

Lukiolaisten virhekäsityksiä kemiallisesta tasapainosta

Pro gradu-tutkielma

Jyväskylän yliopisto

Kemian laitos

Opettajankoulutuslinja

9.3.2005

Tuomas Inkala

Tiivistelmä

Inkala, Tuomas. pro gradu-tutkielma: Lukiolaisten virhekäsityksiä kemiallisesta tasapainosta. Jyväskylän yliopisto, kemian laitos, opettajankoulutuslinja. 9.3.2005. asiasanat: opettaminen, virhekäsitys, mikro, makro, symbolinen, kolmioajattelu.

Tämä on laadullinen tutkimus, jossa perehdytään lukiolaisten virhekäsityksiin kemiallisesta tasapainosta. Tutkimuksen tarkoitus on auttaa kemian opettajiksi aikovia tiedostamaan mahdolliset ongelmat kemiallisen tasapainon opettamiseen liittyen. Mikäli oletetaan oppimisen olevan aktiivista tiedon rakentamista, tuloksellinen oppiminen vaatii, että opettaja tiedostaa oppilaiden aiemmat käsitykset opetettavasta aiheesta.

Käsitys kemiallisesta reaktiosta on tärkeässä roolissa kemiallisen tasapainon ymmärtämisessä. Oppilaiden on vaikea uskoa kemialliseen reaktioon, ellei siihen liity jokin muutos makrotasolla. Kemiallisen reaktion käänteisyys on myös vaikea uskoa, koska oppilaille on korostunut käsitys lähtöaineista ja tuotteista. Yhdistettynä nämä käsitykset muodostavat ongelmalliseksi uskoa, että kemiallisen tasapainon vallitessa systeemissä on yhtä aikaa sekä tuotteita että lähtöaineita eli reaktio ei aina etenekään kunnes lähtöaineet loppuvat. Suuri tasapainovakion arvo yritetään usein samaistaa nopeaan reaktioon. Le Châtelier'n periaatteen suomalaiset lukiolaiset hallitsevat hyvin. Lukiossa kemiallinen tasapaino on varsin tarkasti rajattu aihealue. Tehtävissä käsitellään lähes yksinomaan homogeenisia, kaasujen välillä vallitsevia tasapainoja. Näihin tapauksiin Le Châtelier'n periaate toimiikin hyvin. Lukiossa kemiallisen tasapainon käsittely on lisäksi hyvin pitkälti mekaanisten laskutehtävien varassa.

Tutkimuksessa saadut tulokset ovat yhtä pitäviä aikaisempien ulkomaalaisten vastaavien tutkimuksien kanssa. Tutkimus avasi ainakin tutkijan omaa näkemystä aiheeseen ja koko kemian opettamiseen yleensä.

Sisällys

TIIVISTELMÄ	I
1. JOHDANTO	1
2. KEMIAN OPPIMINEN	2
2.1 TIETEELLINEN TIETO VASTAAN ARKITIETO.....	2
2.2 KEMIALLISEN TIEDON KOLMITASOMALLI	3
2.3 OPPIMISKÄSITYKSET	5
2.3.1 <i>Passiivinen tiedon vastaanottaminen</i>	5
2.3.2 <i>Aktiivinen tiedon vastaanottaminen</i>	7
2.3.3 <i>Kokeellisuudesta kokemukselliseen oppimiseen</i>	8
2.4 HAVAINNOINTI JA TARKKAAVAISUUS.....	9
3. TUTKITTAVAN ILMIÖN KEMIALLINEN TAUSTA	10
3.1 KEMIALLISEN TASAPAINOVAKION LAUSEKE.....	11
3.2 ULKOINEN MUUTOS TASAPAINOTILAAN	13
3.2.1 <i>Konsentraation muutos</i>	13
3.2.2 <i>Lämpötilan muutos</i>	14
3.2.3 <i>Paineen muutos</i>	14
4. OPETUSSUUNNITELMA	15
4.1 KEMIALLINEN TASAPAINO LUKION OPETUSSUUNNITELMASSA	15
4.2 OPPIKIRJAT OPETUSSUUNNITELMAN ILMENTYMÄNÄ.....	18
5. VIRHEKÄSITYKSET KEMIALLISESTA TASAPAINOSTA LÄHDEKIRJALLISUUDEN PERUSTEELLA	18
5.1 ONGELMAT KEMIALLISEN REAKTION KÄSITYKSESSÄ	18
5.2 TASAPAINOREAKTION SUUNNAN ENNUSTAMINEN LISÄTTÄESSÄ KIINTEÄÄ AINETTA TAI LIUOTINTA	19
5.3 REAKTIONOPEUDEN PÄÄTTELEMINEN TASAPAINOVAKIOSTA	20
5.4 ONGELMAT TERMIEN YMMÄRTÄMISESSÄ	20
5.4 ONGELMAT LASKUTEKNIKKASSA	21
6. TUTKIMUSMENETELMÄ	22

7. TUTKIMUKSEEN VALITUT TEHTÄVÄT	23
8. TUTKIMUSTULOSTEN ANALYYSI	25
8.1 ENSIMMÄISEN KYSYMYKSEN VASTAUKSET	25
8.2 TOISEN KYSYMYKSEN VASTAUKSET	27
8.3 KOLMANNEN KYSYMYKSEN VASTAUKSET.....	28
8.4 NELJÄNNEN KYSYMYKSEN VASTAUKSET.....	28
8.5 VIIDENNEN KYSYMYKSEN VASTAUKSET.....	30
8.6 KUUDENNEN KYSYMYKSEN VASTAUKSET	31
8.7 SEITSEMÄNNEN KYSYMYKSEN VASTAUKSET	33
8.8. YHTEENVETO SAADUISTA VASTAUKSISTA.....	34
9. TUTKIMUKSEN TARKASTELU	36
LÄHTEET	36
LIITTEET.....	39

1. Johdanto

Tämän tutkimuksen tarkoitus on kartoittaa kemialliseen tasapainoon liittyviä virhekäsityksiä. Kemiallista tasapainoa pidetään eräänä lukion kemian vaikeimpana osa-alueena. Tärkein motivaatio tälle tutkimukselle on syventää omaa osaamista aihealueesta ja pyrkiä kehittämään omaa opettajuutta.

Konstruktivistisen näkemyksen mukaan opettajan on tiedostettava oppilaiden aiemmat tiedot voidakseen luoda tuloksellisen oppimistilanteen. Monet aiheeseen liittyvät virhekäsitykset ovat muodostuneet aiemmilla kemian kursseilla, joten katson tutkimuksen aiheen tärkeäksi kemian opettamisen kannalta.

Suomessa on tutkittu kohtalaisen vähän kemian didaktiikkaa. Kemiallisesta tasapainosta ei ole yhtään suomenkielistä tutkimusta. Tarvetta tutkimukselle siis on. Tämän tutkimuksen on tarkoitus pysyä sille määritellyissä rajoissa ja jättää samalla aihe avoimeksi mahdolliselle jatkotutkimukselle.

2. Kemian oppiminen

Kemia on kokeellinen luonnontiede, joka pyrkii selittämään tieteen keinoin ilmiöitä, joita kohtaamme jatkuvasti jokapäiväisessä arkielämässämme. Erilaisten ilmiöiden tieteellinen selitys kuitenkin poikkeaa usein huomattavasti arkielämän näkemyksestä asiaan.

Tässä luvussa esitellään niitä kemian oppimisen teoreettisia lähtökohtia, jotka liittyvät kemiallisen tasapainon, ja kemian yleensäkin, oppimiseen. Virhekäsitykset kemiallisesta tasapainosta pohjautuvat aiemmin saatuun tietoon koulusta tai arkielämästä. Aluksi pohditaan tieteellisen tiedon ja arkitiedon vastakkainasettelua. Tarkemmin syvennytään kemian tietorakenteen niin kutsuttuun kolmiomalliin sekä oppijan roolissa tapahtuneeseen muutokseen 1990-luvulla.

2.1 Tieteellinen tieto vastaan arkitieto

Arkitiedon voi väittää olevan individuaalista ja kokemusperäistä. Perustuuhan se usein yhteen ainoaan yksilön kohtaamaan tilanteeseen. Ihmiset muodostavat kokoajan käsityksiä luonnonilmiöistä ilman, että ymmärtäisivät niihin liittyvää fysiikkaa ja kemiaa. (Ahtee 1998, Johnstone 1991.)

Palaminen on esimerkki hyvin tutusta arkielämän ilmiöstä. Siihen liittyy kuitenkin useita virhekäsityksiä. Kuvitellaan tilanne, jossa ulkona palaa nuotio. On kaunis ilma-aurinko paistaa eikä juurikaan tuule. Lopulta nuotio sammuu. Miksi? Ja mitä nuotioon jää jäljelle? Sammuuko nuotio, koska palava aine loppuu? Kysymyksen kannalta on mietittävä, mitä on palaminen ja palamistuotteet.

Aineen palaessa syntyy oksideja. Esimerkiksi hiilen palamisen tapauksessa hiili-hiili-sidos katkeaa ja muodostuu hiili-happi-sidoksia. Tähän prosessiin tarvitaan tietty aktivoitumisenergia. Hiili-happi-sidokset ovat energeettisesti alempana kuin hiili-hiili-sidokset, minkä takia prosessissa vapautuu energiaa, josta osa menee palamisen ylläpitämiseen ja osa vapautuu ympäristöön. (Ross 1991.)

Yllä mainitun nuotio tapauksessa voidaan hätäisesti todeta sen sammuvan palavan aineen loppuessa, koska havaittavia palamistuotteita kuten tuhkaa, nokea ja hiiltä ei

mielletä palaviksi aineiksi arkielämässä. Kuitenkin esimerkiksi palomiehet osaavat varoa tulipalossa syntyvää savua ja muita palamistuotteita. He tietävät, että savukin voi palaa räjähdysmäisesti saadessaan tarpeeksi happea riittävässä lämpötilassa. Nuotio siis sammuu, koska ei ole riittävästi energiaa hiilen palamiseen. Energiaa voidaan tuoda vaikkapa sytytysnesteen polttamisella. Näinhän grillaaja saa hiiletkin palamaan. (Ross 1991.)

Edellä mainittu esimerkki osoittaa, että arkielämästä pinttyy päähämme sellaisia käsityksiä, joita emme edes osaa kyseenalaistaa. Tutkimuksissa on saatu jopa viitteitä arkitiedon ja tieteellisen tiedon varastoituvan ihmisen muistiin kahteen eri kohtaan. Hieman varovaisemmin voitaneen ainakin väittää näiden mieleen painamisessa ja palauttamisessa olevan erilaisia mekanismeja. Näin ollen oppilailta saadaan erilaiset vastaukset riippuen siitä esitetäänkö kysymys arkikielellä vai luonnontieteellisin termein. (Ahtee 1998.)

Erotuksena arkitietoon tieteellinen tieto pyrkii luomaan tarkan selityksen maailmasta (Johnstone 1991). Tieteellisessä tiedossa käsitteet on pyritty määrittelemään mahdollisimman yksiselitteisesti, vaikka monille arkielämässä käyttämillemme termeille on useita merkityksiä (Ahtee 1998).

Ihmisten väitellessä arkielämässä he saattavat pyrkiä yhteisymmärrykseen kompromissin kautta. Molempien käsityksistä pyritään siis muokkaamaan eräänlainen symbioosi, molempia tyydyttävä näkemys. Tieteellisessä väittelyssä taas pyritään kärjistämään näkemysten väliset eroavaisuudet, jotta näistä voidaan valita oikea ja hylätä väärä. (Ahtee 1998.) Siihen, mitä pidetään oikeana tietona, on tietysti eri näkemyksiä.

2.2 Kemiällisen tiedon kolmitasomalli

Johnstone on esitellyt kemiällisen tiedon kolmiomallin. Sen mukaan kemiällinen tieto jakaantuu eri tasoille. Tasot ovat makro-, mikro- ja symbolinen taso. Makrotasoon kuuluvat kaikki havaittavat ilmiöt. Mikrotasoon kuuluvat atomien ja molekyylien mittakaavassa tapahtuvat ilmiöt. Symbolinen taso taas sisältää kemian merkkikielen. Kuviossa 1 on esitetty näiden tasojen väliset suhteet. (Johnstone 1991.)

pelkän makrotason ilmiöiden tarkkailuna ja syventyisi ajan myötä kohti mikro- ja symbolista tasoa.

2.3 Oppimiskäsitykset

Oppimiskäsitykset perustuvat tiedon filosofiaan, mutta tässä käsitellään lähinnä oppijan erilaista roolia eri näkemyksissä. Tällä hetkellä vallitseva näkemys on, että rakennamme maailmankuvaamme yksilöllisesti, tai yhteisön osana, aikaisempien tietojemme pohjalta. Ei kuitenkaan voida sanoa, että kaikki aiemmin vallinneet näkemykset olisivat olleet epäkäytännöllisiä. Edelleenkin mallioppiminen on hyvä keino oppia vaikkapa joitain mekaanisia taitoja. Tässä tuodaan esille eräs keskeinen oppimiskäsityksissä 1900-luvulla tapahtunut muutos. Tänä aikana oppijasta on muotoutunut aktiivinen tiedon käsittelijä ja käsitys ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta oppimisen säätelijänä on vähentynyt. Kemian tunnilla suoritettavien laboratoriotöiden tekemisen kannalta tuodaan esille myös niin kutsuttu tekemällä oppimisen malli ja muistutetaan havainnoinnin merkityksestä oppitunnilla.

2.3.1 Passiivinen tiedon vastaanottaminen

Behavioristinen oppimisnäkemys nojautuu objektivistiseen ja empiiriseen ajatteluun. Objektivistisen näkemyksen mukaan on olemassa ihmisestä irrallaan oleva totuus, joka ilmenee kaikille samalla tavalla. Empiirisen mallin mukaan tuosta todellisuudesta voidaan saada tietoa kokemuksien ja havaintojen kautta. Näiden ajatuksien pohjalta John Locke (1632-1704) lähti määrittelemään käsitystään oppijasta tyhjänä tauluna, johon kokemukset jättävät jälkiään. Behavioristisen ajattelumallin mukaan ei ole mahdollista saada objektiivista tietoa ihmisen mielen sisällöstä ja tarkasteltaessa oppimisen tuloksia on keskityttävä ainoastaan ulkoisesti havaittavaan käytökseen. (Tynjälä 1999, 29.) Tämä on vahvaa empirismia, jossa havainnointi on ainoa oikea tapa hankkia tietoa. Näin ollen ei-havaituista, ihmisen sisäisistä toiminnoista ei voida saada tietoa

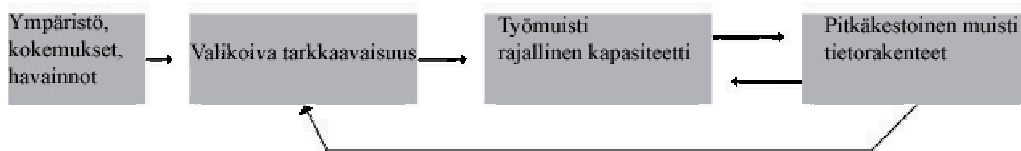
Behaviorismin merkittäviä tutkijoita on B.F.Skinner (1904-1990). Hän tutki laboratorio-olosuhteissa eläinten oppimista, jonka pelkisti ärsyke-reaktio parin muodostumiseen. Tavoite on siis tuottaa haluttu reaktio jollain sopivaksi todetulla ärsykkeellä. Haluttuun reaktioon voidaan vaikuttaa oppijan ulkopuolelta vahvistamalla eli palkitsemalla oikeaa käyttäytymistä. Vastaavasti ei-toivottua

käyttäytymistä voidaan heikentää rankaisemalla. Lisäksi behavioristisen näkemyksen mukaan paras oppimistulos saadaan pilkkomalla opeteltava asia pieniin kokonaisuuksiin, joiden hallinnan jälkeen edetään kohti monimutkaisempia toimintoja. (Tynjälä 1999, 31.) Mikäli opetusprosessi ei tuota toivottua tulosta, sitä voidaan toistaa kunnes haluttu tulos saadaan vahvistettua. Behaviorismiin liittyy myös voimakkaasti optimistinen ajatus, että mitä tahansa voidaan oppia. Tästä syystä behaviorismi sai paljon kannatusta etenkin Yhdysvaltojen yhteiskunnallisesta ilmapiiristä. (Rauste-von Wright & von Wright 1994, 111.)

Behavioristisen näkemyksen mukaan on siis olemassa valmista tietoa, jota voidaan siirtää sellaisenaan oppijaan. Behavioristisen oppimiskäsityksen mukainen kemian oppitunti voisi edetä seuraavaan tapaan: opettaja kirjoittaa taululle kemiallisen tasapainovakion määritelmän, minkä jälkeen hän laskee taululle yhden esimerkkilaskun. Tämän jälkeen hän antaa oppilaille tehtävän, jossa heidän pitää toistaa samat laskutoimenpiteet. Tätä voidaan toistaa lukuisia kertoja. Tehtävää voidaan myös tarvittaessa pilkkoa pienempiin osiin harjoittelemalla ensin vaikkapa pelkän tasapainovakion lausekkeen kirjoittamista reaktioille.

