärkeää olisi kouluttaa peruskoulun yläasteen opettajia, koska mielenkiinto kemiaan pitäisi herättää jo yläasteella (Saarinen, 1996).

Reaalikokeen uudistaminen lisäsi pakollisen reaalin kirjoittajien määrää. Tämä johtui siitä, että kokelaan tuli valita joko matematiikka tai reaalitutkinnon pakolliseksi aineeksi. Monet pitkän matematiikan lukijat valitsivat reaalikokeen pakolliseksi aineeksi ja matematiikan vapaaehtoiseksi aineeksi. Kokonaisuudessaan kemian vastausten määrä ylioppilaskirjoituksissa on uudistuksesta huolimatta pysynyt samana tai jopa laskenut (Saarinen, 2004).

Kemian ylioppilastehtävistä suosituimpia ovat olleet yleensä laskut, nimenomaan stoikiometriset laskut. Opetussuunnitelman uudistamisen myötä myös kokeellisuus on tullut esille ylioppilaskirjoituksissa muun muassa kokeellisina tehtävinä. Niihin on kuitenkin vastattu yleisesti ottaen paljon huonommin kuin laskennallisiin tehtäviin (Lavonen & Erätuuli, 1998).

Vuosina 1994-1996 kemian vastauksien osuus reaalikokeen vastauksista oli n. 5-6 %. Tämän jälkeen kemian vastaajien lukumäärä on vähentynyt noin 4 %:iin. Kemian vastausten määrän vähentyminen saattaa johtua valinnaisuuden lisääntymisestä ja kemian tehtävien vähäisestä lukumäärästä. Kun valinnaisuus lisääntyy, kemiaa valitaan yhä vähemmän. Kemian tehtäviä on ainoastaan kahdeksan kappaletta. Monien kilpailevien oppiaineiden tehtäviä on enemmän, koska niissä oppiaineissa lukion

kurssejakin on enemmän. Tällöin oppilaat valitsevat mieluummin kirjoitettavaksi aineet, joista on enemmän tehtäviä ja täten enemmän valinnanvaraa (Aksela & Juvonen, 1999; Luma-projekti, 1999).

Kemian opettajista 32 % koki valtakunnallisten kokeiden, kuten ylioppilaskirjoitusten, vaikutuksen oppimista estävänä ja 29 % hyödyllisenä. Kannustava vaikutus näkyy motivoitumisena, tavoitteiden selkiytymisenä ja arvioinnin helpottajana. Huonoina puolina opettajien mielestä on kokeiden aikaansaama yksipuolinen opetus ja kokeellisuuden määrän vähentyminen (Aksela & Juvonen, 1999).

6.3 Reaalikokeen uudistaminen

Suomi on ainoa Euroopan maa, jossa on kaikille reaaliaineille yksi yhteinen koe (Reaalikokeen kehittämistyöryhmän muistio, 2001). Muissa Euroopan maissa on jokaiselle reaaliaineelle oma kokeensa. Joissakin Euroopan maissa kirjoitettavat reaaliaineet voi valita vapaasti, kun taas joissakin maissa aineet täytyy valita tietystä aineryhmästä.

Suomen reaalikokeessa kokelaiden on mahdollista keskittyä vain muutamaa aineeseen ja unohtaa muut. Näin on käynytkin, sillä suurin osa kokelaista keskittyy vain yhteen tai kahteen aineeseen. Tämä asettaa reaaliaineet eriarvoiseen asemaan verrattuna muihin lukion oppiaineisiin. Reaaliaineita opiskellaan lukiossa paljon, mutta niiden tietoja ja taitoja ei ylioppilaskirjoituksissa mitata tarpeeksi. Reaaliaineista on suhteessa vähemmän tehtäviä verrattuna lukion muihin oppiaineisiin. Toisaalta on myös mahdollista ottaa kaikki kahdeksan kysymystä eri oppiaineista, jolloin kokelas ehkä omaa joistakin aineista pintapuoliset tiedot. Nykyisessä reaalikokeessa on eri reaaliaineiden tehtävien tasoissa saattanut olla suuria eroja, mutta tehtävien vertailu on hankalaa, koska kussakin oppiaineessa on erilaisia tehtävyytyyppejä.

Reaalikokeen uudistamiseksi on esitetty useita malleja. Yksi malli on se, että jokaiselle reaaliaineelle olisi oma kokeensa. Toisessa mallissa reaalikoe jaettaisiin ainereaaliin ja yleisreaaliin. Yleisreaalissa olisi tehtäviä kaikista reaaliaineista ja kokelaiden pitäisi

vastata vähintään kolmen eri oppiaineen tehtäviin. Lisäksi olisi vielä mahdollista suorittaa ainereaaali, jos olisi jo suorittanut yleisreaalin. Kolmannen mallin mukaan tiettyjä reaalikokeita yhdistettäisiin ja kustakin kokonaisuudesta tulisi kysymyksiä. Neljännen mallin mukaan reaalikoe jaettaisiin vaativaan ja vähemmän vaativaan kokeeseen.

Reaalikokeen uudistusta pohtinut työryhmä päätyi tutkimuksessaan reaalikokeen jakamiseen yksittäisten reaaliaineiden kokeiksi. Kokeisiin olisi tarkoitus varata kaksi päivää aikaa. Äidinkieli pysyisi edelleen kaikille pakollisena kokeena ja lisäksi kokelaat saisivat itse valita loput kolme koetta aineista: toinen kotimainen kieli, vieras kieli, matematiikka tai reaali.

Reaalikokeen kehittämistyöryhmän kriteerit:

- "1) Tutkinnossa reaaliaineilla on oltava yhtä suuri paino kuin niillä on opetussuunnitelman perusteissa.*
- 2) Tutkinnon on lukion päättötutkintona mitattava syvällistä oppiaineen hallintaa ja siihen liittyvää kypsyyttä kussakin tutkintoaineessa.*
- 3) Tutkinnon yksittäisten kokeiden tuloksia on pystyttävä hyödyntämään jatkooppilaitosten opiskelijavalinnassa.*
- 4) Tutkinnon jokaisessa kokeessa on voitava käyttää ainekohtaista suhteellista arvostelua.*
- 5) Tutkinnossa on oltava mahdollista laatia kullekin oppiaineelle ominaisia tehtäviä."*

(Reaalikokeen kehittämistyöryhmän muistio, 2001)

7 OPPIKIRJAT

Oppikirja on merkittävä oppimisen lähde, joka välittää tietoa. Se on tärkeä tieteellisen tiedon ja arkitiedon yhdistäjä. Oppikirjat suunnitellaan voimassaolevien opetussuunnitelmien mukaisesti. Koska vuoden 1994 opetussuunnitelma ei ollut kovin yksityiskohtainen, jäi oppikirjojenkin tekijöille enemmän vaihtoehtoja. Näin ollen oppikirjat saattavat olla hyvinkin erilaisia. Toisaalta vapautta antava opetussuunnitelma saattaa johtaa yhä enemmän oppikirjasidonnaisuuteen, varsinkin jos opettajien aineenhallinta on heikko (Ahtineva, 2000).

Oppikirjoista on tehty paljon tutkimuksia. Varsinkin kemian oppikirjojen ongelma on se, että niissä käytetään paljon kemian terminologiaa, joka saattaa tehdä lukemisesta hankalaa. Oppikirjoista voidaan arvioida tiedon sidosteisuutta eli johdonmukaisesti etenevää tiedon esittämistapaa. Myös tiedon esittämis- ja käsittelytyyli on tärkeä. Uusi tieto täytyisi esittää niin, että se olisi mielenkiintoista ja mahdollisimman hyvin ymmärrettävää. Tavoitteena olisi laatia oppikirjoja, jotka eivät tarjoa lukijalle vain suoria vastauksia, vaan oppikirjan pitäisikin pyrkiä esittämään kysymyksiä, ja johdattelemaan lukijaa etsimään vastauksia. Tehtävillä on tärkeä merkitys, koska ne ohjaavat oppilasta *"tiedon hankintaan, vertailuun, käsittelyyn, soveltamiseen, tulkintaan ja muokkaamiseen"* (Ahtineva, 2000).

8 TUTKIMUSONGELMAT

8.1 Tutkimusongelmien valinta

Tässä tutkimuksessa haluttiin selvittää, mikä on stoikiometrian asema kemian ylioppilaskirjoituksissa ja oppikirjoissa. Stoikiometria on laskennallinen aihe ja siksi on tärkeää selvittää, kuinka suuri osuus kemian ylioppilaskirjoitusten tehtävistä on laskennallisia tehtäviä ja onko laskennallisten tehtävien lukumäärä muuttunut vuosien aikana. Lisäksi tutkittiin, kuinka paljon laskennallisissa tehtävissä on erityisesti stoikiometriaan liittyviä käsitteitä. Haluttiin selvittää myös pitääkö paikkansa väite, jonka mukaan stoikiometria on laaja alue, johon liittyy paljon eri käsitteitä (Huddle & Pillay, 1996). Toisaalta oli tärkeää myös tutkia, miten oppilaat ovat menestyneet stoikiometrian laskuissa, ja kokevatko oppilaat ne mielisinä tehtävinä.

Oppikirjat vaikuttavat paljon sekä oppilaiden oppimiseen että opettamiseen. Toisaalta oppikirjoilla ja opetussuunnitelmalla on suuri vaikutus ylioppilaskirjoituksiin, koska ylioppilaskirjoitusten pitäisi perustua voimassa olevaan opetussuunnitelmaan ja oppikirjoihin. Haluttiin selvittää, minkälaisen aseman stoikiometria on saanut kemian oppikirjoissa. Olisi tärkeää tietää, onko stoikiometrialla sama asema kemian ylioppilaskirjoituksissa ja oppikirjoissa, jotta saataisiin selville, antavatko oppikirjat mahdollisuuden menestyä hyvin ylioppilaskirjoituksissa.

Tutkimusongelmat:

1. Miten stoikiometria näkyy kemian ylioppilaskirjoituksissa?

- 1.1 Kuinka paljon stoikiometrisia laskuja on verrattuna muihin laskuihin?
- 1.2 Mitä käsitteitä ja asioita stoikiometrisissa laskuissa tarvitsee osata?
- 1.3 Miten kokelaat osaavat laskennallisia tehtäviä ja stoikiometrisia laskuja?

2. Miten stoikiometria näkyy lukion kemian oppikirjoissa?

- 2.1 Mitä käsitteitä stoikiometrian yhteydessä otetaan esille?
- 2.2 Kuinka paljon stoikiometriasta on laskuja ja mitä käsitteitä laskuissa tarvitaan?
- 2.3 Toteuttavatko oppikirjat opetussuunnitelman perusteissa olevat vaatimukset stoikiometrian osalta?

8.2 Tutkimuksen suorittaminen

Tämän tutkimuksen kohteena oli kaksi tärkeää osiota: kemian ylioppilaskirjoitukset ja kemian oppikirjat. Tutkimuksen aluksi luokiteltiin vuosien 1994-2003 ylioppilaskirjoitusten kemian tehtäviä laskennallisiin tehtäviin ja muihin tehtäviin. Jotta tehtäviä voitaisiin luokitella, täytyy laatia kriteerit. Laskennallisiksi tehtäviksi ei ole luokiteltu tehtäviä, joissa on ollut teorian lisäksi reaktioyhtälön tulkintaa. Jos reaktioyhtälön tasapainotus on ollut pieni kohta tehtävässä, johon ei muuten ole liittynyt laskuja, ei sitä ole luokiteltu laskennalliseksi tehtäväksi. Joissakin tehtävissä osa kohdista liittyi laskemiseen ja osa kohdista teoriaan. Jos suurin osa tehtävästä oli kuitenkin laskemista, koko tehtävä luokiteltiin laskennalliseksi. Jos vain puolet tehtävästä liittyi laskemiseen, luokiteltiin puolet laskennalliseksi tehtäväksi. Tästä johtuvat taulukossa esiintyvät puolikkaat tehtävät. Puolikkaiden tehtävien pyöristäminen täysiksi tuntui hankalalta ja toisaalta se olisi aiheuttanut jonkin verran virhettä.

Seuraavaksi tutkimuksessa selvitettiin, kuinka paljon ylioppilaskirjoituksissa on stoikiometriaan liittyviä laskutehtäviä. Tällöin on tarpeellista määritellä, mitkä tehtävät ovat luokiteltu stoikiometrisiksi tehtäviksi. Stoikiometriseen tehtävään liittyvät käsitteet:

- ainemäärä, mooli
- moolimassa, massa
- reaktioyhtälön muodostaminen ja tasapainottaminen
- rajoittava reagenssi
- yhdisteen kaavan (empiirinen- ja molekyylikaava) laskeminen
- kaasujen moolitilavuus

Seuraavaksi tutkittiin, mitä käsitteitä missäkin määrin esiintyy stoikiometrisissa tehtävissä. Edellisessä kohdassa stoikiometrisiksi tehtäviksi luokitellut tehtävät käytiin yksitellen läpi ja kirjattiin ylös tehtävien ratkaisuun vaadittavat käsitteet ja sitten taulukoitiin ne. Samalla katsottiin myös, kuinka moni tehtävistä liittyi arkipäivään.

Esimerkki stoikiometrisesta arkipäivään liittyvästä tehtävästä: Ylioppilastutkinto; kemia syksy 1999 tehtävä 2 :

"Kuukivi sisältää ilmeniittiä (mineraalia, jonka kaava on $FeTiO_3$). On ehdotettu, että tulevaisuudessa kuunkävijät voisivat valmistaa tarvitsemansa hengityshapen pelkistämällä ilmeniittiä Maasta tuodun vetykaasun avulla korkeassa lämpötilassa. Tuotteina saadaan vettä, metallista rautaa ja titaanidioksidia. Esitä reaktion yhtälö. Näin saadusta vedestä happi valmistetaan elektrolyytisesti. Kuinka monta grammaa vettä ja happea voidaan valmistaa 55 kilogrammasta kuukiveä, kun oletetaan, että sen ilmeniittipitoisuus on 5,4 massaprosenttia?"

Tutkittiin myös, kuinka paljon kokelaat olivat vastanneet stoikiometriin tehtäviin ja minkälaisia pistekeskiarvoja tehtävissä oli. Kun tutkittiin tehtäviin vastanneiden lukumäärää, otettiin huomioon ainoastaan tehtävät, jotka oli luokiteltu kokonaan stoikiometriseksi. Tehtävät, jotka olivat aiemmin luokiteltu puoliksi stoikiometrisiksi tehtäviksi, ei otettu tässä huomioon. Tämä saa aikaan sen vääristymän, että todellisuudessa stoikiometriin tehtäviin oli vastannut useampi. Pistekeskiarvoja tutkittaessa ongelma oli se, että kaikilta vuosilta ei ole samanlaisia tilastoja tai tilastoja ei ole olemassa lainkaan, esimerkiksi syksyiltä 1994 ja 1995 puuttuu kokonaan tilastot.