1950-luvulta lähtien, kognitiivisen psykologian kehittyessä, behaviorismia alettiin arvostella siitä, ettei se huomioi lainkaan oppijan sisäisiä toimintoja. Tämän kritiikin pohjalta kehittyi informaationprosessointiteoria (IP-teoria), joka rinnasti ihmisen sisäiset, kognitiiviset toiminnat tietokoneen toimintaan. Termit ”ärsyke” ja ”reaktio” korvattiin sanoilla ”input” (syöte) ja ”output” (tulos). Näiden termien välissä tapahtui oppijan omakohtainen tiedon prosessointi. (Tynjälä 1999, 31.)

IP-teorian mukainen tiedonkäsittely perustuu lähinnä muistin toimintaan. Oppimisprosessin tehtävä on siirtää työmuistissa oleva aines pitkäkestoiseen muistiin, josta se voidaan myöhemmin hakea takaisin työmuistiin. Syy unohtamiselle on joko epäonnistuminen tiedon siirtämisessä pitkäkestoiseen muistiin tai tiedon palauttamisessa pitkäkestoisesta muistista. Tiedon käsittely muistissa on helpompaa, jos tieto on rakentunut mielekkäistä kokonaisuuksista. (Tynjälä 1999, 33-34.) IP-teorian mahdollisuuksia luonnontieteiden opettamisessa on tutkinut Alex Johnstone. Kuviossa 2 on esitetty IP-teorian mukainen tiedonkäsittely Johnstonen mukaan.



Kuvio 2. Informaationprosessoinninmalli (Johnstone 1991)

1950-luvulta lähtien alkoi kehittyä niin kutsuttu moderni IP-teoria, joka hylkää empiristisen näkemyksen hahmottaa todellisuus. Täydellistä kuvaa maailmasta ei saadakaan havainnoilla, koska ne ovat yksilöstä riippuvaisia. Moderni IP-teoria on askel kohti konstruktivismia, koska siinä korostetaan tiedonmuodostuksen olevan yksilön aktiivinen prosessi eikä passiivista vastaanottoa. (Tynjälä 1999, 35.)

IP-teoria ja kognitiivinen psykologia ovat suunnanneet paljon opettamista ja didaktiikkaa. Niiden antina voidaan pitää melkein kaikkia muistin ja havainnoinnin toiminnan huomioivia opetustekniikoita. Näihin voidaan lukea melkein mitä vain asioiden etenemisjärjestyksen suunnittelusta piirtoheitinkalvojen sommitteluun.

2.3.2 Aktiivinen tiedon vastaanottaminen

Immanuel Kant (1724-1804) pyrki tietoteoriassaan ratkaisemaan empiristisen ja rationaalisen näkemyksen ristiriidan. Kokemuksen edellytyksenä on ihmisen tietokyvyn rakenne, johon havainnot perustuvat. Tiedosta muodostuu ymmärrettävä kokonaisuus empirististen havaintojen ja rationalististen päätelmien vuorovaikutuksessa. (Rauste-von Wright & von Wright 1994, 115.)

Konstruktivistinen oppimiskäsitys rakentuu tälle perustalle. Konstruktivismissa korostetaan oppimisen olevan aktiivista toimintaa, jossa oppija tulkitsee saamaansa informaatiota aikaisempien tietojensa pohjalta ja rakentaa, konstruoi, omanlaisensa kuvan maailmasta. Oppiminen on siis oppilaan oman kokemusmaailman uudelleen organisoitumista. (Enkenberg 1998, 162.)

Konstruktivistinen oppimisenäkemys jakautuu eri koulukuntiin lähinnä sen mukaan, miten painotetaan kognitiivista psykologiaa sekä yksilön ja yhteisön roolia tiedon rakentumisessa. Kognitiivisen konstruktivismin uranuurtaja on sveitsiläinen Jean Piaget (1896-1980), joka oli koko konstruktivistisen näkemyksen ensimmäisiä puoltajia. Hän painotti yksilön kognitiivisia taitoja tiedon konstruoinnissa. Vastakohtana tälle neuvostoliittolainen Lev Vygotski (1896-1934) painotti

enemmän yhteisöllisyyttä ja oppimisen kulttuurisidonnaista luonnetta sosiokulttuurisessa teoriassaan. (Rauste-von Wright 1994 & von Wright, 118-120 ja Tynjälä 1999, 44-47.)

Leach ja Scott ovat kehitelleet luonnontieteiden oppimisen mallia, joka pyrkii kytkemään yhteen yksilöllisen ja yhteisöllisen tiedon rakentumisen. Yhteisössä muodostuu tietty tapa käsitellä asioita ja oppiessaan yksilö hyväksyy yhteisön näkemyksen ja muokkaa siitä omanlaisensa käsityksen. Oppiessaan yksilö kykenee käsittelemään samaa aihetta, vaikkapa energian käsitettä, eri yhteisöjen edellyttämällä tavalla. Fysiikan tunnilla oppilas ymmärtää, ettei energia voi hävitä, mutta arkikielessä hän voi väittää kuluttaneensa kaiken energiansa pitkällä kävelylenkillä. Opettaja on keskeisessä roolissa ohjatessaan oppilasta tämän sisäistäessä yhteisössä muodostettuja tietoja. (Leach & Scott 2003.)

Luonnontieteellisen maailmankuvan omaksumiseen ei riitä pelkkä määritelmien ja käsitteiden ulkoluku. Näkemyksistä tulisi keskustella ja väitellä. Tällä tavalla opitaan perustelemaan oma käsitys tieteellisesti pätevin termein. Opettajan täytyy itse perustella sanomisensa loogisesti. Lisäksi luokkahuoneeseen olisi luotava sellainen ilmapiiri, jossa oppilaatkin uskaltavat kertoa omista ajatuksistaan. (Ahtee 1998.)

Konstruktivismi hylkää objektivistisen totuuden korrespondenssiteorian, jonka mukaan tietojen totuudellisuus määräytyy sen mukaan, kuinka hyvin ne vastaavat todellisuutta. Ainakin voidaan väittää, ettei totuudellisuus ole enää keskeisin arvo. Konstruktivistien käyttämiä totuusteorioita ovat olleet sen sijaan esimerkiksi pragmatismi ja koherenssiteoria. Pragmatistien mukaan totta on se, mikä toimii käytännössä ja koherenssiteorian mukaan taas se, mikä sopii aikaisempiin tietoihin (Rasinkangas 2005).

2.3.3 Kokeellisuudesta kokemukselliseen oppimiseen

Luonnontieteelliseen työskentelyyn kuuluu olennaisena osana kokeellisuus. Koulussa tehtävien laboratoriotöiden hyödyllisyydestä voidaan kuitenkin olla montaa mieltä. Hyödyllisenä niitä voidaan pitää ainakin siitä syystä, että ne rikkovat oppilaiden muutoin hyvin rutiininomaista koulunkäyntiä. Kemian oppimisen kannalta kokeiden hyödyllisyys ei kuitenkaan ole yksiselitteistä (Johnstone 1991).

Kokeellisuus ei tarkoita pelkästään oppilaiden itsenäisiä laboratoriotöitä vaan se voi tarkoittaa myös opettajajohtoista demonstraatio-opetusta. Tällöin opettaja voi tehdä työn kokonaan tai osittain ja samalla suunnata oppilaiden valikoivaa tarkkaavaisuutta oikeisiin yksityiskohtiin esittämällä kysymyksiä ja huomioita. (Kyyrönen 1999 ja Lampiselkä 2003.)

John Deweyn (1859–1952) pyrkimyksenä oli lapsikeskeisen pedagogiikan kehittäminen pragmatismilla pohjalta. Hänen ajatuksensa kiteytetään tyypillisesti fraasiin ”learning by doing” (tekemällä oppiminen) (Rauste-von Wright & von Wright 1994, 115-117). Tekemiseksi ei kuitenkaan tässä tapauksessa käy esimerkiksi jäljittely kuten aiemmin kuvatussa behavioristisessa opetuksen mallissa. Oleellista on, että oppimistilanne luo kognitiivisen ristiriidan oppilaan aikaisempien tietojen ja uuden hypoteesin välille. Oppilas pääsee siten käytännössä testaamaan näitä käsityksiä ja toivottavasti toteamaan hänelle esitetyn uuden, tieteellisen selityksen kuvaavan paremmin maailmaa.

Behavioristisessa näkemyksessä motivaatio oppimiseen saadaan selkeästi ulkoisen säätelyn avulla palkitsemalla tai rankaisemalla. Deweyn tekemällä oppimisen malliin liittyy humanistinen näkemys, jonka mukaan ihmisellä on luonnollinen halu oppia (Cantell 2001, 16). Konstruktivismilla yhteydessä on vasta 1990-luvulta alkaen tarkasteltu motivaatiota oppijan aktiivisuuden tekijänä. Opettajan kannalta tärkein motivointikeino on tehtävän laatiminen oppijan taitojen mukaiseksi.¹

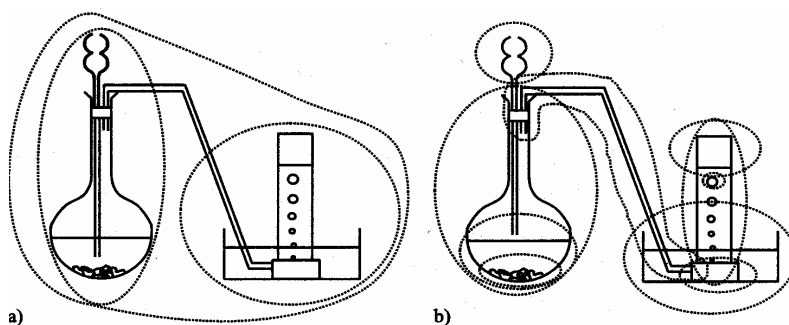
2.4 Havainnointi ja tarkkaavaisuus

Ihminen tekee havaintoja ympäristöstään kaikilla aisteillaan. Osa näistä havainnoista on tiedostettuja, osa tiedostamattomia. Ainoastaan tiedostetut havainnot pääsevät työmuistin prosessoitaviksi, jolloin ne varastoituvat pitkäkestoiseen muistiin, josta ne voidaan myöhemmin aktiivisesti palauttaa työmuistiin käytettäväksi. (Näätänen, Niemi, Laakso & Peltola, 1995, 50-53.)

¹ lisää motivaation merkityksestä ks. Tynjälä 1999, 98-110.

Konstruktivistisessa näkemyksessä korostuu havaitsijan aktiivinen toiminta havaitsemisprosessissa. Informaatiota on saatavilla valtavasti, josta vain murto-osa valitaan käsiteltäväksi. Valintaa ohjaavat aikaisemmat tiedot. (Rauste-von Wright & von Wright 1994, 23-26.)

Kokeellisissa luonnontieteissä havaintojen merkitys oppimistulokseen on suuri. Opettajan mielestä erinomainen ilmiö voi olla oppilaalle täysin yhdentekevä siitä syystä, että he kohdistavat tarkkaavaisuutensa eri seikkoihin. Kemian opettamisen kannalta tämä onkin tärkeää seikka ymmärtää. (Lampiselkä 2003, 22 ja Näätänen ym. 1995, 20-23.) Kuviossa 3 on esitetty, kuinka eri tavalla oppilas ja opettaja voivat nähdä esimerkiksi kaasunkeräyslaitteiston. Opettaja kykenee ajattelemaan laitteiston muutaman suuren kokonaisuuden summana, mutta oppilas joutuu tarkastelemaan jokaista pientä yksityiskohtaa erikseen, mikä tietysti kuormittaa työmuistia enemmän. On syytä huomioida, että opettajan pitäisi kuitenkin kyetä huomaamaan mahdolliset virheet oppilaan kokoaman laitteiston yksityiskohdissa.



Kuvio 3. Ekspertin(a) ja noviisin(b) näkemys kaasunkeräyslaitteesta (White 1989, 130)

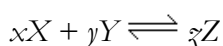
3. Tutkittavan ilmiön kemiallinen tausta

Kemiallinen tasapaino on kohdattavissa kaikkialla ympärillämme. Klassinen esimerkki on tippukiviluola, joka perustuu kalsiumkarbonaatin liukoisuustasapainoon. Jokapäiväistä elämää lähempänä esimerkkinä mainittakoon, että suljetussa limsapullossakin vallitsee tasapaino muun muassa limsaan liuenneen ja kaasumaisen hiilidioksidin välillä. Lisäksi limsassa on hiilidioksidin ja hiilihapon välinen tasapaino. Tässä esitellään kemiallinen tasapaino ilmiönä lähtemällä liikkeelle tasapainovakion lausekkeesta ja perustelemalla sen toimivuutta hieman lukion oppimäärää laajemmin. Tarkoitus on perehtyä aiheeseen aineenopettajan

viitekehuksesta käsin eli siinä laajuudessa, missä lukion kemian opettajan on vähintään tunnettava kemialliseen tasapainoon liittyvät seikat.

3.1 Kemiallisen tasapainovakion lauseke

Yleiselle kemialliselle reaktiolle



voidaan kirjoittaa tasapainovakion, K , lauseke seuraavasti

$$K = \frac{(a_Z)^z}{(a_X)^x (a_Y)^y}$$

Kaavassa pienet kirjaimet saadaan stoikimetricista kertoimista ja isot kirjaimet ilmaisevat kemiallista ainetta. Kaavassa esiintyy käsite aktiivisuus, a . Puhtaiden aineiden aktiivisuus standarditilassa on yksi. Samoin kiinteän aineen ja liuottimen aktiivisuus on myös yksi. Liuoksilla aktiivisuuden voidaan käsittää olevan aineen tehokas konsentraatio. Laimeilla liuoksilla, joiden konsentraatio on pienempi kuin 0,1 M, aktiivisuuskertoimen arvo on yksi. Laimean liuoksen aktiivisuus voidaan siten approksimoida samaksi liuoksen konsentraation kanssa. Tätä väkevämmissä liuoksissa alkaa esiintyä vuorovaikutuksia liuenneiden partikkeleiden välillä, jolloin aktiivisuus eli tehokas konsentraatio pienenee ja käytettäessä suoraan konsentraatiota aktiivisuuden tilalla tuloksiin aiheutuu epätarkkuutta. Seuraavassa esitetään asia matemaattisesti:

$$a_i = \frac{\gamma_i m_i}{m_i^0}, \text{ missä } a_i \text{ on aktiivisuus, } m_i \text{ on molaalisuus, } m_i^0 \text{ on molaalisuus}$$

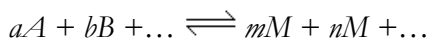
standarditilassa ja γ_i on aktiivisuuskerroin. m_i^0 :n arvoksi on määritelty yksi. Saadaan $a_i = \gamma_i m_i$, missä $\gamma_i \approx 1$ laimeille liuoksille, jolloin aktiivisuus on sama molaalisuuden kanssa. Molaalisuuden sijasta yleensä käytetään molaarisuutta, jonka yksikkö on mol/l.

Kaasujen aktiivisuus muodostuu aktiivisuuskertoimesta ja kaasun osapaineesta seuraavasti

$$a_i = \gamma_i p_i$$

Ideaalikaasujen tapauksessa voidaan olettaa, ettei kaasupartikkeleiden välillä ole vuorovaikutusta, milloin $\gamma_i \approx 1$. Näin ollen ideaalikaasun aktiivisuus on sama kuin sen osapaine. Osapaineen yksikkönä käytetään bar:ia. (Housecroft & Constable 2002, 442-443.)

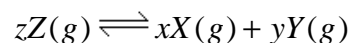
Lukiossa ei käytetä termiä aktiivisuus vaan kemiallisen tasapainovakion lauseke annetaan suoraan konsentraatioiden muodossa



$$K = \frac{[M]^m [N]^n \dots}{[A]^a [B]^b \dots}, \text{ missä hakasulkeet tarkoittavat konsentraatiota yksikössä mol/l.}$$

(Haavisto, Nikkola & Viljanmaa, 2000, 134 ja Lehtiniemi & Turpeenoja 2003, 50.)

Lukiossa ei myöskään käytetä kemiallisen tasapainon laskutehtävissä osapaineita vaan kaasujenkin tapauksissa tehtävissä ilmoitetaan suureina konsentraatiot. Tasapainovakion lauseke voitaisiin kirjoittaa myös seuraavasti osapaineiden avulla



$$K_p = \frac{(p_x)^x (p_y)^y}{(p_z)^z}$$

Osapaineiden ja konsentraatioiden avulla lasketun tasapainovakion välillä vallitsee seuraava riippuvuus

$$K_p = K(RT)^{\Delta g}, \text{ jossa } \Delta g = (x + y) - (m + n) \text{ reaktiolle } mA + nB \rightleftharpoons xC + yD$$

(Robinson, Odom & Holtzclaw, 1997, 515.)

3.2 Ulkoinen muutos tasapainotilaan

Ajatellaan, että tasapainossa olevaan kemialliseen systeemiin kohdistuu jokin tasapainoa järkyttävä muutos. Le Châtelier'n periaatteen mukaan systeemi pyrkii reagoimaan siten, että tapahtunut muutos kumoutuisi ja systeemi palaisi tasapainotilaan. (Harris 1999, 117.)

Le Châtelier'n periaate on saanut myös kritiikkiä. Le Châtelier muunteli lausahduksestaan erilaisia versioita. Yllä oleva versio säännöstä on siinä muodossa, jossa se tänä päivänä tunnetaan. On myös ehdotettu Le Châtelier'n periaatteen korvaamista van't Hoffin yhtälöistä johdetuilla säännöillä, jotka voidaan ilmaista tähän kontekstiin lyhennettyinä versioina: (1) korkeampi lämpötila suosii korkeampaa entalpiaa ja (2) korkeampi paine suosii pienempää tilavuutta. (Quílez-Pardo & Solaz-Portolés 1995, Kemp 1987 ja Gold & Gold 1985.)

3.2.1 Konsentraation muutos

Tarkastellaan seuraavaa kemiallista tasapainoreaktiota vedyn ja jodin välillä



Mikäli tasapainossa olevasta systeemistä poistetaan vetyä, pyrkii systeemi kumoamaan vedyn poistamisen ja vetyjodidin konsentraatio pienenee sen hajotessa vedyksi (ja jodiksi). Vastaavat muutokset konsentraatioissa tapahtuvat lisättäessä tai poistettaessa jodia tai vetyjodidiakin. (Robinson ym. 1997, 517-518.)

Tilannetta voidaan tarkastella myös matemaattisesti tasapainovakion lausekkeen kautta. Tätä menetelmää kutsutaan lukion oppikirjoissa massavaikutuksen laiksi (Haavisto ym. 2000, 134). Oletetaan, että kaasujen konsentraatiot ovat $[H_2] = [I_2] = 0,221 \text{ M}$ ja $[HI] = 1,563 \text{ M}$ ja lämpötila 400 °C . Tällöin systeemi on tasapainotilassa

$$K = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = \frac{1,563^2}{0,221 \cdot 0,221} = 50,0$$

Lisätään vedyn konsentraatio $0,4 \text{ M}$:ään. Kirjoitetaan reaktio-osamäärä, Q , kuten tasapainovakion lausekekin, mutta käytetään konsentraatioita, jotka vallitsevat heti tehdyn muutoksen jälkeen ennen kuin lisätty vety ehtii reagoida.

$$Q = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = \frac{1,563^2}{0,4 \cdot 0,221} = 27,6 < K$$

Tällöin reaktion täytyy edetä siten, että reaktio-osamäärä saavuttaa tasapainovakion arvon (tasapainossa $Q = K$). Tässä tapauksessa reaktio-osamäärän täytyy kasvaa, mikä tapahtuu, kun sen osoittaja kasvaa ja nimittäjä pienenee (muodostuu vetyjodidia).

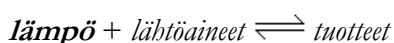
3.2.2 Lämpötilan muutos

Systeemin lämpötilaa muutettaessa, muuttuu myös tasapainovakion arvo. Lämpötilan muutoksen vaikutus voidaan ennustaa määrittelemällä seuraava tasapainovakion ja Gibbsin energian suhde

$$K = e^{-\Delta G^0 / RT} = e^{-(\Delta H^0 - T\Delta S^0) / RT} = e^{(-\Delta H^0 / RT + \Delta S^0 / R)} = e^{-\Delta H^0 / RT} \cdot e^{\Delta S^0 / R}$$

Lämpötilan noustessa termi $e^{-\Delta H^0 / RT}$ kasvaa, jos ΔH on positiivinen, ja pienenee, jos ΔH on negatiivinen. Termi $e^{\Delta S^0 / R}$ ei riipu lämpötilasta. Näin ollen endotermisen reaktion ($\Delta H > 0$) tasapainovakion arvo kasvaa nostettaessa lämpötilaa ja eksotermisen ($\Delta H < 0$) tasapainovakion arvo pienenee nostettaessa lämpötilaa. (Haris 1999, 117-118.)

Lämpötilan nostamisen vaikutus tasapainoon voidaan ymmärtää myös Le Châtelier'n periaatteen mukaisesti. Ajatellaan endotermistä reaktiota



$$K = \frac{\text{tuotteet}}{\text{lähtöaineet}}$$

Kun lämpötilaa nostetaan, systeemi pyrkii kumoamaan tehdyn muutoksen ja tasapaino siirtyy oikealle. Tällöin tasapainovakion arvo kasvaa. (Harris 1999, 118.)

3.2.3 Paineen muutos

Paineen muutoksella on merkittävä vaikutus tasapainosysteemiin, mikäli siihen kuuluu kaasuja – ja silloinkin vain, jos reaktio aiheuttaa muutoksen kaasumolekyylien määrässä systeemin sisällä. (Robinson ym. 1997, 518-519.)

Ajatellaan reaktiota $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$, jonka tasapainovakion lauseke on

$$K_p = \frac{(p_B)^2}{(p_A)}$$

Mikäli tämän systeemin painetta nostetaan pienentämällä reaktioastiaa, molempien kaasujen osapaineet suurenevat. Tasapainovakion lausekkeen oikea puoli pysyy vakiona ainoastaan, jos reaktion tasapaino siirtyy vasemmalle muodostaen lisää A:ta. Le Châtelier'n periaatteen mukaisesti lisääessä painetta systeemin pyrkii kumoamaan tehdyn muutoksen, mikä onnistuu vähentämällä kaasupartikkeleiden määrää. (Atkins & de Paula 2002, 234.)

4. Opetussuunnitelma

Valtakunnallinen opetussuunnitelma luo perusteet myös kemiallisen tasapainon opetukselle. Opetussuunnitelman avulla yhteiskunta säätelee koulun tehtäviä. Tässä esitellään opetussuunnitelman pääpiirteet tutkimuksen aiheen alueelta eli vanhan opetussuunnitelman neljännen ja uuden opetussuunnitelman viidennen kurssin osalta. Opetussuunnitelman voidaan katsoa jakautuvan neljään osaan. Kirjoitetun valtakunnallisen opetussuunnitelman pohjalta aineenopettaja laatii koulukohtaisesti ruohonjuuritasolla toimeenpantavan opetussuunnitelman. Toteutuneella opetussuunnitelmalla tarkoitetaan opetuksen tuloksia eli oppilaiden omaksumia tietoja ja asenteita. Paljon puhuttu piilo-opetussuunnitelma taas voidaan ilmaista matemaattisesti muodossa

$$OPS_{piilo} = OPS_{toteutunut} - OPS_{toimeenpantu}$$

Piilo-opetussuunnitelmaan kuuluu esimerkiksi oppiminen jonottamaan ja viittaamaan. Myös erilaiset asenteet ja sukupuoliroolit kuuluvat tyypillisesti piilo-opetussuunnitelmaan.

4.1 Kemiallinen tasapaino lukion opetussuunnitelmassa

Opetushallituksen vuonna 1994 julkaisemissa opetussuunnitelman perusteissa käsitellään lukion kemian opetusta kolmen sivun verran. Asetuksessa korostetaan

kemian olevan kokeellinen luonnontiede, jossa edetään havainnoista kohti täsmällistä kemian merkkikieltä (vrt. kemiallisen tiedon kolmiomalli, Johnstone 1991) ja pyritään ymmärtämään ja ennustamaan aineiden ominaisuuksia. LOPS:in (Lukion opetussuunnitelman perusteet) mukaan kemian opiskelun tarkoitus on tukea maailmankuvan kehittymistä ja ymmärtää kemian osuus ihmisen ja luonnon välisessä vuorovaikutuksessa. (Opetushallitus 1994, 80.)

Vanhassa opetussuunnitelmassa on yhden pakollisen kemian kurssin lisäksi kolme syventävää kurssia. Näiden lisäksi kouluissa voidaan tarjota resurssien mukaan soveltavina kursseina esimerkiksi työkurseja. Ensimmäinen kurssi käsittelee kemiaa yleisesti kestäväen kehityksen viitekehyksestä. Toinen pitää sisällään orgaanista kemiaa. Kolmannen kurssin tärkeimpiä sisältöjä ovat stoikiometria ja hapettumis-pelkistymisreaktiot. (Meisalo & Lavonen 1994, 77-81.)

Neljäs kurssi on nimeltään *Tutkimus, teknologia ja ympäristö*. Kurssilla tutkitaan kemiallisen reaktion kinetiikkaa ja tasapainoa ja niiden sovelluksia. Lisäksi pitäisi myös perehtyä erilaisiin nykyaikaisen kemian tutkimusmenetelmiin. Kemiallinen tasapaino erilaisine sovelluksineen vienee kuitenkin suurimman osan kurssin tunteista. (Meisalo & Lavonen 1994, 77-81.)

Vuoden 2003 syksyllä opetushallitus julkaisi uudet opetussuunnitelman perusteet, joiden on määrä astua voimaan syksystä 2005 alkaen. Uudessa asetuksessa on hieman yksityiskohtaisemmin ilmaistu myös kemian kurssien sisältöjä. Uudistuksen merkittävin saavutus kemian kannalta on tarjottavien kurssien lukumäärän nostaminen viiteen eli yhteen pakolliseen ja neljään syventävään, joiden lisäksi voidaan tietysti tarjota koulukohtaisia soveltavia kursseja. Huomattavaa on, että lukion kemian oppimäärän sisältöä ei kuitenkaan ole lisätty – ainoastaan eri tavalla järjestetty. Tämä antanee enemmän aikaa käsitteiden opiskeluun ja sitä kautta mahdollistaa myös kokeellisuuden lisäämisen.

Uuden opetussuunnitelman kahdessa ensimmäisessä kemian kurssissa käsitellään suurin piirtein samat asiat kuin vanhan opetussuunnitelman mukaankin. Aiheita on uudelleenjärjestetty tuomalla orgaanista kemiaa ensimmäiseen kurssiin. Samalla jaksollinen järjestelmä ja sen kautta ennustettavat aineiden ominaisuudet on siirretty toiseen kurssiin. Kolmannessa kurssissa käsitellään kemiallista reaktiota ja stoikiometriaa. Reaktion kinetiikka on tuotu jo kolmanteen kurssiin ja

hapettumis- ja pelkistymisreaktiot on siirretty neljänteen kurssiin, jossa käsitellään myös sähkökemiamia.

Kemiallisen tasapainon opettamisen kannalta positiivista on, että uuden opetussuunnitelman mukainen kemian viides kurssi, *Reaktiot ja tasapaino*, käsittelee pelkästään kemiallisia reaktioita ja tasapainoa. Kurssin tavoitteena on että oppilas ymmärtää kemialliseen tasapainoon liittyviä laskennallisia sovelluksia, ymmärtää kemiallisen tasapainon merkityksen teollisuudessa ja luonnonilmiöissä ja osaa tutkia kokeellisesti ja malleja käyttäen aiheeseen liittyviä ilmiöitä. Kurssin keskeiset sisällöt ovat reaktiotasapainon lisäksi happo-emästasapaino, liukoisuustasapaino ja tasapainoon liittyvät graafiset esitykset. Tavoitteet ja sisällöt on esitetty vielä tiivistetysti kuvioissa 4 ja 5. (Opetushallitus 2003.)

<p>Tavoitteet</p> <p>Kurssin tavoite on, että opiskelija,</p> <ul style="list-style-type: none">- ymmärtää reaktion tasapainotilan muodostumisen ja siihen liittyviä laskennallisia tasapainosovelluksia- ymmärtää tasapainon merkityksen ja tutustuu tasapainoon teollisuuden prosesseissa ja luonnon ilmiöissä- osaa tutkia kokeellisesti ja malleja käyttäen kemialliseen tasapainoon liittyviä ilmiöitä.

Kuvio 4. Kurssin *Reaktiot ja tasapaino* tavoitteet (Opetushallitus 2003)

<p>Keskeiset sisällöt</p> <ul style="list-style-type: none">- reaktiotasapaino- happo-emästasapaino, vahvat ja heikot protolyytit, puskuriliuokset ja niiden merkitys- liukoisuus ja liukoisuustasapaino- tasapainoon liittyvät graafiset esitykset

Kuvio 5. Kurssin *Reaktiot ja tasapaino* keskeinen sisältö (Opetushallitus 2003)

4.2 Oppikirjat opetussuunnitelman ilmentymänä

Suomessa suurimmalla osalla oppilaista on oppikirja. Oppikirjat sijoittuvat kirjoitetun ja toimeenpannun opetussuunnitelman välimaastoon. Siten oppikirjoja tutkimalla voidaan saada tietoa niiden vaikutuksista oppimistuloksiin. Tähän tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden keskuudessa käytetyimmät kirjat olivat MOOLI 4 (Lehtiniemi & Turpeenoja 2003) ja KEMIA 4 (Haavisto ym. 2000). Kirjoja ei huomioida tässä tutkimuksessa. Molemmista löytyvät samat asiat, mutta hieman eri tavalla esitettyinä. Karkeasti ottaen KEMIA 4 esittää asiat tiiviimmin kuin MOOLI 4.

5. Virhekäsitykset kemiallisesta tasapainosta lähdekirjallisuuden perusteella

Kemian oppimisessa edetään yksinkertaisista ja konkreettisista malleista kohti tarkempia ja teoreettisempia selityksiä eri ilmiöille. Aluksi opitut yksinkertaistetut mallit vaikeuttavat usein myöhempää opiskelua. Esimerkiksi atomin elektronirakenne käsitellään perusopetuksessa Bohrin atomimallin avulla. Myöhemmin oppilaiden pitäisi kuitenkin kyetä hylkäämään aikaisemmin oppimansa ja hyväksyä kvanttimekaaninen selitys elektronikonfiguraatiolle, mikä edellyttää aivan toisenlaista näkemystä. Samankaltainen ristiriita on pääosassa kemialliseen tasapainoonkin liittyvissä virhekäsityksissä, jotka kumpuavat kemiallisesta reaktiosta aiemmin opitusta tiedosta. Kemiallisen tasapainon opettamisessa on kyettävä määrittelemään esiin tulevat termit tarkasti ja tiedostettava oppilaiden aikaisemmat tiedot niistä.

5.1 Ongelmat kemiallisen reaktion käsityksessä

Käsite kemiallinen reaktio, jossa aine muuttuu toiseksi aineeksi, on ristiriidassa arkitiedon kanssa, jonka mukaan aine on jotain pysyvää ja muuttumatonta. Oppilaat eivät hyväksy helpolla aineen muuttumisesta toiseksi aineeksi. Tässä yhteydessä aineilla tarkoitetaan yhdisteitä, koska alkuaineet eivät todellakaan muutu kemiallisessa reaktiossa. Aineen saatetaan uskoa katoavan tai vaihtuvan toiseksi aineeksi ja tai muuttuvan hieman, mutta säilyttävän silti alkuperäisen

identiteettinsä. Monesti kemiallisia ilmiöitä selitetäänkin fysikaalisten ominaisuuksien muuttumisella, koska esimerkiksi erilaiset olomuodon muutokset ovat hyvin tuttuja arkielämästä. (Ahtee & Varjola, 1998, Andersson 1990 ja Hesse & Anderson 1992.)

Kemiallinen reaktio on kemian perusopetuksen keskeisimpiä käsitteitä. Kemialliseen reaktioon opitaan liittämään aina jokin makrotasolla havaittava muutos. Tällaisia ovat muun muassa äänet, hajut, olomuodon- ja värinmuutokset. Lisäksi kemiallinen reaktio saatetaan esittää korostamalla tahattomasti sen etenevän yksisuuntaisesti lähtöaineista tuotteiksi (Van Driel, De Vos & Verloop 1998, 1999). Tyypillinen esimerkki on palamisreaktio. Palaminen voidaan yleensä havaita ja lisäksi se mielletään palauttamattomaksi, prosessiksi. Eihän arkielämässä kukaan saa muutettua nuotion tuhkaakaan takaisin puuksi. Oppilaat mieltävät fysikaaliset muutokset käänteiseksi, mutta kemialliset muutokset yksisuuntaisiksi prosesseiksi, mikä johtunee siitä, että kemialliseen reaktioon tutustutaan usein esimerkkien kautta, jotka ovat yksisuuntaisia (Gabel 1999). Lisäksi kaikkien lähtöaineiden oletetaan muuttuvan aina tuotteiksi. Nämä kaikki käsitykset muodostavat ristiriitoja edettäessä kohti kemiallisen tasapainon käsitettä.

TAULUKKO 1. Kemiallisen tasapainon ymmärtämiseksi tarvittavat käsitteelliset muutokset kemiallisesta reaktiosta. (Van Driel 1998)

Käsitys kemiallisesta reaktiosta	Tasapainon ymmärtämiseen vaadittava käsitys
Kemiallinen reaktio on yksisuuntainen prosessi, jossa lähtöaineet muuttuvat tuotteiksi.	Useat reaktiot ovat käänteisiä eli tuotteet voivat muuttua takaisin lähtöaineiksi.
Kemiallinen reaktio etenee aina loppuun saakka. Tuotteita syntyy kunnes jokin lähtöaineista loppuu.	Tasapainotilassa reaktio ei etene loppuun saakka. Tuotteita ja lähtöaineita on olemassa yhtä aikaa systeemissä.
Kemialliseen reaktioon kuuluu jokin havaittava muutos makrotasolla.	Kemiallisessa tasapainossa ei havaita muutosta makrotasolla. Systeemissä tapahtuu yhtä aikaa kaksi reaktiota, jotka kumoavat toisensa.