Tutkimuksen toisessa osassa tutkittiin kemian oppikirjoja. Mukaan valittiin oppikirjasarjat, joista oli ilmestynyt oppikirjat kaikilta kemian kursseilta. Oli tärkeää aluksi tutkia kaikkien kurssien oppikirjat, koska samat asiat voivat olla eri kirjasarjoissa eri kurssien kirjoissa. Kertauskirjoja ei kuitenkaan otettu mukaan tutkimukseen, koska tutkimusaineistoa löytyy tarpeeksi jo varsinaisten kurssien kirjojen kohdalta. Samasta syystä kirjoista tutkittiin ainoastaan varsinaisia tehtäviä eikä lisä- tai ylimääräisiä tehtäviä. Stoikiometria on hyvin laaja alue ja siksi tutkittavat asiat piti rajata tarkasti.

Kaikki kirjasarjojen kirjat tutkittiin läpi ja valittiin tutkimukseen mukaan kirjat, joissa oli stoikiometriaan liittyvää asiaa. Kaikkia tehtäviä ei kuitenkaan käyty läpi vaan etsittiin suurempia kokonaisuuksia aiheeseen liittyen.

TAULUKKO 1. Tutkimuksessa käytetyt oppikirjat.

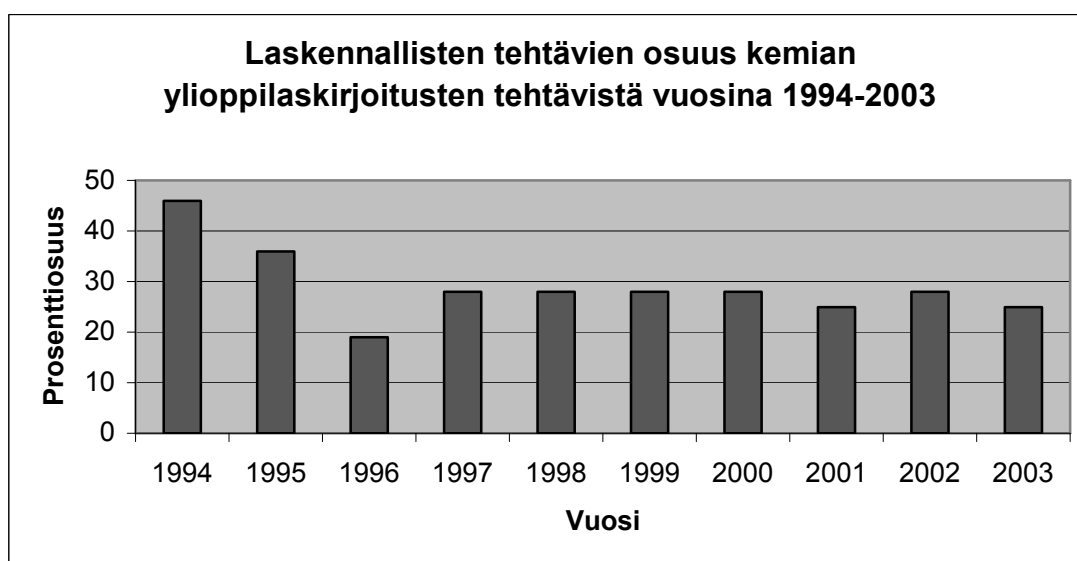
| Kirjasarja | Kirja | Kurssin nimi |
|-------------------|----------------|--|
| A | A ₁ | Peruskurssi |
| | A ₃ | Epäorgaanisen kemian perusteet |
| B | B ₁ | Peruskurssi |
| | B ₂ | Orgaaninen kemia |
| C | C ₁ | Kemia - kokeellinen luonnontiede |
| | C ₃ | Kemian elementit |
| D | D ₁ | Kokeellinen luonnontiede |
| | D ₃ | Alkuaineiden kemia, Tutkimus ja teknologia |

9 TUTKIMUSTULOKSET

9.1 Stoikiometriset ja laskennalliset tehtävät kemian ylioppilaskirjoituksissa

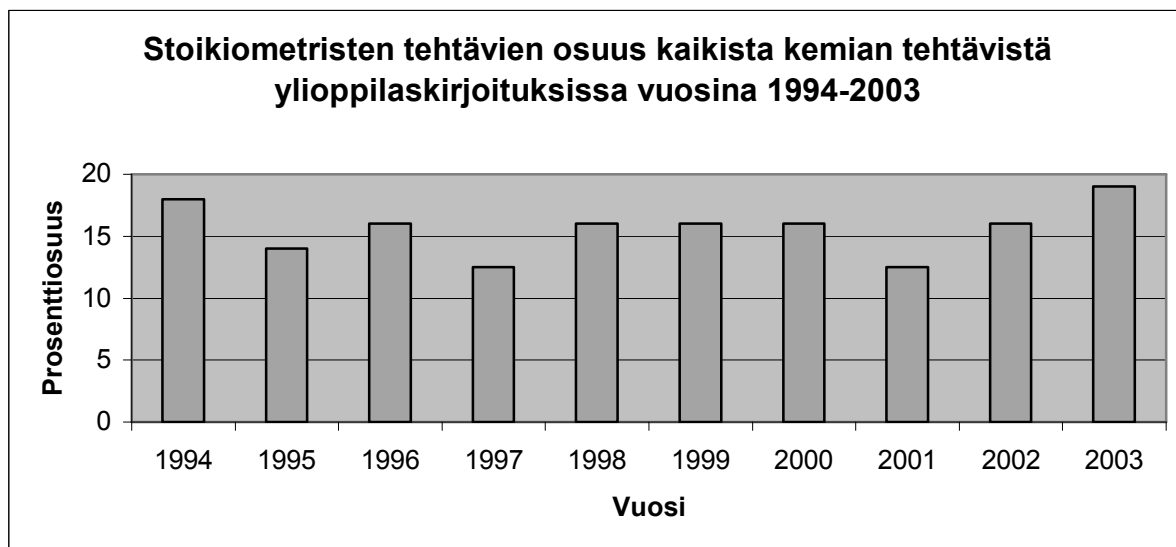
Ennen vuotta 1996 ylioppilaskirjoituksissa oli kemian tehtäviä seitsemän kappaletta. Vuoden 1996 reaalikokeen uudistuksen jälkeen tehtävien lukumäärä nousi yhdellä eli kahdeksaan. Tehtävissä on seitsemän varsinaista tehtävää ja lisäksi yksi jokeritehtävä.

Tutkitulla aikavälillä 1994-2003 kemian ylioppilaskirjoituksissa laskennallisia tehtäviä on ollut eniten vuonna 1994. Siitä lähtien laskennallisten tehtävien lukumäärä on hieman vähentynyt ja ollut viimeiset vuodet samoissa lukumäärissä. Vuonna 1996 laskennallisten tehtävien lukumäärä on selvästi vähentynyt ja seuraavana vuonna lukumäärä on taas noussut. Ehkä reaalikokeen uudistamisella on ollut tähän vaikutusta, sillä kemian ylioppilaskirjoituksiin on pyritty saamaan myös kokeellisia tehtäviä laskennallisten tehtävien rinnalle. Kuitenkin voidaan havaita, että laskennallisuus on kemian ylioppilaskirjoituksissa hyvin tärkeä osa, koska keskimäärin kolmannes tehtävistä liittyy jollakin tavalla laskemiseen. Kevään ja syksyn ylioppilaskirjoituksilla ei ole merkittävää eroa laskennallisten tehtävien lukumäärässä (Kuva 4; LIITE 1 Taulukko 5, Taulukko 6).



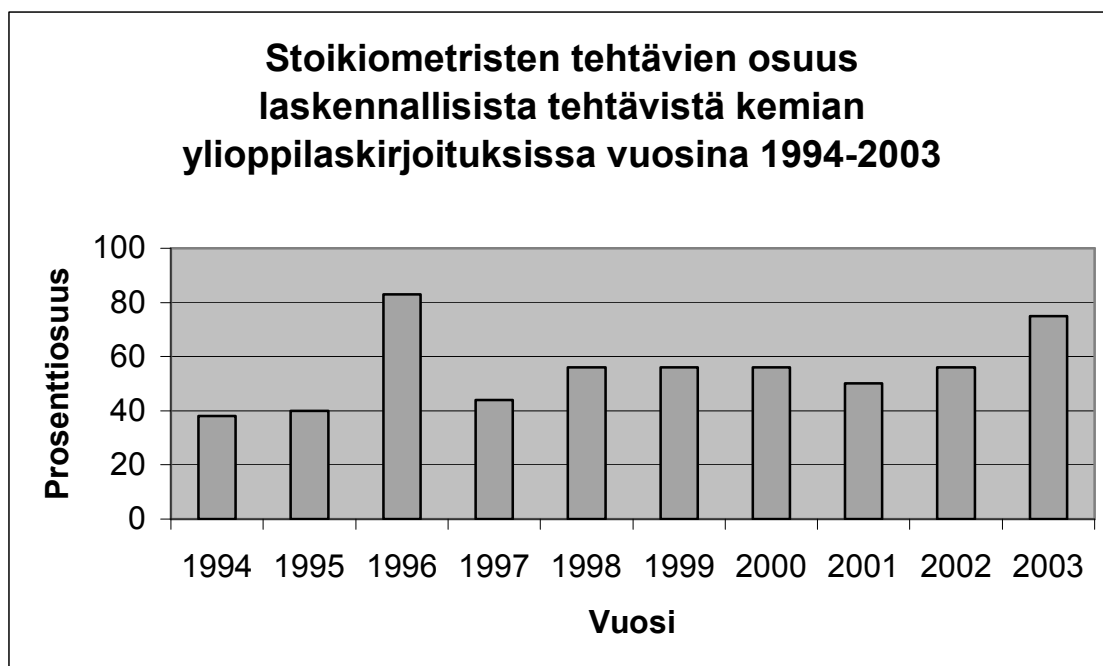
KUVA 4. Laskennallisten tehtävien osuus kemian ylioppilaskirjoitusten tehtävistä vuosina 1994-2003.

Stoikiometrinen tehtävien osuus kaikista kemian ylioppilaskirjoitusten tehtävistä on ollut keskimäärin noin 15 % tutkitulla aikavälillä 1994-2003. Stoikiometrinen tehtävien lukumäärä on melko sama kevään ja syksyn ylioppilaskirjoituksissa. Mitään suuria muutoksia ei ole tapahtunut stoikiometrinen tehtävien lukumäärässä (Kuva 5; LIITE 1 Taulukko 7, Taulukko 8).



KUVA 5. Stoikiometrinen tehtävien osuus kaikista tehtävistä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

Laskennallisista tehtävistä keskimäärin noin puolet on stoikiometriaan liittyviä. Ehkä pientä nousua stoikiometrinen laskujen lukumäärässä on havaittavissa. Tutkitulla aikavälillä vuonna 1994 oli vähiten stoikiometrisia tehtäviä. Vuonna 1996 jopa yli 80% laskennallisista tehtävistä on ollut stoikiometriaan liittyviä (Kuva 6; LIITE 1 Taulukko 9).



KUVA 6. Stoikiometrinen tehtävien osuus laskennallisista tehtävistä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

9.2 Stoikiometrisissa tehtävissä tarvittavat käsitteet

Kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003 stoikiometriaan liittyvissä tehtävissä tarvittiin eniten käsitteitä ja taitoja: ainemäärä, massa, moolimassa, reaktioyhtälön tasapainottaminen, reaktioyhtälön muodostaminen sekä reaktioyhtälön kertoimien suhde. Laskuissa vaaditaan jonkinlaista kokonaisuuden osaamista. Tehtävissä annetaan harvoin enää valmista reaktioyhtälöä tasapainotettavaksi, vaan reaktioyhtälö pitää myös itse muodostaa alusta alkaen. Stoikiometrisissa tehtävissä vaaditaan monien käsitteiden ja taitojen osaamista. Juuri tämän takia ne koetaan vaikeiksi (Kuva 7; LIITE 1 Taulukko 10).



KUVA 7. Kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003 stoikiometrissa tehtävissä tarvittavat käsitteet.

Lisäksi tutkittiin myös ovatko käsitteet vaihdelleet vuosien aikana. Syksyn ja kevään tulokset saman vuoden kohdalta yhdistettiin, jotta tuloksia olisi helpompi tarkastella.

Taulukossa 2 on esitetty eri käsitteiden esiintyminen eri vuosien aikana. Mitään selvää muutosta ei ole tapahtunut, yksittäisten käsitteiden määrä on hieman vaihdellut. Kaasujen moolinen tilavuus on ollut useammin esillä vuosina 1994-1996, ja myöhemmin sen esiintyminen on vähentynyt. Reaktioyhtälön muodostaminen on hieman lisääntynyt vuodesta 1994 lähtien. Reaktioyhtälön tasapainottaminen, kertoimien ja ainemäärien suhde, ainemäärä, massa ja moolimassa ovat olleet aina tärkeitä, muutosta ei ole tapahtunut (Taulukko 2).

TAULUKKO 2. Stoikiometristen tehtävien käsitteiden jakaantuminen kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

| Tehtävien lukumäärät joissa käsitettä/taitoa tarvittiin vuosittain | Vuosi | Vuosi | Vuosi | Vuosi | Vuosi | Vuosi | Vuosi | Vuosi | Vuosi | Vuosi | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | yht. |
| Reaktioyhtälön muodostaminen | - | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 15 |
| Reaktioyhtälön tasapainottaminen | - | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 19 |
| Reaktioyhtälön kertoimien ja ainemäärien suhde | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 25 |
| Ainemäärä, massa, moolimassa | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 28 |
| Kaasujen moolinen tilavuus | 1 | 2 | 2 | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - | 8 |
| Massaprosentti | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | 2 | 1 | 5 |
| Tilavuusprosentti | - | 1 | - | - | - | - | - | - | 1 | - | 2 |
| Puhtausprosentti | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Empiirinen kaava | 1 | 1 | 1 | - | - | 1 | - | - | - | 2 | 6 |
| Molekyylikaava | - | - | 1 | - | - | 1 | 1 | - | - | 2 | 5 |
| Konsentraatio | - | - | 1 | - | - | - | 1 | - | 1 | 1 | 6 |
| Tiheys | - | 1 | - | 1 | 1 | - | 1 | 1 | - | - | 5 |
| Ideaalikaasujen tilanyhtälö | - | - | - | 1 | 1 | - | - | 1 | - | - | 3 |
| Rajoittava reagenssi | - | - | - | - | 1 | - | 1 | 1 | - | - | 3 |

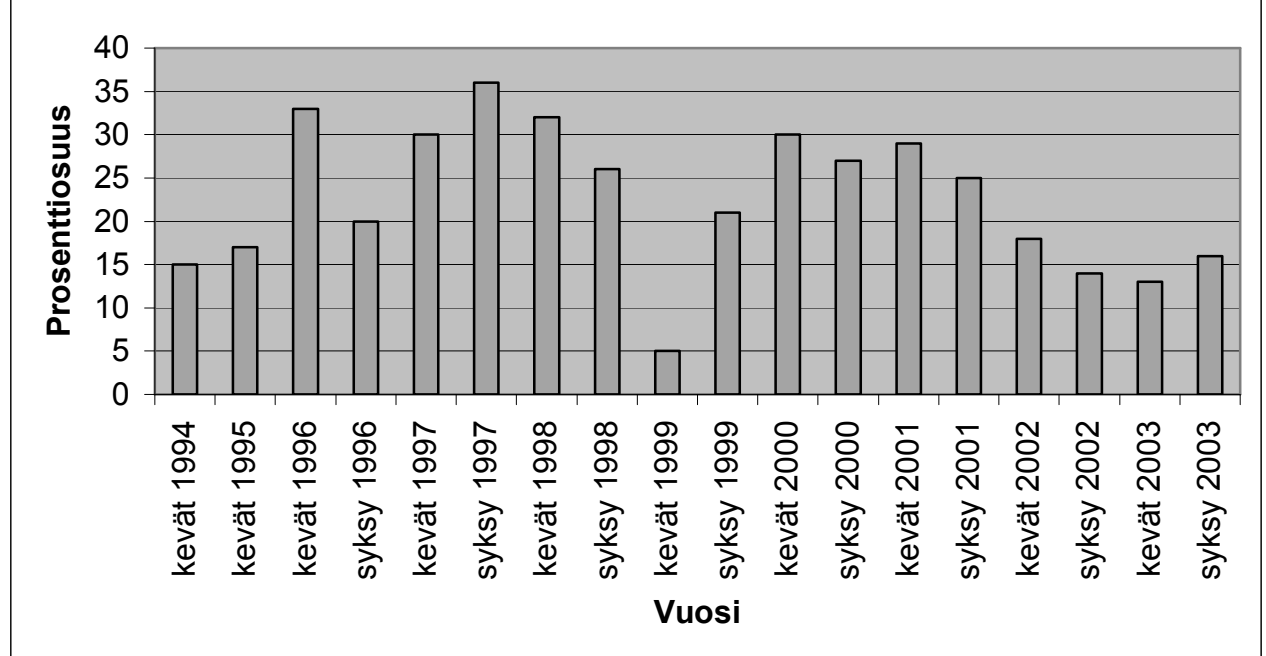
Ylioppilaskirjoitusten stoikiometriset tehtävät on pyritty saamaan lähelle arkipäivää. Noin puolet stoikiometrisista tehtävistä liittyy jollakin tavalla arkipäivään, kuten avaruustekniikkaan, autoihin, lannoitteisiin. (LIITE 1 Taulukko 11).