5.2 Tasapainoreaktion suunnan ennustaminen lisättäessä kiinteää ainetta tai liuotinta

Yleisin tapa ennustaa jonkin muutoksen aikaansaama vaikutus kemialliseen tasapainoon on käyttää Le Châtelier'n periaatetta. Se on opettajien mielestä looginen

ja helppo sääntö opettaa. Le Châtelier'n periaate ei kuitenkaan sovellu tapauksiin, joissa lisätään kiinteää ainetta tai vettä (liuotinta) (Tyson & Treagust 1999). Näiden aktiivisuus on yksi ja niitä ei kirjoiteta tasapainovakion lausekkeeseen. Kiinteän aineen lisäys ei siis häiritse tasapainoa. Useimmissa reaktioissa, joissa vesi ottaa osaa reaktioon (kuten tämän tutkimuksen kysymyksessä seitsemän), veden lisäys vaikuttaa tasapaino asemaan, koska se laimentaa konsentraatioita. Näin ollen veden lisäyksen tapauksessa saadaan oikea vastaus myös Le Châtelier'n periaatteellakin. Tässä täytyy todeta, ettei suomalaisissa lukioissa juurikaan käsitellä tällaisia tehtäviä, vaan kemiallisen tasapainon käsittely on rajattu sangen tarkasti pelkkiin homogeenisiin kaasufaasissa tapahtuviin reaktioihin (Saarinen 1997).

5.3 Reaktionopeuden päätteleminen tasapainovakiosta

Yleinen virhekäsitys on, että suuresta tasapainovakion arvosta voidaan päätellä reaktion tapahtuvan nopeasti ja spontaanisti (Banerjee 1991). Tasapainovakiosta ei voida päätellä reaktion nopeutta, mutta suuri tasapainovakion arvo kertoo kuitenkin reaktion tapahtuvan spontaanisti. Spontaanin reaktion Gibbsin energia on negatiivinen. Tasapainovakio voidaan ilmoittaa Gibbsin energian avulla

$$K = e^{-\Delta G^0 / RT}$$

Näin ollen reaktio on spontaani, kun $\Delta G < 0$, jolloin $K > 1$. (Harris 1999, 116.)

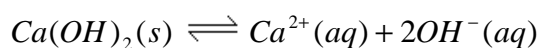
5.4 Ongelmat termien ymmärtämisessä

Berguist ja Heikkinen (Berguist & Heikkinen 1990) ovat tutkineet, mitä oppilaat ymmärtävät kemiaan liittyvillä termeillä. Usein tasapainon kuvitellaan vallitsevan, kun kaikkien systeemin aineiden konsentraatiot ovat samat. Kuvaajasta, jossa on tuotteiden ja lähtöaineiden konsentraatiot ajan funktiona, voidaan osoittaa oppilaille, ettei päätelmä pidä paikkaansa. (Tyson & Treagust 1999.)

Oppilaiden on myös vaikea käsittää tasapainon dynaaminen luonne. Ajatusten pääpainon keskittyessä oikealle ja vasemmalle eteneviin reaktioihin ei onnistuta näkemään kemiallista tasapainoa kokonaisuutena vaan sitä käsitellään kahtena eri reaktiona. (Gussarsky & Gorodetsky 1990.)

Suljettu systeemi tulee esille kemiallisen tasapainon yhteydessä. Oppilas mieltää helposti suljetun systeemin astiaksi, jonka kansi on kiinni. Näin onkin käsiteltäessä kaasuja, mutta tavallaan myös avoin keitinlasi, jossa on vettä ja suolaa, muodostaa suljetun tasapainosysteemin, jos oletetaan, ettei vettä haihdu (Tyson & Treagust 1999). Systeemihän on avoin, jos sekä materia että energia voi virrata systeemin ja ympäristön välillä. Suljetussa systeemissä materia ei pääse ympäristöön, mutta energia voi virrata systeemin ja ympäristön välillä. Eristetyissä systeemissä taas energiakaan ei pääse ulos systeemistä. (Atkins & de Paula 2002, 30.)

Tasapainoasema ja sen siirtäminen vasemmalle tai oikealle voidaan myös ymmärtää eri tavoin. Termin poistamisesta oppikirjoistakin on keskusteltu. Tyson ja Treagust (Tyson & Treagust 1999) kysyivät oppilailta ja opettajilta, miten käy tasapainoasemalle lisättäessä vettä seuraavaan kylläisen kalsiumhydroksidiliuoksen ja kiinteän kalsiumhydroksidin muodostamaan systeemiin sen ollessa tasapainossa:



Osa vastaajista ajatteli tasapainoaseman olevan kytköksissä tasapainovakion arvoon. Tasapainoasema ei muutu, koska liukoisuustulon arvo ei muutu. Systeemin saavuttaessa uuden tasapainon veden lisäyksen jälkeen konsentraatiot ovat samat, koska liukoisuustulo on sama, kuin aiemmin ja tasapainoasema ei ole muuttunut.

Tasapainoaseman oletettiin myös riippuvan reaktioiden nopeuksista. Tasapainoaseman siirtymistä vasemmalle perusteltiin sillä, että liuoksen laimettaessa uuteen tasapainoon pääseminen hidastuu ja hitaan reaktion tasapainoasema on lähtöaineiden puolella. Tasapainoaseman siirtyminen oikealle perusteltiin, sillä että kalsium- ja hydroksidi-ionien konsentraation pienentyessä vasemmalle etenevä reaktio hidastuu, mutta oikealle etenevän reaktion nopeus ei hidastu. Tällöin etenevän reaktion suhde palautuvaan kasvaa ja tasapainoasema siirtyy oikealle.

5.5 Ongelmat laskutekniikassa

Suomen ylioppilaskirjoitusten reaalikokeessa on säilynyt vuodesta toiseen yksi laskutehtävä kemialliseen tasapainoon liittyen. Tehtävässä on aina kyse mekaanisesta konsentraatioiden sijoittamisesta tasapainovakion lausekkeeseen, minkä jälkeen kysytään jonkin muutoksen saamaa vaikutusta konsentraatioihin. Nämä

tehtävät ylioppilaskokelaat joko sitten osaavat tai eivät. Vastausten keskiarvo on yleensä kolmen tietämässä, koska tulee paljon kuuden pisteen vastauksia, mutta myös yhtä paljon nollan pisteen vastauksia. Koulukohtaiset erot ovat verraten suuria näissä tehtävissä riippuen siitä, kuinka paljon koulussa on käytetty aikaa laskujen harjoitteluun. (Liimatainen 2004, 34-35.)

6. Tutkimusmenetelmä

Tutkimuksessa tutustuttiin lukiolaisten käsitykseen kemiallisesta tasapainosta. Tutkimus suoritettiin antamalla kahdelle opettajalle kyselylomake, jonka he sitten teetättivät oppilaillaan. Molemmat opettajat teettivät kyselyn lukion kemian neljännen kurssin lopussa. Opettajat valittiin Jyväskylän kaupungin kouluista halukkuuden ja aikataulun antamissa puitteissa.

Alun perin tutkimuskysymykset oli määrä antaa oppilaille kurssikokeen yhteydessä, mutta pohdinnan jälkeen päädyttiin teettämään kysely tavallisella tunnilla ennen koetta, koska uskottiin siten saatavan enemmän vastauksia. Näin opettajat saattoivat myös tehokkaammin valvoa työskentelyä kyselyn parissa. Tämän oli tarkoitus vähentää tyhjien vastauspaperien määrää.

Opettajat saivat kyselylomakkeen hyvissä ajoin eli noin viikkoa ennen tutkimuspäivää. Tutkija ei ollut valvomassa kyselyn suoritusta. On kuitenkin syytä uskoa, että tämä ei ole vaikuttanut saatuihin tuloksiin.

Kerätyt vastauspaperit on numeroitu. Tämän tutkimuksen liitteenä on vastauksista koottu yhteenveto. Siinä on kysymyskohtaisesti kerätty kaikki tiettyyn vaihtoehtoon saadut perustelut. Perustelun edessä oleva numero on vastauspaperin numero, minkä perusteella voidaan etsiä kyseessä olevan henkilön muiden kohtien perustelut. Tämä on tärkeää, koska tietyissä kysymyksissä käytetään hyväksi edellisten kysymyksien perusteluja. Vastauksista on koottu myös taulukko, josta nähdään kunkin vaihtoehdon lukumäärä ja oikeat vastaukset. Tietyn kohdan perusteluista pyritään löytämään syitä, miksi on valittu juuri kyseinen vaihtoehto.

7. Tutkimukseen valitut tehtävät

Tutkimuksen kyselylomakkeen lopulliseen muotoon päädyttiin pitkän pohdinnan jälkeen. Ideana oli tehdä tavallisista lukion kemiallisen tasapainon laskutehtävistä poikkeavia kysymyksiä. Tarkoituksena ei ole ollut tutkia, kuinka hyvin lukiolaiset osaavat aiheeseen liittyvät laskutekniikat. Alusta alkaen kysymysten oli määrä olla monivalintatehtäviä. Jotta lukiolaisten ajatuksiin päästäisiin paremmin käsiksi, lisättiin osaan tehtävistä vapaamuotoinen perustelukohta.

Kyselylomakkeen kuusi ensimmäistä kysymystä on saatu muokkaamalla Banerjeen (Banerjee 1991) oppilaiden virhekesityksiä kemiallisesta tasapainosta käsitelleen tutkimuksen kyselylomaketta. Kyselylomakkeen toinen puoli on otettu sellaisenaan Tysonin ja Treagustin (Tyson & Treagust 1999) tutkimuksesta kemiallisen tasapainon oppimisesta ja opettamisesta.

Kuusi ensimmäistä kysymystä käsittelevät kemiallista tasapainoa, joka vallitsee hiilimonoksidin ja kloorin sekä karbonyylikloridin eli fosgeenin välillä.



Kysymyksissä on tarkoituksella käytetty ainoastaan yhdisteiden kemiallisia merkintöjä, koska nimien uskottiin ainoastaan hankaloittavan lukiolaisten työskentelyä ja aiheuttavan sekaannusta vastauksiin.

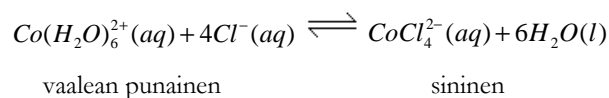
Ensimmäisissä kysymyksissä käsitellään lämpötilan laskemisen vaikutusta kemialliseen tasapainoon. Tehtävä vaatii myös käsitteiden entalpia, eksotermisen ja endotermisen reaktio hallintaa. Kahdessa ensimmäisessä kysymyksessä on osattava sanoa, mihin suuntaan reaktio on eksotermisen ja mihin endotermisen. Lisäksi on tiedettävä, että vaikka lämpötilan laskeminen pienentää molempiin suuntiin etenevien reaktioiden nopeuksia, eksotermisen reaktion nopeus hidastuu vähemmän suhteessa endotermiseen. Tämän voi muistaa Le Châtelier'n periaatteenkin avulla: tasapaino siirtyy eksotermisen reaktion suuntaan, tässä tapauksessa oikealle, yrittäessään vastustaa lämpötilan laskemista. On myös ymmärrettävä yhteys konsentraation, ainemäärän ja massan välillä, jotta ymmärtää fosgeenin massan kasvavan reaktion tasapainon siirtyessä oikealle.

Kolmannessa kysymyksessä on osattava ennustaa lämpötilan vaikutus tasapainovakion arvoon. Tasapainovakiohan pätee vain tietyssä lämpötilassa. Tässä tapauksessa voidaan ennustaa tasapainovakion muutoksen suunta esimerkiksi massavaikutuksen lain avulla. Koska osamäärän osoittaja suurenee ja nimittäjä pienenee, tasapainovakion arvo kasvaa.

Seuraavissa kysymyksissä tarkastellaan kloorin poistamisen vaikutusta kyseiseen tasapaino reaktioon. Neljännessä kysymyksessä oletettiin käytettävän Le Châtelier'n periaatetta reaktion kulun ennustamiseen, minkä jälkeen voidaan todeta hiilimonoksidin massan kasvavan klooria poistettaessa. Samaan tulokseen päästään myös käyttämällä massavaikutuksen lakia. Viidennessä kysymyksessä on muistettava, että tasapainovakion arvo ei muutu ellei lämpötilaa muuteta.

Kuudennessä kysymyksessä on ennustettava kloorin poistamisen vaikutus hiilimonoksidin muodostumisnopeuteen. Klooria poistettaessa vasemmalle etenevän reaktion nopeus kasvaa hetkellisesti suhteessa oikealle etenevään reaktioon. Uuden tasapainotilan asetettua molempiin suuntiin etenevien reaktioiden nopeudet ovat kuitenkin sama. Suhteessa alkuperäiseen tilanteeseen systeemissä on kuitenkin vähemmän molekyyliä. Tästä seuraa, että reaktioihin johtavia törmäyksiä tapahtuu harvemmin. Näin ollen hiilimonoksidinkin muodostumisnopeus on pienentynyt.

Kysymyksessä seitsemän ei ole lainkaan tilaa vapaalle perustelulle vaan sillekin on annettu vaihtoehdot. Kysymyksessä tarkastellaan veden lisäämisen vaikutusta seuraavaan systeemiin:



Tässä kysymyksessä voidaan käyttää Le Châtelier'n periaatetta. Veden lisäyksen jälkeen systeemin vasemmalle etenevä reaktio nopeutuu suhteessa oikealle etenevään. Perusteluissa vaihtoehdot (a), (b) ja (c) ilmaisevat käytännössä tätä samaa ilmiötä. Tämä tehtävä olisi pitänyt karsia kyselylomakkeesta, koska siinä on kyse hiusten halkomisesta.

8. Tutkimustulosten analyysi

Tässä esitetään tutkimustulosten analyysi. Kappaleessa lainausmerkkien sisällä oleva kursivoitu teksti tarkoittaa suoraa lainausta oppilaan vastauksesta. Vastaukset on numeroitu, jotta voidaan verrata saman oppilaan vastauksia eri kysymykseen. Tässä kappaleessa on esitetty sulkeissa olevalla numerolla, mistä vastauksesta lainaus on otettu. Kaikki vastaukset löytyvät tämän työn lopusta liitteestä 2. Pyrin löytämään syitä oppilaiden erilaisille vastauksille. Mitään yleistettävää luokittelua en kuitenkaan lähde vastauksista rakentamaan. Lopuksi vertaan lyhyesti vastauksia aikaisempiin vastaaviin tutkimuksiin.

8.1 Ensimmäisen kysymyksen vastaukset

Ensimmäisessä kysymyksessä täytyy osata käsitteet endoterminen ja eksoterminen reaktio. Kysymyksessä reaktion entalpian muutos esitettiin ΔH :n avulla. Vaihtoehtona olisi ollut lisätä reaktionuolen oikealle puolelle tuotteiden lisäksi merkintä ”+ lämpöä”. Tämä olisi saattanut vähentää käsitteiden endoterminen ja eksoterminen sekaisin menemistä. Merkintää ei kuitenkaan käytetä laajasti ainakaan lukion oppikirjoissa, joten se olisi voinut sekoittaaakin vastaajia. Kysymyksen oikea vastaus on (a).

Eräs syy ensimmäisen kysymyksen oikeiden vastausten vaatimattomaan lukumäärään oli kuitenkin juuri yllä mainittujen peruskäsitteiden huono hallinta. Vastauksista löytyi oppilaita, jotka muistivat lämpötilan vaikutuksen kemialliseen tasapainoon oikein, mutta epäonnistuivat ongelman ratkaisussa siitä huolimatta, koska eivät osanneet tulkita ΔH :n arvosta, mihin suuntaan reaktio on eksoterminen ja endoterminen. Tästä kertoo esimerkiksi vastaus: ”*koska reaktio on endoterminen niin lämpötilan laskiessa tuotteet vähenevät*” (21).

Toisaalta löytyi vastauksia, joissa oli löydetty endoterminen ja eksoterminen reaktion suunta oikein, muttei muistettu lämpötilan vaikutusta kemialliseen tasapainoon, mikä voidaan huomata seuraavasta poiminnasta: ”*Reaktio on eksoterminen reaktiotuotteiden suuntaan eli toiseen suuntaan endoterminen. Kun lämpötilaa lasketaan endoterminen reaktio voimistuu eli lähtöaineita syntyy enemmän*” (20).