Muutamissa stoikiometrian tehtävissä tarvittiin tietoja ja taitoja joltain muulta kemian alueelta. Pelkkä stoikiometrian osaaminen ei riittänyt ainakaan täysiin pisteisiin. Tehtävissä vaadittiin muun muassa pH-arvojen ja neutraloinnin osaamista.

9.3 Oppilaiden osaaminen kemian ylioppilaskirjoituksissa stoikiometrisissa tehtävissä

Stoikiometrisia laskuja on ollut ylioppilaskirjoituksissa n. 10-20 % kaikista kemian tehtävistä (Kuva 5). Tehtävien lukumäärä on suuri ja niihin myös vastataan paljon. Noin 5-36 % kokelaista on vastannut stoikiometrisiin tehtäviin. Mitään kovin selvää muutosta vuosien 1994-2003 aikana ei ole tapahtunut. Vuosina 1994-1996 stoikiometrian tehtäviin on vastannut n. 16 % kokelaista. Vuosina 1996-2001 on ollut hieman enemmän vastaajia n. 30 % kokelaista. Viime vuosina 2002-2003 vastaajien lukumäärä on taas hieman laskenut n. 15 %:iin. Syksyn ja kevään kirjoitusten välillä ei ole eroavaisuutta (Kuva 8; LIITE 1 Taulukko 12).

Stoikiometriisiin tehtäviin vastanneiden varsinaisten kokelaiden prosenttiosuudet kemian ylioppilaskirjoituksissa 1994-2003



KUVA 8. Stoikiometriisiin tehtäviin vastanneiden varsinaisten kokelaiden prosenttiosuudet kemian ylioppilaskirjoituksissa 1994-2003.

Stoikiometrisia tehtäviä on kemian ylioppilaskirjoituksissa paljon ja niihin vastataan melko hyvin. Tästä huolimatta pistekeskiarvot ovat hyvin korkeita. Pakollisen ja ylimääräisen reaalien kirjoittaneiden välillä ei ole eroa. Joinakin vuosina pakollisen reaalien kirjoittaneilla on ollut parempi pistekeskiarvo ja joinakin vuosina ylimääräisen reaalien kirjoittaneilla. Mitään selvää muutosta suuntaan tai toiseen ei ole tapahtunut (LIITE 1 Taulukko 13; Ylioppilastutkintolautakunnan tilastot).

9.4 Oppikirjoissa olevat stoikiometrian käsitteet, määritelmät ja etenemistapa

Aluksi tutkittiin, mitä käsitteitä oppikirjat ottavat esiin stoikiometriasta ja miten käsitteet määritellään. Lisäksi tutkittiin, miten stoikiometrian asiat ovat jakautuneet kemian eri kursseille.

Kaikissa tutkittavissa oppikirjoissa lukion ensimmäisen kurssin *Kemia - kokeellinen luonnontiede* oppikirjassa käsitellään ainemäärä.

Kirjassa A₁ ainemäärän käsittely aloitetaan hiukkasten lukumäärästä, suhteellisesta atomimassasta ja Avogadron vakiosta. Tämän jälkeen määritellään mooli. Avogadron vakiota havainnollistetaan kuvalla hiilen atomista, jossa on teksti "*Yksi isotoopin hiili-12 atomi sisältää kuusi protonia, kuusi neutronia ja kuusi elektronia. Kun tätä isotooppia punnitaan 12 grammaa, niin tässä määrässä on $6,022 \cdot 10^{23}$ hiiliatomia*" (A₁ s. 31). Tämä havainnollistaa Avogadron vakiota ja moolia, koska moolin määritelmä pelkästään isotoopin hiili-12 avulla voi olla vaikea ymmärtää. Lisäksi kirjassa on kuva, jossa on eri määrä erilaisia kappaleita. Sillä havainnollistetaan sitä, että Avogadron luku helpottaa lukumäärän ilmaisemisessa. Tässä yhteydessä otetaan esille myös suhteellinen kaava- ja molekyyli- ja molekyylimassa. Kun ainemäärä on käsitelty, kirja A₁ esittelee moolimassan. Suhdekaavan laskemista ei erikseen käsitellä, mutta yhdessä esimerkissä se käydään läpi. Ainemäärän yhteydessä kirja A₁ käsittelee myös konsentraatiota, massa- ja tilavuusprosentteja.

Kirjan A₁ esimerkit etenevät melko hyvin helposta vaikeampaan ja käsitteitä otetaan vähitellen esille. Edelliseen esimerkkiin lisätään jokin uusi käsite, mutta ei useampia samalla kerralla. Kun laskukaavoja käytetään ensimmäisen kerran ne ovat perusmuodossaan esimerkiksi $n=m/M$. Vasta seuraavissa esimerkeissä laskukaavan perusmuodon muuttamista ehkä tarvitaan esimerkiksi muotoon $m = n \cdot M$.

Ennen ainemäärää kirja B₁ käsittelee kemian merkkikieltä. Esille otetaan suhteellinen kaava- ja molekyyli- ja molekyylimassa, atomimassa ja massaprosentti. Tässä yhteydessä lasketaan myös suhdekaava yhdessä esimerkissä. Ainemäärän käsittely alkaa ainemäärän ja moolin havainnollistamisella. Taulukon ja kuvan avulla havainnollistetaan erilaisten lukumäärien ilmaisemista. Ainemäärän jälkeen esitellään Avogadron vakio ja moolimassa. Atomi-, molekyyli- ja kaavamassa otetaan myös esille. Kirja B₁ ei käsittele konsentraatioita tai pitoisuuksia tässä yhteydessä vaan eri kohdassa.

Kirjan B₁ kaikki esimerkit eivät ole vaikeusjärjestyksessä. Jo ensimmäisessä esimerkissä laskukaavoja tarvitsee muunnella, pelkkä perusmuoto ei riitä. Ensimmäisissäkin esimerkeissä on useita käsitteitä, kuten: ainemäärä, massa, moolimassa, Avogadron

vakio ja lukumäärä N . Sen sijaan suhdekaavan laskemiseen liittyvissä esimerkeissä edetään vähitellen. Aluksi tehdään yleisiä havaintoja ja vasta seuraavassa esimerkissä lasketaan suhdekaava.

Kirja C_1 aloittaa aineen määrän käsittelyn hiukkasten lukumäärän tarkastelulla. Ainemäärän yhteydessä tuodaan esiin myös Avogadron vakio lyhyesti. Moolia havainnollistetaan kuvalla, jossa on yksi mooli eri alkuaineita ja pohditaan mikä on niiden massa. Tämän jälkeen moolimassa määritellään massan ja ainemäärän avulla. Sitten käsitellään atomi-, molekyyli- ja kaavamassa. Ainemäärän yhteydessä käsitellään reaktioyhtälön käyttö, tasapainottaminen ja kertoimien suhteet. Tämän jälkeen siirrytään kaasuihin ja esiin tulee myös Avogadron laki. Kaasuista otetaan esiin myös tilavuus, ainemäärä, tiheys ja moolitilavuus. Kirja C_1 ei käsittele ainemäärän yhteydessä pitoisuuksia tai konsentraatioita.

Kirjan C_1 esimerkit etenevät melko hyvin helpommasta vaikeampaan. Esimerkeissä on pyritty selkeyteen ja niitä onkin helppo seurata. Käsitteet tulevat esille vähitellen ja yleensä ensimmäisissä esimerkeissä laskukaavat ovat perusmuodossaan. Jotkut laskukaavat on merkitty riviin peräkkäin esimerkiksi $n=m:M$, mikä voi tuntua hankalalta hahmottaa, jos siihen ei ole tottunut.

Kirja D_1 aloittaa stoikiometrian molekyyli- ja kaavamassan käsittelyllä. Tämän jälkeen otetaan hiukkasten lukumäärä ja ainemäärä. Ainemäärän jälkeen tulee Avogadron vakio. Tämän jälkeen määritellään moolimassa ja sekä kaava, joka yhdistää ainemäärän, massan ja moolimassan. Moolia yritetään havainnollistaa kuvan avulla, jossa on yksi mooli eri alkuaineita. Esimerkit etenevät helposta vaikeampaan. Aluksi lasketaan pelkkää moolimassaa ja vähitellen laskuihin lisätään mukaan ainemäärä ja massa. Kirja D_1 ei käsittele konsentraatioita ainemäärän yhteydessä, vaan liuosten yhteydessä.

Kirjojen etenemistavat poikkeavat toisistaan hieman, mutta eivät kovin suuresti. Kirjan C_1 etenemistapa poikkeaa eniten muista, koska kaasuihin liittyvät asiat käsitellään jo kemian ensimmäisessä kurssissa. Kirjoissa A_1 ja D_1 ei ole kaasuihin liittyvää asiaa, vaan ne on siirretty kolmannen kurssin sisältöihin. Kirjassa B_1 ei myöskään ole kaasuja, vaan vasta toisessa kurssissa. Lisäksi kirja A_1 on ainoa, joka käsittelee konsentraation ja pitoisuudet ainemäärän yhteydessä.

Kirja B₁ poikkeaa muista kirjoista, koska se ei käsittele reaktioyhtälöitä tai niiden tasapainottamista ensimmäisen kurssin kirjassa. Reaktioyhtälöt otetaan esiin vasta toisen kurssin kohdalla.

Kirjassa A₁ käytettiin paljon havainnollistavia kuvia ja taulukoita apuna. Yleensä esimerkkienkin kohdalla oli jonkinlainen kuva, joka auttoi hahmottamaan tilannetta. Muissa kirjoissa oli hyvin vähän kuvia, eivätkä ne välttämättä olleet kovin havainnollistavia.

Esimerkit etenevät helpoista vaikeampaan parhaiten kirjoissa A₁, C₁ ja D₁. Kirja B₁ eteni osittain helposta vaikeampaan, mutta ei kaikilta osin. Jos vertaillaan kirjojen esimerkkien vaikeustasoa, niissä on huomattavia eroja. Kirjan A₁ esimerkit ovat vaikeimpia ja toisaalta ne ovat pidempiä verrattuna muihin kirjoihin. Kirjassa A₁ on paljon esimerkkejä, ensimmäiset helppoja ja viimeiset vaikeampia. Helpoimmissa esimerkeissä lasketaan yhdisteen kaavamassaa ja vaikeimmissa otetaan ainemäärä-laskuihin mukaan tiheys ja tilavuus.

Kirjassa B₁ ei taas ole kovin helppoja esimerkkejä ainemäärän kohdalla. Tehtävissä käytetään useita kaavoja ja niissä on monta kohtaa, ei ole yhtään tehtävää, jossa laskettaisiin esimerkiksi pelkkää kaavamassaa. Suhdekaava-laskuissa sen sijaan on helppoja ja vaikeita esimerkkejä.

Kirjassa C₁ on ainemäärän yhteydessä helppoja esimerkkejä, jotka vähitellen vaikeutuvat. Vaikeustasossa ei kuitenkaan päästä samalle tasolle kuin kirjoissa A₁ ja B₁. Muissa kirjoissa on paljon esimerkkejä Avogadron vakiosta, mutta kirjassa C₁ ei ole yhtään.

Kirjassa D₁ on paljon lyhyitä esimerkkejä, jotka ovat kaikki melko yksinkertaisia verrattuna muiden kirjojen tehtäviin. Ensimmäisissä helpoimmissa esimerkeissä lasketaan kaavamassoja erilaisille yhdisteille. Vaikeimmissa käytetään kahta kaavaa; $n=m/M$ ja $n=N/N_A$. Esimerkit ovat hyvin selkeästi esitetty ja helpommin ymmärrettävissä kuin muissa kirjoissa.

9.4.1 Reaktioyhtälön tasapainotus

Kirjassa A₁ kerrotaan hyvin lyhyesti reaktioyhtälöistä ja niiden käytöstä. Reaktioyhtälön muoto esitetään selkeästi *lähtöaineet* -> *reaktiotuotteet*. Reaktioyhtälön tasapainotuksen kerrotaan johtuvan aineen häviämättömyyden laista. Samassa selvitetään myös stoikiometria sanan merkitys. Huomautetaan myös alaindeksien ja reaktioyhtälön kertoimien eroista. Reaktioyhtälöt esitetään kuitenkin vain symbolien avulla kaavoina.

Kirja B₂ ottaa reaktioyhtälön tasapainotuksen esiin toisen kurssin kirjassa. Asiasta ei ole erikseen kerrottu mitään, vaan se esitellään esimerkin yhteydessä. Reaktioyhtälön yleisestä muodosta mainitaan ainoastaan se, että reaktioyhtälöön tulee lähtöaineiden ja tuotteiden kaavat. Ei mainita mitään nuolista, plus-merkeistä ja siitä mille puolelle reaktioyhtälöä aineet merkitään. Tasapainotuksen yhteydessä ei oteta esiin aineen häviämättömyyden lakia lainkaan. Reaktioyhtälöt esitetään ainoastaan symbolien avulla kaavoina.

Kirja C₁ käsittelee reaktioyhtälöt myös melko lyhyesti. Reaktioyhtälön yleisestä muodosta kerrotaan, että lähtöaineet tulevat vasemmalle ja tuotteet oikealle. Tekstin seasta se on kuitenkin hankalampi havaita. Sen sijaan kirjan A₁ yhtälömuoto on selvempi. Reaktioyhtälön tasapainottamisen yhteydessä ei mainita aineen häviämättömyyden lakia. Reaktioyhtälöt esitetään sekä sanallisesti että kaavoilla.