Kyseisestä vastauksesta voisi päätellä, että oppilas vain on muistanut kirjastaan lukemansa tai opettajalta kuulemansa lauseen väärin. Hän on osannut valita eksotermisen reaktion oikein, mutta on muistanut väärin lämpötilan vaikutuksen systeemiin. Väärin muistetun säännön sokaisemana oppilas ei ole myöskään osannut soveltaa kysymykseen Le Châtelier'n periaatetta, vaikka osoittaa toisessa kohdassa muistavansa sen. Toisaalta ei voida pois sulkea mahdollisuutta, että tässäkin vastauksessa ei ole muistettu, mitä tarkoittavat endoterminen ja eksoterminen reaktio.

Jo lukion ensimmäisellä kemian kurssilla todetaan lämpötilan nostavan kemiallisen reaktion nopeutta. Tämä on monista arkipäivän ilmiöistäkin tuttu havainto. Kemialliseen tasapainoon lämpötilalla on monimutkaisempi vaikutus. Löytyi vastauksia, joissa ei oltu ehkä hahmotettu, että kyseessä on kaksi reaktiota vaan yritettiin soveltaa tuttua sääntöä suoraan tyliin: *"kun lämpötilaa nostetaan syntyy tuotetta enemmän → laskettaessa sitä palautuu, eli se vähenee..."* (28). Perustelun taustalla lienee ajatus, että lämpötilan nostaminen lisää tuotteiden määrää nopeuttamalla reaktiota ja laskeminen vähentää. Reaktionuolen oikealla puolella olevat aineet nähdään yleensä tuotteina ja vasemmalla puolen olevat lähtöaineina. Jollain tavalla on siis loogista ajatella lämpötilan laskun vähentävän näiden "tuotteiden" määrää *"koska lämpötilaa pienennettäessä reaktio menee lähtöaineiden suuntaan"* (32).

Ensimmäisen kysymyksen vastauksissa oli myös yllättävän moni todennut, ettei lämpötilan muutoksella ole vaikutusta fosgeenin massaun. Näissä vastauksissa oli erilaisia perusteluja. Edelleen osalle oppilaista on vaikea hahmottaa kemiallisen reaktion käänteisyys. Kemiallisen reaktion oletetaan aina olevan yksisuuntainen tapahtuma, jolla on selkeä alku ja loppu. Lämpötila nopeuttaa tämän lopputilan saavuttamista, mutta ei vaikuta muodostuvien aineiden määrään kuten eräissä vastauksissa perustellaan: *"jäähdytys vaikuttaa vain reaktion nopeuteen, ei syntyvien tuotteiden massaun"* (13) tai *"reaktio ainoastaan hidastuu, mutta lopputulos sama"* (24).

Lisäksi ensisilmäyksellä vaikutti siltä, että jopa fosgeenin massan ja ainemäärän yhteys tuntui olevan osalle vastaajista hämärän peitossa. Lämpötilan todettiin vaikuttavan kaasun tilavuuteen eikä massaun: *"tilavuus muuttuu lämpötilan mukana ei massa"* (45) tai *"massa ei muutu – lämpötilan muutos vaikuttaa tilavuuteen"* (43). Näissä vastauksissa ei liene ymmärretty lainkaan lämpötilan vaikutusta kemialliseen

tasapainoon vaan oletettiin, että kaasujen ainemäärät ei muutu mihinkään ja näin ollen lämpötilan laskeminen vaikuttaa ainoastaan kaasujen tilavuuteen tai paineeseen.

8.2 Toisen kysymyksen vastaukset

Toinen kysymys oli osattu tilastollisesti tarkastellen hyvin. Oikea vastaus on (b). Siihen saattoikin vastata pelkän kemian ensimmäisen kurssin tietojen perusteella, koska lämpötilan laskeminen hidastaa tietysti molempiin suuntiin eteneviä reaktioita: *"lämpövärähtely vähenee → törmäykset vähenee"* (26), *"molekyylien liike hidastuu, jolloin myös vähemmän törmäyksiä tapahtuu → muodostumisnopeus on pienempi"* (25) tai *"lämpötilan laskeminen hidastaa reaktiota"* (22). Tässä ei ehkä kovinkaan moni vastaaja ajatellut kysymystä kemiallisen tasapainon kannalta. Yhdessäkään vastauksessa ei todettu perusteluna toiseen kysymykseen, että systeemi yrittää kumota tehdyn lämpötilan muutoksen tasapainon siirtyessä eksotermisen reaktion puolelle. Muutamissa papereissa se oli tosin mainittu jo ensimmäisessä kysymyksessä.

Kiinnostavia perusteluja olivat: *"matalampi lämpötila voimistaa eksotermistä reaktiota ($\Delta H < 0$)"* (2), *"reaktio on eksoterminen, joten pienempi lämpötila nopeuttaa sitä"* (8), *"reaktio on eksoterminen, jolloin lämpötilan alentaminen kiihdyttää reaktiota"* (11) ja *"reaktio on nopeutunut"* (16). Mielenkiintoisiksi vastaukset tekee se, että niissä lämpötilan laskun oletetaan nopeuttavan kemiallista reaktiota. Lämpötilan laskuhan nopeuttaa eksotermistä reaktiota suhteessa endotermiseen, mutta kuitenkin molemmat reaktiot kyllä hidastuvat. Ensimmäisessä kolmessa yllä mainitussa esimerkkivastauksessa on nimenomaan ymmärretty oikein eksotermisen reaktion nopeutuminen suhteessa endotermiseen, mutta unohdettu lämpötilan laskevan molempien reaktion nopeuksia. Lisäksi kysymyksessä pyydettiin tarkastelemaan muodostumisnopeutta uuden tasapainotilanteen asetuttua eikä matkalla siihen kuten yllä näissä esimerkeissä on tehty. Tällaisia vastauksia tuli kuitenkin yllättävän vähän.

Pari vastaajaa oli vertaillut kysymyksessä käänteisten reaktioiden suhteita: *"tasapainotilassa muodostumis nopeus on sama"* (21) tai *"Tasapainotilanteessa vastareaktioiden nopeudet ovat samat, mutta itse nopeuksista ei voida sanoa mitään"* (5). Jälkimmäisen oppilaan ensimmäisen kysymyksen perustelusta voidaan päätellä hänen hallitsevan aiheen kohtuullisen hyvin: *"lämpötila laskee, joten le Chatelierin periaatteen mukaan systeemi*

pyrkii palauttamaan alkuperäisen tilanteen (reaktio on eksoterminen)” (5). Oletettavasti vastaaja tietää lämpötilan laskevan kemiallisen reaktion nopeutta, mutta tässä tilanteessa vanhan ja uuden tiedon yhdistäminen ei vain ole onnistunut.

Kysymyksen asettelu on voinut häiritä tai sitten oppilaat eivät ole vain pystyneet kaivamaan muististaan aiemmin oppimiaan lämpötilan vaikutuksia kemialliseen reaktioon ja yhdistämään niitä kemiallisen tasapainon yhteyteen. Kemian neljännellä kurssilla uutta asiaa esitellään kovalla vauhdilla ja osittain kumotaankin aiemmin opittuja tietoja. Ei siis ole ihme, että keskittymisen kohdistuessa uusien tietojen soveltamiseen vanhat opit unohtuvat.

8.3 Kolmannen kysymyksen vastaukset

Kolmanteen kysymykseen odotettiin tulevan paljon ”ei voida sanoa” -vastauksia, koska tasapainovakion arvo on tietty vakio aina tietyssä lämpötilassa. Tällaisia vastauksia ei tullutkaan yhtään. Kuitenkin lukion laskutehtävissäkin yleensä painotetaan tehtävässä annetun tasapainovakion olevan voimassa vain tietyssä lämpötilassa. Oikea vastaus on (a).

Vastaukset hajaantuivat melkein tasan vaihtoehtojen (a) ja (b) kesken. Hajaantuminen aiheutui jo aikaisemmissa kysymyksissä tehdyistä virheistä. Molemmat vaihtoehdot oli perusteltu hyvin massavaikutuksen lakia hyväksikäyttämällä. Tasapainovakion suurenemisen oli perusteltu aiheutuvan lausekkeen osoittajan suurenemisesta ja vastaavasti pienenemisen nimittäjän suurenemisestä. Vaikka toiseen kysymykseen saatiinkin tilastollisesti enemmän oikeita vastauksia, kolmannen kysymyksen vastausten perustelut oli osattu paremmin.

8.4 Neljännen kysymyksen vastaukset

Kolmessa seuraavassa kysymyksessä tarkastellaan jonkin reagenssin ainemäärään tehdyn ulkoisen muutoksen vaikutusta kemialliseen tasapainoon. Neljännessä kysymyksessä halutaan tietää, miten käy hiilimonoksidin massalle, kun toista lähtöainetta, klooria, poistetaan. Oikea vastaus on (a).

Tämäkin kysymys oli osattu kohtuullisen hyvin. Yleisimmät perustelut vaihtoehdolle

(a) olivat Le Châtelier'n periaate ja massavaikutuksen laki. Esimerkkejä näiden perusteluiden käyttämisestä: *"kun Cl₂:sta lähtee pois alkaa COCl₂ reagoida ja reaktio etenee vasemmalta oikealle (vastaajalla mennyt vasen ja oikea ilmeisesti sekaisin) 'paikatakseen' Cl₂ puuttumisen ja näin muodostuu myös lisää CO:ta."* (29) tai *"kun lähtöaineiden konsentraatio laskee, Le Châtelier'n periaatteen mukaan reaktio siirtyy suuntaan, joka pyrkii kumoamaan muutoksen, eli vasemmalle, jotta [Cl₂] taas kasvaa. Samalla COCl₂:n hajotessa kasvaa myös [CO], jolloin sen ainemäärä → massa kasvaa"* (51) ja
$$K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$$
 koska se yrittää pitää tasapainovakiona samassa" (36).

Tähän kysymykseen löytyi myös mielenkiintoisia perusteluja. Osa vastaajista muisti kyllä, että kemiallinen tasapainoreaktio pyrkii kumoamaan siihen tehdyn muutoksen. Koska klooria otettiin pois, sitä täytyy siis tulla jostain lisää. Löytyi vastaus, joissa hiilimonoksidi jotenkin mystisesti muuttuu klooriksi: *"reaktio suuntautuu vasemmalle, kun Cl₂ poistetaan ja silloin reaktio pyrkii muodostamaan lisää Cl₂, joten CO:n massan on vähennettävä"* (3). Lisäksi vastattiin, että fosgeeni kyllä hajoaa, mutta reaktiossa muodostuu vain aiemmin poistettua klooria eikä lainkaan hiilimonoksidia: *"reaktio vaihtaa suuntaa, CO:ta ei tule lisää, mutta poistettua Cl₂:ta muodostuu lisää"* (49). Lähes kaikissa (c) – vaihtoehdon perusteluissa oli todettu vastaavalla päättelyllä, että kloorin poistamisella ei ole mitään vaikutusta hiilimonoksidin massa.

Kloorin ajateltiin myös olevan reaktion rajoittava tekijä. Sen poistamisen kuviteltiin myös mahdollisesti pysäyttävän koko reaktion: *"koska reaktio ei tapahdu enää kun klooria poistetaan systeemistä"* (30) tai *"Jos toista ainetta poistetaan ei se vaikuta toiseen, vaan se vaikuttaa tuotteisiin. Ja jos tilavuuden on pysyttävä samana ei se vaikuta massa"* (47). Näissä vastauksissa ei ole käsitetty reaktioiden käänteisyyttä tasapainosysteemissä vaan on ajateltu reaktion olevan yksisuuntainen prosessi, joka ei tapahdu ellei lähtöaineita ole riittävästi. Tähän tapaanhan lukion kemian ensimmäisellä kurssilla on ehkä opetettukin.

Muutamassa vastauksessa ajateltiin kloorin poistumisen tapahtuvan lähtöaineiden reagoidessa keskenään. Näin ajatellenhan yksi mooli klooria ja yksi mooli hiilimonoksidia muodostaisivat yhden moolin fosgeenia eli kloorin poistumisen yhteydessä myös hiilimonoksidin massa pienenee: *"COCl₂:sta pitää edelleen olla samassa subteessa"* (13), *"reaktio on kulkenut hieman tuotteiden suuntaan, eli CO:n massa on*

pienentynyt” (25), *”koska klooria on vähemmän”* (42) ja *”koska molempien tulee vähentyä”* (46).

8.5 Viidennen kysymyksen vastaukset

Viidennessä kysymyksessä pohditaan kloorin poistamisen vaikutusta tasapainovakion arvoon. Tässä tilanteessahan tasapainovakio nimensä mukaisesti pysyy vakiona, koska lämpötila ei muutu. Oikea vastaus on siis (c). Oppilaiden vastaukset kuitenkin hajaantuivat kaikkien vaihtoehtojen kesken.

Vaihtoehdon (a) valinneet perustelivat ratkaisuaan tarkastelemalla tasapainovakion

lauseketta:
$$K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$$
 jos Cl_2 poistetaan \rightarrow *’alakerran’ luku on pienempi jolloin myös*

K:n arvo kasvaa, kun jaetaan pienemmällä luvulla” (43). Suurin osa näistä oppilaista oli kuvitellut kloorin poistumisen johtuvan reaktion etenemisestä tuotteisiin päin: *”Cl₂ ja CO:n massat ovat pienentyneet ja ne ovat tasapainovakion lausekkeessa nimittäjänä, jolloin tasapainovakio suurenee”* (13). Oli kyllä muutamia, jotka olivat todenneet suoraan kloorin poistamisen pienentävän tasapainovakion lausekkeen nimittäjän arvoa ilman, että mitään reaktiota tapahtuisikaan: *”lausekkeen nimittäjää on vähennetty”* (48) ja *”nimittäjä on pienentynyt \rightarrow suurempi arvo”* (46). Näissä vastauksissa oli siis todettu tasapainovakion lausekkeen nimittäjän pienentyneen, mutta ei huomioita, että tällöin osoittaja kasvaa ja pitää näiden suhteen vakiona.

Seuraava vastaus on erittäin mielenkiintoinen: *”Reaktio lähtee vastakkaiseen suuntaan.*

$$K = \frac{[CO][Cl_2]}{[COCl_2]}$$
 COCl₂ erottuu lähes kokonaan CO:ksi ja Cl₂:ksi. Osoittaja kasvaa ja

tasapainovakio kasvaa” (34). Tässä on kirjoitettu tasapainovakion lauseke käänteiselle reaktiolle, joka on 1/K. Muutoin perustelu on päätelty ihan oikein, mutta ei ole huomioitu, että nyt käsitellään tasapainovakion käänteislukua.

Vaihtoehtoon (b) päätyneet perustelivat sitä vastaavasti. Tasapainovakion pieneneminen johtuisi siis tasapainovakion lausekkeen osoittajan pienenemisestä ja nimittäjän suurenemisestä. Reaktio-osamäärähän kyllä ensin suurenee kloorin poistamisen johdosta ja sitten pienenee edellä mainitulla tavalla, mutta tasapainovakio ei muutu. Tämän vaihtoehdon valinneet olivat päätelleet oikein

tehdyn muutoksen vaikutuksen reaktion suuntaan. Fosgeeni hajoaa hiilimonoksidiksi ja klooriksi yrittäessään kumota tehdyn muutoksen. Tällöin *”tuotteen konsentraatio pienenee sen hajoessa lähtöaineiksi, jolloin tasapainovakion arvo pienenee”* (8), mutta vain sen verran, että se kumoaa kloorin poistolla aikaan saadun tasapainovakion suurenemisen.

Vaihtoehdon (c) tienneet muistivat tasapainovakion yhteyden olosuhteisiin kuten lämpötilaan: *”olosuhteet eivät muutu → tasapainovakio ei muutu”* (38), *”vakio ei muutu, jos lämpötila pysyy samana”* (4) ja *”Tasapainovakio kertoo reaktion reaktiotuotteiden ja konsentraation suhteet toisiinsa jossain tietyssä olosuhteessa (lämpötila, paine). Olosuhteet pysyvät samana → konsentraatiot muuttuvat, mutta pysyvät samassa suhteessa säilyttäen tasapainovakion vakiona”* (26). Osa tähän vaihtoehtoon päätyneistä perusteli

vastaustaan myös matemaattisella uskomuksella, että: $K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$ ja molemmista

poistetaan Cl_2 :sta ei tasapainovakio muutu” (35), *”osoittajasta ja nimittäjästä poistuu saman verran Cl_2 :sta”* (27) ja *” Cl_2 :sta poistuu saman verran tasapainovakiolauseen ylä ja alapuolelta → sama tulos (ei ollut laskinta)”* (28). Näihin vastauksiin liittyy oletus, että yrittäessään kumota tehdyn muutoksen fosgeeni hajoaisi muodostaen pelkkää klooria ja hiili- ja happiatomit vain katoaisivat jonnekin.

Aiemmat kysymykset ovat voineet sekoittaa oppilaiden ajatuksia tässä kysymyksessä. Olisi mielenkiintoista tietää, hajaantuisivatko vastaukset tässä yhtä lailla, jos lapulla ei olisi ollut lainkaan kolmea ensimmäistä kysymystä, joissa tasapainovakion arvo muuttui, koska lämpötila muuttui.