Kirja D₁ käsittelee reaktioyhtälöitä melko laajasti jo ensimmäisen kemian kurssin kirjassa. Reaktioyhtälön muoto tuodaan selvästi esiin yhtälöllä *lähtöaineet* -> *reaktiotuotteet*. Samassa yhteydessä käsitellään myös reaktiossa vapautuva tai sitoutuva energia sekä aktivoitumisenergia. Esille tuodaan myös se, että reaktio voi tapahtua kahteen suuntaan ja, että kemiallisissa reaktioissa sidokset voivat purkautua. Reaktioyhtälön muoto ja merkitys käydään tarkasti läpi esimerkkien avulla. Reaktioyhtälöt esitetään sanallisesti, kaavoilla ja kuvina. Selvitetään mitä kertoimet ilmaisevat ja mitä merkintöjä reaktioyhtälöön voidaan tehdä, esimerkiksi olomuodoista.

Yleinen havainto tutkituista oppikirjoista on se, että niissä kerrotaan hyvin lyhyesti reaktioyhtälöön liittyvistä asioista ja tasapainottamisesta. Monia tärkeitä kohtia on

jätetty perustelematta, kuten tasapainotuksen perusteleminen aineen häviämättömyyden lailla.

Reaktioyhtälön esittäminen sanallisesti, kuvan avulla ja symbolisesti auttaa hahmottamaan, mutta ainoastaan kirjassa D_1 olivat kaikki nämä esitystavat. Aineen häviämättömyyden laki esitetään vain kirjassa A_1 , vaikka sen esittäminen auttaisi ymmärtämään miksi reaktioyhtälöitä tasapainotetaan. Ainoastaan kirja D_1 mainitsee käänteisreaktiosta, sidosten purkautumisista ja olomuotojen merkitsemisestä reaktioyhtälöön.

9.4.2 Moolin määritelmät

Mooliin löytyy monia erilaisia määritelmiä. Kirja A_1 määrittelee moolin vuoden 1971 määritelmän mukaan, joka löytyy myös taulukkokirjasta.

"Yksi mooli mitä tahansa ainetta sisältää yhtä monta tarkasteltavaa hiukkasta (atomia, ioneja, molekyyliä jne.) kuin hiiliatomeja on 12 grammassa hiili-12-isotooppia" (A_1 s.31)

Kirjan A_1 takana olevissa käsitteiden selityksissä mooli kuitenkin määritellään Avogadron vakion avulla (A_1 s.154).

Kirja B_1 määrittelee moolin Avogadron vakion avulla.

"Mooli on ainemäärän yksikkö. Yksi mooli mitä tahansa ainetta sisältää $6,022 \cdot 10^{23}$ kpl rakenneyksiköitä, joka on sama kuin suhteellisen kaavamassan (atomimassan, molekyyli­massa) ilmoittama grammamäärä ainetta." (B_1 s. 110)

Kirjat C_1 ja D_1 määrittelevät moolin isotoopin hiili-12 avulla, kuten kirja A_1 .

9.4.3 Toisen ja kolmannen kemian kurssien oppikirjat

Stoikiometriaa käsitellään ensimmäisen kurssin lisäksi muillakin kemian kursseilla, yleensä kolmannella kurssilla. Kirjassa A₃ käsitellään kemian laskutekniikoita. Alussa kerrataan hieman stoikiometrian peruslaskuihin liittyviä asioita: reaktioyhtälö, ainemäärien suhteet ja laskukaavat. Rajoittava reagenssi esiteltiin jo kirjassa A₁, mutta kirjassa A₃ se esitellään tarkemmin. Rajoittavaa reagenssia havainnollistetaan kuvassa, jossa pohditaan, kuinka monta kokonaista työohjetta saadaan muodostettua käytettävissä olevista osista: kansi, johdanto jne. Lisäksi esimerkissä otetaan esiin kaksi mahdollista tapaa, joilla rajoittavan reagenssin laskut voidaan laskea. Kirja A₃ esittelee myös tässä yhteydessä reaktiosarjat. Niihin esitetään kaksi mahdollista ratkaisutapaa melko yksityiskohtaisesti. Reaktiosarjojen jälkeen on syventävän tiedon osuus seoslaskuista.

Kirjasarja B käsittelee stoikiometrian kemian toisessa kurssissa *Orgaaninen kemia*, kun taas muut tutkittavat kirjasarjat käsittelevät stoikiometriaa kolmannessa kurssissa. Kirjan B₂ alussa kerrataan suhdekaavan laskemista esimerkin avulla. Reaktioyhtälöiden tasapainotus käsitellään palamisreaktion yhteydessä olevan esimerkin avulla. Reaktioyhtälön yleisestä muodosta, kuten merkitsemisestä ei kuitenkaan mainita mitään. Sen jälkeen kerrataan laskukaavoja ja esitetään ainemäärien suhteet kemiallisessa reaktiossa. Seuraava kappale käsittelee kaasulakeja ja kaasujen yleistä tilanyhtälöä. Rajoittavasta reagenssista ei mainita mitään.

Kirja C₃ on ainoa tutkituista kirjoista, joka on laittanut kappaleen otsikoksi suoraan *stoikiometria*. Alussa on kertauksena reaktioyhtälöön liittyviä laskuja: empiirinen kaava, reaktioyhtälön kertoimet ja ainemäärien suhteet. Tämän jälkeen on lähtöaineiden riittävyys, reaktiosarja ja seoslaskut. Sen jälkeen ovat vuorossa kaasulaskut, Avogadron laki, kaasujen tilanyhtälö ja kaasun moolimassan määrittäminen.

Kirja D₃ käsittelee stoikiometriaa laajasti kolmannen kemian kurssin alussa. Alussa kerrataan hieman kemiallisten laskujen suorittamista ja laskukaavoja. Tässä vaiheessa annetaan myös ohjeita laskujen ratkaisuun. Seuraavassa kappaleessa esitellään

Avogadron laki, Boylen laki ja kaasujen yleinen tilanyhtälö. Reaktioyhtälön tasapainottaminen hapetuslukujen avulla esitetään tässä yhteydessä.

Aihe luokiteltiin käsitellyksi kirjassa, jos se oli jossain esimerkissä. Pelkkä asian mainitseminen tekstissä lyhyesti ei riittänyt, vaan sen piti olla osa jotain esimerkkiä (LIITE 1, Taulukko 14).

Kuten taulukosta 8 voi havaita, on oppikirjojen välillä suuria eroja. Oppikirjojen suuret erot saattavat johtua vuoden 1994 väljästä opetussuunnitelmasta. Kirjoista voi selvästi havaita, että jotkut kirjat painottavat enemmän laskennallisuutta ja jotkut enemmän kokeellisuutta. Jos opettaja etenee kurssilla oppikirjan mukaan, eri koulujen oppilailla saattaa kurssin jälkeen olla hyvin erilaiset tiedot (LIITE 1, Taulukko 14).

Kirjassa A_1 ei ainemäärän ja moolin yhteydessä puhuta stoikiometriasta. Sen sijaan ensimmäisen kurssin reaktioyhtälöiden yhteydessä käytetään sanaa stoikiometria ja sanan merkitys selvitetään. Kolmannen kurssin kirjassa A_3 puhutaan kemian laskutekniikasta, mutta stoikiometria-sana esiintyy myös otsikossa ja sen merkitys selvitetään. Kirjoissa B_1 , B_2 ja C_1 ei missään vaiheessa käytetä stoikiometria-sanaa. Kolmannen kurssin kirjassa C_3 stoikiometria on isona otsikkona, mutta sanan merkitystä ei selvitetä. Kirja D_1 ei mainitse stoikiometria-sanaa, mutta kirja D_3 puhuu stökiometriasta ja selvittää sanan merkityksen.

Kirjojen A_1 ja A_3 takana on kemian historian merkkihenkilöistä kerrottu lyhyesti. Ensimmäisen kurssin kirjan A_1 takana on kerrottu Amadeo Avogadrosta lisälukemisena. Kirjoissa B_1 ja B_2 ei ole esillä kemian historiaa. Kirjan C_1 takana on lyhyesti noin viidellä rivillä kerrottu joistakin kemian historian merkkihenkilöistä, muun muassa Amadeo Avogadrosta. Kirjat D_1 ja D_3 mainitsevat kirjan tekstissä aiheen kohdalla lyhyesti historiasta, lähinnä keksijästä. Kirja D_3 sisältää tietoa kemian historian henkilöistä muun muassa Van der Waalsista tekstin yhteydessä. Kirjojen D_1 ja D_3 takana on lisälukemisto, jossa on mielenkiintoista tietoa myös kemian historiasta.

Ainoastaan kahdesta tutkimusaineistona olleesta oppikirjasta löytyi jonkinlaisia ohjeita kemiallisen laskun ratkaisemiseksi. Kirjassa D_1 oli nelivaiheinen ohje ainemäärään liittyvien tehtävien ratkaisemiseksi. Ohje oli selkeä, koska se oli lyhyt ja ytimekäs.

Saman kirjasarjan kolmannen kurssin kirjassa D₃ oli sama ohje auki kirjoitettuna tekstin muotoon. Kirjassa B₂ oli esimerkin yhteydessä numeroitu ja eritelty laskun eri vaiheita. Vaiheet tulivat esille ainoastaan tämän yhden esimerkin yhteydessä. Ohjeet olivat pitkiä ja niitä oli hankala hahmottaa tekstistä. Muissa kirjoissa ei ollut lainkaan ohjeita laskun suorittamiseksi.

Yleisesti oli havaittavissa, että suurin osa stoikiometriaan liittyvästä asiasta oppikirjoissa oli lähinnä laskuja. Kaavat lueteltiin peräkkäin ja käsitteet selitettiin hyvin lyhyesti. Ei selitetty, miksi tehdään mitään, vaan alettiin suoraan laskea.

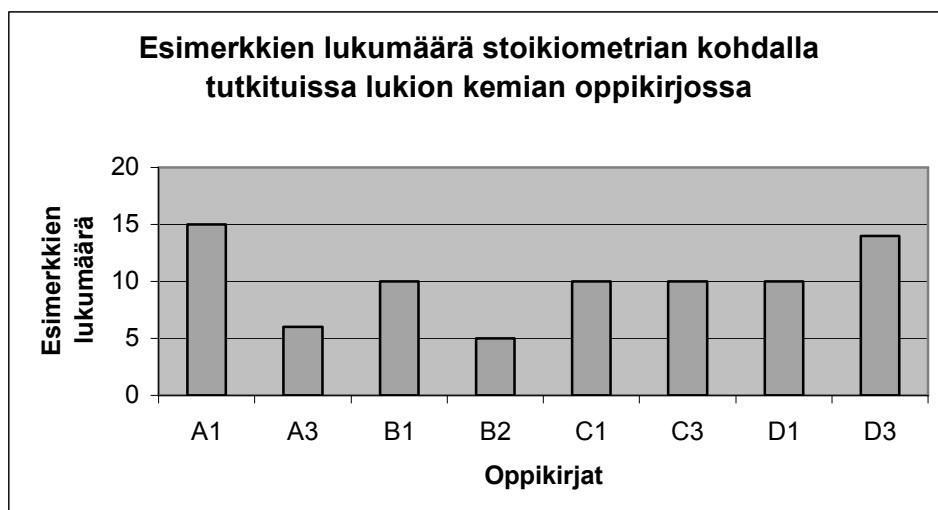
9.5 Oppikirjoissa olevat stoikiometriset tehtävät ja niissä olevat käsitteet

Aluksi tutkittiin, kuinka paljon oppikirjoissa on stoikiometriaan liittyviä esimerkkejä ja tehtäviä. Kunkin kirjasarjan kaikki oppikirjat selattiin läpi ja etsittiin stoikiometriaan liittyviä kokonaisuuksia. Kaikkia tehtäviä ei käyty läpi, vaan ainoastaan stoikiometriaan liittyvien otsikoiden alta. Luokittelussa käytettiin samoja perusteita kuin ylioppilastehtäviä luokiteltaessa.

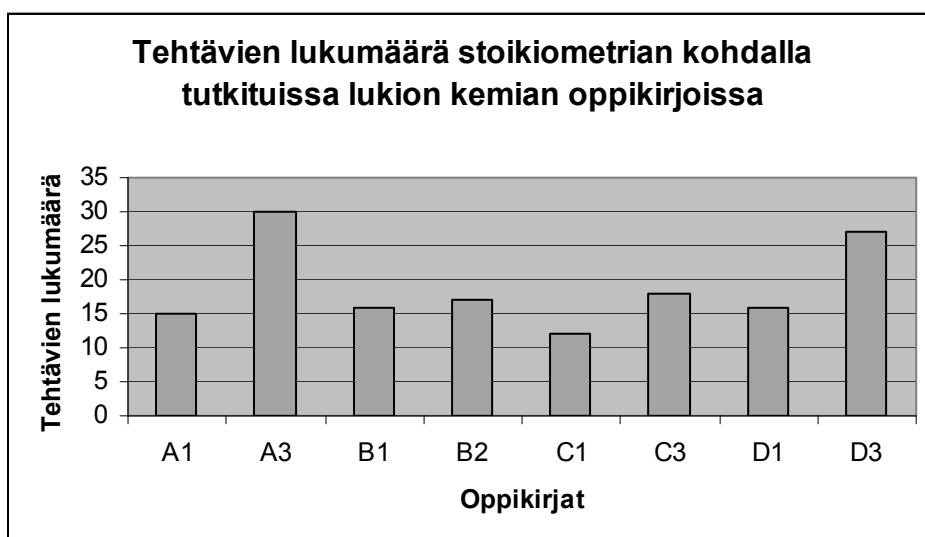
Stoikiometriseen laskuun liittyvät käsitteet:

- ainemäärä
- Avogadron vakio
- moolimassa, molekyyli- ja kaavamassa
- reaktioyhtälö ja tasapainottaminen
- rajoittava reagenssi
- yhdisteen kaavan (suhde- ja molekyylikaava) määrittäminen
- kaasujen moolitilavuus, kaasulait

Kirjoissa olevien esimerkkien lukumäärä stoikiometrian kohdalla vaihtelee välillä 5-14 kpl. Tehtävien lukumäärä vaihtelee välillä 12-30 kpl. Kuitenkin jos katsotaan tehtävien ja esimerkkien yhteistä lukumäärää, ne eroavat toisistaan vain noin kymmenellä kappaleella. Ero ei ole kuitenkaan kovin suuri (Kuva 9, Kuva 10; LIITE 1 Taulukko 15).



KUVA 9. Esimerkkien lukumäärä stoikiometrian kohdalla oppikirjoissa.



KUVA 10. Tehtävien lukumäärä stoikiometrian kohdalla oppikirjoissa.

Esimerkeissä esiintyi selvästi eniten käsitteitä: ainemäärä, massa, moolimassa, reaktioyhtälön muodostaminen, reaktioyhtälöiden tasapainottaminen ja reaktioyhtälön kertoimien ja ainemäärien suhde. Ehkä yllättävää oli se, että rajoittavaa reagenssia esiintyi esimerkeissä hyvin vähän, yhdessä kirjassa oli korkeintaan yksi esimerkki. Avogadron vakiota ei ollut lainkaan kirjasarja C:n esimerkeissä. Muissa kirjoissa oli ainakin muutama esimerkki (Taulukko 3).

TAULUKKO 3. Oppikirjojen stoikiometrisissa esimerkeissä olevat käsitteet.

| | Kirja | Kirja | Kirja | Kirja | Kirja | Kirja | Kirja | Kirja | Yhteensä |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| Esimerkkien lukumäärä, jossa käsitettä tarvitaan | A₁ | A₃ | B₁ | B₂ | C₁ | C₃ | D₁ | D₃ | |
| Reaktioyhtälön muodostaminen | 2 | 3 | - | 3 | 1 | 3 | 3 | 5 | 20 |
| Reaktioyhtälön tasapainottaminen | 4 | 4 | - | 3 | 1 | 3 | 2 | 5 | 22 |
| Reaktioyhtälön kertoimien ja ainemäärien suhde | 4 | 4 | 3 | 5 | 2 | 6 | 1 | 6 | 31 |
| Ainemäärä | 9 | 5 | 6 | 6 | 8 | 8 | 4 | 10 | 56 |
| Massa | 7 | 4 | 7 | 6 | 5 | 8 | 4 | 10 | 51 |
| Moolimassa/atomimassa | 9 | 4 | 9 | 6 | 5 | 8 | 6 | 11 | 58 |
| Avogadron vakio | 6 | 1 | 2 | - | - | - | 2 | 1 | 12 |
| Kaasujen moolinen tilavuus | - | 1 | - | 1 | 4 | - | - | 3 | 9 |
| Massaprosentti | - | 1 | 3 | - | - | - | 1 | 1 | 6 |
| Saantoprosentti | - | 1 | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Kaava | 1 | - | 2 | 4 | - | 2 | - | 3 | 12 |
| Konsentraatio | - | 1 | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Tiheys | 1 | - | - | - | 1 | - | - | 2 | 4 |
| Ideaalikaasujen tilanyhtälö | - | 2 | - | 1 | - | 4 | - | 3 | 10 |
| Rajoittava reagenssi | 1 | 1 | - | - | - | 1 | - | 1 | 4 |
| | | | | | | | | | |
| Yhteensä | 45 | 35 | 33 | 36 | 32 | 45 | 26 | 62 | |

Tehtävissä erottuivat samat käsitteet kuin esimerkeissäkin. Käsitteistä, joista löytyi eniten esimerkkejä, löytyi myös eniten tehtäviä (Taulukko 4).

TAULUKKO 4. Stoikiometrisissa tehtävissä olevat käsitteet

| Esimerkkien lukumäärä, jossa käsitettä tarvitaan | A ₁ | A ₃ | B ₁ | B ₂ | C ₁ | C ₃ | D ₁ | D ₃ | Yhteensä |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| Reaktioyhtälön muodostaminen | 4 | 7 | - | 6 | 1 | 10 | 2 | 11 | 41 |
| Reaktioyhtälön tasapainottaminen | 5 | 12 | - | 8 | 1 | 11 | 2 | 11 | 50 |
| Reaktioyhtälön kertoimien ja ainemäärien suhde | 4 | 13 | 2 | 7 | 1 | 13 | 4 | 11 | 55 |
| Ainemäärä | 12 | 22 | 9 | 11 | 11 | 14 | 11 | 20 | 110 |
| Massa | 10 | 20 | 7 | 9 | 8 | 13 | 8 | 19 | 94 |
| Moolimassa/atomimassa | 10 | 19 | 7 | 8 | 9 | 13 | 11 | 22 | 99 |
| Avogadron vakio | 5 | - | 5 | 1 | 3 | - | 3 | - | 17 |
| Kaasujen moolinen tilavuus | - | 3 | - | 7 | 5 | 3 | - | 8 | 26 |
| Massaprosentti | - | 1 | 1 | - | - | 4 | 1 | - | 7 |
| Saantoprosentti | - | 1 | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Kaava | 2 | - | 1 | 2 | - | 2 | - | 5 | 12 |
| Konsentraatio | 1 | 4 | - | - | - | 2 | - | - | 7 |
| Tiheys | - | 3 | - | 2 | 1 | 2 | - | 3 | 11 |
| Ideaalikaasujen tilanyhtälö | - | 7 | - | 3 | - | 3 | - | 6 | 19 |
| Rajoittava reagenssi | - | 9 | - | 1 | - | 2 | - | 2 | 14 |
| Yhteensä | 57 | 128 | 38 | 68 | 41 | 96 | 45 | 124 | |

9.5.1 Tehtävien luokittelu

Oppikirjojen tehtäviä luokiteltiin kolmeen eri luokkaan käsitteellisiin, mekaanisiin ja soveltaviin tehtäviin. Tarkoituksena oli selvittää, onko stoikiometriaan liittyvien tehtävien joukossa ainoastaan mekaanisia tehtäviä vai vaaditaanko myös käsitteellistä ymmärtämistä. Käsitteellisissä tehtävissä tärkeintä on käsitteen ymmärtäminen, mutta tehtävä voi sisältää myös laskemista. Lisäksi haluttiin myös selvittää liittyykö tiettyihin käsitteisiin tietynlaisia tehtäviä.

Esimerkki käsitteellisestä tehtävästä:

"Polkupyörän valmistajalla on 5350 rengasta, 3023 runkoa ja 2655 ohjaustankoa. a) Kuinka monta polkupyörää näistä osista voidaan koota? b) Mikä osista on rajoittava

tekijä polkupyöriä koottaessa? c) Mitä osia, ja kuinka monta jää yli, kun pyöriä on koottu?" (A₃ s. 23 t 10)

Mekaanisessa tehtävässä tehtävä voidaan ratkaista suoraan sijoittamalla luvut oikeaan kaavaan. Vaikka kaavaa olisi hieman joutunut jo pyörittelemään ennen lukujen sijoitusta, se luokitellaan silti mekaaniseksi tehtäväksi. Esimerkiksi suhdekaavan laskeminen luokiteltiin mekaaniseksi, jos tehtävään ei liittynyt reaktioyhtälön muodostamista tai tasapainotusta.

Esimerkki mekaanisesta tehtävästä: *"Kuinka monta moolia on $5,07 \cdot 10^{30}$ vetyatomia?" (A₁ s. 46 t 5a)*

Soveltavassa tehtävässä joutuu hieman enemmän itse pohtimaan. Lukujen sijoittaminen kaavaan voi olla osana laskua, mutta pääpaino ei ole laskemisella.

Esimerkki soveltavasta tehtävästä: *"Alkuainepiitä voidaan valmistaa antamalla piidioksidin SiO_2 reagoida korkeassa lämpötilassa hiilen kanssa. Toisena tuotteena on hiilimonoksidi CO . a) Laadi reaktioyhtälö b) Kuinka monta grammaa hiiltä tarvitaan, jotta piitä saataisiin 25 grammaa?" (C₁ s. 40 t 6)*

Oppilaat liittävät hyvät tehtävät jollakin tavalla arkipäiväisiin asioihin liittyväksi. On mielenkiintoista tarkastella, kuinka paljon stoikiometristen tehtävien aiheet ovat lähellä käytännön elämää. Arkipäivään liittyviin tehtäviin luokiteltiin sellaiset tehtävät, joiden tehtävänannossa käsiteltiin jotakin arkipäiväistä asiaa (Ahtineva, 2000).

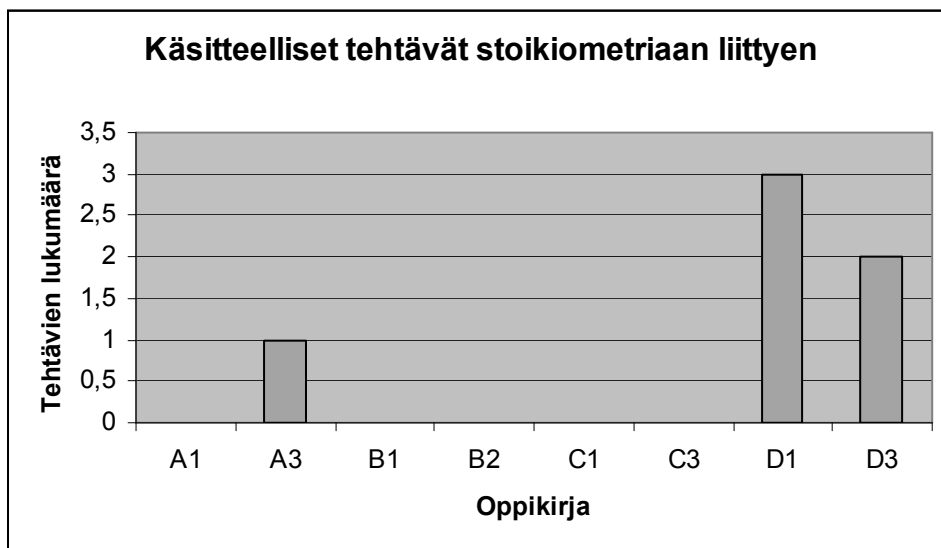
Esimerkki arkipäivään liittyvästä tehtävästä:

"Koti-ikävää poteva Etelämeren asukas kirjoittaa veljelleen Suomeen ja pyytää häntä kaatamaan kotikaivon vettä mereen, että hän voisi sen täysin sekoitetuttua saada kotikaivon vesimolekyylejä ottaessaan merivettä. Kuinka monta molekyyliä on sekoittumisen jälkeen yhdessä litrassa merivettä, jos veli sekoittaa mereen ruokalusikallisen (9 g) vettä? Valtamerien koko vesimäärän tilavuus on $1,37 \cdot 10^9 \text{ km}^3$. "
(D₁ s. 33 t 1-28)

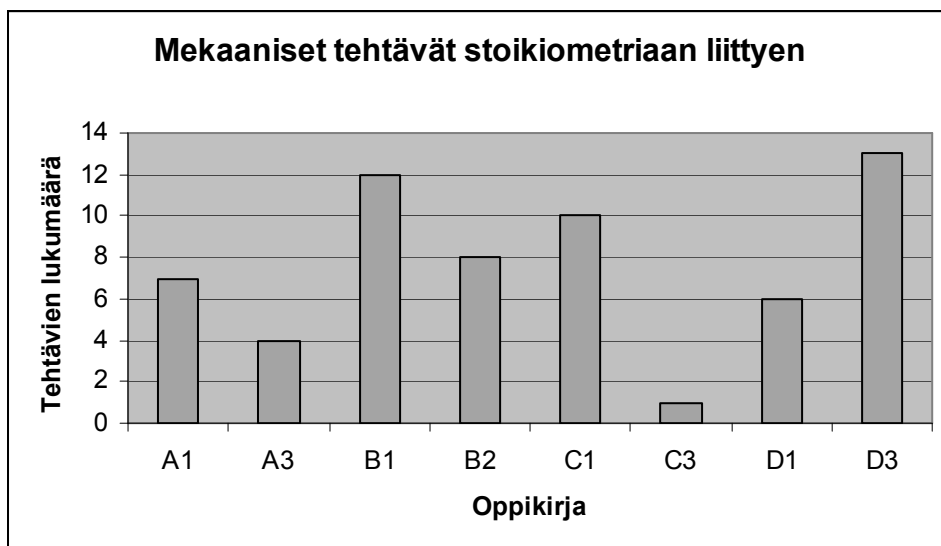
Stoikiometriaan liittyvät tehtävät ovat melkein kokonaan laskennallisia eli ne on luokiteltu mekaanisiin tai soveltaviin tehtäviin. Tällöin laskujen taustalla olevat käsitteet saattavat jäädä ymmärtämättä (Kuva 11, Kuva 12, Kuva 12; LIITE 1 Taulukko 17).

Oli havaittavissa, että tiettyihin käsitteisiin liittyvät tehtävät olivat luonteeltaan samanlaisia. Ensimmäisen kurssin oppikirjojen tehtävät liittyivät yleensä ainemäärään ja mooliin. Niille oli yhteistä se, että ne olivat useimmiten mekaanisia tehtäviä. Ainemäärään ja mooliin liittyvät tehtävät on varmasti haluttu yksinkertaistaa mahdollisimman pitkälle, koska käsite on jo itsessäänkin niin vaikea. Muissa kursseissa mekaanisia tehtäviä oli selvästi vähemmän ja soveltavia tehtäviä enemmän (Kuva 11, Kuva 12, Kuva 13; LIITE 1 Taulukko 17).

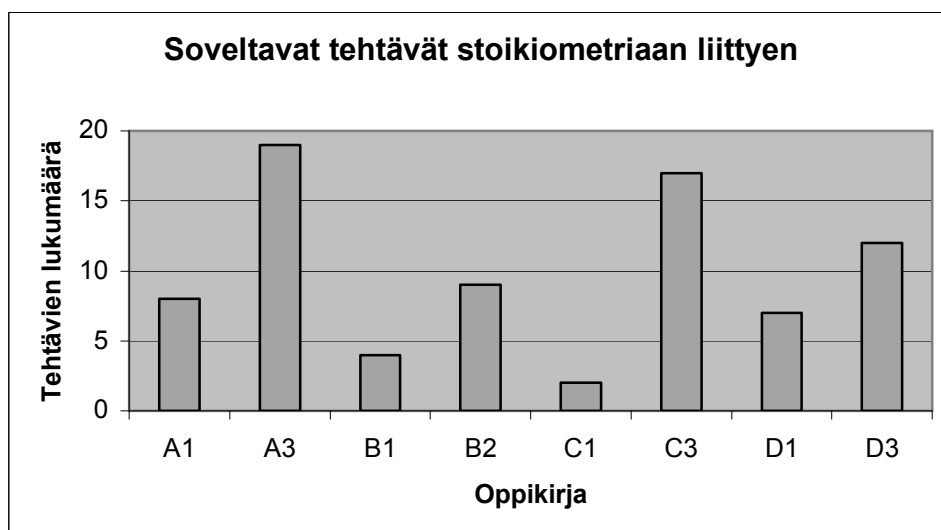
Eniten käsitteellisiä tehtäviä oli oppikirjoissa D_1 ja D_3 . Kirjasarjoissa B ja C ei esiintynyt tämän luokittelun mukaan lainkaan käsitteellisiä tehtäviä. Mekaanisia tehtäviä esiintyi kaikissa kirjoissa. Eniten mekaanisia tehtäviä oli kirjasarjoissa B ja D ja vähiten kirjasarjoissa A ja C. Eniten soveltavia tehtäviä oli kirjasarjassa A ja vähiten kirjasarjassa B (Kuva 11, Kuva 12, Kuva 13; LIITE 1 Taulukko 17).