8.6 Kuudennen kysymyksen vastaukset

Kuudennessa kysymyksessä halutaan tietää kloorin poistamisen vaikutus hiilimonoksidin muodostumisnopeuteen. Tämänkin kysymyksen vastaus riippuu kahden aiemman kysymyksen vastauksesta. Vastausten jakauma onkin määrällisesti lähes identtinen neljännen kysymyksen kanssa.

Noin puolet vastaajista on valinnut vaihtoehdon (a). Sitä on perusteltu vasemmalle menevän reaktion nopeuden kasvamisella suhteessa oikealle menevään reaktioon: *”tulee sykäys ja reaktio pyrkii nopeasti tasapainoon”* (14) tai *”kun Cl_2 poistetaan, tasapainon*

saavuttamiseksi COCl₂:n täytyy hajota Cl₂:ksi ja CO:ksi → CO:n muodostumisnopeus kasvaa” (38). Ajattelu on tässä jäänyt hieman kesken. Lähtöaineiden muodostumisnopeushan kyllä aluksi kasvaa suhteessa tuotteiden muodostumisnopeuteen, mitä näissä vastauksissa lienee tarkoitettu. Uuden tasapainotilan asetettua nämä käänteiset reaktiot tapahtuvat kuitenkin samalla nopeudella. Jossain vastauksissa tämä on mainittukin: *”CO:ta on liuoksessa enemmän kuin Cl₂:sta mutta kun Cl₂:sta ei ole liuoksessa se hetkellisesti kasvaa suuremmaksi, ja nopeus tasaantuu mitä lähemmäksi se tulee taas tasapainotilaan päin”* (39). Tämä on ihan oikea vastaus, kun vertaillaan hiilimonoksidin muodostumisnopeutta fosgeenin muodostumisnopeuteen ennen uuden tasapainotilan muodostumista.

Kysymyksen asettelu mahdollistaa ongelman ymmärtämisen käänteisten reaktioiden nopeuksien vertailuna tai hiilimonoksidin muodostumisnopeuden vertailuna ensimmäisessä ja muutoksen jälkeen tehdyssä tasapainotilassa. Tämä ymmärtämisongelma oli tiedossa tutkimusta tehtäessä, mutta sen ajateltiin olevan enemmänkin kysymyslomakkeen ominaisuus kuin tutkimusta haittaava virhe. Lomakkeen tarkoitushan oli käsitellä, mitä oppilaiden päässä liikkuu ja siitä saadaan tietoa tälläkin kysymyksellä.

Muutama vastaajista päätyi viimeisessä kysymyksessä vaihtoehtoon (b). Muutamassa vastauksessa oli kehitelty ideaa, jossa systeemi pyrki kumoamaan tehdyn muutoksen siten, että kloorin muodostumisnopeus kasvaisi, mutta hiilimonoksidin ei – tai se jopa pienenisi, jotta takaisin tasapainotilaan päästäisiin nopeammin: *”CO:n muodostumisnopeus on pienentynyt ja Cl₂:n suurentunut, johtuen siitä että systeemi pyrkii uudelleen saavuttamaan tasapainon”* (29) tai *”koska Cl₂ täytyy ’ottaa kiinni’ se (hiilimonoksidin nopeus), eli Cl₂ muodostuu enemmän”* (11). Näissäkin vastauksissa on taustalla ajatus, että fosgeenin hajotessa hiilimonoksidia ja klooria voi muodostua eri määriä ja eri nopeuksilla. Erässä vastauksessa viitattiin neljännen kysymyksen vastaukseen, jonka mukaan kloorin täytyy lisääntyä, mutta samalla hiilimonoksidin on vähennyttävä.

Yhdessä vastauksessa oli ympyröity sekä (a) että (b) vaihtoehto. Vastaaja on ymmärtänyt, että aluksi lähtöaineiden muodostumisnopeudet kasvavat suhteessa tuotteen muodostumisnopeuteen. Kaiken kaikkiaan hiilimonoksidin muodostumisnopeus verrattuna aikaisempaan tasapainotilanteeseen ei voi kasvaa

ellei fosgeenia tule lisää, koska muodostumisnopeus on suoraan verrannollinen fosgeenin konsentraatioon. Koska fosgeenia kuluu tehdyn muutoksen paikkaamiseen, täytyy hiilimonoksidin absoluuttisen muodostumisnopeuden pienentyä. Lyhyesti sanottuna konsentraatioiden pienentyessä molemmat reaktiot hidastuvat, koska reaktioihin johtavia törmäyksiä on vähemmän: *”Kaikki muodostumisnopeudet ovat pienentyneet kun Cl₂:ta on aiempaa vähemmän (reaktio kulki vasemmalle ensin, mutta palautti vaihdossa osan Cl₂-konsentraatiosta ennalleen). Samoin COCl₂-konsentraatio on pienentynyt. Kun tilavuus ja lämpötila pysyvät samoina konsentraatioiden pienentäminen johtaa yhä harvempaan reaktioon johtavaan törmäykseen, jolloin reaktionopeus laskee”* (51).

(c)- vaihtoehdon perusteluissa nähdään myös, että on vertailtu käänteisten reaktioiden nopeuksien suhteita toisiinsa. Tässä vaihtoehdossa oli useassa vastauksessa todettu ainoastaan ulkoisten tekijöiden vaikuttavan hiilimonoksidin muodostumisnopeuteen: *”Ulkoiset olot (lämpötila, paine...) eivät ole muuttuneet”* (8), *”koska tilavuus ja lämpötila on pidetty vakiona ei muodostumis nopeus ole voinut muuttua”* (25) tai *”paine ja lämpötila ovat pysyneet samana, niinpä muodostumisnopeuskin on sama”* (48). Parissa vastauksessa ilmeni vielä reaktion mahdollinen loppuminen, jos kloori loppuu: *”sama vauhti, mutta kun Cl₂ loppuu, niin tuotanto loppuu”* (28) tai *”Ei Cl₂ poistaminen vaikuta muodostumisnopeuteen, paitsi jos Cl₂ loppuu → reaktio loppuu”* (43). Näissä vastauksissa ongelmaa ei ole kyetty miettimään kemiallisen tasapainotilanteen kannalta molekyyalitasolla.

8.7 Seitsemännän kysymyksen vastaukset

Vastaukset tähän tehtävään olivat, mitä odotettiin. Tehtävä olisi sovelias, mikäli tutkittaisiin yliopisto-opiskelijoiden käsityksiä tasapainosta. Oikea vastaus on (a). Perusteluvaihtoehdoista tätä ratkaisua tukevat vaihtoehdot (a), (c) ja (e), jotka kaikki ilmaisevat saman asian eri termein. Tapausta voidaan selventää kirjoittamalla reaktio-osamäärän lauseke tehtävän reaktioyhtälölle:

$$Q = \frac{[CoCl_4^{2-}(aq)]}{[Co(H_2O)_6^{2+}(aq)][Cl^-(aq)]^4}$$

Oletetaan, että tasapainossa kaikkien aineiden konsentraatioiden ovat 1 mol/l,

jolloin K on 1. Jos veden määrä kaksinkertaistetaan, tulee kaikkien aineiden konsentraatioiksi 0,5 mol/l ja Q saa arvon 16. Jotta Q saisi K :n arvon, täytyy lausekkeen nimittäjän suurentua suhteessa osoittajaan. Tämä tarkoittaa tasapainon siirtymistä vasemmalle ja vaaleanpunaista väriä liuoksessa.

Taulukosta 2 voidaan laskea, että 65 % oppilaista vastasi tehtävään oikein ja yleisin perustelu oli vaihtoehto (a). Vaikka otos onkin suppea, tulokset ovat niin selviä, että voidaan todeta niiden olevan yhtä pitäviä Tysonin ja Treagustin tulosten kanssa. (Tyson & Treagust 1999)

TAULUKKO 2. Seitsemannen kysymyksen vastausten ja perustelujen määrä.

vastaukset			
a	b	c	N
33	8	9	51

perustelut				
a	b	c	d	e
24	9	11	1	14

Taulukosta 3 nähdään, että vaihtoehto (c) perusteltiin vaihtoehdolla (b) eli oppilaat, jotka vastasivat, ettei havaita mitään muutosta, perustelivat sen sillä, että nesteitä ei merkitä tasapainovakion lausekkeeseen. Taulukosta 3 huomataan myös, että vaihtoehdolle (a) löytyi perusteluita kaikkien oikeiden perusteluiden joukosta, mutta yleisin oli perusteluvaihtoehto (a) eli suora Le Châtelier'n periaatteen käyttö.

TAULUKKO 3. Seitsemannen kysymyksen vastausten ja perustelujen välinen yhteys.

vastaus	perustelu				
	a	b	c	d	e
a	23	1	8		11
b	1		3		3
c		8		1	

8.8. Yhteenveto saaduista vastauksista

Kysymykset 1, 4 ja 7 käsittelivät selkeästi Le Châtelier'n periaatetta. Tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden voidaan todeta osanneen periaatteen hyvin. Ja vaikka sen mukainen perusteluvaihtoehto kysymyksessä seitsemän ei olekaan tieteellisesti aivan eksakti, sääntö kuitenkin toimii ja antaa oikean vastauksen tuossakin tapauksessa.

Kysymyksissä 2 ja 6 tarkasteltiin reaktionopeuksia. Näistä jälkimmäinen kysymys meni hieman heikommin, kuten lähdekirjallisuuden pohjalta voitiin ennakoidakin, koska siinä reaktionopeus muuttui, vaikka lämpötila pysyi vakiona. Sen sijaan lämpötilan vaikutuksen reaktion nopeuteen vastaajat osasivat hyvin.

Kysymykset 3 ja 5 tarkastelivat tasapainovakion lauseketta. Kolmas kysymys meni hieman paremmin kuin taulukko antaa ymmärtää, koska niin (a) kuin (b) vaihtoehdon valinneet oppilaat perustelivat näkemyksensä loogisesti. Vastausten hajonnan aiheuttanut virhe syntyi jo ensimmäisessä kysymyksestä, kun ei kyetty ennustamaan reaktion kulkua oikein.

Taulukossa 4 on verrattu saatuja tuloksia Banerjeen (Banerjee 1991) tekemään tutkimukseen. Taulukon tulokset on ilmoitettu prosentteina ja oikea vastaus ilmaistu harmaalla taustalla. Tulokset ovat yhtäpitäviä, joskin pieniä kysymyskohtaisia eroja onkin havaittavissa.

TAULUKKO 4. Kuuden ensimmäisen kysymyksen vastausjakautuma prosentteina. Oikeat vastaukset on merkitty harmaalla taustalla. Vertailukohteena toimivat Banerjeen saamat tulokset (Banerjee 1991).

1	a	b	c	d
Inkala 2005 (%)	27	33	38	2
Banerjee 1991(%)	35	16	43	2

2	a	b	c	d
Inkala 2005 (%)	14	76	8	2
Banerjee 1991(%)	35	33	14	2

3	a	b	c	d
Inkala 2005 (%)	37	33	20	2
Banerjee 1991(%)	24	13	46	3

4	a	b	c	d
Inkala 2005 (%)	55	10	29	0
Banerjee 1991(%)	35	13	26	1

5	a	b	c	d
Inkala 2005 (%)	29	35	18	10
Banerjee 1991(%)	15	24	38	1

6	a	b	c	d
Inkala 2005 (%)	39	14	27	6
Banerjee 1991(%)	27	20	21	3

9. Tutkimuksen tarkastelu

Tutkimuksen tärkein tavoite oli kehittää omaa opettajuutta. Tavoite täyttyi. Didaktiset taidot ovat opettajalle tärkeä työväline, mutta niillä ei voi korvata hyvää aineenhallintaa. Erinomaisestakaan kemian tuntemuksesta ei kuitenkaan ole opettajalle hyötyä, ellei tämä tiedosta oppilaiden tasoa. Oppilaiden ennakkokäsitysten merkityksen määrää opettamisessa ei voikaan mielestäni liikaa korostaa. Tässä merkityksessä tästä tutkimuksesta voi olla hyötyä muillekin tuleville kemian opettajille.

Tästä tekstistä saa toivottavasti jonkinlaisen kuvan siitä, mitä oppilas jo osaa kemiallisesta tasapainosta. Vastaavanlaisesta tutkimuksesta olisi ainakin itselleni hyötyä muihinkin kemian alueisiin liittyen. Ehkäpä tämä työ myös innoittaa muitakin opiskelijoita etsimään kirjallisuudesta tietoa kemian käsitteiden opettamisesta. Itseäni kiinnostaisi lukea vastaavaa tutkimusta vaikkapa mooli-käsitteen tai atomin elektronikonfiguraatioiden opettamisesta.

Ennen kuin voidaan alkaa kehittämään kemian opetusta, on perehdyttävä huolellisesti aiempaan tutkimukseen kemian opettamisen eri osa-alueilta. Jatkotutkimuksena tähän aiheeseen voisikin kehitellä opetustapaa, jolla virhekäsityksistä päästään eroon.

Lähteet

Ahtee, M. 1998. Arkitieto ja luonnontieteellinen tieto luonnontieteiden opetuksessa. *Kasvatus* 29(4), 358-362.

Ahtee, M. & Varjola, I. 1998. Students' understanding of chemical reaction. *International Journal of Science Education* 20(3), 305-316.

Andersson, B. 1990. Pupil's conceptions of matter and its transformation (age 12-16). *Studies in Science Education* 18(1), 53-85.

Atkins, P. & de Paula, J. 2002. *Atkins' Physical Chemistry*, 7th edition. Oxford: Oxford University Press.

- Banerjee, A. 1991. Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *International Journal of Science Education* 13(4), 487-494.
- Bergquist, W. & Heikkinen, H. 1990. Student ideas regarding chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education* 67(12), 1000-1003.
- Cantell, H. 2001. Oppimis- ja opettamiskäsitykset maantieteen opetuksen ja aineenopettajakoulutuksen kehittämisen lähtökohtana. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos.
- Van Driel, J. De Vos, W. & Verloop, N. 1998. Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium. *International Journal of Science Education* 20(4), 379-392.
- Van Driel, J. De Vos, W. & Verloop, N. 1999. Introducing Dynamic Equilibrium as an Explanatory Model. *Journal of Chemical Education* 76(4), 559- 561.
- Gabel, D. 1999. Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future. *Journal of Chemical Education* 76(4), 548-553.
- Gold, J. & Gold, V. 1985. Le Châtelier's principle and the laws of van't Hoff. *Education in Chemistry* 22(3), 82-85.
- Gussarsky, E. & Gorodetsky, M. 1990. On the concept "chemical equilibrium": the associative framework. *Journal of Research in Science Teaching* 27(3), 197-204.
- Enkenberg, J. 1998. Uutta pedagogiikkaa etsimässä. Teoksessa Julkunen, H-L (toim.). *Opetus, oppiminen ja vuorovaikutus*. Juva: WSOY.
- Haavisto, A. Nikkola, J. & Viljanmaa, L. 2000. *Kemia 3 – alkuaineiden kemia, tutkimus ja teknologia*. Helsinki: Tammi.
- Harris, D. 1999. *Quantitative Chemical Analysis*, 5th edition. New York: W. H. Freeman and Company
- Hesse, J. & Anderson, C. 1992. Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching* 29(3), 277-299.

Housecroft, E. & Constable, C. 2002. Chemistry – an introduction to organic, inorganic and physical chemistry, 2nd edition. Harlow : Prentice Hall.

Johnstone, A. H. 1991. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning* 7(2), 75-83.

Kemp, H. R. 1987. The effect of temperature and pressure on equilibrium: A derivation of the van 't Hoff rules. *Journal of Chemical Education* 64(6), 482-484.

Kyyrönen, L. 1999. Demonstraatio ja sokraattisen dialogin yhdistäminen lukion kemian opetuksessa. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos.

Lampiselkä, J. 2003. Demonstraatio lukion kemian opetuksessa. Jyväskylän yliopiston kemian laitos.

Leach, J. & Scott, P. 2003. Individual and sociocultural views of learning in science education. *Science & Education* 12(2), 91-113.

Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. 2003. Mooli4 – kemiallinen reaktio. Helsinki: Otava.

Liimatainen, P. 2004. Kemian ylioppilastehtävien analyysiä, Jyväskylän yliopiston kemian laitos.

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

Näätänen, R. Niemi, P. Laakso, J. & Peltola, R. 1995. *Psykologia 3 – tietoa käsittelevä ihminen*. Porvoo: WSOY.

Opetushallitus. 1994. Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994. Helsinki: Painatuskeskus.

Opetushallitus. 2003. Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003. Saatavilla pdf-muodossa <http://www.oph.fi> (22.1.2005)

Rasinkangas, R. 2005. Tieteen ja ajattelun historiaa. Saatavilla www-muodossa <http://cc.oulu.fi/~rar/historia/johdanto.html> (18.1.2005)

Rauste-von Wright, M. & von Wright, J. 1994. Oppiminen ja koulutus. Juva: WSOY.

Robinson, W. Odom, J. & Holtzclaw, Jr. 1997. General Chemistry – with Qualitative Analysis, 10th edition. Boston: Houghton Mifflin Company.