KUVA 11. Stoikiometriaan liittyvät käsitteelliset tehtävät oppikirjoissa

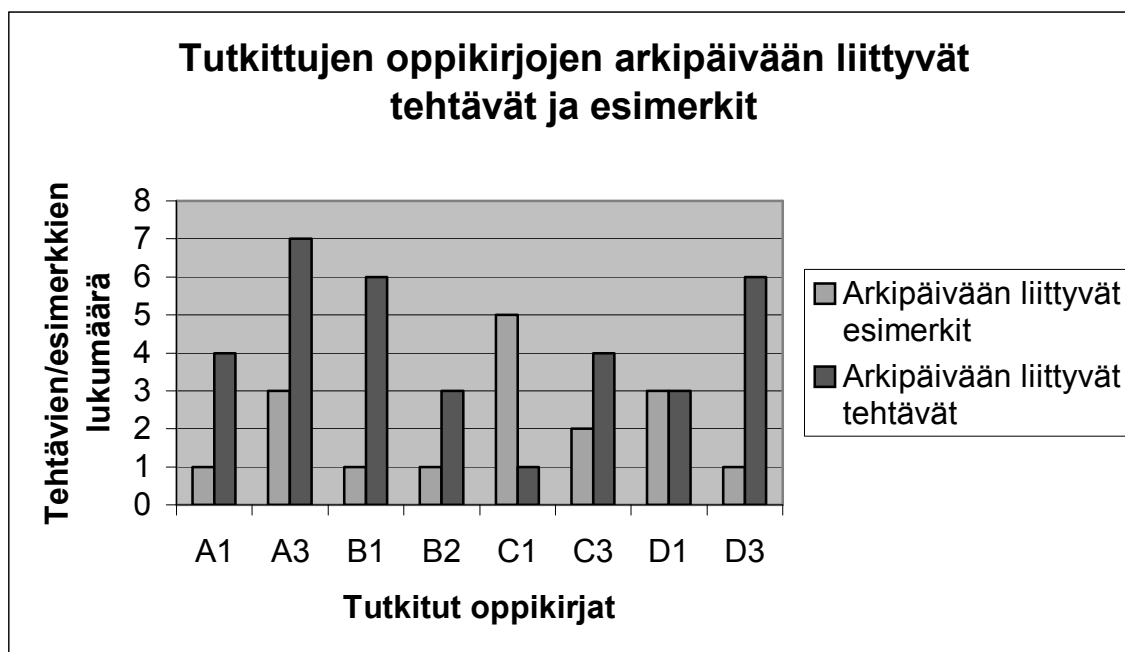


KUVA 12. Stoikiometriaan liittyvät mekaaniset tehtävät oppikirjoissa



KUVA 13. Stoikiometriaan liittyvät soveltavat tehtävät oppikirjoissa.

Keskimäärin 22% stoikiometriaan liittyvistä tehtävistä ja esimerkeistä liittyy jollakin tavalla arkipäivään. Kirjasarjojen välillä ei ole suuria eroja. Eniten arkipäivään liittyviä tehtäviä oli kirjasarjassa A ja vähiten kirjasarjassa B. Ero oli kuitenkin vain neljä tehtävää eli todella pieni (Kuva 14; LIITE 1 Taulukko16).



KUVA 14. Tutkittujen oppikirjojen arkipäivään liittyvät tehtävät ja esimerkit.

Kirjassa A₁ on yksi stoikiometriaan liittyvä kokeellinen työ *Yhdisteen suhdekaavan määrittäminen*. Työn tarkoituksena on selvittää magnesiumin ja hapen välisessä reaktiossa syntyvän yhdisteen suhdekaava (A₁ s. 119). Kirjassa A₃ on myöskin yksi stoikiometriaan liittyvä kokeellinen työ *Stoikiometriaa kokeellisesti*. Työn ensimmäisessä vaiheessa selvitetään raudan reaktiossa kuparisulfaatin kokeellisesti reaktioyhtälön kertoimet. Toisessa vaiheessa tutkitaan lähtöaineen puhtautta ja kolmannessa vaiheessa määritetään reaktion rajoittavaa tekijää (A₃ s. 120-122).

Kirjassa B₁ on yksi stoikiometrian kokeellinen työ *Suhteelliset massat ja suhdekaavan määrittäminen*. Työssä selvitetään natriumkarbonaatin ja suolahapon reaktiossa syntyvän yhdisteen suhdekaava (B₁ s. 36). Kirjassa B₃ on kaksi stoikiometrian työtä. Ensimmäisessä työssä määritetään *popcornin halkeamispainetta*. Toisessa työssä määritetään *kaasujen moolitulavuutta* (B₂ s.195).

Kirjassa C₁ ei ole suoranaisesti yhtään stoikiometrian kokeellista työtä. Kirjassa C₃ on yksi stoikiometrian työ *Reaktioyhtälön kertoimien kokeellinen määrittäminen*. Tämä työ on sama kuin kirjassa A₃ oleva työ.

Kirjoissa D₁ ja D₃ ei ole erikseen kokeellisia töitä. Kirjan kappaleiden kohdalla on kuitenkin pieniä kokeita aiheeseen liittyen. Kirjassa D₁ on yksi pieni työ moolista ja kolme reaktioyhtälöistä ja tasapainottamisesta. Esimerkiksi *Punnitaan a) yksi mooli hiiliatomeja (=12g hiiltä) b) yksi mooli sokeria C₆H₁₂O₆ (=180 g)* (D₁ s. 32). Kirjassa D₃ ei kuitenkaan stoikiometrian kohdalla ole edes yhtään pientä kokeellista työtä.

Käsitteet, joita tarvittiin eniten ylioppilaskirjoitusten stoikiometrisissa tehtävissä, olivat samoja kuin oppikirjojen tehtävissä ja esimerkeissä. Siinä mielessä ylioppilaskirjoitukset ja oppikirjat vastaavat hyvin toisiaan. Kahdesta oppikirjasta A₃ ja B₂ löytyi varsinaisten tehtävien kohdalta ylioppilaskirjoitusten tehtäviä. Muidenkin kirjasarjojen kolmannen kurssin kirjoissa päästiin ylioppilaskirjoitusten tasolle.

9.6 Oppikirjat ja opetussuunnitelma

Vuonna 1994 voimaan tullut kemian opetussuunnitelma oli väljä eikä siinä ollut kuin muutama viittaus stoikiometriaan. Tässä mielessä voidaan sanoa, että kaikki oppikirjat toteuttavat hyvin opetussuunnitelman vaatimukset stoikiometrian osalta. Kaikki tutkitut oppikirjat käsitelivät ainemäärän ensimmäisen kurssin kirjoissa. Opetussuunnitelmassa korostettiin kemiallisia reaktioita ensimmäisessä kurssissa. Kirjat A₁, C₁ ja D₁ käsitelivät reaktioyhtälöt ja tasapainottamisen ensimmäisen kurssin kirjassa. Kirja B₁ poikkesi opetussuunnitelmasta eikä käsitellyt kemiallisia reaktioita ensimmäisessä kurssissa, vaan ne asiat oli siirretty toiseen kemian kurssiin.

Kolmannessa kemian kurssissa *Kemian elementit*, pitäisi käsitellä stoikiometriasta suhteellinen atomi, molekyyli- ja kaavamassa, Avogadron laki, kaasujen moolitilavuus, reaktioyhtälön kvantitatiivinen tarkastelu. Kaikki tutkitut kirjat käsittelevät atomi-, molekyyli- ja kaavamassan jo ensimmäisessä kurssissa, mutta se tulee esiin myös kolmannessa kurssissa ja kirjassa B₂. Kirjat A₃, C₃ ja D₃ käsittelevät Avogadron lain ja kaasujen moolitilavuuden kolmannessa kemian kurssissa, mutta kirja C₁ käsittelee Avogadron lain myös ensimmäisessä kurssissa. Kirja B₂ käsittelee Avogadron lain toisessa kemian kurssissa orgaanisen kemian yhteydessä. Kirjat A₃, C₃ ja D₃ käsittelevät reaktioyhtälön kvantitatiivisesti kolmannessa kemian kurssissa, kirja B₂ toisessa kemian

kurssissa. Kolmannen kurssin sisällöissä on opetussuunnitelman mukaan myös konsentraatio, mutta kaikki oppikirjat käsittelevät sen ensimmäisessä kurssissa.

Yhteenvedona voi todeta, että oppikirjat noudattavat hyvin opetussuunnitelmassa esitettyjä sisältöjä stoikiometrian osalta. Ainoastaan kirja B₂ poikkeaa muista, koska se käsittelee stoikiometriaa toisessa kemian kurssissa eikä kolmannessa lainkaan.

Opetussuunnitelman yleisissä tavoitteissa tuodaan esille kemian merkityksen ymmärtäminen yhteiskunnassa ja ympäristössä. Tähän vaatimukseen olivat kaikki oppikirjat vastanneet ainakin stoikiometrian osalta. Kuten tutkimuksessa todettiin kaikissa tutkituissa oppikirjoissa oli stoikiometrisia tehtäviä ja esimerkkejä, jotka liittyivät arkipäivään (Kuva 14; LIITE 1 Taulukko16).

Opetussuunnitelman yleiset tavoitteet korostavat myös kemian luonnetta kokeellisena oppiaineena. Tältä osin oppikirjat ovat opetussuunnitelman mukaisia, koska kaikista oppikirjoista löytyi stoikiometriaan liittyen edes jonkinlaisia kokeita. Kirjoissa A₁, A₃, B₁, B₃ ja C₃ oli hyvät kokeellisen työn ohjeet. Kirjassa D₃ ei ollut yhtään työtä stoikiometriaan liittyen. Kirjassa D1 oli hyvin lyhyitä kokeellisia osioita, joita ei voi sanoa varsinaisiksi kokeiksi, mutta ovat kokeita kuitenkin.

10 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa saatiin uutta tietoa stoikiometrian asemasta kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003 ja tutkituissa lukion kemian oppikirjoissa.

Lukion kemian 1994 opetussuunnitelmassa stoikiometriaan liittyvät asiat jakautuvat ensimmäiselle *Kemia - kokeellinen luonnontiede* -kurssille ja kolmannelle kurssille *Kemian elementit*. Opetussuunnitelma ei mainitse ensimmäisen kurssin kohdalla mitään muuta stoikiometriaan liittyvää kuin kemiallisen reaktion. Kolmannen kurssin sisällöissä mainitaan stoikiometriasta Avogadron laki, sekä atomi-, molekyyli- ja kaavamassa. Koska vuoden 1994 opetussuunnitelma oli niin väljä, sen pohjalta tehdyissä oppikirjoissa saattaa olla eroavaisuuksia (Meisalo & Lavonen, 1994; Opetussuunnitelma, 1994).

Vuoden 2004 lukion kemian opetussuunnitelmassa stoikiometria on otettu tarkemmin mukaan. Ensimmäisessä kurssissa tulisi käsitellä ainemäärä ja pitoisuus. Toisessa kurssissa on sisältöinä yhdisteen kaava ja hapetusluvut. Kolmannessa kurssissa tulisi käsitellä stoikiometriset laskut ja reaktioyhtälön symbolinen ilmaisu. Yleisestikin kaikilla kemian kursseilla matemaattinen käsittely on keskeinen asia (Lukion uusi opetussuunnitelma).

Vuonna 1996 ylioppilaskirjoitusten reaalikoetta uudistettiin. Tämä toi mukanaan muun muassa mahdollisuuden hajauttaa tutkinto sekä lisää valinnanvapautta. Kemian kohdalla uudistus tarkoitti yhtä lisätehtävää, jolloin tehtävien lukumäärä nousi kahdeksaan. Kemian vastausten lukumäärä ylioppilaskirjoituksissa on aina pysynyt hyvin alhaisena, mikä kertoo siitä, että kemiaa ei ehkä koeta mielenkiintoisena aineena (Saarinen, 1996; Saarinen, 1997; Reaalikokeen kehittämistyöryhmän muistio, 2001; Ylioppilastutkintolautakunta).

Ainemäärä ja mooli tuntuvat sekä opettajista että oppilaista hankalimmilta stoikiometrian käsitteiltä. Olisi tärkeää tiedostaa kaikki mooliin liittyvät tasot; mikro-, makro- ja symbolinen taso (Ahtee & Asunta, 1999). Reaktioyhtälöiden tasapainotus osataan yleensä mekaanisesti, mutta reaktioyhtälön muoto, käyttö ja merkitys on jäänyt

epäselväksi (Yarroch, 1995). Hyvin paljon vaihtoehtoisia käsityksiä löytyy myös rajoittavasta reagenssista, jota voisi yrittää havainnollistaa visuaalisesti (Kashmar, 1997).

Kemian laskujen ratkaisussa pitäisi kiinnittää huomiota tehtävien muotoiluun. Laajat tehtävät tulisi jakaa pienemmiksi kokonaisuuksiksi ja opetella enemmän yksittäisiä vaiheita kuin laajoja kokonaisuuksia. Laajat aiheet eivät kiinnosta ja kuormittavat liikaa muistia. Sanallisen tehtävän muuttamista numeroiksi ja kaavoiksi tulisi harjoitella (Lazonby et al., 1985).

Ongelmanratkaisuun ja sen eri vaiheisiin tulisi kiinnittää huomiota. Olisi hyvä ottaa esille erilaisia ratkaisumalleja, koska ne auttavat tehtävien ratkaisemisessa. Ratkaisumalleja ei kuitenkaan saisi antaa oppilaille valmiina vaan opettajan pitäisi ohjata oppilaita keksimään malleja itse (Gilbert et al., 2002).

Useimmiten oppilaat osaavat laskea laskuja, mutta eivät ymmärrä niihin liittyviä käsitteitä. Oppilaat kokevat laskemisen helpompana ja tutumpana kuin käsitteiden syvällisen oppimisen. Erilaisten laskujen ja algoritmien ulkoa opettelu koetaan helpompana vaihtoehtona. Käsitteellisissä tehtävissä hyvin menestyvillä oli enemmän yhteyksiä eri käsitteiden välillä ja parempi ratkaisustrategia ja etenemistapa kuin huonosti menestyneillä. Käsitteellinen oppiminen parantaa motivaatiota kemiaa kohtaan ja saa oppilaiden kesken enemmän aikaa keskusteluja eri käsitteistä (Phelms, 1996).

Ylioppilaskirjoitusten laskennallisten tehtävien lukumäärä on hieman vähentynyt vuosina 1994-2003 (Kuva 4; LIITE 1 Taulukko 5 ja Taulukko 6). Kuitenkin laskennallisuus on tärkeä, koska noin neljännes tehtävistä on laskuja. Stoikiometrisia tehtäviä on kaikista kemian tehtävistä n. 10-20 % (Kuva 5; LIITE 1 Taulukko 7, Taulukko 8). Laskennallisista tehtävistä stoikiometrisia tehtäviä on yli puolet (Kuva 6; LIITE 1 Taulukko 9).

Stoikiometrisissa tehtävissä tarvitaan paljon käsitteitä. Eniten käytetyimpiä käsitteitä vuosina 1994-2003 olivat: ainemäärä, massa, moolimassa, reaktioyhtälön tasapainotus, reaktioyhtälön muodostus ja reaktioyhtälön kertoimien suhde. Käsitteet eivät ole merkittävästi muuttuneet vuosien aikana, vaan melkein samat käsitteet ovat olleet

tärkeimpiä melkein joka vuosi (Kuva 7, Taulukko 2; LIITE 1 Taulukko 10). Puolet stoikiometrian ylioppilastehtävistä liittyi jollakin tavalla arkipäivään (LIITE 1 Taulukko 11). Stoikiometriset tehtävät ovat olleet suosittuja, sillä niihin on vastannut 5-36 % kemian kirjoittajista. Pistekeskisarvokin on ollut korkea, yleensä n. 3-4 pistettä, ja korkeampi kuin koko kemiasarjan pistekeskisarvo (Kuva 8; LIITE 1 Taulukko 12, Taulukko 13).

Tutkittujen kirjojen etenemistavat eivät poikkea toisistaan suuresti. Kaikki kirjat käsittelivät ainemäärän, moolimassan ja Avogadron vakion ensimmäisessä kurssissa. Kirjat A_1 , C_1 ja D_1 käsittelivät reaktioyhtälöiden tasapainotuksen ensimmäisessä kurssissa, ainoastaan kirja B_2 käsitteli aiheen toisessa kemian kurssissa. Kirjat A_3 , ja D_3 käsittelivät Avogadron lain ja kaasulait kolmannessa kurssissa, kirja B_2 toisessa kurssissa ja C_1 jo ensimmäisessä kurssissa. Kirjat C_3 ja D_3 käsittelevät rajoittavan reagenssin kolmannessa kurssissa. Kirjasarja B ei käsittele rajoittavaa reagenssia lainkaan. Kirjasarja A käsittelee rajoittavan reagenssin ensimmäisen ja kolmannen kurssin kirjassa (LIITE 1 Taulukko 14).

Reaktioyhtälön merkitystä ja käyttöä oli käsitelty kirjoissa hyvin lyhyesti. Ainoastaan kirja A_1 mainitsee aineen häviämättömyyden laista. Kirjassa D_1 esitetään reaktioyhtälöt sanallisesti, kuvallisesti ja symboleilla. Muista kirjoista puuttuu aina jokin näistä esitystavoista.

Kirjat A_1 , C_1 ja D_1 määrittelevät moolin isotoopin hiili-12 avulla, ja kirja B_1 Avogadron vakion avulla. Kirjat A_1 , A_3 , C_3 ja D_3 käyttävät stoikiometria-sanaa ja selvittävät sen merkityksen. Kirjasarjat A, C ja D ottavat esiin kemian historiaa myös stoikiometrian osalta muun muassa Amadeo Avogadron historiasta. Ainoastaan Kirjoissa D_1 ja B_2 oli jonkinlainen ohje kemiallisten laskujen ratkaisemiseksi.

Sekä esimerkeissä että tehtävissä oli eniten viitteitä käsitteisiin; ainemäärä, massa, moolimassa, reaktioyhtälön muodostaminen, reaktioyhtälöiden tasapainottaminen ja reaktioyhtälön kertoimien ja ainemäärien suhde. Suurin osa oppikirjojen tehtävistä oli laskennallisia, mutta käsitteellisiä tehtäviä oli vain muutama. Laskennallisista tehtävistä soveltavia oli enemmän kuin mekaanisia tehtäviä (Kuva 11, Kuva 12, Kuva 13; LIITE 1 Taulukko 17). Arkipäivään liittyviä esimerkkejä ja tehtäviä oli n. 22 % (Kuva 14; LIITE

1 Taulukko 16). Kaikista tutkituista kirjoista löytyi myös jonkinlaisia kokeellisia töitä stoikiometriaan liittyen.

Oppikirjoissa oli eniten soveltavia tehtäviä ja toiseksi eniten mekaanisia tehtäviä. Käsitteellisiä tehtäviä oli vähän, mutta toisaalta niitä ei ollut myöskään ylioppilaskirjoituksissa (Kuva 11, Kuva 12, Kuva 13; LIITE 1 Taulukko 17).

Kaikki oppikirjat käsittelevät stoikiometrian perusasioita (Taulukko 3, Taulukko 4). Oppikirjoissa stoikiometrialla on tärkeä osa, koska stoikiometriaan liittyviä tehtäviä ja esimerkkejä oli paljon (Kuva 9, Kuva 10; LIITE 1 Taulukko 15). Sekä ylioppilaskirjoituksissa että kemian oppikirjoissa esiintyi eniten samoja käsitteitä stoikiometrissa tehtävissä. Jotkut kirjat korostivat enemmän laskennallisuutta, toiset taas enemmän kokeellisuutta. Sekä oppikirjoissa että ylioppilaskirjoituksissa valtaosa tehtävistä oli kuitenkin laskennallisia.

Stoikiometriaan liittyy paljon käsitteitä kemian eri alueilta (LIITE 1 Taulukko 10). Olisi tärkeää, että oppikirjat kokoaisivat asiat yhteen, jotta opiskelijalle muodostuisi kokonaiskuva stoikiometriasta. Kun stoikiometrian asiat käsitellään eri kursseilla, osa asioista saattaa unohtua ja niitä joudutaan myöhemmin kertalemaan. Voi olla, että ajanpuutteen vuoksi ei päästä stoikiometrian syvemmälle tasolle. Toisaalta, jos kaikki stoikiometrian asiat olisivat yhdessä kurssissa, saattaisi opiskelu tuntua raskaalta. Jos asiat olisivat ainakin peräkkäisissä kursseissa ne todennäköisesti muistettaisiin paremmin.

Olisi tärkeää kehittää oppikirjojen tehtäviä enemmän käsitteelliseen suuntaan. Tehtävien tulisi olla enemmän ongelmien ratkaisemista, eikä vain mekaanista kaavaan sijoittamista. Toisaalta, jos kemian opetusta suunnattaisiin enemmän ongelmanratkaisuun ja käsitteelliseen oppimiseen, voitaisiin kiinnostus kemiaa kohtaan ehkä saada kasvamaan. Jos oppilaat ymmärtäisivät laskujen taustalla olevat käsitteet perusteellisemmin, eivät laskut tuntuisi enää niin mekaanisilta.

Stoikiometrian opettamista ja oppimista on tutkittu melko paljon ulkomailla. On löydetty paljon vaihtoehtoisia käsityksiä, opetusmenetelmiä ja ongelmanratkaisutapoja. Toisaalta Suomessa stoikiometriaa ja ongelmanratkaisua on tutkittu hyvin vähän. Mutta

ehkä uudet ideat ja ajatukset eivät ole kantautuneet ulkomailta Suomeen oppikirjojen tekijöille, opettajille ja opettajankoulutukseen asti.

Käsitteellisten tehtävien käyttöä stoikiometrian opetuksessa tulisi varmasti tutkia lisää. Olisi tärkeää kehittää lisää materiaalia stoikiometrian opetukseen, koska tällä hetkellä sitä ei ole kovin helposti saatavilla. Tehtäviä laadittaessa pitäisi erityisesti miettiä, että miten ongelmanratkaisusta ja käsitteellisistä tehtävistä saataisiin mielenkiintoisia niin, että oppilaatkin innostuisivat niistä, eivätkä kokisi niitä liian vaikeiksi.

Ylioppilaskirjoitusten stoikiometrinen pistekeskisarvojen perusteella voidaan päätellä, että Suomessa stoikiometriset laskut osataan melko hyvin. Sen sijaan Suomessa ei ole tehty tutkimusta siitä, miten opiskelijat menestyvät laskujen käsitteisiin liittyvissä käsitteellisissä tehtävissä. Muiden maiden tuloksista on ainakin todettu, ettei laskujen osaaminen tarkoita sitä, että niiden taustalla olevat käsitteet ymmärrettäisiin (Nurrenberg & Pickering, 1987). Olisi myös mielenkiintoista tietää, miten käsitteellinen opetus vaikuttaa oppimiseen. Ennen käsitteellistä opetusta voitaisiin tehdä ennakkotesti ja uusi testi käsitteellisen opetuksen jälkeen. Tällöin päästäisiin selville, mitä hyötyä käsitteellisestä opetuksesta olisi ja auttaisiko se laskujen ymmärtämisessä.

Ongelmanratkaisu ja käsitteelliset tehtävät ovat tärkeitä asioita muissakin aiheissa kuin vain stoikiometriassa. Muissakin kuin vain laskennallisissa tehtävissä voidaan pyrkiä enemmän tiedon soveltamiseen ja pohdintaan ongelmanratkaisutyypisten tehtävien avulla. Oppilaita pitäisi opettaa vähitellen ongelmienratkaisuun, koska se vaatii paljon opetteluja ja totuttelua.

LÄHTEET

Ahtee, M. & Asunta, T. 1999. *Mooli ja sen opettaminen*. Dimensio 5/1999, 20-23

Ahtineva, Aija *Oppikirja - tiedon välittäjä ja opintojen innoittaja?*, Lukion kemian oppikirjan - Kemian maailma 1-tiedonkäsitys ja käyttökokemukset, Turun yliopiston julkaisuja C 164, 2000 (Väitöskirja)

Aksela, M. & Juvonen, R. 1999. *Kemian opetus tänään*. Helsinki, Opetushallitus, Moniste 27/99 Kemianteollisuus ry, MAOL ry

Bodner, G. & McMillen, T. 1986. *Cognitive restructuring as an early stage in problem solving*. Journal of research in science teaching. Vol.23. Number 8. 1986, 727-737

BouJaoude, S. & Barakat, H. 2000. *Secondary school students' difficulties with stoichiometry*. School Science Review. 81 (296) March 2000, 91-98

Dierks, W., Weninger, J. & Herron, J. 1985. *Mathematics in the Chemistry Classroom part 1*. Journal of Chemical education. Vol.62. Number 10. 1985, 1021-1023

Furio, C. et al. 2000. *Difficulties in teaching the concepts of amount of substance and mole*. International journal of science education. Vol.22. Number 12. 2000, 1285-1304

Gabel, D. & Bunce, D. 1994. *Chemistry Handbook of Research on Science Teaching and Learning* New York Macmillan 1994 luku 11 *Research on Problem Solving*, 301-326

Gabel, D., Sherwood, R. & Enochs, L. 1984. *Problem-solving of high-school chemistry students*. Journal of research in science teaching. Vol. 21. Number 2.1984, 221-223

Gilbert, J., Jong, de O., Justi, R., Treagust, F., & Van Driel, H. 2002. (Edited by) *Chemical Education Towards Research-based Practice* Kluwer academic publishers 2002 Dordrecht, Boston, London chapter 11 Problem-solving in Chemistry Bodner and Herron,. 235-267

Goh, N., Subramaniam, R. & Chia, L. 1994. *More Direct Feeling for Avogadro's Number*. Journal of Chemical Education. Vol.71. Number 8. Aug. 1994, 656-657

Haavisto, A., Nikkola, J. & Viljanmaa, L. 2004. *Kemia1-kokeellinen luonnontiede* Tammi 2004

Haavisto, A., Nikkola, J. & Viljanmaa, L. 2003. *Kemia3 Alkuaineiden kemia, tutkimus ja teknologia* Tammi 2003

Herron, D. & Greenbowe, T. 1986. *What Can We Do About Sue: A Case Study of Competence*. Journal of Chemical Education. Vol.63. Number 6, 1986, 528-531

Huddle, P.A & Pillay, A. 1996. *An In-Depth Study of Misconceptions in Stoichiometry and Chemical Equilibrium at a South African University* Journal of research in science teaching. Vol.33. Number 1. 1996, 65-77

Johnstone A. 1991. *Why is science difficult to learn?*. Journal of Computer Assisted Learning. Number 7. 1991, 75-83

Kalkku, I., Kalmi, H. & Korvenranta, J. 2002. *Kide 1 Kemia-kokeellinen luonnontiede* Otava 2002

Kalkku, I., Kalmi, H. & Korvenranta, J. 2002. *Kide 3 Kemian elementit* Otava 2002

Kanerva, K., Karkela, L. & Valste, J. 2000. *Katalyytti 1 Peruskurssi* WSOY 2000

Kanerva, K., Karkela, L. & Valste, J. 2000. *Katalyytti 2 Orgaaninen kemia* WSOY 2000

Kashmar, J. R. 1997. *The Use of Cut-Out Molecular Models on the Overhead Projector To Illustrate Stoichiometry and Limiting Reactants*. Journal of Chemical Education. Vol.74. Number 7. July 1997, 791-792

Lavonen, J. & Erätuuli, M.(toim.) 1998. *Tuulta purjeisiin matemaattisten aineiden opetus 2000-luvulle* opetus 2000-sarja WSOY Juva 1998 s. 106-123

Lazonby, J., Morris, E., Waddington, D. 1985. *The Mole: Questioning Format Can Make a Difference*. Journal of Chemical Education. Vol.62. Number 1. Jan. 1985, 60-61

Lee, L. & Fensham, P. 1996. *A general strategy for solving high school electrochemistry problems*. International journal of science education. Vol.18. Number 5, 1996, 543-555

Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L. & Vaskuri, J. 2003. *Mooli 1 Peruskurssi* Otava 2003

Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L. & Vaskuri, J.2002. *Mooli 3 Epäorgaaninen kemia* Otava 2002

Lukiolaki 21.8.1998/629 18§ www.finlex.fi luku4 arviointi ja ylioppilastutkinto luettu 16.6.2004

Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994, Opetushallitus, Painatuskeskus, 1994

Lukion 2004 opetussuunnitelma

http://www.edu.fi/julkaisut/maaraykset/ops/lops_uusi.pdf (27.4.04)

Luma-projekti tiedottaa 5 Indikaattorit 2 Matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen kehittämishanke 1996-2002 Opetushallitus 1999 <http://www.edu.fi/julkaisut/luma5.pdf> luettu 10.8.2004

Lythcott, J. 1990. *Problem solving and Requisite Knowledge of Chemistry*. Journal of chemical education. Vol .67. Number 3. March 1990, 248-252

Maol-taulukot 1999 Otava

Meisalo, V. & Lavonen, J. 1994. *Fysiikka ja kemia opetussuunnitelmassa*
Opetushallitus 1994

Nakhleh, M. & Mitchell, C. 1993. *Concept Learning versus Problem Solving There Is a Difference*. Journal of Chemical Education. Vol.70. Number 3. 1993, 190-192

Nurrenberg, S. & Pickering, M. 1987. *Concept learning versus Problem Solving: Is There a Difference?*. Journal of Chemical education. Vol.64. Number 6. June 1987, 508-510

Olmsted, J. & Williams, G. 1994. *Chemistry The Molecular Science* Mosby-Year Book Inc 1994

Perusopetuksen 2004 opetussuunnitelma

http://www.oph.fi/info/ops/pops_web.pdf (20.4.04)

Phelms, A. 1996. *Teaching to Enhance Problem Solving It's More than Numbers*. Journal of Chemical education. Vol.73. Number 4. April 1996, 301-304

Pickering, M. 1990. *Further studies on concept learning versus problem solving*. Journal of chemical education. Vol.67. Number 3, 1990, 254-255

Porter, K. 1985. *How Should Equation Balancing be Taught?*. Journal of Chemical Education. Vol.62. Number 6. June 1985, 507-508

Reaalikokeen kehittämissuunnitelman muistio 2001

<http://www.minedu.fi/julkaisut/julkaisusarjat/reaalikoe/reaalikoe.pdf> luettu 16.6.2004

Saarinen, H. 1994. *Kevään 1994 ylioppilaskirjoitusten kemian koe*. Dimensio 5/1995, 38-44

Saarinen, H. 1996. *Kemian kouluopetus ja sen kehittäminen*. Dimensio 4/1996, 18-21

Saarinen, H. 1997. *Kevään 1996 ylioppilaskirjoitusten kemian koe*. Dimensio 2/1997, 16-20