Ross, K. 1991. Burning: a constructive not a destructive process. SSR 72(251), 39-49.

Saarinen, H. 1997. Kemian ylioppilastehtävät ratkaisuiheen. Joutsa: MFKA-Kustannus Oy.

Tynjälä, P. 1999. Oppiminen tiedon rakentamisena – konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita. Tampere: Kirjayhtymä Oy.

Tyson, L. & Treagust, D. 1999. The Complexity of Teaching and Learning Chemical Equilibrium. Journal of Chemical Education 76(4), 554-558.

Quílez-Pardo, J. & Solaz-Portolés, J. 1995. Students' and Teachers' Misapplications of Le Châtelier's Principle: Implications for Teaching of Chemical Equilibrium. Journal of Research in Science Teaching 32(9), 939-957.

White, R. 1989. Learning Science. Oxford: Blackwell.

Liitteet

Liite 1 Kyselylomake

Liite 2 Oppilaiden vastaukset

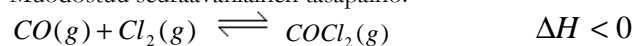
Liite 3 Termejä ja lyhenteitä

Liite 1(1) Kyselylomake

Tuomas Inkala 7.10.2004

Pro gradu- tutkielman kyselylomake, versio 1.1

Seos, joka sisältää CO, Cl₂ ja COCl₂, suljetaan reaktioastiaan, jossa lämpötila on 200 °C ja paine 1 atm. Muodostuu seuraavanlainen tasapaino:



1-3 Seos jäädytetään 150 °C:een vakiotilavuudessa. Systeemin saavutettua tasapainon,

1. COCl₂:n massa on..... **a)**suurentunut **b)**pienentynyt **c)**pysynyt samana **d)**ei voi sanoa
perustelu:

2. COCl₂:n muodostumisnopeus on..**a)**suurentunut **b)**pienentynyt **c)**pysynyt samana **d)**ei voi sanoa
perustelu:

3. tasapainovakio on..... **a)**suurentunut **b)**pienentynyt **c)**pysynyt samana **d)**ei voi sanoa
perustelu:

4-6 Poistetaan Cl₂:sta systeemistä pitäen samalla tilavuus ja lämpötila vakioina. Systeemin saavutettua tasapainon,

4. CO:n massa on..... **a)**suurentunut **b)**pienentynyt **c)**pysynyt samana **d)**ei voi sanoa
perustelu:

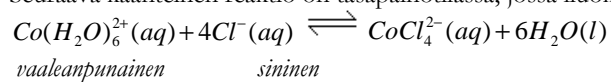
5. tasapainovakio on..... **a)**suurentunut **b)**pienentynyt **c)**pysynyt samana **d)**ei voi sanoa
perustelu:

6. CO:n muodostumisnopeus on...**a)**suurentunut **b)**pienentynyt **c)**pysynyt samana **d)**ei voi sanoa
perustelu:

[käännä]

Liite 1(2) Kyselylomake

Seuraava käänteinen reaktio on tasapainotilassa, jossa liuoksen väri on sininen.



7. Mitä havaitaan, kun systeemiin lisätään vettä?

- a) liuos muuttuu vaaleanpunaiseksi
- b) liuos muuttuu sinisemmäksi
- c) ei havaita muutosta

perustelu:

- a) vastustaakseen veden määrän lisäystä systeemi pyrkii muodostamaan lisää $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{aq})$
- b) nesteitä ei merkitä tasapainovakion, K, lausekkeeseen, joten tuotteiden ja lähtöaineiden suhde ei muutu
- c) reaktio-osamäärä, Q, kasvaa vettä lisättäessä. Tasapainotilaan siirryttäessä Q pienenee ja muodostuu lisää $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{aq})$.
- d) etenevällä reaktiolla on suurempi mooliosuus
- e) systeemi muodostaa lisää $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{aq})$ vastustaakseen Cl^- -ionien konsentraation vähenemistä

Liite 2(1) Oppilaiden vastaukset

Tuomas Inkala 24.11.2004

I

a) 13kpl

1. "koska reaktio tuotteita syntyy enemmän kun lämpötila alenee"
2. "Le Chatelierin periaatteen mukaan tasapaino siirtyy reaktiotuotteiden puolelle."
4. "lämpötilan lasku johtaa myös reaktioaineiden kokonaisentalpian laskuun, jolloin tasapaino siirtyy vähempi energisen aineen puolelle"
5. "lämpötila laskee, joten le Chatelierin periaatteen mukaan systeemi pyrkii palauttamaan alkuperäisen tilanteen (reaktio on eksoterminen)."
6. "Lämpö purkaa sidoksia"
8. "reaktio on lämpöä vapauttava, joten lämpötilan laskeminen suuntaa reaktiota oikealle"
15. "Lämpötilan muutos ei vaikuta massa"
44. "koska reaktio luovuttaa energiaa, lämpötilan laskeminen auttaa reaktiotuotteiden massan suurenemista"
38. "reaktio on eksoterminen, joten vasta reaktio eli $\text{COCl}_2(\text{g})$:n hajoaminen vaatii energiaa. Nyt kun energiaa on vähemmän tarjolla COCl_2 :sta hajoo vähemmän"
36. "reaktio on eksoterminen"
26. "ideaalikaasun tilanyhtälö $pV=nRT$, V =vakio, $\Delta T=50\text{ }^\circ\text{C}$ →paine tai ainemäärä muuttuu. Jos ainemäärä suurenee, aineen massa suurenee."
29. "Mitä suuremmassa lämpötilassa COCl_2 on sitä laajemmalle se on 'levittänyt' ja massa on tällöin pienempi- Lämpötilan laskiessa COCl_2 :n massa kasvaa, koska kaasu tiivistyy pienempään tilaan"
51. "Reaktio on eksoterminen, jolloin lämpötilan lasku siirtää tasapainoa oikealle. Tällöin COCl_2 :n ainemäärä kasvaa. Koska $m=nM$, ja n pysyy samana kasvaa myös massa."

b) 16 kpl

3. "lämpötilan vähennys saa enemmän .. oikealle suuntautuneen reaktion, joten COCl_2 muodostuu vähemmän"
7. "reaktio on eksoterminen. kun lämpötila laskee, reaktio pyrkii ylläpitämään lämpötilaa nostaten tuotteiden määrää"
10. " COCl_2 hajoo $\text{CO} + \text{Cl}_2$ "
14. "tuntuu siltä"
18. ""
19. ""
20. "Reaktio on eksoterminen reaktiotuotteiden suuntaan eli toiseen suuntaan endoterminen. Kun lämpötilaa lasketaan endoterminen reaktio voimistuu eli lähtöaineita syntyy enemmän."
21. "koska reaktio on endoterminen niin lämpötilan laskiessa tuotteet vähenevät"
28. "kun lämpötilaa nostetaan syntyy tuotetta enemmän → laskettaessa sitä palautuu, eli se vähenee...eiku nopeutuuko tuotanto vain?"
48. "kyseessä on endoterminen reaktio"
47. "pienentynyt massasta $200\text{ }^\circ\text{C}$:ssa, koska jäädytettäessä reaktio kääntyy takaisin päin eli vasempaan ja COCl_2 hajoo lähtöaineiksi"
42. "koska se jäädytetään"
37. "reaktion tapahtuessa vapautuu energiaa → eksoterminen reaktio"
34. "reaktio on hakeutunut uuteen tasapainoon ja COCl_2 reaktio lähtee vastakkaiseen suuntaan."
32. "koska lämpötilaa pienennettäessä reaktio menee lähtöaineiden suuntaan"
30. "koska lämpötilan laskiessa $\text{CO}(\text{g})$ ja $\text{Cl}_2(\text{g})$ lisääntyvät"

Liite 2(2) Oppilaiden vastaukset

c) 18 kpl

- 9."ei tule aineita mistään lisää"
- 11."massa on vakio"
- 12."lämpötilan muutoksella ei ole vaikutusta massaan"
- 13."jäähdytys vaikuttaa vain reaktion nopeuteen, ei syntyvien tuotteiden massaan"
- 16."lämpötila ei vaikuta"
- 17.""
- 22."ainemäärät eivät muutu vaikka lämpötilaa lasketaan"
- 24."reaktio ainoastaan hidastuu, mutta lopputulos sama"
- 25."suljetusta reaktioastiasta ei häviä mitään"
- 27."energian vapautuminen ei vaikuta massaan"
- 49."lämpötilan muutos ei vaikuta endotermiseen reaktioon"
- 46."seosta jäähdytetään→tilavuus pienenee, massa pysyy samana"
- 45."tilavuus muuttuu lämpötilan mukana ei massa"
- 43."massa ei muutu – lämpötilan muutos vaikuttaa tilavuuteen"
- 40."koska paine ei muutu, niin COCl_2 :n massa pysyy samana"
- 39."energiaa on vapautunut, mutta se ei vaikuta massaan"
- 35."lämpötila vaikuttaa kaasun tilavuuteen, ei massaan"
- 33."massa ei muutu, vaan tiheys"

d) 1 kpl

- 41."-eksotermisen → reaktion kulkiessa oikealle energiaa vapautuu, juu enpä TIEDÄ"

II

a) 7 kpl

- 1."koska reaktio tuotteita syntyy enemmän kun lämpötila alenee"
- 2."matalampi lämpötila voimistaa eksotermistä reaktiota ($dH < 0$)"
- 8."reaktio on eksotermisen, joten pienempi lämpötila nopeuttaa sitä"
- 11."reaktio on eksotermisen, jolloin lämpötilan alentaminen kiihdyttää reaktiota"
- 16."reaktio on nopeutunut"
- 44."perustuu pitkälti samaan kuin edellinenkin"
- 30."koska niitä on vähemmän ja ne pyrkivät takaisin tasapainotilaan"

b) 37 kpl

- 3."sama kuin ykkösessä. COCl_2 muodostuu vähemmän, koska muodostumisnopeus on pienentynyt"
- 4."alemmassa lämpötilassa tarpeeksi suurella energialla tapahtuvia törmäyksiä sattuu vähemmän ja molemmansuuntaiset reaktiot hidastuvat"
- 9."reaktio hidastuu lämpötilan laskiessa"
- 10."koska palautuvan reaktion nopeus on kasvanut"
- 12."ionit liikkuvat hitaammi ja näin COCl_2 -ioneita muodostuu hitaammin"
- 13."lämmittäminen suurentaa reaktionopeutta, joten vastaavasti jäähdyttäminen pienentää sitä"
- 14."lämpöliikkeen pienennyttyä"
- 15."muodostumisnopeus hitaantuu jäähdytyksen takia"
- 17.""
- 18.""
- 19.""
- 20."Koska lähtöaineita syntyy enemmän, pienenee reaktiotuotteiden muodostumisnopeus"

Liite 2(3) Oppilaiden vastaukset

22. ”lämpötilan laskeminen hidastaa reaktiota”
23. ”eksotermisellä reaktiolla lämpötilan lasku kiihdyttää endotermisen reaktion nopeutta, eli lähtöaineita syntyy enemmän”
24. ”matalassa lämpötilassa molekyylien liike hidastuu ja siksi myös COCl_2 muodostumisnopeus hidastuu”
25. ”molekyylien liike hidastuu, jolloin myös vähemmän törmäyksiä tapahtuu → muodostumisnopeus on pienempi”
27. ”Lämpötilan kasvu vaikuttaa reaktionopeuteen positiivisesti.”
28. ”lämpötilan laskiessa molekyylien sekoittuminen hidastuu → sekoittuminen ja tuotos hidastuu”
49. ”kun reaktionopeus pienenee, COCl_2 :n muodostusnopeus pienenee”
48. ”lämpötilan vähentäminen on pienentänyt reaktionopeutta”
47. ”pienentynyt, koska reaktio kääntyi ja COCl_2 alkaa hajota”
46. ”villi veikkaus”
45. ”kyseessä on endo terminen reaktio joka tarvitsee energiaa”
43. ”koska korkeampi lämpötila edistää reaktionopeutta, niin muodostumisnopeus on pienempi”
42. ”koska se on jäähtynyt”
40. ”lämpötilan laskiessa aine reagoi hitaammin”
39. ”energia on pienentynyt → ioninopeus pienenee → aineet reagoi hitaammin”
37. ”lämpötila pienenee jolloin muodostumisnopeus hidastuu”
36. ”tottakai se on pienentynyt, koska alussa aine tietenkin reagoi enemmän ja nopeammin mitä lopussa, koska aineesta alkaa vähitellen tulla kylläinen”
35. ”Mitä korkeampi lämpötila sitä nopeammin aineet reagoivat. Joten lämpötilan laskeminen hidastaa aineiden reagointia”
34. ”Koska kyseessä on endotermisen reaktio, lämpötilan laskeminen hidastaa reaktiota”
26. ”lämpöväriä vähenee → törmäykset vähenee”
33. ”kaasu reagoi paremmin kuumassa”
”koska lämpötilaa pienennettäessä reaktio menee lähtöaineiden suuntaan”
31. ”lämpötilanmuutos $-50\text{ }^\circ\text{C}$ ”
29. ”Se on pienentynyt, koska lämpötila vaikuttaa muodostumisnopeuteen, mitä korkeampi lämpötila sitä nopeampi muutos → lämpötilan laskiessa muutosnopeus pienenee”
51. ”lähtöaineiden konsentraatio on nyt tasapainotilassa pienempi, joukossa on enemmän COCl_2 :ta, jolloin lähtöaineiden reagointiin johtavia törmäyksiä tapahtuu harvemmin”
32. ”ks. 1”

c) 4 kpl

6. ”sen hajoaminen on hidastunut”
7. ””
21. ”tasapainotilassa muodostumis nopeus on sama”
38. ” COCl_2 :n muodostuminen vapauttaa lämpöä, joten lämpötilan lasku ei vaikuta sen muodostumis nopeuteen”

d) 1 kpl

5. ”Tasapainotilanteessa vastareaktioiden nopeudet ovat samat, mutta itse nopeuksista ei voida sanoa mitään”

Liite 2(4) Oppilaiden vastaukset

III

a) 19 kpl

1. "koska reaktio tuotteita syntyy enemmän kun lämpötila alenee"
2. "lopputuotteen konsentraation kasvaessa vakio suurenee"
3. "koska COCl_2 muodostuu vähemmän, myös sen konsentraatio on pienempi ja samalla lähtöaineiden yhteiskonsentraatio on kasvanut."
4. "lähtöaineiden määrä laskee ja tuotteiden kasvaa"
5. " $K = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}][\text{Cl}_2]}$, jos $[\text{COCl}_2]$ kasvaa K:n arvo kasvaa. (K on reaktion tasapainovakio)"
6. "lähtöaineita nimittäjässä vähemmän"
7. ""
8. "uudessa tasapainotilassa tuotteen konsentraatio on suurentunut, joten tasapainovakion arvo on kasvanut"
12. "Entalpiian muutos vaikuttaa tasapainovakioon ionien kautta"
16. "lämpötilan lasku voimistaa eksotermistä reaktiota"
45. "konsentraatio kasvaa aineen tilavuus pienenee ja ainemäärä pysyy samana"
44. "koska COCl_2 :n määrä on kasvanut"
43. "koska tilavuus on pienentynyt ja $c=n/V$ (c on suurempi kun V on pienempi) niin konsentraatio on pienentynyt, joten K on suurentunut"
42. "jaettava on pienentynyt"
38. "jakaja vähenee ja jaettava suurenee \rightarrow vakio kasvaa"
36. " $K = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}] + [\text{Cl}_2]}$ "
35. "konsentraatio= ainemäärä/tilavuus ja pienempi lämpötila on pienempi tilavuus"
33. " konsentraatio= ainemäärä/tilavuus lämpötila vaikuttaa tilavuuteen"
51. "tasapaino on enemmän tuotteiden puolella, jolloin tuote konsentraatio $[\text{COCl}_2]$ on aiempaa tilannetta suurempi. Kun tp-vakion $K = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}][\text{Cl}_2]}$ osoittaja suurenee (j samalla nimittäjä pienenee) kasvaa koko lausekkeen arvo."

b) 17 kpl

10. "lopputuotteiden määrä on vähentynyt"
11. ""
14. "osottaja pienenee"
19. ""
20. "Kun reaktio tuotteiden konsentraatio pienenee ja lähtöaineiden suurenee, pienenee tasapainovakio..."
21. "koska tuotteiden määrä jaetaan lähtöaineiden määrällä että saadaan tasapainovakio niin tuotteiden vähetessä vakiokin pienenee"
27. "Lämpötilan pieneminen vaikuttaa paineeseen. Jos paine pienenee tilavuus pienenee joka vaikuttaa K:hon"
28. " COCl_2 :n konsentraatio on laskenut, CO ja Cl_2 konsentraatio suurentunut \rightarrow tasapainovakio pienentynyt"
49. "tuotteen konsentraatio pienenee"
48. "tasapainovakion lausekkeessa osoittaja-puoli on pienentynyt"
47. " $K = \frac{[\text{COCl}_2] \leftarrow \text{pienenee}}{[\text{CO}][\text{Cl}_2] \leftarrow \text{suurenee}}$ K:n arvo pienenee"

Liite 2(5) Oppilaiden vastaukset

46."osoittaja pienentynyt → pienempi arvo"

40."reaktion suunta ←, lämpötila laskenut"

39."Koska energiaa on vapautunut on tapahtunut eksotermisen reaktion jona tasapaino on liikkunut oikealle eli lähtöaineisiin päin"

34." $K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$ koska COCl₂:ää on hajonnut CO:ksi ja Cl₂:ksi on laskukaavan

nimittäjästä tullut suurempi, kun taas osoittaja on pienentynyt"

26."ainemäärä suurenee kaikilla aineilla → tasapainolauseke muotoa : $K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$ →

kaikkien aineiden konsentraatio nousee samassa suhteessa → nimittäjän kertolaskun ansiosta K pienenee"

30."koska tuotteita on vähemmän kuin alussa"

c) 10 kpl

9."lämpötilan muutos ei vaikuta"

13."tasapainovakion lauseke pysyy samana reaktionopeudesta riippumatta"

15."ei vaikutusta K:hon l:n muutoksella"

17.""