Saarinen, H. 2001, *Kevään 2000 ylioppilaskirjoitusten kemian koe*. Dimensio 5/2001,b 24-30

Saarinen, H. 2004. *Kevään 2003 kemian ylioppilaskoe* Dimensio 6/2004, 40-46

Schmidt, H-J. 1994. *Stoichiometric problem solving in high school chemistry*. International Journal of Science Education. Vol.16. Number 2. 1994, 191-200

Schmidt, H-J.gen & Jigneus, C. 2003. *Students' strategies in solving algorithmic stoichiometry problems*. Chemical Education research and practice. Vol.4. Number 3. 2003, 305-317

Smith, M. & Good, R. 1984. *Problem solving and classical genetics: succesful versus unsuccessful performance*. Journal of research in Science Teaching. Vol. 21. Number 9.1984, 895-912

Staver, R. & Lumpe, T. 1995. *Two Investigations of Students' Understanding of the Mole Concept and Its Use in Problem Solving*. Journal of research in science teaching. Vol .32. Number 2. 1995, 177-193

Yarroch, W.L. 1985. *Student understanding of chemical equation balancing*. Journal of research in science teaching. Vol.22. Number 5. 1985, 449-459

Ylioppilastutkintoasetus 21.11.1994/1000 13§ www.finlex.fi (16.6.2004)

Ylioppilastutkintolautakunta <http://www.minedu.fi/yo-tutkinto/> (16.6.2004)

Ylioppilastutkintolautakunnan tilastot, Ylioppilastutkintolautakunta

Ward, C. & Herron, D. 1980. *Helping Students Understand formal chemical concepts*.
Journal of research in science teaching. Vol.17. Number 5. 1980, 387-400

LIITE 1

TAULUKKO 5. Laskennallisten tehtävien lukumäärä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

TAULUKKO 6. Laskennallisten tehtävien prosentuaalinen osuus kaikista kemian tehtävistä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

TAULUKKO 7. Stoikiometrinen tehtävien lukumäärä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

TAULUKKO 8. Stoikiometrinen tehtävien prosentuaalinen osuus kaikista tehtävistä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

TAULUKKO 9. Stoikiometrinen tehtävien prosentuaalinen osuus laskennallisista kemian tehtävistä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

TAULUKKO 10. Stoikiometrisissa tehtävissä tarvittavien käsitteiden lukumäärät kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

TAULUKKO 11. Kemian ylioppilaskirjoituksissa arkipäivään liittyvät stoikiometriset tehtävät vuosina 1994-2003.

TAULUKKO 12. Stoikiometriin tehtäviin vastanneiden varsinaisten kokelaiden lukumääriä kemian ylioppilaskirjoituksissa 1994-2003.

TAULUKKO 13. Stoikiometrinen tehtävien pistekeskisarvoja.

TAULUKKO 14. Stoikiometrian käsitteiden esiintyminen tutkituissa oppikirjoissa.

TAULUKKO 15. Tutkituissa oppikirjoissa olevien stoikiometriaan liittyvien tehtävien ja esimerkkien lukumäärä.

TAULUKKO 16. Tutkituissa oppikirjoissa arkipäivään liittyvät tehtävät ja esimerkit.

TAULUKKO 17. Tutkittujen oppikirjojen stoikiometristen tehtävien luokittelun tulokset.

LIITE 1

TAULUKKO 5. Laskennallisten tehtävien lukumäärä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

| Vuosi | Kevään laskennallisten tehtävien lukumäärä kaikista kemian tehtävistä | Syksyn laskennallisten tehtävien lukumäärä kaikista kemian tehtävistä | Syksyn ja kevään laskennalliset tehtävät yhteensä kaikista kemian tehtävistä |
|--------------|--|--|---|
| 1994 | 3 | 3,5 | 6,5 |
| 1995 | 3 | 2 | 5 |
| 1996 | 2 | 1 | 3 |
| 1997 | 2,5 | 2 | 4,5 |
| 1998 | 2 | 2,5 | 4,5 |
| 1999 | 2 | 2,5 | 4,5 |
| 2000 | 2,5 | 2 | 4,5 |
| 2001 | 2 | 2 | 4 |
| 2002 | 2,5 | 2 | 4,5 |
| 2003 | 1,5 | 2,5 | 4 |

TAULUKKO 6. Laskennallisten tehtävien prosentuaalinen osuus kaikista kemian tehtävistä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

| Vuosi | Laskennalliset tehtävät kaikista kemian tehtävistä | Laskennallisten tehtävien osuus kaikista kemian tehtävistä(prosenteissa) |
|--------------|---|---|
| 1994 | 6,5/14 | 46 |
| 1995 | 5/14 | 36 |
| 1996 | 3/16 | 19 |
| 1997 | 4,5/16 | 28 |
| 1998 | 4,5/16 | 28 |
| 1999 | 4,5/16 | 28 |
| 2000 | 4,5/16 | 28 |
| 2001 | 4/16 | 25 |
| 2002 | 4,5/16 | 28 |
| 2003 | 4/16 | 25 |

TAULUKKO 7. Stoikiometrinen tehtävien lukumäärä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

| Vuosi | Kevään stoikiometrinen tehtävien lukumäärä kaikista kemian tehtävistä | Syksyn stoikiometrinen tehtävien lukumäärä kaikista kemian tehtävistä | Syksyn ja kevään stoikiometrinen tehtävien lukumäärä yhteensä kaikista kemian tehtävistä |
|--------------|--|--|---|
| 1994 | 1 | 1,5 | 2,5 |
| 1995 | 1 | 1 | 2 |
| 1996 | 1,5 | 1 | 2,5 |
| 1997 | 1 | 1 | 2 |
| 1998 | 1 | 1,5 | 2,5 |
| 1999 | 1 | 1,5 | 2,5 |
| 2000 | 1,5 | 1 | 2,5 |
| 2001 | 1 | 1 | 2 |
| 2002 | 1,5 | 1 | 2,5 |
| 2003 | 1,5 | 1,5 | 3 |

TAULUKKO 8. Stoikiometristen tehtävien prosentuaalinen osuus kaikista tehtävistä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

| Vuosi | Stoikiometriset tehtävät kaikista kemian tehtävistä | Stoikiometristen tehtävien osuus kaikista kemian tehtävistä(prosenteissa) |
|--------------|--|--|
| 1994 | 2,5/14 | 18 |
| 1995 | 2/14 | 14 |
| 1996 | 2,5/16 | 16 |
| 1997 | 2/16 | 12,5 |
| 1998 | 2,5/16 | 16 |
| 1999 | 2,5/16 | 16 |
| 2000 | 2,5/16 | 16 |
| 2001 | 2/16 | 12,5 |
| 2002 | 2,5/16 | 16 |
| 2003 | 3/16 | 19 |

TAULUKKO 9. Stoikiometristen tehtävien prosentuaalinen osuus laskennallisista kemian tehtävistä kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

| Vuosi | Stoikiometriset tehtävät yhteensä laskennallisista kemian tehtävistä | Stoikiometriset tehtävät yhteensä laskennallisista kemian tehtävistä (prosenteissa) |
|--------------|---|--|
| 1994 | 2,5/6,5 | 38 |
| 1995 | 2/5 | 40 |
| 1996 | 2,5/3 | 83 |
| 1997 | 2/4,5 | 44 |
| 1998 | 2,5/4,5 | 56 |
| 1999 | 2,5/4,5 | 56 |
| 2000 | 2,5/4,5 | 56 |
| 2001 | 2/4 | 50 |
| 2002 | 2,5/4,5 | 56 |
| 2003 | 3/4 | 75 |

TAULUKKO 10. Stoikiometrisissa tehtävissä tarvittavien käsitteiden lukumäärät kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003.

| Kemian ylioppilaskirjoituksissa vuosina 1994-2003 stoikiometrisissa tehtävissä tarvittavat kemian käsitteet ja taidot | Tehtävien lukumäärä, jossa käsitettä/taitoa tarvitaan |
|--|--|
| Reaktioyhtälön muodostaminen | 15 |
| Reaktioyhtälön tasapainottaminen | 19 |
| Kertoimien ja ainemäärien suhde | 25 |
| Ainemäärä | 28 |
| Massa | 28 |
| Moolimassa | 28 |
| Kaasujen moolitilavuus | 8 |
| Massaprosentti | 5 |
| Tilavuusprosentti | 2 |
| Puhtausprosentti | 2 |
| Empiirinen kaava | 6 |
| Molekyylikaava | 5 |
| Konsentraatio | 4 |
| Tiheys | 5 |
| Ideaalikaasujen tilanyhtälö | 3 |
| Rajoittava reagenssi | 3 |

TAULUKKO 11. Kemian ylioppilaskirjoituksissa arkipäivään liittyvät stoikiometriset tehtävät vuosina 1994-2003.

| | Arkipäivään liittyvien stoikiometristen tehtävien lukumäärä | Arkipäivään liittyvien stoikiometristen tehtävien lukumäärä kaikista stoikiometrista tehtävistä | Arkipäivään liittyvien tehtävien osuus stoikiometrista tehtävistä (prosentteina) |
|---|--|--|---|
| Arkipäivään liittyvien tehtävien lukumäärä | 12 | 12/24 | 50 |

TAULUKKO 12. Stoikiometrisiin tehtäviin vastanneiden varsinaisten kokelaiden lukumääriä kemian ylioppilaskirjoituksissa 1994-2003.

| Vuosi | Varsinaisten kokelaiden vastaajien lukumäärä | Stoikiometrisiin laskuihin vastanneet kokelaat | Stoikiometrisiin laskuihin vastanneet prosentteina |
|-------------------|---|---|---|
| kevät 1994 | 15409 | 2350 | 15 |
| kevät 1995 | 13970 | 2421 | 17 |
| kevät 1996 | 15105 | 4996 | 33 |
| syksy 1996 | 488 | 95 | 20 |
| kevät 1997 | 13730 | 4051 | 30 |
| syksy 1997 | 859 | 305 | 36 |
| kevät 1998 | 8497 | 2689 | 32 |
| syksy 1998 | 877 | 230 | 26 |
| kevät 1999 | 8540 | 457 | 5 |
| syksy 1999 | 996 | 211 | 21 |
| kevät 2000 | 12819 | 3838 | 30 |
| syksy 2000 | 660 | 177 | 27 |
| kevät 2001 | 11235 | 3240 | 29 |
| syksy 2001 | 1212 | 301 | 25 |
| kevät 2002 | 8201 | 1470 | 18 |
| syksy 2002 | 697 | 94 | 14 |
| kevät 2003 | 9603 | 1209 | 13 |

TAULUKKO 13. Stoikiometrinen tehtävien pistekeskisarvoja.

| Vuosi | Pakollisen reaalinen stoikiometrisen tehtävän pistekeskisarvo | Ylimääräisen reaalinen stoikiometrinen tehtävän pistekeskisarvo | Pakollisen ja ylimääräisen reaalinen keskiarvo | Kaikkien tehtävien pistekeskisarvot |
|--------------|--|--|---|--|
| kevät 1994 | 0,94 | 2,70 | | |
| kevät 1995 | 2,88 | 3,95 | | |
| kevät 1996 | | | 4,23 | 3,95 |
| syksy 1996 | | | 3,36 | 3,17 |
| kevät 1997 | | | 4,66 | 3,78 |
| syksy 1997 | 3,63 | 3,60 | | |
| kevät 1998 | | | 4,47 | 3,87 |
| syksy 1998 | | | 3,74 | 3,59 |
| kevät 1999 | 2,71 | 3,07 | | |
| syksy 1999 | 4,77 | 4,62 | | |
| kevät 2000 | | | 3,59 | 3,55 |
| syksy 2000 | | | 4,17 | 3,73 |
| kevät 2001 | | | 3,50 | 3,45 |
| syksy 2001 | | | 4,27 | 3,58 |
| kevät 2002 | | | 4,48 | 3,92 |
| syksy 2002 | | | 4,06 | 3,54 |
| kevät 2003 | | | 3,00 | 3,58 |
| syksy 2003 | | | | 4,04 |

TAULUKKO 14. Stoikiometrian käsitteiden esiintyminen tutkituissa oppikirjoissa.

| Käsite/aihe | Kirja | Kirja | Kirja | Kirja | Kirja | Kirja | Kirja | Kirja |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | A ₁ | A ₃ | B ₁ | B ₂ | C ₁ | C ₃ | D ₁ | D ₃ |
| Ainemäärä, massa, moolimassa, Avogadron vakio | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Reaktioyhtälö ja tasapainotus | X | X | – | X | X | X | X | X |
| Avogadron laki ja kaasulait | – | X | – | X | X | X | – | X |
| Rajoittava reagenssi | X | X | – | – | – | X | – | X |
| Reaktiosarja | – | X | – | – | – | X | – | – |
| Seoslaskut | – | X | – | – | – | X | – | – |
| Kaavan laskeminen; suhdekaava | X | – | X | X | – | | – | X |

TAULUKKO 15. Tutkituissa oppikirjoissa olevien stoikiometriaan liittyvien tehtävien ja esimerkkien lukumäärä.

| Oppikirja | Esimerkkien lukumäärä | Tehtävien lukumäärä | Yhteensä |
|-----------------|--------------------------|------------------------|----------|
| A ₁ | 15 | 15 | 30 |
| A ₃ | 6 | 30 | 36 |
| B ₁ | 10 | 16 | 26 |
| B ₂ | 5 | 17 | 22 |
| C ₁ | 10 | 12 | 22 |
| C ₃ | 10 | 18 | 28 |
| D ₁ | 10 | 16 | 26 |
| D ₃ | 14 | 27 | 41 |
| Yhteensä | 80 | 151 | |

TAULUKKO 16. Tutkituissa oppikirjoissa arkipäivään liittyvät tehtävät ja esimerkit.

| Kirja | A ₁ | A ₃ | B ₁ | B ₂ | C ₁ | C ₃ | D ₁ | D ₃ | Yhteensä | Arkipäivän esimerkkejä/tehtäviä kaikista stoikiometrian tehtävistä | Arkipäivän esimerkkejä/tehtäviä kaikista(prosen tteina) stoikiometrian tehtävistä |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|--|---|
| Arkipäivään liittyvät esimerkit | 1 | 3 | 1 | 1 | 5 | 2 | 3 | 1 | 17 | 17/80 | 21 |
| Arkipäivään liittyvät tehtävät | 4 | 7 | 6 | 3 | 1 | 4 | 3 | 6 | 34 | 34/151 | 23 |
| Yhteensä | 5 | 10 | 7 | 4 | 6 | 6 | 6 | 7 | | | |

TAULUKKO 17. Tutkittujen oppikirjojen stoikiometristen tehtävien luokittelun tulokset.

| Tehtävien luokittelu | A ₁ | A ₃ | B ₁ | B ₂ | C ₁ | C ₃ | D ₁ | D ₃ | Yhteensä |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| Käsitteellisiä | - | 1 | - | - | - | - | 3 | 2 | 6 |
| Mekaanisia | 7 | 4 | 12 | 8 | 10 | 1 | 6 | 13 | 61 |
| Soveltavia | 8 | 19 | 4 | 9 | 2 | 17 | 7 | 12 | 78 |
| Yhteensä | 15 | 24 | 16 | 17 | 12 | 18 | 16 | 27 | |