18.""

22."aineiden konsentraatiot eivät muutu"

25."konsentraatiot eivät muutu"

37."ainemäärä on pysynyt samana kaikilla aineilla"

32."koska aineita on silti yhtä paljon seoksessa kuin ennen lämmittämistäkin"

29."lämpötila voi vaikuttaa muodostumisnopeuteen ja massaan, mutta tasapainovakio pysyy samana koska aineita ei häviä eikä tule lisää"

d) 1 kpl

24."ei aavistustakaan (:"

IV

a) 28 kpl

1."koska enää ei oo niin paljon Cl₂ että COCl₂ voisi syntyä lisää"

2."Le Chatelierin periaatteella vakio siirtyy lähtöaineiden puolelle."

4." COCl₂ hajoaa, jotta tasapainovakio pysyisi vakiona"

5."Le Chätelier'n periaatteen mukaan systeemi pyrkii korvaamaan kloorin menetyksen joten COCl₂ alkaa hajota lähtöaineiksi. Tällöin myös hiilimonoksidin konsentraatio (ja täten myös massa) kasvavat (suljettu systeemi)"

6."CO-Cl törmäyksiä vähemmän, joten COCl₂ muodostuu vähemmän, mutta COCl₂ hajoaa samaa vauhtia"

7."reaktio pyrkii tasapainoon, jolloin COCl₂:sta hajoaa"

8."Systeemi pyrkii kumoamaan tehdyn muutoksen ja COCl₂:ta hajoaa lähtöaineiksi"

10." COCl₂ hajoaa ja pyrkii korvaamaan Cl₂ muutoksen"

14."reaktion painopiste muuttuu alkutuotteiden (CO,Cl₂) suuntaan ja noin CO:ta tulee lisää"

15."Cl₂ poituu täytyy CO:n lisääntyä"

16."reaktio lähtöaineiden suuntaan"

18.""

Liite 2(6) Oppilaiden vastaukset

- 20."Kun Cl_2 :sta poistetaan, reaktio pyrkii tasapainottumaan eli muodostamaan poistettua tuotetta lisää"
- 21."koska reaktio on siirtynyt lähtöaineiden suuntaan niin CO:n massa kasvaa"
- 22."systeemi muodostaa lisää Cl_2 jolloin myös CO muodostuu lisää"
- 27.""
- 28."Cl₂:sta poistetaan MYÖS tuotteesta, joten CO lisääntyy/palautuu lähtöaineisiin"
- 29."kun Cl₂:sta lähtee pois alkaa COCl₂ reagoida ja reaktio etenee vasemmalta oikealle 'paikatakseen' Cl₂ puuttumisen ja näin muodostuu myös lisää CO:ta"
- 32."koska CO korvaa/yrittää korvata Cl₂:n"
- 26."Cl₂ poistetaan → Le Chatelier:n periaatteella COCl₂ hajoaa → reaktio vasemmalle → CO:n konsentraatio kasvaa → CO:n ainemäärä kasvaa CO:n massa kasvaa"
- 34."Cl₂:n poisto aiheuttaa COCl₂:n hajoamisen CO:ksi ja Cl₂:ksi, CO pitoisuus kasvaa"
- 36." $K = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}][\text{Cl}_2]}$ koska se yrittää pitää tasapainovakiona samassa"
- 37."poistettaessa Cl₂:ta. CO:n massan pitää kasvaa jotta tasapaino syntyisi"
- 38."jotta tasapaino pysyisi samana kloorin konsentraation vähetessä, on hiilimonoksidin konsentraation kasvettava (→CO:n massa kasvaa) $K = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}][\text{Cl}_2]}$ „
- 39."koska seos pyrkii tasapainoon → tuotteet hajoaa lähtöaineiksi → myös CO:n massa kasvaa"
- 44."koska Cl₂:en määrä on vähentynyt ja niitä on kuitenkin muodostunut yhtä paljon"
- 51."kun lähtöaineiden konsentraatio laskee, Le Chätelier'n periaatteen mukaan reaktio siirtyy suuntaan, joka pyrkii kumoamaan muutoksen, eli vasemmalle, jotta [Cl₂] taas kasvaa. Samalla COCl₂:n hajotessa kasvaa myös [CO], jolloin sen ainemäärä → massa kasvaa"
- 41.""

b) 5 kpl

- 3."reaktio suuntautuu vasemmalle, kun Cl₂ poistetaan ja silloin reaktio pyrkii muodostamaan lisää Cl₂, joten CO:n massan on vähennyttävä"
- 13."COCl₂:sta pitää edelleen olla samassa suhteessa"
- 25."reaktio on kulkenut hieman tuotteiden suuntaan, eli CO:n massa on pienentynyt"
- 42."koska klooria on vähemmän"
- 46."koska molempien tulee vähentyä"

c) 15 kpl

- 9."Cl₂ massa kasvaa, koska sitä puuttuu reaktiosta"
- 11."koska CO:ta ei ole otettu pois"
- 12."Ei vaikutusta CO-ionien määrään ja niiden massaan"
- 17.""
- 19.""
- 24."ei kai se mihinkään systeemistä häviää"
- 30."koska reaktio ei tapahdu enää kun klooria poistetaan systeemistä"
- 33."ei vaikuta CO massaan"
- 35."Cl₂:sen poistaminen tai lisääminen ei vaikuta CO:n massaan"
- 40."koska kloorin massa ei vaikuta ennen reaktiota"
- 43."ei Cl₂ poistaminen vaikuta CO:n massaan, koska aine on eri."
- 45."toista reaktio ainetta on otettu pois eikä CO:ta"

Liite 2(7) Oppilaiden vastaukset

47.”Jos toista ainetta poistetaan ei se vaikuta toiseen, vaan se vaikuttaa tuotteisiin. Ja jos tilavuuden on pysyttävä samana ei se vaikuta massaansa.”

48.”CO:lle ei ole tehty mitään”

49.”reaktio vaihtaa suuntaa, CO:ta ei tule lisää, mutta poistettua Cl_2 :ta muodostuu lisää”

V

a) 15 kpl

7.” $K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$ *nuoli alakertaan* pienenee eli K kasvaa”

13.” Cl_2 ja CO:n massat ovat pienentyneet ja ne ovat tasapainovakion lausekkeessa nimittäjänä, jolloin tasapainovakio suurenee”

19.””

25.”jos tuotteita on syntynyt enemmän on tasapainovakion täytynyt suurentua”

30.”koska lähtöaineiden konsentraatio on pienentynyt”

34.” Reaktio lähtee vastakkaiseen suuntaan. $K = \frac{[CO][Cl_2]}{[COCl_2]}$ $COCl_2$ erottuu lähes kokonaan

CO:ksi ja Cl_2 :ksi. Osoittaja kasvaa ja tasapainovakio kasvaa”

39.”kun seoksesta poistetaan lähtöaineita → seoksen tasapainovakio suurenee $\frac{[COCl_2]}{[CO] + [Cl_2]}$ ”

”koska seos pyrkii tasapainoon → tuotteet hajoaa lähtöaineiksi → myös CO:n massa kasvaa”

40.”koska klooria poistetaan niin vakio kasvaa”

41.” $K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$ jos Cl_2 :sta vähennetään, nimittäjän arvo pienenee → K:n arvo suurenee”

43.” $K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$ jos Cl_2 poistetaan →”alakerran” luku on pienempi jolloin myös K:n

arvo kasvaa, kun jaetaan pienemmällä luvulla.”

46.”nimittäjä on pienentynyt → suurempi arvo”

47.” $K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$ vähenee (nuoli alakertaan)”

48.”lausekkeen nimittäjää on vähennetty”

49.”lähtöaineiden konsentraatio pienenee”

51.”Tuotekonsentraatio vähenee ja lähtöainekonsentraatio kasvaa, jolloin tp-vakion nimittäjä kasvaa kun osoittaja pienenee, eli vakion arvo pienenee”

b) 18 kpl

2.”lähtöaineiden konsentraatioiden ollessa suurempia vakio pienenee”

3.”koska nimittäjän yhteiskonsentraatio on pienentynyt ja osoittajan suurentunut”

5.” $K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$ jos CO kasvaa K pienenee”

6.””

8.”Tuotteen konsentraatio pienenee sen hajotessa lähtöaineiksi, jolloin tasapainovakion arvo pienenee”

Liite 2(8) Oppilaiden vastaukset

9.”sillä jakajaan tulee suurempi luku suhteessa jaettavaan”

10.”lopputuotteen määrä on vähentynyt.”

12.” $K > 1$ ”

15.” $K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$ potenssit ovat miinusia joten kun nimittäjästä poistuu – potenssinen

luku pienenee”

16.”reaktio lähtöaineiden suuntaan”

21.”ks. vastaus 3”

29.”Tasapainovakio on sitä pienempi, mitä enemmän lähtöaineita on → lähtöaineiden määrän kasvaessa sen tasapaino myös pienenee. (esim vahvoilla hapoilla reaktio on yksisuuntainen ja sen tasapainovakio on sitä suurempi)”

31.” $K = \frac{[CO]}{[CO]} = 0$ ”

32.”koska Cl_2 :sta on otettu systeemistä pois aineet ovat vähentyneet”

33.”koska Cl_2 otettiin pois”

42.”Jaettava on suurempi”

44.”Koska Cl_2 :en poisto on horjuttanut tasapainoa niin, että”

45.”reagoivien aineiden määrä on pienentynyt aineet ovat epätasoisissa reagoita niin suurena määränä”

c) 9 kpl

4.”vakio ei muutu, jos lämpötila pysyy samana”

17.”””

18.”””

27.”osoittajasta ja nimittäjästä poistuu saman verran Cl_2 :sta”

28.” Cl_2 :sta poistuu saman verran tasapainovakiolauseen ylä ja alapuolelta → sama tulos (ei ollut laskinta)”

26.”Tasapainovakio kertoo reaktion reaktiotuotteiden ja konsentraation suhteet toisiinsa jossain tietyssä olosuhteessa (lämpötila, paine). Olosuhteet pysyvät samana → konsentraatiot muuttuvat, mutta pysyvät samassa suhteessa säilyttäen tasapainovakion vakiona”

35.” $K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$ ja molemmista poistetaan Cl_2 :sta ei tasapainovakio muutu”

38.”olosuhteet eivät muutu → tasapainovakio ei muutu”

37.”””

d) 5 kpl

1.”””

14.”ei tiedä konsentraation suuruuksia”

20.”reaktiotuotteiden määrä pienenee ja CO:n massa kasvaa, mutta ei ole kerrottu paljonko Cl_2 :sta on poistettu eli ei voi tietää paljonko sitä muodostuu”

22.”””

24.”ks. 3 (:”

VI

a) 20 kpl

Liite 2(9) Oppilaiden vastaukset

1. "koska aineiden määrät muuttunut"
2. ""
7. ""
10. "sama kuin 4"
14. "tulee sykäys ja reaktio pyrkii nopeasti tasapainoon"
17. ""
18. ""
20. "CO:ta muodostuu enemmän nopeammin"
27. ""
26. "Ennestään reaktiossa on vallinnut jotkut tietyt CO:n muodostumis- ja reagoimisnopeus. Kun CO poistetaan, ei CO:ta jää reagoitavaksi → jäljelle jää vain muodostumisnopeus, joka kasvaa reaktion siirtyessä vasemmalle"
30. "koska COCl₂:sta hajoaa ja siitä syntyy CO:ta"
32. "koska CO yrittää mahd. nopeasti korvata Cl₂:n."
33. "koska klooria ei muodostu. kaikki energia käytetään CO tuottamiseen"
34. "Tasapainon äkillinen järkkäytyminen kasvattaa CO:n muodostumisen nopeutta"
38. "kun Cl₂ poistetaan, tasapainon saavuttamiseksi COCl₂:n täytyy hajota Cl₂:ksi ja CO:ksi → CO:n muodostumisnopeus kasvaa"
39. "CO:ta on liuoksessa enemmän kuin Cl₂:sta mutta kun Cl₂:sta ei ole liuoksessa se hetkellisesti kasvaa suuremmaksi. ja nopeus tasaantuu mitä lähemmäksi se tulee taas tasapainotilaan päin."
40. "Koska Cl₂:n aine määrä on pienentynyt"
42. "aineita on vähemmän"
47. "kun toista vaikuttavaa ainetta (Cl₂) poistetaan pääsee toinen aine voitolle ja se vaikuttaa (CO) positiivisesti reaktioon ja CO lisääntyy"
37. ""

b) 7 kpl

3. "sama kuin nelosessa"
4. "CO:ä muodostuu COCl₂:n hajotessa ja sitä on nyt vähemmän"
11. "koska Cl₂ täytyy "ottaa kiinni" se, eli Cl₂ muodostuu enemmän"
12. "Tasapainotila muodostuu nopeammin"
29. "CO:n muodostumisnopeus on pienentynyt ja Cl₂:n suurentunut, johtuen siitä että systeemi pyrkii uudelleen saavuttamaan tasapainon"
44. "koska, jotta tasapainotilane pysyisi samana, Cl₂:en vähennyksen jälkeen, myös muodostuvan CO:n määrän tulee vähetä"
45. "aineet reagoivat vähemmän tasapainotilan pienentymisen takia"

a) ja b) molemmat valittuina 1 kpl

51. "Kaikki muodostumisnopeudet ovat pienentyneet kun Cl₂:ta on aiempaa vähemmän (reaktio kulki vasemmalle ensin, mutta palautti vaihdossa osan Cl₂- konsentraatiosta ennalleen). Samoin COCl₂- konsentraatio on pienentynyt. Kun tilavuus ja lämpötila pysyvät samoina konsentraatioiden pienentäminen johtaa yhä harvempaan reaktioon johtavaan törmäykseen, jolloin reaktionopeus laskee"

c) 14 kpl

6. ""
8. "Ulkoiset olot (lämpötila, paine...) eivät ole muuttuneet"
9. "sillä CO:ta on sama määrä kuin ennenkin kuin myös COCl₂:sta."

Liite 2(10) Oppilaiden vastaukset

16. ”muutos ei vaikuta reaktioon”

19. ””

21. ”ks. vastaus 2”

22. ””

25. ”koska tilavuus ja lämpötila on pidetty vakiona ei muodostumis nopeus ole voinut muuttua”

28. ”sama vauhti, mutta kun Cl₂ loppuu, niin tuotanto loppuu”

31. ”reaktio nopeuteen vaikuttaa → ei mikään näistä

-lämpötila

-katalysaattori/inhibiittori”

43. ”Ei Cl₂ poistaminen vaikuta muodostumisnopeuteen, paitsi jos Cl₂ loppuu → reaktio loppuu”

48. ”paine ja lämpötila ovat pysyneet samana, niinpä muodostumisnopeuskin on sama”

49. ”CO:ta tulee edelleen saman verran kuin aikaisemminkin”

d)

46. ”ei hajuakaan mikä on muodostumisnopeus?”

d) 3 kpl

5. ”ks kysymys 2”

13. ”ei vaan voi”

14. ”ei voi sanoa”

Liite 3(1) Termejä ja lyhenteitä

empirismi = havainnoilla saadaan tietoa totuudesta.

epistemologia = tietoteoria.

konstruktivismi = lähinnä kasvatustieteellinen termi, joka painottaa sitä, miten oppija omaksuu eli konstruoi uutta tietoa.

konstruktionismi = laajempi tieteenfilosofinen termi, joka kuvaa maailman jäsentymistä sen käsitteellistämisen kautta. Tavallaan realismin ja rationalismin väliin sijoittuva relativistinen näkemys.

korrespondenssiteoria = tietoa verrataan ulkoiseen, objektiiviseen todellisuuteen.

koherenssiteoria = totta on se, mikä sopii yhteen aiempien tietojen kanssa.

ontologinen = oppi siitä mitä ja miten on olemassa.

objektivismi = näkemys, jonka mukaan on olemassa objektiivinen totuus.

pragmatismi = totta on se, mikä toimii käytännössä.

realismi = maailma on riippumaton havaintajasta